

Edgar Serna M. (ed.)

# Ciencia Transdisciplinar en la Nueva Era

Editorial  
Instituto Antioqueño de Investigación  
© 2022



Edgar Serna M. (ed.)

# Ciencia Transdisciplinar en la Nueva Era

Edición 1

ISBN: 978-628-95135-3-0

Ciencia Transdisciplinar en la Nueva Era / Edgar Serna M. (ed.) -- Primera edición -- Medellín: Editorial Instituto Antioqueño de Investigación, [2022]. ©2022  
1 recurso en línea: archivo de texto: PDF.

Incluye datos curriculares de los autores -- Incluye referencias bibliográficas.

ISBN 978-628-95135-3-0

1. Ciencia Investigaciones I. Serna M., Edgar, editor

CDD: 507.2 ed. 23

CO-BoBN- a1103065

Investigación Científica

ISBN: 978-628-95135-3-0

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7381757>

Hecho el depósito legal digital

Ciencia Transdisciplinar en la Nueva Era

Serie: Ingeniería y Ciencia

Editorial Instituto Antioqueño de Investigación

Edición 1: noviembre 2022

Publicación electrónica gratuita

©2022 Instituto Antioqueño de Investigación IAI™. Salvo que se indique lo contrario, el contenido de esta publicación está autorizado bajo Creative Commons Licence CC BY-NC-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)



Editorial Instituto Antioqueño de Investigación es Marca Registrada del *Instituto Antioqueño de Investigación*. El resto de marcas mencionadas en el texto pertenecen a sus respectivos propietarios.

La información, hallazgos, puntos de vista y opiniones contenidos en esta publicación son responsabilidad de los autores y no reflejan necesariamente los puntos de vista del Instituto Antioqueño de Investigación IAI; no se garantiza la exactitud de la información proporcionada en este texto.

Ni el autor, ni la Editorial, ni el IAI serán responsables de los daños causados, o presuntamente causados, directa o indirectamente por el contenido en este libro.

Maquetación: Instituto Antioqueño de Investigación

Diseño, edición y publicación: Editorial Instituto Antioqueño de Investigación

Financiador de la publicación: Instituto Antioqueño de Investigación

Instituto Antioqueño de Investigación IAI

<http://fundacioniai.org>

[contacto@fundacioniai.org](mailto:contacto@fundacioniai.org)

Editorial Instituto Antioqueño de Investigación

<http://fundacioniai.org/index.php/editorial.html>

[editorial@fundacioniai.org](mailto:editorial@fundacioniai.org)

Medellín, Antioquia



## Contenido

|  |  |     |
|--|--|-----|
| Prólogo  |  | x   |
| <i>Método de Hückel extendido mediante polarización molecular, semejanza cuántica e índices de reactividad: Estudios topológicos usando la teoría de funcionales de la densidad</i>  | Alejandro Morales-Bayuelo  | 1   |
| <i>Método de valoración contingente para la evaluación del mejoramiento de la calidad del agua subterránea</i>   | Rossember Saldaña-Escorcía<br>Dina Luz Jiménez-Lobo<br>Juan Andrés Guerrero-Durán  | 10  |
| <i>Análisis a la utilidad de los métodos teóricos para el cálculo de caudales de escorrentía en cuencas de la isla de Tenerife, España</i>   | Raúl Parra Hermida   | 19  |
| <i>Potencial de los tubérculos andinos Tropaeolum tuberosum, Ullucus tuberosus y Oxalis tuberosa para la elaboración de chips saludables por medio de air fryer</i>  | Sebastián Mateo Mora Suárez<br>María Hernández-Carrión   | 31  |
| <i>Evaluación de la capacidad solubilizadora de fosfato de Brevibacillus brevis como estimulante de crecimiento vegetal en cultivos de uchuva (Physalis peruviana)</i>   | María Isabella Acosta Salinas<br>Virginia Roa Angulo   | 46  |
| <i>Estudio de los compuestos orgánicos volátiles realizado por medio de microextracción en fase sólida por espacio de cabeza HS-SPME y cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas GC-MS de la cebolla de rama</i> | Juan Pablo Arrubla Vélez<br>Santiago Uribe Tabares<br>Norma Patricia Durán   | 60  |
| <i>Macroinvertebrados bentónicos en tres afluentes de Caño Grande en la zona de influencia de la reserva natural nacional Nukak, Guaviare, Colombia: Aporte a la calidad de agua y características fisicoquímicas</i>            | Daniel Fernando Tolosa Soler<br>Mónica Andrea Castillo-Aguilar<br>Federico Beltrán Hilarión  | 71  |
| <i>Etiología de la marchitez del chile (capsicum annum l.) de una zona productora de Zacatecas, México</i>   | Irving Hernández-Hernández<br>Elizabeth Medina-Miranda<br>Rubén Pérez-Pérez<br>Mauricio Nahuam Chávez-Avilés<br>Lenin Sánchez-Calderón | 84  |
| <i>Polimorfismo TSER 3RG&gt;C del gen de la Timidilato Sintasa en una muestra de población venezolana: Una herramienta para detectar susceptibilidad a la intoxicación por fluoropirimidinas en pacientes con cáncer</i>         | Cecilia Villegas<br>Yuselin Mora<br>Kevyn Parodi<br>José Oliveros<br>Narviz Pulido<br>Nancy Moreno                                     | 97  |
| <i>En la búsqueda de nuevos precursores de gasotransmisores de interés clínico, ¿es la Anti-Lewisita británica BAL precursor del H2S?</i>  | Cristian Buendía-Atencio   | 106 |

|   |   |     |
|---|---|-----|
|   | Aura Ximena Gómez Heredia<br>Miguel Ángel Delgado Gómez<br>Vaneza Paola Lorett Velásquez                          |     |
| <i>Mitigación de pasivos ambientales de Drenajes Ácidos Mineros DAM mediante reuso del relave minero</i>  | Walter Pardavé Livia<br>Brayan Steven Serrano Uribe<br>Camilo Hernando Castillo Martínez                          | 117 |
| <i>Síntesis de un polímero magnético de acceso restringido basado en polianilina para la extracción y cuantificación de antibióticos en leche</i>   | Diego Hernando Angulo Flórez<br>Edna Carolina Cipagauta Esquivel  | 128 |
| <i>Valorización de los frutos de mora de Castilla (Rubus glaucus Benth) afectados por hongos fitopatógenos en la cadena comercializadora a partir de la evaluación de su perfil volátil</i> | Juan Pablo Arrubla Vélez<br>Valentina Santa Grajales<br>Gloria Edith Guerrero Álvarez<br>Nathalia Cardona Hurtado | 144 |
| <i>Caracterización del porcentaje de humedad en productos orgánicos usando ondas de radio frecuencia en el rango de las microondas</i>  | José Roberto Reyes Ayona<br>Andrés Toledo López<br>Edgar Reyes Ayona  | 162 |
| <i>Tendencias en investigación sobre factores agronómicos y usos potenciales de Cannabis sativa L.: Un estudio bibliométrico</i>  | Andrés Felipe Giraldo Escobar<br>Sara Emilia Giraldo Quintero<br>Yenny Yolanda Lozano Jiménez                     | 175 |
| <i>Relaciones entre el dominio afectivo y la modelización matemática: Una revisión de la literatura</i>   | Milton Cesar Campeón-Becerra<br>Jhony Alexander Villa-Ochoa   | 186 |
| <i>Desenlace de enfermedad invasiva por Salmonella en población con VIH</i>   | Violeta Vallejo Mena<br>Jenny Noralma Marcillo Gavilánez  | 202 |
| <i>Detección de antibióticos aminoglucósidos en plantas de tratamiento de aguas residuales mediante Dot blot</i>  | Norma Angélica Chávez Vela<br>Juan Jáuregui Rincón<br>Javier Araiza Arvilla                                       | 207 |
| <i>Determinación de la actividad antioxidante de desechos agrícolas de poda de cultivos de mora de castilla Rubus glaucus benth con y sin espina</i>  | Juan Pablo Arrubla Vélez<br>Camila Correa Henao<br>Nathalia Cardona Hurtado<br>Gloria Edith Guerrero Álvarez      | 215 |
| <i>Microesferas radiantes para braquiterapia de tumores hepáticos: Obtención y cálculo de dosis desde simulaciones Monte Carlo</i>  | Edison Rivera Figueroa<br>Pablo Alejandro Cappagli<br>Miguel Oscar Prado  | 227 |
| <i>Biofiltración para la mitigación de gases de efecto invernadero</i>  | Catalina Janine Moreno Jiménez<br>Elsa Marcela Ramírez López  | 238 |

|   |   |     |
|---|---|-----|
| <i>Herramientas para sostenibilidad agroambiental del sector cafetero por impactos generados durante el beneficio del café</i>  | Paula Julissa Calderón Ortega<br>Yicenia Marcela García Parra<br>Paula Martínez Silva<br>Víctor Alfonso Ramírez Losada<br>Luis Alexander Carvajal Pinilla         | 247 |
| <i>Obtención de Nano-catalizadores de Níquel a partir de hidrotalcitas modificadas para la metanación de CO<sub>2</sub> en el proceso Power To Gas</i>                        | James Marín<br>William Pérez<br>Luis Ríos   | 256 |
| <i>Análisis del impacto ambiental causado por los aerogeneradores</i>   | Gina Faisuly Castro Castro<br>Mauricio Montaña Jarro<br>Fabián David Barreto Sánchez  | 269 |
| <i>Influencia de la relación lactosuero/leche y cantidad de pectina en la elaboración de una bebida láctea fermentada</i>   | Juan Fernando Muñoz Paredes<br>Vladimir Ernesto Vallejo Castillo<br>Dennis Alejandra Portilla Patiño<br>Johana Ximena Mora Cortez                                 | 282 |
| <i>Aplicación del biomodelo personalizado de los huesos del antebrazo al método de elemento finito para detectar zonas propensas a sufrir lesiones bajo efectos de cargas</i> | Daniel Maya A.<br>Guillermo Urriolagoitia S.<br>Beatriz Romero A.<br>Diego I. Islas J.<br>Jesús M. German C.<br>Alfonso Trejo E.<br>Guillermo M. Urriolagoitia C. | 289 |
| <i>Extracción de As y Pb contenidos en un convertidor catalítico a partir de agentes orgánicos</i>  | Adriana del Pilar González Vargas<br>Ángela Johana Borda<br>Robinson Torres   | 300 |
| <i>Síntesis y propiedades de hidrogeles a base de sericina y alcohol polivinílico reticulados térmicamente</i>  | María C. Arango<br>William Santana<br>Natalia Jaramillo-Quiceno<br>Santiago Rueda-Mira<br>Catalina Álvarez-López  | 306 |
| <i>Proceso para el reciclaje y reúso de las colillas de cigarrillo y el yeso de demolición</i>  | Cesar Omar Verdi Martínez<br>Rebeca Reyes de la Rosa<br>Jarumi Aguilar-Guggembuhl<br>Claudio López-García   | 317 |
| <i>Diseño y simulación de dispositivo de microfiltración para el aislamiento de células tumorales circulantes MEMS-CTCS</i>   | Alan Javier González Díaz<br>Carlos Borrás Pinilla  | 324 |

|  |  |     |
|--|--|-----|
| <i>Estudio de los efectos ecotoxicológicos de los colorantes en diferentes organismos acuáticos</i>  | Carolina Gallego-Ramírez<br>Edwin Chica<br>Ainhoa Rubio-Clemente   | 336 |
| <i>Construcción de un prototipo Alfa para el monitoreo continuo de gases durante incendios</i>   | Juan Pablo Ortiz Morales<br>Tatiana Montoya Duque<br>Daniela Campo<br>Catalina Franco Enríquez<br>Alejandra Ávila Rendón<br>Andrés Mauricio González-Vargas    | 347 |
| <i>Impacto económico en alevineras de tilapia <i>Oreochromis sp.</i> por presencia de macroinvertebrados acuáticos depredadores</i>                      | Santiago Gutiérrez Quintero<br>Natalia Walteros Pérez<br>Luis Carlos Losada Benavides<br>Hernán Alberto Vela Melo<br>Jorge Bernardo Ramírez Zarta              | 357 |
| <i>Estrategias pedagógicas para fabricar pitillos biodegradables como alternativa ecológica para la reducción del impacto ambiental</i>                  | Omar Castañeda Antolínez<br>Eddy Catheryne Cifuentes Rodríguez<br>Luis Alfredo Gómez Linares   | 369 |
| <i>Desempeño de un estabilizante electroquímico derivado de aceites minerales residuales en un suelo limo arcilloso</i>                                  | Andrés Betancur<br>Eliana Llano<br>Gloria Restrepo   | 378 |
| <i>Desarrollo de películas biodegradables a base de almidón de papa incorporado con aceite esencial de molle, extracto etanólico de propóleo y chaco</i> | Christian Apaza Cusiatau<br>Joaquín Castañón Vilca<br>Briguit Ortiz Quispe<br>Marcia Quequezana-Bedregal<br>Elizabeth Medrano de Jara<br>Evelyn Gutiérrez-Oppe | 386 |
| <i>Proceso para la obtención de fibras de celulosa a partir del subproducto cascarilla de arroz (<i>oryza sativa</i>)</i>                                | María Linares-Zegarra<br>Winnie Olazábal-Ticona<br>Elizabeth Medrano de Jara<br>Marcia Quequezana-Bedregal<br>Edgar García-Hernández<br>Evelyn Gutiérrez-Oppe  | 397 |
| <i>Efecto de la concentración de anhídrido acético en los grados de sustitución del almidón de arroz</i>   | Winnie Olazábal-Ticona<br>María Linares-Zegarra<br>Elizabeth Medrano de Jara<br>Marcia Quequezana-Bedregal<br>Edgar García-Hernández<br>Evelyn Gutiérrez-Oppe  | 407 |
| <i>Estudio del efecto de la variación de las relaciones molares en propiedades de materiales a base de óxido de magnesio</i>                             |  | 416 |

|  |   |     |
|--|---|-----|
|  | Katy Denys Ramírez Moreno<br>Santiago Betancourt Parra<br>Natalia Jaramillo Quiceno<br>Gustavo Adolfo Hincapié Llanos<br>Luis Felipe Lalinde Castrillón<br>Catalina Álvarez López |     |
| <i>Medición de la huella de carbono y remoción de CO2 para plantear estrategias de reducción y mitigación en una empresa de silvicultura y compensación forestal</i> | María Angélica López Mesa<br>Andrés Rey Piedrahita<br>Jenniffer Alejandra Castellanos Garzón  | 425 |
| <i>Estudio descriptivo sobre los efectos de la radiación electromagnética no ionizante en las plantas</i>  | Guillermo Fernando Valencia Plata<br>Félix Roberto Gómez Devia  | 437 |
| <i>Modelo para diagnosticar el nivel de madurez tecnológico de las empresas antes de tomar la decisión de implementar nuevas tecnologías</i>                         | Edgar Serna M.  | 451 |
| <i>Contribución de la economía circular a los objetivos de desarrollo sostenible de la Agenda 2030</i>   | Felipe Romero-Perdomo<br>Juan David Carvajalino-Umaña<br>Natalia Ardila<br>Miguel Ángel González-Curbelo  | 463 |
| <i>Formación en gestión de inventarios: Un caso de estudio para una empresa de alimentos de la ciudad de Medellín, Colombia</i>                                      | Yesit Jovan Rodríguez Caro<br>Chárol Kátherin Vélez Castañeda<br>Jorge Amado Rentería Vera<br>Isamar Monsalve Casas   | 479 |
| <i>Una propuesta de integración por principios entre la Responsabilidad Social y el Modelo Integrado de Planeación y Gestión MIPG</i>                                | Hernando Camacho Camacho<br>Liliana Marcela Criales Rincón  | 490 |
| <i>Formalización y normalización de la unidad de gestión del talento humano en las MiPymes</i>   | Laura Elena Zapata Jiménez<br>Nicolasa María Duran Palacio<br>Sandra Milena Malavera Pineda   | 499 |
| <i>Análisis a la incidencia del liderazgo directivo en el clima organizacional</i>   | Dora Emilce Pino Tapias<br>Francisco Javier Cartes Arenas<br>Rubí Margarita Arrizaga Zercovich  | 514 |
| <i>Diseño de un centro de prácticas y memorias como agente de fortalecimiento y vinculación con empleadores y egresados</i>  | Jaime Augusto Lam Moraga<br>Purísima de las Mercedes Neira Cortés<br>Paola Karen Mamani Apala<br>Francisco Javier Cartes Arenas   | 532 |
| <i>Logística e Ingeniería naval en el diseño de un buque fluvial de ayuda humanitaria</i>  | José María Riola<br>José David Peroza   | 545 |



|  |   |     |
|--|---|-----|
| <i>Transformaciones de las relaciones laborales a raíz del Covid-19: Un análisis desde la academia</i>   | Bárbara Patricia Arias Cortés<br>Maryluz Castro Moreno  | 558 |
| <i>Entendiendo la Transdisciplinariedad: Un ejercicio que traspasa lo disciplinario</i>  | July Alexandra Villalba Rodríguez   | 569 |
| <i>El riesgo psicosocial en vendedores ambulantes: Una reflexión situada</i>   | Sebastián Galvis Arcila<br>Cristian Fernán Muñoz  | 578 |
| <i>Metaproblema: Ejercicio transdisciplinar de reflexión para la iniciación en la investigación científica</i>   | Joaquín Pegueros  | 590 |
| <i>Análisis del uso del lenguaje con perspectiva de género en noticias de prensa escrita que reportan feminicidios</i>                                 | Laura Gineth Caicedo Mosquera<br>Paula Alejandra Valencia Sánchez<br>Diana Carolina Tibaná Ríos                                   | 602 |
| <i>Análisis de los procesos de prensado de la harina de pescado a través de técnicas de aprendizaje automático</i>                                     | Viren Lalit Daswani Daswani<br>Carla Francisca Figueroa Larraín<br>Vivian Natali Segovia Barros<br>Francisco Javier Cartes Arenas | 613 |
| <i>Identificación del nivel de dependencia de adultos mayores institucionalizados en un asilo</i>  | Zoraya Trinidad Cáceres Bermón<br>Luisa Liliana Lara Gómez  | 627 |
| <i>La migración vista como un reto común, tanto para el país expulsor como para los de tránsito y destino</i>  | Venancio Gerardo Calva Olmos<br>Mario Pacchiano de la Garza   | 634 |
| <i>Exploración del concepto de equilibrio entre trabajo y familia en el sector de la construcción en Chile</i>   | Felipe Jaramillo, Felipe Araya<br>Leonardo Sierra<br>María Jesús Osses  | 647 |
| <i>Análisis al desarrollo laboral en las empresas de salud suramericanas</i>   | Juan Santiago Calle Piedrahita<br>Gloria María Isaza Zapata<br>Byron Enrique Portilla Rosero                                      | 660 |
| <i>Significados del paciente en la motivación de estudiantes de medicina</i>   | Olga Francisca Salazar Blanco   | 671 |
| <i>Pensamiento crítico y su incidencia en el análisis de noticias falsas en inglés</i>   | Heberth Caicedo Saldaña<br>Paola Andrea Mina Gómez<br>Juan Pablo Serna Giraldo  | 681 |
| <i>Deconstrucción del paradigma capacitista al interior de la familia de una persona con discapacidad</i>  | Alexander Garzón Jiménez  | 695 |
| <i>Estrategia didáctica para la enseñanza de un método de extracción en fase sólida miniaturizada en contextos del trabajo práctico de laboratorio</i> | Diego Hernando Angulo Flórez<br>Néstor Adolfo Pachón Barbosa<br>Edna Carolina Cipagauta Esquivel                                  | 702 |

---

|  |   |     |
|--|---|-----|
| <i>Análisis de resultados de la inteligencia emocional en estudiantes universitarios para futuras investigaciones del desarrollo cognitivo</i>   | Jéssica Viviana Chuqui Navas<br>Lisbeth Estefanía Córdova Ordoñez<br>Patricia Gabriela Loja Chicaiza<br>Pedro Daniel Cadena Nogales<br>Carlos Vicente Llerena Aguilar                           | 716 |
| <i>Fomento de vocaciones científicas en Colombia: ¿Cómo articular a la ruta de investigación Ondas el modelamiento participativo con el método de dinámica de sistemas basada en la comunidad?</i> | Andrés Rey Piedrahita<br>Laura Daniela Ramírez Prieto<br>Gustavo Eduardo Quiroz Uribe<br>Jenniffer Alejandra Castellanos Garzón<br>Luis Alberto Rivera Martínez<br>Jorge Andrick Parra Valencia | 726 |
| <i>Aprendizaje social desde la participación comunitaria: Un estudio a las maneras como se genera aprendizaje en las organizaciones, programas, proyectos y actividades sociales</i>               | Eucario Parra Castrillón  | 737 |

---

### **Como citar los capítulos de este libro**

*Autor del capítulo.* (2022). *Título del capítulo.* En Serna E. (ed.), *Ciencia Transdisciplinar para la Nueva Era (pp. del capítulo xx-xx).* Editorial Instituto Antioqueño de Investigación.

## Prólogo

Para abordar las complejas cuestiones sociales y medioambientales de este siglo se han propuesto diversos modelos de producción de conocimiento que trascienden las fronteras disciplinares, institucionales y culturales. Entre ellos se destaca la Transdisciplinariedad, que representa una idealización de cómo los científicos, los investigadores y los académicos deberían trabajar, integrando al mismo tiempo a la amplia diversidad de actores afectados por estos problemas.

La Transdisciplinariedad se entiende como un enfoque reflexivo, integrador e impulsado por el método, cuyo objetivo es producir conocimiento y diseñar soluciones relevantes para atender los problemas que enfrenta la humanidad. En el centro de este enfoque sobresale la integración, como un deseo de descubrir, asimilar, analizar y utilizar conocimiento heterogéneo mediante procesos de coproducción. Lo ideal es que esta integración se alcance por niveles: enmarcar el problema, gestionar el proyecto, incluir a los miembros del equipo y a las partes interesadas, administrar datos, sintetizar resultados y aplicar conocimiento.

Debido a que la investigación científica suele situarse en la confluencia de la ciencia, la política y la práctica, se entiende que la inclusión de los diferentes actores y disciplinas interesadas en la producción de conocimiento debe ser una prioridad. Tal y como se evidencia en este libro, la adaptación y el aprovechamiento efectivos de la ciencia requiere la elaboración de políticas informadas, que a su vez exige que los paradigmas de investigación evolucionen hacia la integración de los enfoques de las ciencias naturales, humanas y sociales con el conocimiento en cada disciplina.

En este mismo sentido, con la difuminación de las fronteras disciplinares y la participación de todas las partes interesadas en la resolución de los problemas, se plantean importantes cuestiones relacionadas con la producción de conocimiento, que pueden limitar el grado en que se capacita efectivamente a la sociedad para afrontarlos. Si la ciencia es un trabajo de composición, que implica la movilización y traducción de diferentes sistemas de conocimiento y que necesariamente no comparten la misma ontología, entonces ¿qué significa *integrar* diferentes conocimientos en entornos transdisciplinares?

El trabajo de los autores en este libro parece responder este interrogante, porque en la realización de sus proyectos aplican teorías específicas relacionadas para materializar efectivamente el imperativo de la integración transdisciplinar de la ciencia. Esto se evidencia en cada uno de los capítulos, donde se expresan ideas sobre la coproducción de conocimiento, aprendizaje social y ecología de la ciencia en equipo. En este texto la ciencia transdisciplinar parte de la base de que la integración puede y debe ser el ideal regulador. Los resultados que se presentan sustentan el imperativo de que la integración oculta la fricción, el antagonismo y el poder inherentes a la coproducción de conocimiento, que pueden excluir formas innovadoras y experimentales de entender la ciencia y de adaptarla para hallar soluciones a los problemas apremiantes de la humanidad.

El libro se sitúa en el contexto de la adaptación a los grandes cambios en el Nuevo orden Mundial, un campo cada vez más caracterizado por el discurso transdisciplinar y la experimentación metodológica. Una adaptación que tiene lugar tanto en lo local como en lo global, por lo que la integración del conocimiento y la producción de soluciones relevantes para los desafíos se deben considerar especialmente urgentes. Es decir, las complejidades de la adaptación a la Nueva Era exigen conocimientos pertinentes, que proceden desde una serie de disciplinas y perspectivas, y una aplicación que salve la brecha en la ciencia disciplinar. Como se evidencia en este libro, la ciencia transdisciplinar es posible, y el lector encontrará factores y patrones comunes que la convierten en un modelo atractivo para que los científicos, los investigadores y los académicos busquen la adaptación social, a pesar de los desafíos prácticos y epistemológicos a los que se enfrenta la humanidad en este siglo.

Por otro lado, el trabajo científico es heterogéneo y requiere muchos actores y puntos de vista diferentes, sin embargo, también requiere convergencia y cooperación para generar resultados adecuados y un producto de utilidad general. Como paradigma de investigación, la Transdisciplinariedad es un enfoque ascendente que permite dirigir la ciencia y sus resultados hacia amplios conglomerados conformados por

científicos y la comunidad, trabajando juntos para abordar los problemas complejos del Nuevo Orden Mundial. Este trabajo colaborativo se caracteriza por un enfoque de coproducción de conocimiento, porque la investigación se realiza con los *usuarios* del conocimiento o las partes interesadas a través de proyectos destinados a informar y estimular el desarrollo socio-económico-humano.

Los trabajos que se presentan en este libro son un apoyo desinteresado a la ciencia transdisciplinar, en parte motivado por su promesa de equilibrar la heterogeneidad epistemológica y las demandas más amplias de convergencia de conocimiento en torno a la supervivencia de la humanidad. En este sentido, el lector podrá darse cuenta de que los resultados son *creíbles*, porque hacen adecuación de las pruebas y los argumentos; *destacados*, porque son relevantes para las necesidades de los responsables de la toma de decisiones; y *legítimos*, porque generan conocimiento respetuoso, imparcial y justo.

El contenido de los capítulos revela factores procedimentales y epistemológicos críticos que reflejan la coproducción de conocimiento de forma metodológicamente sólida. Las áreas en las que trabajan los autores se centran en los factores estructurales, institucionales, conductuales y relacionales que influyen en la creación eficaz de equipos transdisciplinares y de coproducción de conocimiento científico riguroso. Se destacan factores como la estructuración de los proyectos, la composición de los equipos de trabajo, los mecanismos para fomentar la integración del conocimiento, y la confianza y la comunicación para coproducir de forma significativa datos, afirmaciones y resultados. Además, el aprendizaje social que se logra con el contenido y con la integración de los diferentes actores y la práctica de investigación reflexiva e iterativa, es un sello distintivo de los esfuerzos transdisciplinares que aquí se publican.

En esta alquimia fundamental de la ciencia en equipo la Transdisciplinariedad permite lograr un marco conceptual compartido sobre los temas y cómo salvar las fronteras: metodológicas, epistemológicas, organizativas y personales. En estos estudios se considera que la integración puede ser una barrera epistemológica, pero dada la integración efectiva de la adaptación y el intercambio integral de conocimiento entre las múltiples partes interesadas, la identificación del adecuado objeto de estudio se nota en el contenido como necesaria para tender un puente entre los diversos sistemas de conocimiento y las comunidades.

Si bien el trabajo de los científicos, investigadores y académicos que se presenta en este libro es un reflejo de la acción integradora del conocimiento, no se puede interpretar como una simple cuestión organizativa, epistémica o pasajera, porque la ciencia transdisciplinar no se consigue simplemente reuniendo el objeto, el método o el equipo adecuados. Como el lector podrá notar, los estudios y resultados, prácticos y teóricos, contenidos en el texto son el reflejo de la integración como cuestión ontológica; algo que se manifiesta en las prácticas de investigación contenidas y orientadas a la generación de objetos híbridos o relacionales; a resolver problemas que se resisten a los esfuerzos de la partición disciplinar de la ciencia en fracciones naturales y sociales; como una forma de borrar la diferencia entre las formas conflictivas de conocimiento dentro de la ciencia, y como medios de despolitización de la ciencia y de la exclusión de las posibilidades adecuadas para el desarrollo, la supervivencia y la sostenibilidad de la humanidad.

Asimismo, la finalidad de los Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS es fomentar una solución integrada a los desafíos a los que se enfrenta la humanidad en el Nuevo Orden Mundial. Las Naciones Unidas reconocen la necesidad de seguir incorporando el desarrollo sostenible a todos los niveles, integrando los aspectos económicos, sociales y ambientales, y reconociendo sus interrelaciones, a fin de lograr el desarrollo humano sostenible en todas sus dimensiones. Del mismo modo, las evaluaciones a los programas y políticas sobre investigación en la Nueva Era, si bien reconocen los logros científicos alcanzados hasta ahora, concluyen que los desafíos que se avecinan requieren iniciativas nuevas e integradoras de mayor envergadura y sustentadas en investigación transdisciplinar.

Cada vez hay más pruebas que apoyan la conclusión de que el Planeta ha entrado en una Nueva Era, en la que los seres humanos dominan y controlan los procesos globales. Los datos muestran una mayor frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos y múltiples sistemas naturales que operan más allá de los límites planetarios, y los modelos de trayectoria indican que es probable que en las próximas décadas aumenten a un ritmo mayor. Se espera que la población humana mundial arribe prontamente a los 9.000

millones, mayoritariamente viviendo en centros urbanos e industrializados, por lo que el impacto humano sobre el Planeta parece destinado a aumentar. La conciencia de estas tendencias es suficientemente amplia y permite reconocer que las actividades humanas están afectando realmente la estructura y el funcionamiento del sistema Tierra en su conjunto.

El conocimiento que mejor se adapte a esta Era atraviesa las disciplinas científicas estándar y la división entre la ciencia y otras formas de conocimiento sistémico; incluso la imagen del siglo pasado en la que el desarrollo, la supervivencia y la sostenibilidad de la humanidad era algo sostenido en lo económico, lo social y lo medioambiental, no se ajusta a los retos integrados de la Nueva Era. Tanto las ciencias naturales como las sociales y humanas son piezas clave del rompecabezas en este siglo, porque mientras los sistemas sociales interactúan cada vez más con el medio ambiente mundial, es más probable que las ideas, extraídas únicamente de una u otra ciencia, sigan siendo imprácticas. En este escenario la ciencia transdisciplinar es crucial para obtener el conocimiento adecuado, porque los modelos de integración de los sistemas sociales y medioambientales son cada vez más necesarios para tener una visión más completa de los desafíos. Por lo tanto, la integración del conocimiento científico y social, especialmente relevante en los capítulos de este libro, se convierte en un soporte para los retos de la Nueva Era.

Una ciencia transdisciplinar global, como la que se pretende con este tipo de trabajos, implica formas de compromiso diferentes a las de los organismos científicos centrados en la gobernanza global, porque se requiere desarrollar confianza en las relaciones y una profunda dimensión reflexiva, que incluya un continuo debate normativo y deliberativo. Desde el punto de vista analítico el contenido de este libro parte de la base de que el impacto principal de la ciencia transdisciplinar global se producirá en la investigación y el gobierno globales, es decir, en las fuentes de autoridad global que ejercen el poder a través de las fronteras con el fin de impactar la vida en todo sentido. Por lo tanto, la atención de este texto no se centra en la construcción de la ciencia transdisciplinar, sino en su aplicación en beneficio de la humanidad.

Los autores, la editorial y el editor sostenemos que la respuesta política puede ser un factor clave que limite el impacto de la ciencia transdisciplinar global, por lo que es necesario distinguir entre las respuestas por escisión, la discursiva y la transformadora. La primera se da cuando el debate y las disputas se organizan en torno a bloques de actores estables, en cuyo contexto la integración de la ciencia se produce a través de negociación y patrones puntuales, porque los miembros conforman bloques en los que conservan en gran medida intereses e identidades personales y disciplinares persistentes. La respuesta discursiva implica la discusión de ideas, tanto normativas como de relaciones causa-efecto, mediante procesos de deliberación y de justificación, en un ambiente en el que los actores tienen intereses definidos, pero que, a través de estos procesos, aprenden sobre sus intereses creando oportunidades para otros compartidos. Por su parte, la respuesta transformadora se da en un proceso ambiguo en el que los actores desarrollan conocimiento compartido sobre sus intereses en el que, si bien la respuesta y el debate son activos, los actores cambian sus posiciones, modifican sus ideas y desarrollan conocimiento colectivo a lo largo del proceso.

El equilibrio entre estas distintas formas de respuesta determina cómo se desarrolla la ciencia transdisciplinar global. En todo caso, este libro es un aporte al desarrollo y aprovechamiento de la misma, porque los autores son conscientes de la necesidad de que la ciencia se trabaje de forma integradora y orientada a la resolución eficiente y efectiva de los problemas globales. En cada uno de los capítulos se refleja la intención de ayudar al Planeta, tanto desde lo práctico como desde lo teórico, pero con resultados replicables, porque se han conseguido mediante trabajo conjunto con todos los actores involucrados en cada problema analizado. Esperamos que el lector encuentre lo necesario para entender y continuar la idea de la ciencia transdisciplinar, porque esa es base para el desarrollo y la supervivencia de la humanidad.

# Método de Hückel extendido mediante polarización molecular, semejanza cuántica e índices de reactividad: Estudios topológicos usando la teoría de funcionales de la densidad

Alejandro Morales-Bayuelo<sup>1</sup>

*Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco*  
Colombia

En este trabajo se propone un método de Hückel extendido usando polarización molecular y semejanza cuántica en la teoría del funcional de la densidad DFT. El método se propone con el propósito de estudiar el furano, fosfociclopentadieno (P-ciclopentadieno) y el tiofeno con respecto al ciclopentadienilo. El estudio de la separación de cargas se lleva cabo considerando un conjunto de sistemas dienos particular, permitiendo expresar las polarizabilidades de estos sistemas como una función del ciclopentadienilo tomado como patrón, usando la semejanza cuántica local basada en la partición de Hirschfeld, y permitiendo calcular seis índices locales: solapamiento, solapamiento-Interacción, Coulomb, Coulomb-Interacción, solapamiento-distancia-euclidiana y Coulomb-distancia-euclidiana. El alineamiento molecular es crucial sobre la semejanza cuántica, por esta razón se utilizó el método de alineamiento Topo-Geometrical Superposition Algorithm TGSA), que permitió obtener resultados adecuados a los objetivos de la investigación. En este sentido, la metodología propuesta se puede utilizar para futuros estudios mejorando el uso del método de Hückel tradicional, a través de la introducción de nuevos parámetros para describir propiedades electrónicas como la polarización molecular. Finalmente, con el objetivo de investigar la estabilidad de la propuesta sobre el método de Hückel se utilizaron las reacciones de Diels-Alder. Las nuevas consideraciones obtenidas usando la semejanza molecular permitieron estudiar localmente descriptores de reactividad globales como potencial químico, dureza y electrofilidad. Estos estudios locales mostraron que los valores obtenidos para el potencial químico local, tienen la misma tendencia que los valores de la función de Fukui FF- en los derivados del furano analizados. En este sentido, esta tesis muestra nuevas perspectivas sobre la predicción de los productos de reacción, donde el método Hückel tradicional falla, específicamente postulando la Estereoquímica de la reacción como un proceso paso a paso, y no uno concertado como lo predice la teoría Hückel tradicional y justificando los detalles experimentales.

---

<sup>1</sup> Químico y Doctor en Físicoquímica Molecular.  
Contacto: [invest.industrial2@tecnologicocomfenalco.edu.co](mailto:invest.industrial2@tecnologicocomfenalco.edu.co)

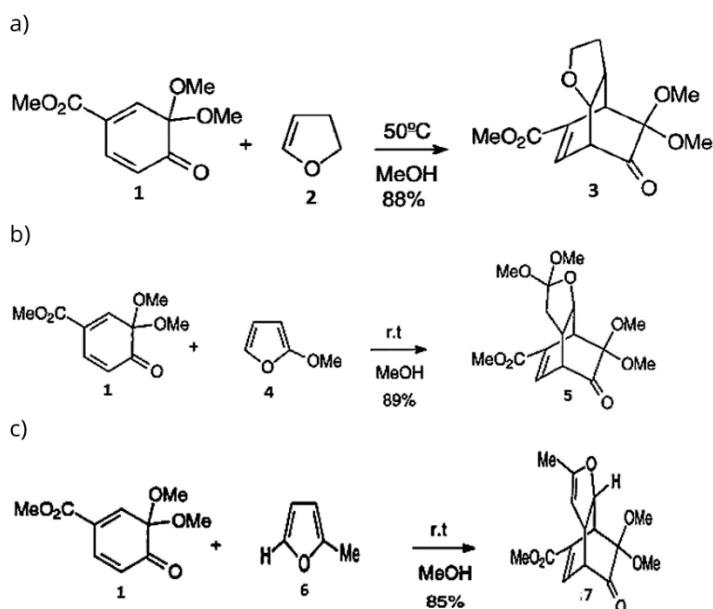
## 1. INTRODUCCIÓN

En esta investigación, y con el objetivo de proponer una extensión del método de Hückel, se explora la descripción de las interacciones atómicas a través de la polarización molecular y la semejanza cuántica. Finalmente, se aplica la metodología propuesta a las reacciones de Diels-Alder.

Las reacciones procíclicas representan una importante clase de procesos concertados (en una sola etapa) involucrando sistemas  $\pi$ -conjugados. El hecho de que las reacciones sean concertadas da un control estereoquímico y estereoselectivo sobre los productos de reacción y es una de las grandes ventajas de este tipo de reacciones dando lugar a relaciones sistemáticas como las reglas de Woodward-Hoffmann WH, que permiten predecir los productos de reacción, y constituye una de las grandes aplicaciones de la teoría de Hückel. Por esta razón hemos tomado como modelos las reacciones de Diels-Alder DA, para aplicar las nuevas relaciones de semejanza cuántica y polarización molecular obtenidas en el estudio de los sistemas heterociclos usando uno de ellos (furano) para testear el método de Hückel propuesto en reacciones involucrando interacciones nucleófilo-electrófilo con sus consecuentes predicciones sobre el producto de reacción y luego estos resultados son comparados con la teoría Hückel tradicional.

Con el objetivo de comparar las predicciones de la metodología propuesta usando el método de Hückel con la teoría clásica de la reactividad química, se utilizan descriptores de reactividad como potencial químico  $\mu$ , dureza  $\eta$  y electrofilidad  $\omega$ .

Esos descriptores han sido utilizados con los objetivos de estudiar las predicciones del método de Hückel propuesto y la teoría convencional del DFT sobre la selectividad en el mecanismo de reacción para este tipo de cicloadiciones [1]. Una detallada discusión sobre la base matemática de esos descriptores puede ser encontrada en la referencia [2]. Finalmente, los descriptores locales que se utilizan y que nos permiten testear nuestras predicciones son las funciones de Fukui FF tradicionales [3]. Los sistemas escogidos para estudio se muestran en la Figura 1.



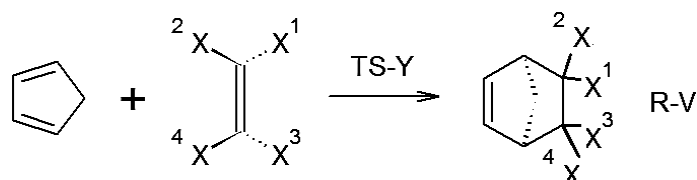
**Figura 1.** Cicloadiciones de Diels-Alder estudiadas involucrando derivados del furano (Compuestos 2, 4, 6) y  $\alpha$ -Benzoquinona enmascarada (Compuesto MOB 1) las cuales son usados para proponer descriptores topológicos de reactividad en el contexto DFT usando MQS.

A pesar de que los índices de semejanza permiten cuantificar las similitudes entre dos densidades electrónicas [4]. Este concepto no es una noción universal y abarca muchos campos de la química. La idea de la semejanza puede ser naturalmente extendida a otros campos de interés científico, donde la comparación de una propiedad molecular es común y puede llegar a ser una manera de describir sistemáticamente propiedades electrónicas dentro de un conjunto molecular como se espera en este estudio. Tomando en cuenta las consideraciones de la relación que existe entre la semejanza cuántica y la

reactividad química estudiadas en las secciones anteriores, como ultima aplicación se extrapolara esas consideraciones utilizando otra propiedad electrónica involucrada en las interacciones de nucleófilos-electrófilos como los es el carácter polar en términos de la transferencia de carga en reacciones de tipo DA.

Análisis basado en la simetría orbital (reglas WH), regioselectividad y estereoquímica sobre estas reacciones, muestran que muchas características son moduladas esencialmente por los procesos de transferencia de carga entre el dieno y el dienofilo. En este sentido, la transferencia de carga surge como el factor clave y la propiedad electronica en común que puede racionalizar el mecanismo asociado a los estados de transición (TS) [5]. Teniendo en cuenta, que las reacciones de DA son clasificadas dentro de los siguientes tipos: 1) las reacciones DA no polares que se caracterizan por tener baja transferencia de carga, 2) las reacciones de DA polares las cuales se caracterizan por tener alta transferencia de carga, y 3) las reacciones de DA iónicas, que se caracterizan porque la separación de carga se mantiene a lo largo del mecanismo inclusive en el producto final [6].

En el Figura 2 se observan la serie de reacciones de DA que se van analizar en esta sección y corresponde a un conjunto de reacciones entre ciclopentadieno y cianoetilenos sustituidos.



**Figura 2.** Reacciones R entre el ciclopentadieno Cp y derivados del etileno Et-nCN, con n=0, 1, 2, 2-cis, 2-trans, 3, 4 y sus respectivos cicloaductos C.

En la Tabla 1 se muestran las constantes de velocidad para la serie de DA analizadas en esta sección.

**Tabla 1.** Constantes de velocidad K con un factor de  $10^5k$  [ $M^{-1}S^{-1}$ ] y energías de activación en (kcal/mol) para las reacciones de DA del ciclopentadieno Cp con derivados ciano-sustituidos a 20 °C [7, 8]

| Reacciones (R- V) | X <sup>1</sup> | X <sup>2</sup> | X <sup>3</sup> | X <sup>4</sup> | Dien.           | TS-Y    | K ( $10^5k$ [ $M^{-1}S^{-1}$ ]) <sup>a</sup> |
|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|---------|--|
| R-1               | H              | H              | H              | H              | Et <sup>b</sup> | TS-Et   | $\sim 10^{-5}$                               |
| R-2               | H              | CN             | H              | H              | 1CN             | TS-1CN  | 1,04   |
| R-3               | CN             | H              | H              | CN             | 2tCN            | TS-2tCN | 81   |
| R-4               | H              | CN             | H              | CN             | 2cCN            | TS-2cCN | 91   |
| R-5               | CN             | CN             | H              | H              | 2CN             | TS-2CN  | $4,8 \times 10^4$                            |
| R-6               | CN             | CN             | H              | CN             | 3CN             | TS-3CN  | $4,8 \times 10^5$                            |
| R-7               | CN             | CN             | CN             | CN             | 4CN             | TS-4CN  | $4,3 \times 10^7$                            |

<sup>a</sup> Constantes de Velocidad K.

<sup>b</sup> Reacción de referencia.

Las reacciones de la Tabla 1 han servido como dramáticos ejemplos de efectos electrónicos puros que no son complicados por efectos estéricos considerables. Al observar esos valores se evidencian grandes fluctuaciones, por ejemplo, la reacción involucrando (Cp + 2CN) esta reacción es estimada en el orden de  $10^4$ , mientras que para la reacción 2cCN decae dramáticamente a 91. Otro ejemplo, más drástico de estas fluctuaciones puede ser visto en la reacción (Cp + 4CN) esta reacción es estimada en el orden de  $10^7$ , mientras que para la reacción de referencia (Cp + Et) es estimada en el orden de  $10^{-5}$ . Con el objetivo de determinar una posible racionalización electronica de esas largas fluctuaciones en esta sección se usan consideraciones directas de la densidad electronica en términos de la relación entre MQS y descriptores de reactividad química.

Por lo tanto, en esta sección usamos al igual que en las secciones anteriores la MQS para postular una explicación de propiedades electrónicas comunes a una serie de reacciones de DA como lo es la transferencia de carga y su relación con el carácter polar. En este sentido, esperamos extrapolar las relaciones de semejanza con la reactividad química, explicando nuevos parámetros de reacción como es el carácter polar y presentando nuevas consideraciones sobre la naturaleza electronica en este tipo de reacciones.



## 2. MÉTODO

De los métodos de química cuántica aplicada al estudio de los sistemas insaturados orgánicos, el método de Hückel es el más popular. El éxito de este método es debido a su simplicidad, que permite hacer cálculos inclusive a mano cuando el número de átomos es pequeño y es el método más simple de la teoría de orbitales moleculares para sistemas planos insaturados, adicionalmente está basado en la separación  $\sigma$ - $\pi$ .

Este método fue propuesto por Erich Hückel en 1930 y es una combinación de orbitales atómicos para producir orbitales moleculares (método LCAO MO) y es usado para la determinación de las energías de los orbitales moleculares de electrones- $\pi$  en sistemas de hidrocarburos conjugados, tales como etileno, butadieno, benceno y ciclopentadieno entre otros [9], también fue usado en sus inicios para testear las reglas de Woodward-Hoffmann (WH) [10]. Inicialmente, este fue usado para sistemas con solo átomos de carbono; sin embargo, luego se amplió su uso para sistemas con presencia de heteroátomos tales como furano, tiofeno [11] con algunas limitaciones sobre la descripción de la correlación electrónica y la geometría estructural.

El método de Hückel puede ser usado para la determinación de los orbitales moleculares, pero sus predicciones no son muy exitosas en la determinación de la geometría estructural en una determinada molécula orgánica, debido a que las repulsiones electrón-electrón no son explícitamente incluidas y la energía total es justamente la suma de los términos de cada electrón en la molécula, también da resultados pobres para moléculas que contienen átomos de muy diferente electronegatividad. Por esta razón, en esta tesis se presentan nuevos esquemas matemáticos sobre el método de Hückel utilizando polarización molecular y semejanza cuántica soportada en la DFT, con la intención de encontrar nuevos parámetros para mejorar el uso del método de Hückel en la tradicional fisicoquímica orgánica.

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Considerando la hipótesis guiadora y los objetivos una posible extensión del método de Hückel se presenta usando polarización molecular y semejanza cuántica sobre una serie de heterociclos. Finalmente, con el objetivo a evaluar y extrapolar los nuevos parámetros introducidos en el método de Hückel tradicional se desarrollará estudios topológicos usando las reacciones de Diels-Alder.

Con la intención de describir la semejanza electrónica de los sistemas heterociclos se propone una metodología para estudiar las interacciones electrónicas por la presencia de los heteroátomos, esta metodología inicialmente se aplica al furano y luego se extrapolará a los demás heterociclos estudiados que son el P-ciclopentadieno y el tiofeno, respectivamente.

La metodología que se propone utiliza la introducción de los índices de semejanza locales medidos en el átomo de oxígeno del furano con respecto a uno de los átomos de carbono del ciclopentadienilo. Específicamente estos índices de semejanza locales son introducidos en el determinante secular del método de Hückel tradicional, teniendo en cuenta el conjunto de orbitales moleculares mostrados en la Figura 3.

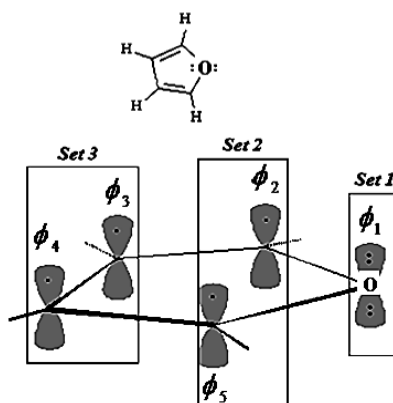


Figura 3. Conjunto de orbitales moleculares utilizados para construir el determinante secular del furano

En estas relaciones podemos presenciar en el  $H_{11}$  la expresión  $I^S$ , que representa el índice de semejanza local usado para cuantificar la similitud cuántica del átomo de oxígeno con respecto a uno de los átomos de carbono del ciclopentadienilo y que es la molécula de referencia.

Desarrollando este determinante secular encontramos un primer determinante de dos componentes  $\begin{vmatrix} (\alpha - E)I^S & \beta \\ \beta & \alpha - \beta - E \end{vmatrix}$ , cuyas soluciones representan los niveles de energía asociados con la dimensión  $A_2(E_1 = (\alpha - 1.618\beta)I^S, E_2 = (\alpha + 0.618\beta)I^S)$ . Para el último, como determinante de tres componentes tenemos la ecuación (1).

$$\begin{vmatrix} (\alpha - E)I^S & \sqrt{2}\beta & 0 \\ \sqrt{2}\beta & \alpha - E & \beta \\ 0 & \beta & \alpha + \beta - E \end{vmatrix} = 0 \quad (1)$$

Desarrollando este último determinante obtenemos los restantes niveles de energía usando los descriptores de semejanza cuántica mostrados en la Tabla 2. El primer descriptor de semejanza local usado es el de solapamiento (overlap O) que cuantifica la semejanza estructural entre el átomo de oxígeno en el caso del furano y uno de los átomos de carbono del ciclopentadienilo, el segundo descriptor usado es el de coulomb C que cuantifica la semejanza electrónica, con sus respectivas distancias euclidianas D. En la Tabla 2 se puede ver los resultados de los índices propuestos.

**Tabla 2.** Índices de semejanza locales usados del ciclopentadienilo con respecto a los demás heterociclos, usando el método numérico y el analítico respectivamente

| Ciclopentadienilo | $Z_{CP}(O)^a$ | $Z_{CP}(C)^b$ | $LSI(O)^c$ | $LSI(C)^d$ | $D_{CA}(O)^e$ | $D_{CA}(C)^f$ |
|-------------------|---------------|---------------|------------|------------|---------------|---------------|
| Furano            | 3,441         | 211,863       | 0,912      | 0,991      | 0,871         | 2,009         |
| P-ciclopentadieno | 2,860         | 188,767       | 0,964      | 0,976      | 0,461         | 1,426         |
| Tiofeno           | 2,994         | 196,350       | 0,972      | 0,997      | 0,410         | 0,966         |

<sup>a</sup> Interacción de Solapamiento (método numérico)

<sup>b</sup> Interacción de Coulomb (método numérico)

<sup>c</sup> Índice de semejanza local de Solapamiento

<sup>d</sup> Índice de semejanza local de Coulomb

<sup>e</sup> Distancia Euclidiana de Solapamiento

<sup>f</sup> Distancia Euclidiana de Coulomb

En la Tabla 2 se puede ver la semejanza cuántica del furano y demás heterociclos estudiados con respecto al ciclopentadienilo, para el furano encontramos un índice de solapamiento de 0,912, un índice de coulomb de 0,991 y sus respectivas distancias euclidianas de 0,871 y 2,009, mientras que para el P-ciclopentadieno se encontró una semejanza cuántica moderada de solapamiento con 0,964 y de coulomb de 0,976. Finalmente, en la comparación del tiofeno con ciclopentadienilo se muestra un índice de solapamiento de 0,972 y de coulomb con 0,997. Teniendo en cuenta que el índice de Carbó esta naturalmente limitado a un rango de 0 a 1, donde cero significa semejanza nula y 1 la auto-semejanza, de acuerdo con la integral de Schwartz [1, 2]

Teniendo en cuenta los valores de semejanza cuántica para el furano que es el compuesto representativo de los heterociclos, son mostrados los restantes 3 niveles energéticos para esta molécula en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Valores de energía para el furano como una función de los niveles energéticos del ciclopentadienilo, teniendo en cuenta la Tabla 2

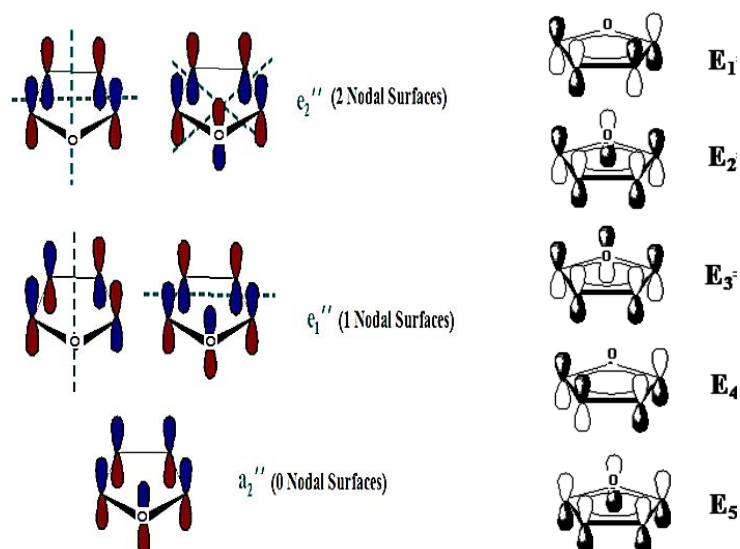
| Índice        | $E_3$                          | $E_4$                         | $E_5$                          |
|---------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| $LSI(O)^a$    | $0,944\alpha + 1,728\beta$     | $0,984\alpha + 0,120\beta$    | $0,994\alpha + 3,8186\beta$    |
| $LSI(C)^b$    | $0,976\alpha + 1,982\beta$     | $0,986\alpha + 0,139\beta$    | $0,987\alpha + 3,899\beta$     |
| $D_{CA}(O)^c$ | $0,463\alpha + 0,912\beta$     | $0,569\alpha + 0,790\beta$    | $0,471\alpha + 1,851\beta$     |
| $D_{CA}(C)^d$ | $1,427\alpha + 2,852\beta$     | $1,586\alpha + 0,381\beta$    | $1,437\alpha + 5,641\beta$     |
| $i-(O)^e$     | $2,866\alpha + 5,980\beta$     | $2,9980\alpha + 0,469\beta$   | $2,8919\alpha + 0,578\beta$    |
| $i-(C)^f$     | $198,797\alpha + 377,581\beta$ | $189,787\alpha + 36,895\beta$ | $189,767\alpha + 725,889\beta$ |

<sup>a</sup> Índice de semejanza local de solapamiento

<sup>b</sup> Índice de semejanza local de coulomb

- <sup>c</sup> Distancia euclidiana de Solapamiento  
<sup>d</sup> Distancia euclidiana de Coulomb  
<sup>e</sup> Solapamiento-Interacción  
<sup>f</sup> Coulomb-Interacción

Los resultados de la Tabla 3 muestra que la semejanza cuántica es una alternativa para obtener valores de energía no degenerados donde el tradicional método de Hückel da valores degenerados, además muestra una forma de analizar las interacciones electrónicas entre átomos con diferencias de electronegatividad. En la Figura 4 se muestra la comparación de los niveles de energía predichos para el furano usando la teoría de Hückel tradicional versus la propuesta en esta tesis.



**Figura 4.** a) Degeneración orbital del método de Hückel tradicional para el furano. b) rompimiento de la degeneración orbital usando la semejanza cuántica de coulomb mostrada en la Tabla 2.

Una de las grandes ventajas de obtener valores de energía no degenerados en el método de Hückel, es que podemos realizar estudios de interacciones atómicas y relacionar propiedades electrónicas como la polarización molecular a lo largo de la serie estudiada usando semejanza cuántica local (Tabla 2) para el ciclopentadienilo obtenemos las polarizaciones moleculares de los heterociclos estudiados y que se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Descriptores de polarización molecular para los heterociclos estudiados representados como  $P_B$ , en función de la polarización molecular del ciclopentadienilo representados como  $P_A$

| Polarizabilidad molecular para los heterociclos $P_B$ |                  |                  |                  |                      |
|---|------------------|------------------|------------------|----------------------|
| P-ciclopentadieno                                     | $0,964P_{nA}^a$  | $0,996P_{nA}^b$  | $0,461P_{nA}^c$  | $1,426P_{nA}^d$      |
| Tiofeno   | $0,972 P_{kA}^d$ | $0,997 P_{kA}^e$ | $0,410 P_{kA}^f$ | $0,966 P_{kA}^{d,e}$ |
| Furano  | $0,912 P_{kA}$   | $0,991 P_{kA}$   | $0,871 P_{kA}$   | $2,009 P_{kA}^f$     |

<sup>a</sup> Semejanza local de solapamiento

<sup>b</sup> Semejanza local de Coulomb

<sup>c</sup> Distancia euclidiana de Solapamiento

<sup>d</sup> Distancia euclidiana de Coulomb

En la ecuación (2) se muestra las relaciones de polarizabilidad reportadas en la Tabla 4, que permiten relacionar la polarizabilidad molecular a través de la serie de heterociclos estudiada con respecto al ciclopentadienilo.

$$P_{1B} = (P_{1A})[SI] = (Sp\hat{\rho}_k D)[R_{XC}^{local}] = (Sp\hat{\rho}_k D) \left[ \frac{\int^{\int} X_C \left( \frac{\rho_X^0(r)}{\sum_Y \rho_{Y,X}^0} \right) \left( \frac{\rho_C^0(r)}{\sum_Y \rho_{Y,C}^0(r)} \right)}{\left[ \int^{\int} X_X \left( \frac{\rho_X^0(r)}{\sum_Y \rho_{Y,X}^0} \right) \right]^{1/2} \left[ \int^{\int} \left( \frac{\rho_C^0(r)}{\sum_Y \rho_{Y,C}^0(r)} \right)^2 \rho_C(r) \rho_C(r) dr \right]^{1/2}} \right] \quad (2)$$

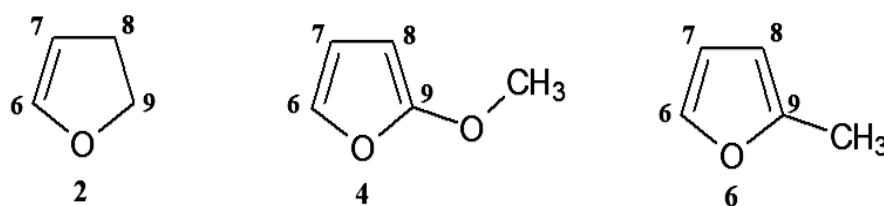
En la ecuación (2) la expresión entre paréntesis corresponde a la ecuación (7) de la polarización molecular y la expresión entre corchetes corresponde al índice de semejanza local que permite relacionar la polarización molecular a lo largo de la serie de los heterociclos estudiados. Tradicionalmente, el método de Hückel tiene buenas aplicaciones en las reacciones pericíclicas, de hecho, en sus inicios fue usado para testear las reglas de Woodward-Hoffmann, por lo tanto, en esta tesis utilizaremos uno de los heterociclos estudiados, específicamente el furano con el objetivo de analizar sus interacciones atómicas y de polarización molecular en reacciones de Diels-Alder involucrando nucleófilos y electrófilos.

En este sentido, extrapolar las consideraciones de semejanza molecular, ahora en una serie de reacciones moleculares como lo son las o-benzoquinonas enmascaradas con derivados del furano mostrada en el Figura 1, además, estas reacciones involucran interacciones dipolarofílicas las cuales puede mostrar información sobre el espacio topológico molecular y la separación de carga relativa sobre la densidad electrónica.

### 3.1 Método de Hückel en el análisis topológico usando semejanza cuántica y descriptores de reactividad

Comúnmente, el método de Hückel es relacionado con el análisis topológico y es una importante herramienta usualmente utilizada para re testear la teoría de orbitales moleculares. Por esta razón, en esta tesis se continua con el análisis topológico iniciado en la sección anterior, pero ahora en reacciones gobernada por las reglas de Woodward-Hoffmann. En esta sección, los átomos rotulados para el alineamiento molecular son mostrados en la Figura 5.

\*\*\*\*\*

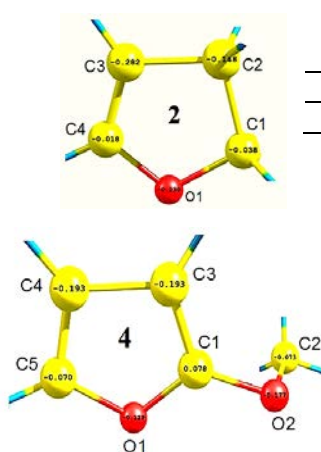


**Figura 5.** Dihidro-furano 2, metoxi-furano 4 y metil-furano 6, el compuesto 2 es usado como plantilla en el alineamiento molecular usando el "Topo-Geometrical Superposition Approach (TGSA)".

Para llevar a cabo el análisis topológico también se utiliza la semejanza cuántica local al igual que en los heterociclos, y se expresara en términos de semejanza local atómica (MQSLA) mediante la multiplicación de los índices de semejanza molecular por el valor absoluto de las cargas atómicas mostradas en la Figura 5, a través de la ecuación (3).

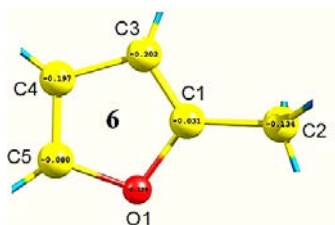
$$R_{c^2c^n}^{local-Atomic} = MQSLA|C. Atomic| \quad (3)$$

La ecuación (3) permite obtener las semejanzas atómicas entre los compuestos 4, 6 con respecto al no sustituido dihidrofurano 2. En esta ecuación,  $C^2$  representa los átomos de carbono del compuesto de referencia 2 y  $n = 6, 7, 8, 9$ , representa las posiciones locales de los átomos de carbono de los compuestos 4 y 6 (Figura 6).



| Compuesto | Oxígeno 1 | Carbono 1 | Carbono 2 | Carbono 3 | Carbono 4 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 2         | -0,230    | -0,038    | -0,148    | -0,282    | -0,018    |

| Compuesto | O 1    | O2     | C1    | C2     | C3     | C4     | C5     |
|-----------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|
| 4         | -0,129 | -0,177 | 0,078 | -0,073 | -0,193 | -0,193 | -0,070 |



| Compuesto | O1     | C1     | C2     | C3     | C4     | C5     |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 6         | -0,129 | -0,031 | -0,134 | -0,202 | -0,197 | -0,080 |

**Figura 6.** Cargas atómicas para los compuestos 2, 4 y 6 de la Figura 1

En la Tabla 5 se muestran los valores de los índices de semejanza que se utilizarán junto con las cargas atómicas de la Figura 5, para calcular la semejanza atómica mediante la ecuación 6.

**Tabla 5.** Índices de semejanza usando los métodos numérico y analítico para el compuesto 2 con respecto al 4 y 6

| Molécula (2) <sup>a</sup> | $Z(O)$ <sup>b</sup> | $Z(C)$ <sup>c</sup> | $SI(O)$ <sup>d</sup> | $SI(C)$ <sup>e</sup> | $D(O)$ <sup>f</sup> | $D(C)$ <sup>g</sup> |
|---------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| 4                         | 4,439               | 265,142             | 0,783                | 0,897                | 1,648               | 7,488               |
| 6                         | 5,449               | 339,606             | 0,897                | 0,979                | 1,007               | 3,749               |

<sup>a</sup> Figura 1

<sup>b</sup> Interacción de solapamiento

<sup>c</sup> Interacción de Coulomb

<sup>d</sup> Índice de semejanza de Solapamiento

<sup>e</sup> Índice de semejanza de Coulomb

<sup>f</sup> Distancia euclidiana de Solapamiento

<sup>g</sup> Distancia euclidiana de Coulomb

De la Tabla 5 podemos visualizar que el compuesto 2 tiene más semejanza con la molécula 6, cuantificada con un índice de solapamiento de 0,897 y de Coulomb 0,979, por otra parte, analizando los valores de los índices de coulomb, podemos decir que es el mejor descriptor de semejanza cuántica para estos sistemas, todos estos cálculos pueden ser visto en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Cálculo de la semejanza cuántica atómica usando la ecuación 48

| Compuesto 2 <sup>a</sup> vs Compuesto 4 | $Z(O)$ <sup>b</sup> | $Z(C)$ <sup>c</sup> | $SI(O)$ <sup>d</sup> | $SI(C)$ <sup>e</sup> | $D_{CP}(O)$ <sup>f</sup> | $D_{CP}(C)$ <sup>g</sup> |
|---|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------|
| $R_{c^2c^6}^{local}$                    | 0,169               | 10,075              | 0,029                | 0,034                | 0,063                    | 0,285                    |
| $R_{c^2c^8}^{local}$                    | 0,657               | 39,241              | 0,116                | 0,133                | 0,244                    | 1,108                    |
| $R_{c^2c^7}^{local}$                    | 1,252               | 74,770              | 0,221                | 0,252                | 0,465                    | 2,111                    |
| $R_{c^2c^6}^{local}$                    | 0,080               | 4,772               | 0,014                | 0,016                | 0,029                    | 0,134                    |
| Compuesto 2 <sup>a</sup> vs Compuesto 6 |                     |                     |                      |                      |                          |                          |
| $R_{c^2c^9}^{local}$                    | 0,207               | 12,905              | 0,034                | 0,037                | 0,038                    | 0,142                    |
| $R_{c^2c^8}^{local}$                    | 0,806               | 50,262              | 0,133                | 0,145                | 0,149                    | 0,555                    |
| $R_{c^2c^7}^{local}$                    | 1,537               | 95,769              | 0,253                | 0,276                | 0,284                    | 1,057                    |
| $R_{c^2c^6}^{local}$                    | 0,098               | 6,112               | 0,016                | 0,018                | 0,018                    | 0,067                    |

<sup>a</sup> Figura 1

<sup>b</sup> Interacción de Solapamiento

<sup>c</sup> Interacción de Coulomb

<sup>d</sup> Semejanza cuántica de Solapamiento

<sup>e</sup> Semejanza cuántica de Coulomb

<sup>f</sup> Distancia euclidiana de Solapamiento

<sup>g</sup> Distancia euclidiana de Coulomb

Adicionalmente, a los cálculos de las semejanzas atómicas, en esta tesis se realiza un análisis topológico basado en la multiplicación de los índices de reactividad globales tales como electrofilidad, potencial químico y dureza con los índices de semejanzas mostrados en la Tabla 6, tomando en cuenta el compuesto de referencia 2 con respecto a los demás dipolarofilos 4 y 6 mediante las siguientes ecuaciones (4) a (6).

$$\omega_{2k} \approx \omega R_{c^2c^n}^{local} \approx \left(\frac{\mu^2}{2\eta}\right) R_{c^2c^n}^{local-Atomic} \quad (4)$$

$$\mu_{2k} \approx \mu R_{c^2c^n}^{local} \approx (\varepsilon_H + \varepsilon_L) R_{c^2c^n}^{local-Atomic} \quad (5)$$

$$\eta_{2k} \approx \eta R_{c^2c^n}^{local} \approx (\varepsilon_L - \varepsilon_H) R_{c^2c^n}^{local-Atomic} \quad (6)$$

Donde:  $2k$  = (Compuesto 2 de referencia) ( $k$ =Compuesto 4 y 6), ( $c^2$ ) son los átomos de carbono del compuesto 2 y  $n= 6, 7, 8$  y  $9$  son el rotulo de los átomos de carbono en los compuestos 4 y 6 de la Figura 4, en este sentido las contribuciones locales de los respectivos índices globales las podemos sumar y expresar un total de cada una de ella mediante la ecuación (7).

$$U_{2kj} \cdot \sum_{n=6}^9 R_{c^2c^n}^{local-Atomic} \quad (7)$$

Donde  $U$ :  $\mu, \eta, \omega, 2k$ : (compuesto 2) (compuestos 4 y 6), y  $j$ : (O: índice de Solapamiento y C: Coulomb, respectivamente), en este sentido esos descriptores proveen información sobre el conjunto de átomos C6, C7, C8, C9, y son usados para el análisis topológico presentado.

#### 4. CONCLUSIONES

Para extrapolar las relaciones de semejanza y reactividad obtenidas en las secciones anteriores, hemos analizado otra propiedad electrónica común a una serie de reacciones entre ciclopentadieno y ciano-etilenos sustituidos.

El estudio de la trasferencia de carga se realizó sobre los estados de transición usando dos métodos de alineamiento el TGSA-Rígido y el TGSA-Flexible. Este último método permitió describir los efectos de flexibilidad estructural y electronica sobre los estados de transición obteniendo una correlación electronica ( $R^2=0.7127$ ) entre el índice de Carbó usando el operador de Coulomb y la transferencia de carga. Este índice de Carbó electrónico también tuvo una correlación ( $R^2=0.833$ ) con las velocidades de reacción experimental.

Estos resultados mostraron que la reorganización electrónica asociada a este tipo de reacciones también puede ser entendida como un mecanismo electrónico donde la polarización molecular y la consecuente trasferencia de carga determinan el carácter polar de las reacciones, siendo consistente con los resultados experimentales.

#### REFERENCIAS

- [1] Mandado M. et al. (2006). Hartree–fock energy partitioning in terms of hirshfeld atoms. *Journal Physic Chemistry* 7, 1294.
- [2] Vivas R. et al. (2002). A DFT and HF quantum chemical study of the tin nanocluster  $[(RSn)_{12}O_{14}(OH)_6]^{2+}$  and its interactions with anions and neutral nucleophiles: confrontation with experimental data. *New Journal Chemistry* 9, 1108.
- [3] De Proft F. et. al. (2003). Density functional study of the complexation reaction of  $Sn(CH_3)_3X$  ( $X = F, Cl, Br$  and  $I$ ) with Halide Anions. *European Journal Inorganic Chemistry* 20, 3803.
- [4] Vivas R. et. al. (2003). Evaluación teórica de las propiedades electrónicas y estructurales que afectan a la conductividad eléctrica en copolímeros de furano-tiofeno. *European Journal Inorganic Chemistry* 7, 1315.
- [5] Levine I. (1991). *Quantum Chemistry*. Prentice Hall.
- [6] Parr R. (1950). Pariser—Parr Calculations and Electro-Optical Effects in Benzene. *Journal Chemical Physic* 18, 1561.
- [7] Parr R. (1990). On the genesis of a theory. *International Journal Quantum Chemistry* 37, 327.
- [8] Woodward R. y Hoffmann R. (1965). Stereochemistry of electrocyclic reactions. *J. Am. Chem. Soc.* 87, 395.
- [9] Bahnick D. (1994). A simple Hückel molecular orbital plotter. *Journal Chemical Education* 71, 171.
- [10] Krishtal A. et al. (2006). Origin of the size-dependence of the polarizability per atom in heterogeneous clusters. *Journal Chemical Physic* 125, 034312.
- [11] Krishtal A. et al. (2010). Origin of the size-dependence of the polarizability per atom in heterogeneous clusters: The case of AlP clusters. *Journal Chemical Physic* 133, 154310.

# Método de valoración contingente para la evaluación del mejoramiento de la calidad del agua subterránea

Rossember Saldaña-Escorcía<sup>1</sup>

Dina Luz Jiménez-Lobo<sup>2</sup>

Juan Andrés Guerrero-Durán<sup>3</sup>

*Universidad Popular del Cesar, seccional Aguachica*  
Colombia

La valoración económica se ha empleado como herramienta para estimar valores monetarios a los servicios provistos por los ecosistemas a nivel mundial, que son beneficios para los seres humanos. Además, se ha empleado como apoyo en la toma de decisiones en diferentes sectores, con el fin de establecer o evaluar los impactos negativos o positivos de los proyectos desde una perspectiva económica. El objetivo de este trabajo es estimar la disposición a pagar DAP, que los habitantes de Aguachica, Colombia, disponen por el mejoramiento en la calidad de las aguas subterráneas, a través del método de valoración contingente. La información fue recolectada a través de una encuesta aplicada a los habitantes del área urbana del municipio. Se estimó una DAP media de 2504 pesos mes/familia, y estuvo influida por variables socioeconómicas como los ingresos, edad, educación y sexo. Asimismo, mediante el análisis de correlación de Pearson, se determinó una relación directa y positiva entre la DAP, la educación y los ingresos. Los resultados muestran que los consumidores tienen una baja valoración económica de los servicios ambientales, incluso cuando se proyecta la oportunidad de mejora.

---

<sup>1</sup> Ingeniero Ambiental y Sanitario.

Contacto: [rsaldanae@unicesar.edu.co](mailto:rsaldanae@unicesar.edu.co)

<sup>2</sup> Economista, Especialista en Pedagogía Ambiental y Magíster en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente.

Contacto: [dljimenez@unicesar.edu.co](mailto:djimenez@unicesar.edu.co)

<sup>3</sup> Economista y Especialista en Estadística Aplicada.

Contacto: [juanaguerrero@unicesar.edu.co](mailto:juanaguerrero@unicesar.edu.co)

## 1. INTRODUCCIÓN

La relevancia y dependencia de las aguas subterráneas radica en la demanda mundial de agua potable y a la disminución de los recursos hídricos superficiales principalmente en las épocas de sequía, siendo un recurso confiable debido a la leve contaminación y a grandes almacenamientos [1, 2]. Por esta razón, las aguas subterráneas han venido enfrentando problemas críticos a nivel mundial, ya que la sobreexplotación ha impulsado un proceso de agotamiento amenazando el bienestar humano, el medio ambiente, la seguridad alimentaria, la economía y el desarrollo sostenible [3, 4].

La valoración económica de los recursos es un intento de asignar un valor cuantitativo a los bienes, servicios y atributos proporcionados por los recursos naturales, independientemente de si tienen o no un mercado [5].

Además, es una herramienta que se puede utilizar para medir y expresar unidad común, ganancias y pérdidas económicas para la sociedad así como para proteger, restaurar, y conservar; o por el contrario los costos de deteriorar o destruir los recursos naturales [6]. Asimismo, proporciona información para evaluar los beneficios, mejoras y protección del medio ambiente, así como puede cuantificar los costos de la reducción, restauración o compensación [7].

En el campo de la asignación del valor económico al recurso hídrico existen investigaciones que se relacionan directa e indirectamente, tal es el caso de Monroy y colaboradores [8], en el cual emplearon un cuestionario con tres apartados con el fin de extraer información acerca de las preferencias, consumo y calidad del agua, así como características socioeconómicas requeridas. Con dicha información se ejecutaron dos modelos (logarítmico y el lineal) relacionando las variables significativas; dando así una DAP por la recarga de agua de U\$5,40 por mes y de U\$116,64 anual [8].

Para el año 2015, autores como Rupérez [9] y colaboradores aplicaron el método de valoración contingente para conocer la disponibilidad a pagar sobre la gestión de un acuífero, por lo que se utilizó la encuesta con preguntas dicotómicas y abiertas. El cuestionario estaba dividido en cinco partes; las cuales están relacionadas con el conocimiento del escenario estudiado, preferencias para el mejoramiento, así como cuestiones socioeconómicas y psicográficas. Los resultados obtenidos en las encuestas se emplearon para la construcción de dos modelos (el modelo de regresión logística binaria *Logit* y el modelo de regresión *Tobit*) que explicaran la DAP, no obstante, se abordaron las variables más significativas como nivel educativo e ingresos. Como resultado, la disponibilidad a pagar por el mejoramiento en la calidad ecológica del acuífero fue de 147,470 euros anuales [9].

Por su parte, Burnett y colaboradores [10] determinaron el valor económico que tiene el agua subterránea en la ciudad de Obama, Japón mediante una encuesta en línea la cual incluyó 23 preguntas centradas en ocho categorías; entre ellas, opiniones, conocimiento y preferencias relacionadas con el agua subterránea; dicha encuesta fue realizada a grupos etarios (20-39, 40-59 y 60+ años) recopilando en total 184 respuestas. Con los resultados, ejecutaron un modelo *logit* condicional obteniendo una valoración positiva que, en términos económicos, la población encuestada está dispuesta a pagar en promedio JPY 177 y JPY 388 por mes. Sin embargo, al calcular la disposición marginal a pagar para mantener las funciones del agua potable y las aguas subterráneas el promedio obtenido fue de JPY 565 por mes. Los resultados sugieren que cierta parte de la población no es consciente de la importancia que tiene el recurso hídrico subterráneo en cuanto al suministro de agua potable [10].

Además, Chatterjee y colaboradores [12] establecieron la disponibilidad a pagar por agua potable a través de una encuesta vía telefónica, conformada por preguntas cerradas debido a que poseen una mayor compatibilidad con los incentivos y enfoques para simular la DAP [11]. De igual manera, estaba dividida en seis secciones relacionadas con el consumo y calidad de agua, salubridad, comportamiento y detalles socioeconómicos. Una vez obtenido los resultados emplearon un modelo *logit* teniendo en cuenta variables como edad, género, educación, ingresos, entre otras. El promedio obtenido de la DAP fue de U\$6,22; que es agregado a la factura del servicio. La DAP estuvo influenciada por la confianza a los entes gubernamentales y condiciones socioeconómicas; donde la educación fue más significativa [12].



Todas las investigaciones mencionadas anteriormente tienen un común denominador además del método utilizado en la valoración económica, y es el análisis de la calidad del agua en torno a la DAP al igual que la educación como variable explicativa de esa disponibilidad. Por lo que, la escasez del recurso hídrico y la demanda del mismo se condicionan de tal manera que, en la actualidad las valoraciones económicas del agua deben enfocarse en aspectos sociales para explicar la percepción de los consumidores desde la teoría del subjetivismo económico desarrollado por la escuela Neoclásica a finales del siglo XIX y principios del siglo XX, el cual depende de factores sociales como la educación, un condicionante de las preferencias de los individuos, que proporciona saberes y patrones de conductas que determinan el quehacer de un consumidor y el ingreso, un factor económico que condiciona el consumo a partir de una restricción presupuestaria que facilita la adquisición de bienes y servicios.

Por consiguiente, las ciencias económicas han desarrollado metodologías cuantitativas con enfoque econométrico que permite medir las preferencias de la sociedad en torno al valor de uso de un recurso natural como el agua, el cual es considerado como un bien común, el cual teóricamente y según Echaide [13], es un bien libre de uso universal. De esta manera, la reciente problemática de escasez del líquido vital debido a las variaciones climáticas, así como la contaminación de la misma; han generado que este recurso natural se facture como un bien económico transable, lo que significa que los consumidores deben asignar no sólo un valor de uso, sino también de cambio.

Esta problemática económica y ambiental se logra observar en Colombia, donde las variaciones climáticas actuales han generado que 391 municipios presenten riesgos de escasez de agua según un estudio realizado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM [14]. Asimismo, el uso indiscriminado de las cuencas hidrográficas como vertederos de aguas residuales ha conllevado a la variación de las características físicas, químicas y biológicas disminuyendo su calidad, por ende, se aumentan los costos derivados del tratamiento de potabilización, lo que significa un aumento en el precio de venta en el mercado nacional.

Por su parte, el municipio de Aguachica no es ajeno a la crisis de escasez del líquido vital, puesto que, solo cuenta con una fuente superficial de abastecimiento, dando como resultado un servicio intermitente de agua potable, donde el precio por metro cúbico facturado era de 903 pesos para 2021. Sin embargo, en el municipio se consume agua de fuentes subterráneas, las cuales carecen de condiciones de calidad, por lo que su valor económico es inexistente. Dicha situación muestra la urgencia que tienen los habitantes de suplir la problemática del agua para satisfacer sus necesidades diarias.

La formulación de proyectos de mejoramiento de la calidad del agua proveniente de los pozos perforados es una de las estrategias óptimas y de corto plazo para satisfacer las necesidades de consumo humano dentro del territorio, aumentando la disponibilidad en épocas de sequía y disminuyendo los casos de enfermedades gastrointestinales causadas por el consumo de aguas subterráneas. No obstante, el agua subterránea extraída de los pozos perforados no posee control de calidad en los diversos parámetros físicos, químicos y microbiológicos siendo un riesgo para la salud pública en el municipio, en tal caso que la población utilice dichas aguas para consumo humano.

En los últimos años, el consumo de agua proveniente de pozos y manantiales no protegidos ha transmitido enfermedades como la diarrea, el cólera, la disentería, la fiebre tifoidea y la poliomielitis donde, según datos de la Organización Mundial de la Salud OMS, dichas aguas han provocado más de 502000 muertes al año solo por diarreas agudas [15]. El acceso, calidad y disponibilidad del recurso hídrico son esenciales para el desarrollo social, económico y ambiental de las comunidades a nivel internacional.

Por esta razón, dicha investigación se efectúa puesto que existe la necesidad de conocer la disponibilidad a pagar que tienen los habitantes del casco urbano de Aguachica para el desarrollo de proyectos de mejoramiento de la calidad del agua subterránea proveniente de los pozos perforados, en este análisis se tendrán en cuenta el nivel educativo y el ingreso de los sujetos de estudio, con el fin de conocer el condicionamiento de los consumidores y su percepción frente a la calidad y disponibilidad del recurso en la zona. Asimismo, la obtención de resultados producto de esta investigación, generará una oportunidad de toma de decisiones asertivas para el casco urbano de Aguachica, las cuales pueden ser tomadas por el

municipio mediante políticas públicas creando un beneficio colectivo que promuevan acciones de educación, protección y conservación del agua subterránea con el fin de evitar el uso intenso del recurso y la afectación en el bienestar social, económico y ambiental.

## 2. MÉTODO

La presente investigación es de tipo descriptiva con un diseño no experimental con enfoque cuantitativo. En un estudio descriptivo se escogen diferentes variables o conceptos a las que posteriormente se realizan cálculos independientemente una de la otra, con el objetivo de así describirlas. Con diseño no experimental se parte del hecho de que las variables de estudio no se manipulan, y con enfoque cuantitativo se buscará la explicación del comportamiento de las variables que afectan dicha situación; al igual que emplea la medición numérica y el análisis estadístico como base en la determinación de los patrones del comportamiento [16].

Según el Departamento Nacional de Estadísticas DANE [17], el municipio de Aguachica, en el censo poblacional realizado para 2018, la población era de 109621 habitantes, con una población proyectada para el año 2020 de 118652, de los cuales 103209 se ubican dentro de la Cabecera Municipal, representando el 87% y 15443 radican en la zona rural representando el 13%.

La muestra es probabilística pues se utilizó el muestreo aleatorio simple para seleccionar cierta parte de la población de estudio en la cual todos tienen la misma probabilidad de ser escogidos como muestra, ya que la población del casco urbano de Aguachica se considera un número inmanejable de sujetos [16]. Entonces, conociendo el total de la población perteneciente al casco urbano y deseando saber cuántos de estos se tendrán que estudiar, se emplea la ecuación (1).

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q} \quad (1)$$

Donde:

N = Total de la población

Z $\alpha$  = 1,96 al cuadrado (si la seguridad es del 95%)

p = proporción esperada

q = 1 - p (en este caso 0,5)

d = error (en este caso 5% = 0,05)

Dando como resultado:

$$n = \frac{103209 * 1,96^2 * 0,5 * 0,5}{0,05^2 * (103209 - 1) + 1,96^2 * 0,5 * 0,5} = 383$$

Con la muestra obtenida se aplicó el método de valoración contingente dentro del casco urbano del municipio de Aguachica - Cesar, con el propósito de medir la disponibilidad a pagar de la población en torno a el mejoramiento de la calidad del agua subterránea del municipio, por ende, se utilizó como técnica de recolección; la encuesta, que consiste en la obtención de la información sobre opiniones, actitudes o sugerencias proporcionada directamente por los sujetos de estudio, y como instrumento de recolección un cuestionario [18]; el cual fue compartido por medios tradicionales (entrevistas por llamadas telefónicas), correo electrónico y aplicaciones de mensajería como WhatsApp.

Para este caso, el cuestionario posee preguntas cerradas de diversos tipos entre ellas dicotómicas, categorizadas, cuantitativas, de frecuencia y valoración. Este cuestionario se dividió en cuatro partes; en primer lugar, se informó a los encuestados sobre la problemática y la importancia del proyecto. En segundo lugar, se hicieron varias preguntas preliminares relacionadas con el consumo de agua y percepción del servicio público de acueducto, al igual que se evaluó el conocimiento de los encuestados sobre la calidad del agua extraída de los pozos. En la tercera parte, se recopiló la información sobre la DAP y, por último, se recopilaron los datos socioeconómicos de la población encuestada.

## 2.1 Metodología de la valoración económica contingente de la calidad del agua subterránea de Aguachica

La guía de valoración económica establecida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [19], determina que el método de valoración contingente parte desde la teoría subjetiva del valor, donde se tiene como elemento principal la disponibilidad a pagar de los consumidores de un bien o servicio, en este caso, el mejoramiento de la calidad del agua subterránea del municipio de Aguachica.

Para el análisis estadístico se construyó un modelo regresión lineal múltiple, siendo la disponibilidad a pagar la variable dependiente, mientras que el ingreso junto al nivel de escolaridad, el sexo y los gastos son las variables independientes. A continuación, en la ecuación (2) se observa la especificación del modelo econométrico 1.

$$VEAsu (DAP) = B_0 + B_1RP + B_2Sexo + B_3Educación + B_4Gastos + \varepsilon \quad (2)$$

Donde:

$VEAsu (DAP)$  = Disponibilidad a pagar

$B_i$  = Parámetros a estimar

$\varepsilon$  = Término de error

Las variables en la investigación se clasificaron según su unidad de análisis y medida (Tabla 1).

**Tabla 1.** Variables del primer modelo

| Variables  | Unidades/Tipo  |
|--|----------------|
| Disponibilidad a pagar   | Pesos (\$)     |
| Educación: variable que identifica cuál es el nivel educativo      | Dummy          |
| Sexo: Género en el cual se representa el encuestado                | Dummy          |
| Ingreso: variable que representa el ingreso mensual del encuestado | Pesos (\$)     |
| Gasto: variable que representa los gastos mensuales del encuestado | Pesos (\$)     |
| $\varepsilon$ : Error  | Porcentaje (%) |
| RP: Restricción presupuestal                                       | Pesos (\$)     |

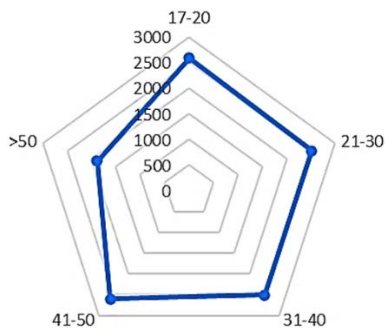
## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

La valoración económico-ambiental de la calidad del agua subterránea en Aguachica-Cesar se realizó por el método de valoración contingente, por lo que, se aplicó una encuesta en la zona urbana del municipio. La muestra total corresponde a 383 personas, en los cuales se pudo analizar diferentes características dentro de la población. En primer lugar, se obtuvo una población total en las viviendas de 482 personas con un promedio de 4 habitantes por residencia, asimismo, se estableció un promedio de 42 horas mensuales del servicio de agua potable provisto por la Empresa de Servicios Públicos de Aguachica ESPA; lo que deja ver la compleja situación de la población y que en temporadas de sequía estas horas disminuyen causando escasez del recurso.

Dicha afirmación se puede corroborar con los resultados obtenidos en las encuestas, donde el 55,2% de los encuestados afirma la compra de agua en cubo proveniente de pozos subterráneos, que en la mayoría de los casos se desconoce la calidad de la misma. No obstante, una parte del 44,8% de los encuestados puede obtener y utilizar el mismo recurso subterráneo, esto se debe a que los habitantes del municipio poseen pozos perforados para contrarrestar la falta del líquido en temporadas de sequía.

Por otro lado, los datos obtenidos en función al sexo de la población marcaron que el 67,2% se representan por el género femenino mientras que solo el 32,8% se ven representados por el masculino. Comparando la educación con el género que se identifican, se pudo observar que la población masculina presenta un mayor nivel educativo, donde el 92,1% de los encuestados posee como mínimo una educación técnica completa en comparación con la femenina que sólo el 68% de las encuestadas presenta como mínimo la educación técnica. Además, cuando se contrastan los ingresos de estos grupos poblaciones se logra percibir la gran brecha salarial, la cual supera el millón de pesos, no obstante, este valor de la brecha salarial puede variar si la población masculina o femenina aumenta en el número de encuestados.

Ahora bien, si hablamos de la tasa de aporte económico para solventar la implementación del proyecto a futuro con respecto a los grupos etarios; donde el valor del aporte más alto se observa en el rango de edad de 41 a 50 años con 2602 pesos mientras que el valor mínimo se encuentra entre los mayores a 50 años con 1879 pesos como se puede observar en la Figura 1. Por otro lado, la población escogió como medio pago del aporte de financiación con un 72%, la tasa o impuesto mensual en el recibo del servicio de acueducto y alcantarillado mientras que el 28% seleccionó un impuesto predial o no sabe qué medio sería el indicado.



**Figura 1.** Aporte promedio por grupo etario

Los valores del aporte económico, contrasta con la realidad de la población en relación a la calidad del agua, puesto que el 87,3% la desconoce, así como las enfermedades dermatológicas y gastrointestinales que pueden generarse por el consumo y la manipulación de este recurso sin tratar.

De igual manera, el uso que se les da a las aguas subterráneas varía en la población, ya que el 48,3% de los encuestados las emplea para lavar la ropa y utensilios del hogar, el 18,9% para el uso exclusivo del sanitario, el 14,6% para consumo humano, el 12,1% para lavar las frutas y verduras con las que preparan los alimentos y el 6,1% las emplea para todas las actividades cuando el agua potable se termina o hay demoras en el servicio.

Con base a los resultados se puede apreciar que el 55% de las personas no están dispuestas a pagar por el mejoramiento de la calidad del agua subterránea en el municipio de Aguachica, sin embargo, el 45% restante de personas están dispuestas a pagar entre 2000 y 12000 pesos, en donde principalmente se destacan los valores de 2000 y 4000 que equivalen al 18% y 9% respectivamente.

A partir del análisis de los datos obtenidos hasta el momento, se logró efectuar el modelo econométrico de la ecuación (3), que explica en un mayor grado el objetivo de la investigación.

$$VEAsu (DPA) = B_0 + B_1RP + B_2Educación + \varepsilon \quad (3)$$

Con dicho modelo se analizaron las diferentes correlaciones de las variables, con el fin de relacionarlas con aquellas que tengan influencia derivando efectos en la contribución al proyecto o la disponibilidad a pagar de los habitantes del municipio. Por otro lado, el modelo que se propone, se define con la función del DAP la cual está dada por la siguiente ecuación (4).

$$DAP = VEAsu \quad (4)$$

En la determinación de la DAP, el modelo se centró en correlacionar directamente el valor económico aportado por los sujetos al mejoramiento de la calidad del agua subterránea unitario VEAsu.

Los aportes realizados por la población analizada en torno al mejoramiento en la calidad del agua subterránea de Aguachica se establecieron en rangos, con un valor mínimo de \$ 0 y el máximo \$ 12000, por lo que, se pudo evidenciar que la disponibilidad a pagar mensual en promedio según el número de encuestados es de \$ 2504 pesos, el cual se encuentra entre el segundo y tercer rango más bajo impuesto para los aportes. En consecuencia, se puede observar en la Tabla 2 que un aumento en una unidad en el ingreso genera un aumento de los aportes en 0,000546 pesos. lo que significa, que el ingreso marginal tiene

un rendimiento creciente con respecto a la disponibilidad a pagar marginal de los habitantes en pro del mejoramiento de la calidad del agua subterránea del municipio.

**Tabla 2.** Estimación Modelo Valoración Contingente. Call: lm(formula = Aporte ~ Ingresos + Educación)

| Residuales |       |        |      |      |
|------------|-------|--------|------|------|
| Min        | 1Q    | Median | 3Q   | Max  |
| -5888      | -2273 | -1002  | 1276 | 9801 |

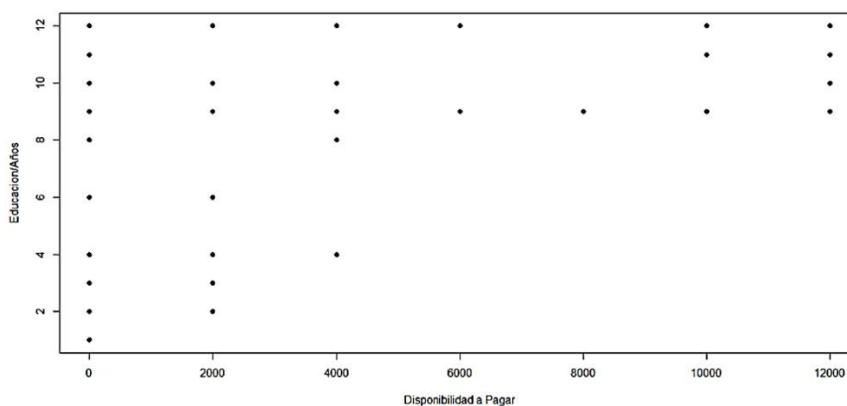
  

| Coefficients |            |            |         |            |
|--------------|------------|------------|---------|------------|
|              | Estimate   | Std. Error | t value | Pr(>  t )  |
| Intercept    | -1,272e+03 | 9,403e+02  | -1,353  | 0,17884    |
| Ingresos     | 5,468e-04  | 1,863e-04  | 2,936   | 0,00404 ** |
| Educación    | 3,305e+02  | 1,156e+02  | 2,860   | 0,00506 ** |

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0,001 '\*\*' 0,01 '\*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Residual standard error: 3482 on 112 degrees of freedom  
 Multiple R-squared: 0,1752 Adjusted R-squared: 0,1604  
 F-statistic: 11,89 on 2 and 112 DF, p-value: 2,074e-05

Asimismo, se evidenció un rendimiento marginal creciente entre la variable educación y DAP (Figura 2), es decir, por cada año de escolaridad que aumenta la población aumentan sus aportes, lo que permite, que el nivel educativo de las personas tenga un impacto positivo sobre el cuidado del activo ambiental analizado. Dicho resultado, se puede deber al grado de concientización que se logra cuando un individuo posee un mayor nivel de educación.



**Figura 2.** DAP según el nivel educativo

Además, en los estudios [9] y [20] se encontró que ciertos factores demográficos con enfoque social como la educación, también afecta de manera directa la disponibilidad a pagar de un consumidor, dado que esta variable condiciona el entorno y los patrones de conducta de los individuos, por lo que, las preferencias se construyen a partir del nivel educativo de una persona. Por ende, los aportes económicos dispuestos por los consumidores encuestados para el mejoramiento de la calidad del activo ambiental como el agua subterránea tienden a variar de manera positiva o tienen una mayor DAP según el grado educativo de estos, como lo indican Burnett et al. [10].

Del mismo modo, se puede decir que ambas variables independientes se encuentran conectadas, debido a que, un aumento en el nivel educativo, genera un aumento en los ingresos, lo que conlleva a una mayor concientización y racionalización sobre el cuidado del medio ambiente y la salud del ser humano, lo que facilita que como sujetos económicos puedan asignar valores monetarios a un activo ambiental de manera más práctica (Figura 3).

Sin embargo, de acuerdo con lo analizado en el  $R^2$  el ingreso y la educación explican a la variable de *aportes* solamente en un 17,52%, además, la disponibilidad a pagar en promedio fue de \$ 2504, lo que significa, que el valor asignado de manera subjetiva por la población de Aguachica al proceso de mejoramiento de la calidad del agua subterránea no es tan significativo, lo que deja como conclusión, es que para los aguachiquenses no es tan necesario realizar mejoras al agua subterránea, debido a que el 54% de la población muestra una nula colaboración, es decir, su aporte económico es de cero (0) pesos.

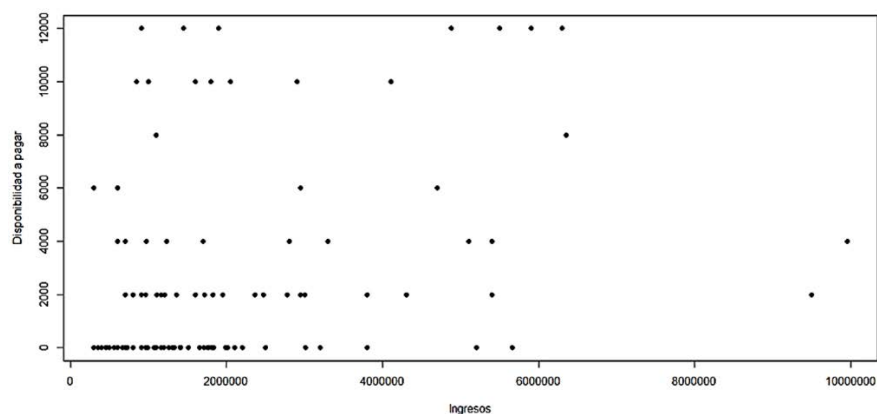


Figura 3. DAP según el ingreso

En cuanto a los posibles sesgos en los resultados obtenidos al momento de recolectar los datos, pues es de suma importancia aclarar que la encuesta fue evaluada muy detenidamente por todo el equipo investigador, además de que la prueba piloto arrojó resultados positivos, y durante la etapa de tabulación no se encontró ningún problema para analizar los datos.

Por último, la valoración contingente como cualquier otra metodología posee ventajas y desventajas. Según Azqueta [21], Stenger y Willinger [22], Rivas y Ramoni [23] y Alfranca [24], la metodología permite cuantificar del valor de uso así como la compensación necesaria para la conservación del activo ambiental. Además, la aplicación de esta no requiere de supuestos o de la estimación de la curva de demanda de los encuestados. Por otra parte, mencionan que las limitaciones de la valoración contingente es el carácter hipotético y la desconfianza de los datos obtenidos de los encuestados dando como resultado posibles errores al momento de ejecutar los modelos.

#### 4. CONCLUSIONES

Los datos obtenidos nos confirman la necesidad de emplear y ejecutar proyectos de potabilización de las aguas subterráneas extraídas de los acuíferos, siendo fundamental para la protección de la salud pública dentro del casco urbano de Aguachica. Sin embargo, para la ejecución de dichos proyectos es indispensable la colaboración con la Corporación Autónoma Regional del Cesar para inventariar los pozos existentes.

Los resultados obtenidos muestran que los consumidores tienen una baja valoración económica de los servicios ambientales derivados de bienes públicos, aun cuando se proyecta la oportunidad de mejoramiento en la satisfacción de una necesidad como resultado de un programa o política pública que financie proyectos con tal finalidad. El monto de la DAP estimada parcialmente, a través de la metodología estándar lo que resultó ser bajo (\$ 2504 pesos) para la importancia sanitaria que tiene este tipo de proyectos. Es posible que dicho monto pueda tener sesgo ya sea por el número parcial de encuestados o por la probabilidad de haber un error en el diseño del cuestionario que simula el mercado hipotético de la mejora en la calidad del agua subterránea.

Otra razón radica en el análisis económico sobre la teoría de la elección del consumidor, la cual radica según la escuela Neoclásica en la maximización de la utilidad por parte de un individuo teniendo en cuenta su restricción presupuestaria y sus preferencias, sin olvidar el papel fundamental de las variaciones de los precios, por lo que finalmente, el valor asignado al mejoramiento de la calidad del agua se debe a la baja preferencia que tiene la población por mejorar este servicio ecosistémico o a los altos rangos de valores equivalentes a los aportes de mejoras, por lo que, la elección de los consumidores ha sido superflua respecto al consumo de este bien.

#### REFERENCIAS

- [1] Ajami H. (2021). Geohydrology: Groundwater. Encyclopedia of Geology. Elsevier.
- [2] Chen X. et al. (2020). Subsystem-level groundwater footprint assessment in North China Plain – The world's largest groundwater depression cone. Ecological Indicators 117, 106662.

- [3] Samani S. (2021). Analyzing the groundwater resources sustainability management plan in Iran through comparative studies. *Groundwater for Sustainable Development* 12, 100521.
- [4] Das J. et al. (2020). Challenges of sustainable groundwater management for large scale irrigation under changing climate in Lower Ganga River basin in India. *Groundwater for Sustainable Development* 11. 100449.
- [5] Cerda A. y García L. (2019). Valoración económica del ambiente. *Revista Interamericana de Ambiente y Turismo*, 15(1), 36-49.
- [6] Iwan A. et al. (2017). Valoración económica de los servicios ecosistémicos de una Laguna del sudeste bonaerense (Argentina). *Investigaciones Geográficas* 68, 173-190.
- [7] Ripka A. et al. (2018). Métodos de valoración económica ambiental: Instrumentos para el desarrollo de políticas ambientales. *Revista Universidad y Sociedad*, 10(4), 246-255.
- [8] Monroy R. et al. (2011). An economic valuation of the hydrological environmental service in a biosphere reserve. *Terra Latinoamericana* 29(3), 315-323.
- [9] Rupérez C. et al. (2015). The economic value of conjoint local management in water resources: Results from a contingent valuation in the Boquerón aquifer (Albacete, SE Spain). *Science of The Total Environment* 532, 255-264.
- [10] Burnett K. et al. (2017). The economic value of groundwater in Obama. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 11, 44-52.
- [11] Smith R. et al. (2006). It's not just what you do, it's the way that you do it: The effect of different payment card formats and survey administration on willingness to pay for health gain. *Health Economics* 15(3), 281-293.
- [12] Chatterjee C. et al. (2017). Willingness to pay for safe drinking water: A contingent valuation study in Jacksonville, FL. *Journal of Environmental Management* 203, 413-421.
- [13] Echaide J. (2017). Agua como bien común desde una perspectiva crítica del análisis económico del derecho. *Revista Electrónica del Instituto de Investigación Ambrosio L. Gioja* 1(18), 24-53.
- [14] Mayorga R. y Hurtado G. (2006). La sequía en Colombia. IDEAM.
- [15] OMS. (2019). Agua. Recuperado: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- [16] Hernández R. et al. (2014). Metodología de la Investigación. McGraw-Hill.
- [17] Dane. (2018). Proyecciones de población municipal para el periodo 2018 - 2035. Recuperado: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>
- [18] Passos E. (2015). Metodología para la presentación de trabajo de investigación: Una manera práctica de aprender a investigar, investigando. Institución Tecnológica Colegio Mayor de Bolívar.
- [19] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). Guía de aplicación de la valoración económica ambiental. Bogotá.
- [20] McCright A. y Dunlap R. (2011). The politicization of climate change and polarization in the American public's views of global warming 2001-2010. *The Sociological Quarterly* 52(2). 155-194.
- [21] Azqueta D. (1994). Valoración de la calidad ambiental. McGraw-Hill.
- [22] Stenger A. y Willinger M. (1998). Preservation value for groundwater quality in a large aquifer: A contingent-valuation study of the Alsatian aquifer. *Journal of Environmental Management* 53(2), 177-193.
- [23] Rivas A. y Ramoni J. (2017). Valoración contingente aplicada al caso del río Albarregas Mérida-Venezuela. *Fermentum. Revista Venezolana de Sociología y Antropología* 17(49), 478-502.
- [24] Alfranca O. (2020). La valoración del agua y la aplicación del método de las preferencias declaradas: Valoración contingente vs. experimentos de elección. *Agua y Territorio* (15), 101-114.

# Análisis a la utilidad de los métodos teóricos para el cálculo de caudales de escorrentía en cuencas de la isla de Tenerife, España

Raúl Parra Hermida<sup>1</sup>  
*Universidad de La Laguna*  
España

En general, las precipitaciones medias en la isla de Tenerife, España, tienen poca importancia, especialmente durante el verano cuando se producen mínimos muy acusados, con valores casi nulos durante los meses de junio, julio y agosto. También suelen ser bajas en mayo y septiembre, por lo que puede decirse que prácticamente no llueve desde abril a octubre. Las lluvias más abundantes se concentran en noviembre y diciembre, pero los valores anuales normales son bajos. No obstante, se producen episodios torrenciales que provocan grandes caudales de escorrentía por cauces y barrancos, por los que, normalmente, no corre agua. Estos fenómenos pueden producir avenidas de agua no previstas dando lugar a inundaciones que generan daños materiales e incluso personales. En este trabajo de reflexión se pretende analizar si los métodos teóricos utilizados para el cálculo de caudales de escorrentía en cuencas de la isla de Tenerife son los más adecuados para este territorio.

---

<sup>1</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Estudiante de Doctora I3MA.  
Contacto: [rparrher@ull.edu.es](mailto:rparrher@ull.edu.es)

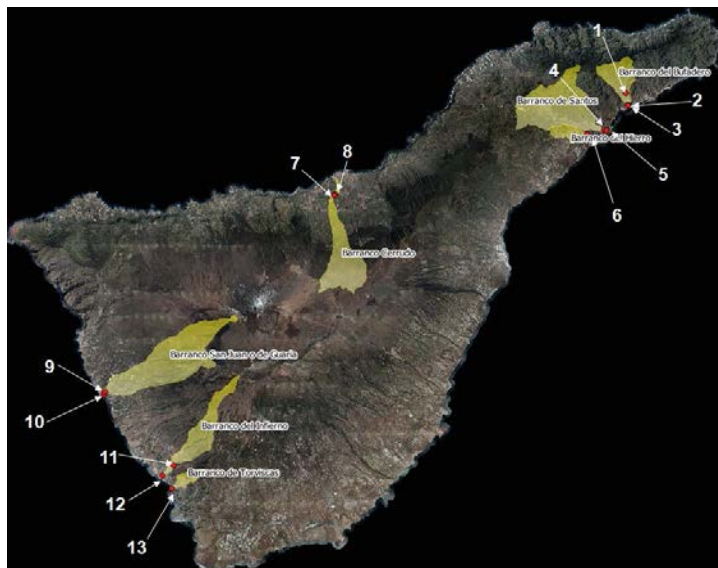


## 1. INTRODUCCIÓN

En la isla de Tenerife, para el cálculo de los caudales de escorrentía se utiliza la *Guía Metodológica para el cálculo de caudales de avenida en la isla de Tenerife* [1]. Esta guía está basada en el modelo matemático *lluvia – infiltración* para la simulación de la hidrología superficial en la isla de Tenerife MHSup, desarrollado por el Consejo Insular de Aguas de Tenerife mediante una aplicación informática que permite obtener de forma automática los caudales de avenida en cualquier punto de la red hidrológica digitalizada de la isla de Tenerife, a partir de una serie de puntos calculados anteriormente.

En el presente trabajo de reflexión se procede a comparar los resultados de caudales punta que se obtienen por la citada Guía con los que se obtienen por otros métodos teóricos de cálculo. Para ello se seleccionaron 13 localizaciones diferentes (Figura 1) dentro de la isla de Tenerife, en concreto las siguientes:

1. Tras la confluencia de los barrancos Valle Grande, Crispín y Biscocho (barranco Bufadero)
2. Justo antes de cruzar la Autovía de San Andrés, TF-11 (barranco Bufadero)
3. Tras cruzar la Autovía de San Andrés, TF-11 (barranco Bufadero)
4. En el puente Serrador (barranco de Santos)
5. En el puente de El Cabo (barranco de Santos)
6. En las obras de ampliación recientemente ejecutadas del barranco de El Hierro
7. En la obra de fábrica del cruce del Camino La Güina – Las Arenas del barranco de San Felipe
8. En la obra de fábrica del cruce de la Autopista del Norte, TF-5, del barranco de San Felipe
9. En las obras de drenaje del cruce de la TF-6237 del barranco de San Juan
10. En la desembocadura del barranco de San Juan
11. En la obra de fábrica del cruce de la autopista TF-1 del barranco del Infierno
12. En el puente de la Avenida Virgen de Guadalupe del barranco del Infierno
13. En la desembocadura del barranco de Torviscas



**Figura 1.** Localizaciones seleccionadas para el estudio comparativo con sus correspondientes cuencas vertientes.

Estas localizaciones han sido seleccionadas debido a que el Consejo Insular de Aguas de Tenerife tiene en mente implantar un sistema de alerta temprana, en el que se prevé la instalación de diferentes equipos de medida (pluviómetros, aforadores, ...) en dichas ubicaciones. De esta forma, en un futuro se podrán comparar lluvias y caudales reales que se midan en estos equipos con los valores de los cálculos teóricos utilizados. Para cada una de estas localizaciones se ha calculado, para los periodos de retorno de 2,33; 5; 10; 25; 50; 100; 250; 500; 1.000 y 5.000 años, los caudales punta que se obtiene mediante:

- La Guía Metodológica para el cálculo de caudales de avenida en la isla de Tenerife
- El método del hidrograma sintético de Snyder
- El método del hidrograma sintético triangular

## 2. ANÁLISIS COMPARATIVO

Los métodos de los hidrogramas sintéticos se utilizan en ausencia de datos reales de medición de caudales o de falta de fiabilidad de los datos disponibles. Consisten en crear un hidrograma unitario artificial o sintético (sin datos reales) usando combinaciones de diferentes hidrogramas adimensionales.

Para este estudio se han utilizado los hidrogramas sintéticos adimensionales de Snyder y triangular para determinar los caudales máximos teóricos a comparar con los que se determinan mediante la Guía Metodológica para el cálculo de caudales de avenida en la isla de Tenerife. A continuación, se procede a describir cada uno de los métodos utilizados para calcular los caudales punta de avenida, incluyendo el correspondiente a la propia Guía Metodológica.

### 2.1 Aplicación de la Guía metodológica para el cálculo de caudales de avenida en la isla de Tenerife

En 2003 el Consejo Insular de Aguas de Tenerife desarrolló una *Guía Metodológica para el cálculo de caudales en los cauces de Tenerife*. Dicha aplicación permite obtener de forma automática los caudales de avenida en cualquier punto de la red hidrológica digitalizada, a partir de los puntos calculados previamente (alrededor de 22.000). El deseo de avance en la gestión y modelización hidrológica ha llevado a desarrollar nuevas funcionalidades y mejorar las existentes, dotando de mayor capacidad a la aplicación informática para el cálculo de caudales que se plasmó en la versión del 2009. En el año 2016 se ha realizado una nueva actualización de dicha Guía para adaptarla a los nuevos cambios tecnológicos y permitir utilizarla en un mayor rango de equipos informáticos.

Esta aplicación informática divide cada cuenca de la orografía insular de la isla en celdas de 200 x 200 m. Para cada celda evalúa la escorrentía superficial. En cada cuenca el proceso de cálculo parte de la celda de mayor cota y continúa con la inmediata inferior y así sucesivamente, hasta la celda de la cuenca que contacta directamente con el mar, a no ser que en el camino se intercepte algún ramal. En este caso se reinicia el proceso en la celda de cabecera del ramal con la misma secuencia de cálculo. Este proceso de cálculo se encuentra explicado de forma detallada en [2]. El proceso para calcular los caudales punta en las distintas localizaciones seleccionadas utilizando la aplicación informática es:

1. Introducción manual de las coordenadas de cada una de las localizaciones seleccionadas
2. Comprobación visual de la cuenca vertiente generada por la aplicación
3. Obtención de un informe generado por la aplicación en el que se detallan los caudales de escorrentía y las precipitaciones diarias para los distintos periodos de retorno considerados

En la Figura 2 se muestran los tres pasos seguidos para la obtención de los caudales de escorrentía punta mediante este método.

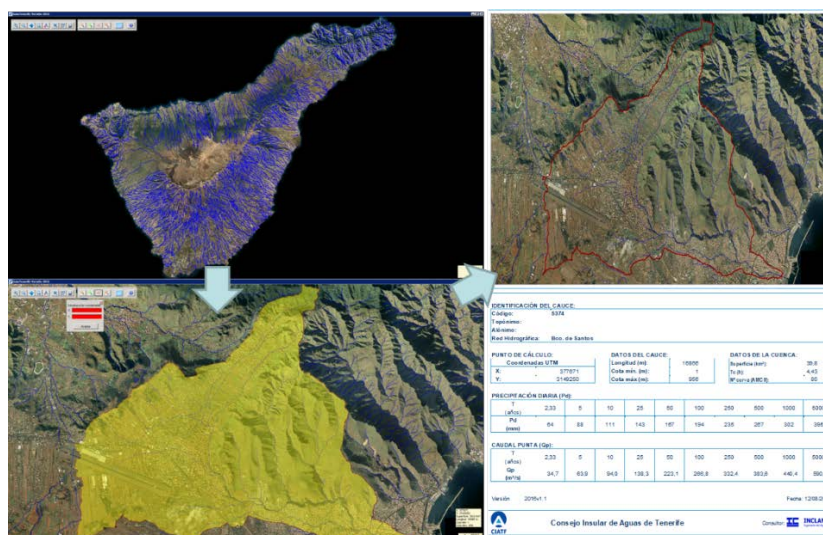
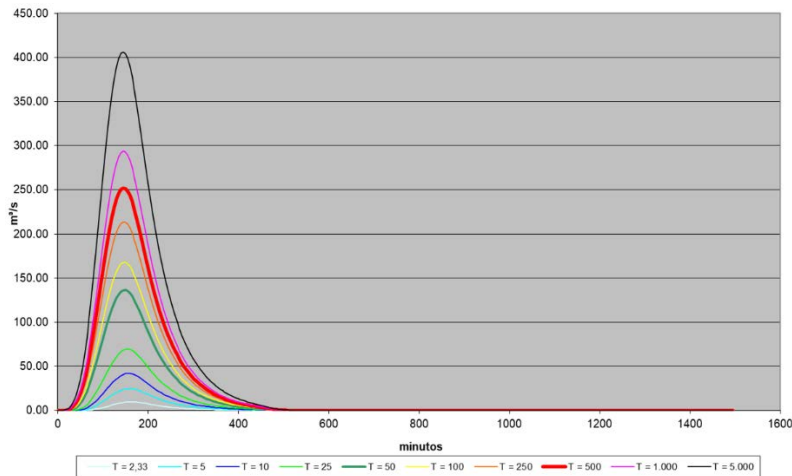


Figura 2. Proceso de utilización de la *Guía Metodológica para el cálculo de caudales de avenida en la isla de Tenerife*

Además, dentro del informe se facilitan los datos y los gráficos correspondientes a los hidrogramas de avenida generados para los distintos periodos de retorno, tal y como puede observarse en la Figura 3. Los citados hidrogramas de avenida adoptan una distribución similar al hidrograma sintético unitario [3].



**Figura 3.** Hidrogramas de avenida generados por la Guía Metodológica para el cálculo de caudales de avenida en la isla de Tenerife. Corresponden a los distintos periodos de retorno considerados en la localización No. 1 del estudio [2]

## 2.2 Aplicación del método del hidrograma sintético unitario de Snyder

La deducción de los parámetros para definir este hidrograma unitario sintético se basa en las características geométricas y morfológicas observadas en las cuencas hidrográficas de la región de los Montes Apalaches, de los Estados Unidos. Según *Snyder* [4] el tiempo de retardo de una cuenca se puede determinar mediante la ecuación (1).

$$t_p = 0,7517C_t(L \cdot L_c)^{0.3} \quad (1)$$

Donde:

- $t_p$  el tiempo de retardo de la cuenca (en horas)
- $C_t$  un coeficiente adimensional, variando entre 1,8 y 2,2, tomando los valores menores para cuencas con grandes inclinaciones
- $L$  la longitud del cauce principal desde la divisoria de aguas hasta el punto en consideración (en km)
- $L_c$  la longitud desde el punto del cauce principal más próximo al centro geométrico de la cuenca hasta el punto en consideración (en km)

El valor del caudal punta del hidrograma sintético unitario de Snyder por milímetro de lluvia neta se determina por la ecuación (2).

$$q_p = \frac{0.275 \cdot C_p \cdot A}{t_p} \quad (2)$$

Donde:

- $q_p$  el valor del caudal punta del hidrograma unitario por milímetro de lluvia neta (en  $m^3/s/(mm)$ )
- $C_p$  un coeficiente adimensional, variando entre 0.56 y 0.69, tomando los valores mayores para cuencas con grandes inclinaciones
- $A$  el área de drenaje de la cuenca (en  $km^2$ )

Tomando las precipitaciones diarias de la *Guía Metodológica para el cálculo de caudales en la isla de Tenerife* (recogidas en la Tabla 1) para los distintos periodos de retorno considerados obtenemos, en cada una de las localizaciones indicadas, unos valores de caudales punta. Estos valores se muestran, de forma comparativa con los calculados mediante los otros métodos considerados, dentro del apartado de resultados del presente documento. Teniendo en cuenta que en este método no se establece un criterio claro para determinar los valores de los coeficientes adimensionales  $C_t$  y  $C_p$ , se optó por calcular los valores

máximos y mínimos de caudal punta en cada localización en función de considerar los coeficientes adimensionales máximos o mínimos.

**Tabla 1.** Precipitación diaria, en mm, para el periodo de retorno T (en años) considerado en las localizaciones estudiadas. Datos extraídos de la *Guía Metodológica para el cálculo de caudales en la isla de Tenerife*

| Localización | Precipitación diaria (mm) para el periodo de retorno T (años) indicado |       |        |        |        |         |         |         |          |          |
|--------------|--|-------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|----------|----------|
|              | T = 2,33   | T = 5 | T = 10 | T = 25 | T = 50 | T = 100 | T = 250 | T = 500 | T = 1000 | T = 5000 |
| 1            | 67   | 97    | 126    | 165    | 198    | 233     | 284     | 327     | 372      | 495      |
| 2            | 66   | 95    | 123    | 162    | 195    | 229     | 280     | 323     | 369      | 493      |
| 3            | 65   | 95    | 123    | 162    | 194    | 229     | 280     | 322     | 369      | 493      |
| 4            | 64   | 88    | 111    | 143    | 167    | 194     | 235     | 267     | 302      | 395      |
| 5            | 64   | 88    | 111    | 143    | 167    | 194     | 235     | 267     | 302      | 395      |
| 6            | 56   | 80    | 102    | 133    | 158    | 184     | 223     | 254     | 289      | 378      |
| 7            | 82   | 125   | 167    | 230    | 283    | 342     | 431     | 506     | 590      | 820      |
| 8            | 82   | 125   | 167    | 230    | 283    | 342     | 431     | 506     | 589      | 820      |
| 9            | 67   | 95    | 121    | 156    | 185    | 215     | 259     | 294     | 332      | 431      |
| 10           | 73   | 106   | 138    | 183    | 217    | 259     | 317     | 364     | 414      | 551      |
| 11           | 65   | 95    | 122    | 160    | 190    | 221     | 264     | 299     | 335      | 427      |
| 12           | 63   | 93    | 120    | 157    | 186    | 217     | 259     | 293     | 328      | 418      |
| 13           | 39   | 61    | 80     | 106    | 126    | 147     | 178     | 202     | 228      | 293      |

### 2.3 Aplicación del método del hidrograma sintético unitario triangular

Los fundamentos teóricos para la estimación del hidrograma sintético triangular [5] determinan un valor de caudal punta en m<sup>3</sup>/s por mm de lluvia neta (Q<sub>p</sub>) en función del área (A) de la cuenca (en km<sup>2</sup>) y el tiempo base (t<sub>b</sub>) en horas según la siguiente ecuación (3).

$$Q_p = \frac{0.555 \cdot A}{t_b} \quad (3)$$

El tiempo base y el tiempo en que se produce el valor del caudal punta se relacionan mediante un coeficiente de valor 2.67, tal y como puede verse a continuación en la ecuación (4).

$$t_b = 2.67 \cdot t_p \quad (4)$$

El tiempo en que se produce el valor del caudal punta se determina en función de la duración de la lluvia en exceso y el tiempo de retraso en el que se produce el valor del caudal punta mediante la ecuación (5).

$$t_p = d_e/2 + t_r \quad (5)$$

Donde:

- d<sub>e</sub> la duración de la lluvia en exceso en horas
- t<sub>r</sub> el tiempo de retraso del caudal punta en horas

El tiempo de retraso en el que se produce el valor del caudal punta en horas se determina en función del tiempo de concentración t<sub>c</sub> mediante la ecuación (6).

$$t_r = 0,6 \cdot t_c \quad (6)$$

El tiempo de concentración de la cuenca, t<sub>c</sub>, entendido como el tiempo que tarda en recorrer una gota de agua el camino existente entre el punto más alejado de la cuenca y el punto donde se pretende calcular el valor del caudal de avenida, se determina mediante la siguiente ecuación (7).

$$t_c = 0,3 \cdot \left( \frac{L}{i^{1/4}} \right)^{0,76} \quad (7)$$

Donde:

- t<sub>c</sub> el tiempo de concentración de la cuenca, en horas

- L la longitud del cauce en km hasta el punto de control
- i la pendiente media del cauce en tanto por uno

La duración de la lluvia en exceso  $d_e$ , medida en horas toma los siguientes valores:

- $d_e = 2(tc)^{1/2}$  para cuencas grandes
- $d_e = t_c$  para cuencas pequeñas

Al igual que en el apartado anterior, tomando las precipitaciones diarias de la *Guía Metodológica para el cálculo de caudales en la isla de Tenerife* (Tabla 1) para los distintos periodos de retorno considerados obtenemos, en cada una de las localizaciones indicadas, unos valores de caudales punta. Estos caudales se muestran, de forma comparativa con los calculados mediante los otros métodos considerados, dentro del apartado de resultados del presente documento.

En este método tampoco se establece un criterio claro para determinar el valor de la duración de la lluvia en exceso de por lo que se optó por calcular los valores máximos y mínimos de caudal punta en cada localización en función de considerar las duraciones máximas y mínimas de la lluvia en exceso.

### 3. SIGNIFICADO

Se procedió a comparar los resultados del cálculo de los valores de los caudales punta obtenidos por la *Guía Metodológica para el cálculo de caudales en la isla de Tenerife* con los determinados por los métodos de los hidrogramas sintéticos unitarios de Snyder y triangular, para los distintos periodos de retorno considerados en las diferentes localizaciones de estudio. En las Tablas 2 a 6 se muestran estos resultados.

**Tabla 2.** Valores de caudales punta calculados por la *Guía Metodológica para el cálculo de caudales en la isla de Tenerife* y por los hidrogramas sintéticos unitarios de Snyder y triangular en las localizaciones de estudio. Periodos de retorno de 2,33 y 5 años

| Localización | Barranco   | CAUDAL PUNTA (m <sup>3</sup> /s) |        |        |            |        |            |        |        |            |        |
|--------------|------------|----------------------------------|--------|--------|------------|--------|------------|--------|--------|------------|--------|
|              |            | T = 2,33 años                    |        |        |            |        | T = 5 años |        |        |            |        |
|              |            | Guía                             | Snyder |        | Triangular |        | Guía       | Snyder |        | Triangular |        |
|              |            |                                  | Mín    | Máx    | Mín        | Máx    |            | Mín    | Máx    | Mín        | Máx    |
| 1            |            | 9,78                             | 32,91  | 49,56  | 64,46      | 78,08  | 24,90      | 47,65  | 71,75  | 93,33      | 113,04 |
| 2            | Bufadero   | 10,30                            | 28,91  | 43,53  | 61,23      | 70,54  | 25,30      | 41,61  | 62,66  | 88,13      | 101,54 |
| 3            |            | 10,20                            | 28,05  | 42,24  | 59,91      | 68,87  | 25,20      | 41,00  | 61,74  | 87,56      | 100,65 |
| 4            |            | 34,90                            | 59,60  | 89,75  | 109,56     | 111,82 | 64,40      | 81,95  | 123,41 | 150,64     | 153,76 |
| 5            | Santos     | 34,70                            | 58,81  | 88,56  | 108,61     | 111,13 | 63,90      | 80,86  | 121,77 | 149,34     | 152,81 |
| 6            | Hierro     | 14,30                            | 10,86  | 16,36  | 19,33      | 23,22  | 22,10      | 15,52  | 23,37  | 27,62      | 33,17  |
| 7            |            | 1,96                             | 47,95  | 72,21  | 111,95     | 115,85 | 16,10      | 73,09  | 110,07 | 170,65     | 176,60 |
| 8            | San Felipe | 1,97                             | 47,40  | 71,38  | 111,63     | 115,28 | 16,00      | 72,26  | 108,81 | 170,17     | 175,73 |
| 9            |            | 13,50                            | 35,47  | 53,42  | 81,61      | 82,35  | 31,80      | 50,30  | 75,75  | 115,71     | 116,77 |
| 10           | San Juan   | 8,75                             | 72,59  | 109,31 | 157,44     | 161,25 | 33,10      | 105,40 | 158,73 | 228,61     | 234,15 |
| 11           |            | 9,90                             | 29,66  | 44,67  | 60,73      | 61,96  | 25,00      | 43,35  | 65,28  | 88,77      | 90,55  |
| 12           | Infierno   | 9,64                             | 26,76  | 40,29  | 57,39      | 57,53  | 24,30      | 39,50  | 59,48  | 84,71      | 84,93  |
| 13           | Torviscas  | 4,41                             | 7,02   | 10,58  | 15,69      | 20,41  | 10,30      | 10,99  | 16,55  | 24,54      | 31,92  |

**Tabla 3.** Valores de caudales punta calculados por la *Guía Metodológica para el cálculo de caudales en la isla de Tenerife* y por los hidrogramas sintéticos unitarios de Snyder y triangular en las localizaciones de estudio. Periodos de retorno de 10 y 25 años

| Localización | Barranco | CAUDAL PUNTA (m <sup>3</sup> /s) |        |       |            |        |             |        |        |            |        |
|--------------|----------|----------------------------------|--------|-------|------------|--------|-------------|--------|--------|------------|--------|
|              |          | T = 10 años                      |        |       |            |        | T = 25 años |        |        |            |        |
|              |          | Guía                             | Snyder |       | Triangular |        | Guía        | Snyder |        | Triangular |        |
|              |          |                                  | Mín    | Máx   | Mín        | Máx    |             | Mín    | Máx    | Mín        | Máx    |
| 1            |          | 42,10                            | 61,89  | 93,21 | 121,23     | 146,83 | 69,80       | 81,05  | 122,06 | 158,75     | 192,28 |
| 2            | Bufadero | 42,30                            | 53,87  | 81,13 | 114,11     | 131,47 | 69,40       | 70,95  | 106,85 | 150,29     | 173,16 |
| 3            |          | 42,00                            | 53,08  | 79,94 | 113,37     | 130,32 | 68,90       | 69,91  | 105,28 | 149,32     | 171,64 |

|    |            |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----|------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 4  | Santos     | 94,80 | 103,37 | 155,67 | 190,01 | 193,95 | 139,50 | 133,17 | 200,55 | 244,79 | 249,86 |
| 5  |            | 94,00 | 101,99 | 153,60 | 188,37 | 192,75 | 138,30 | 131,40 | 197,88 | 242,68 | 248,32 |
| 6  | Hierro     | 29,30 | 19,79  | 29,80  | 35,21  | 42,29  | 39,50  | 25,80  | 38,85  | 45,91  | 55,14  |
| 7  | San Felipe | 38,80 | 97,65  | 147,05 | 227,99 | 235,93 | 83,60  | 134,49 | 202,53 | 314,00 | 324,94 |
| 8  |            | 38,70 | 96,53  | 145,38 | 227,35 | 234,78 | 83,30  | 132,95 | 200,22 | 313,11 | 323,34 |
| 9  | San Juan   | 51,80 | 64,06  | 96,48  | 147,38 | 148,73 | 82,90  | 82,60  | 124,39 | 190,01 | 191,75 |
| 10 |            | 65,70 | 137,22 | 206,65 | 297,63 | 304,83 | 122,80 | 181,97 | 274,04 | 394,68 | 404,24 |
| 11 | Infierno   | 41,60 | 55,67  | 83,83  | 113,99 | 116,29 | 67,50  | 73,01  | 109,95 | 149,50 | 152,51 |
| 12 |            | 40,30 | 50,97  | 76,75  | 109,31 | 109,59 | 65,20  | 66,68  | 100,42 | 143,01 | 143,38 |
| 13 | Torviscas  | 16,20 | 14,41  | 21,70  | 32,18  | 41,86  | 24,70  | 19,09  | 28,75  | 42,64  | 55,46  |

**Tabla 4.** Valores de caudales punta calculados por la *Guía Metodológica para el cálculo de caudales en la isla de Tenerife* y por los hidrogramas sintéticos unitarios de Snyder y triangular en las localizaciones de estudio. Periodos de retorno de 50 y 100 años

| Localización | BARRANCO   | CAUDAL PUNTA (m³/s) |        |        |            |        |              |        |        |            |        |
|--------------|------------|---------------------|--------|--------|------------|--------|--------------|--------|--------|------------|--------|
|              |            | T = 50 años         |        |        |            |        | T = 100 años |        |        |            |        |
|              |            | Guía                | Snyder |        | Triangular |        | Guía         | Snyder |        | Triangular |        |
|              |            |                     | Mín    | Máx    | Mín        | Máx    |              | Mín    | Máx    | Mín        | Máx    |
| 1            |            | 136,40              | 97,26  | 146,47 | 190,50     | 230,73 | 167,70       | 114,45 | 172,36 | 224,18     | 271,52 |
| 2            | Bufadero   | 132,40              | 85,41  | 128,62 | 180,90     | 208,43 | 162,80       | 100,30 | 151,04 | 212,45     | 244,77 |
| 3            |            | 131,40              | 83,72  | 126,08 | 178,81     | 205,54 | 161,40       | 98,83  | 148,83 | 211,07     | 242,63 |
| 4            | Santos     | 225,20              | 155,52 | 234,20 | 285,87     | 291,79 | 269,30       | 180,66 | 272,07 | 332,09     | 338,97 |
| 5            |            | 223,10              | 153,45 | 231,09 | 283,40     | 289,99 | 266,80       | 178,26 | 268,45 | 329,22     | 336,88 |
| 6            | Hierro     | 50,70               | 30,65  | 46,16  | 54,54      | 65,50  | 59,60        | 35,69  | 53,75  | 63,52      | 76,28  |
| 7            | San Felipe | 230,80              | 165,48 | 249,20 | 386,36     | 399,81 | 301,10       | 199,98 | 301,15 | 466,91     | 483,17 |
| 8            |            | 229,80              | 163,59 | 246,36 | 385,26     | 397,85 | 299,60       | 197,69 | 297,72 | 465,58     | 480,80 |
| 9            | San Juan   | 110,00              | 97,95  | 147,51 | 225,33     | 227,40 | 140,20       | 113,83 | 171,43 | 261,87     | 264,27 |
| 10           |            | 171,30              | 215,78 | 324,95 | 468,01     | 479,34 | 236,30       | 257,54 | 387,84 | 558,59     | 572,12 |
| 11           | Infierno   | 89,40               | 86,70  | 130,56 | 177,53     | 181,11 | 113,30       | 100,84 | 151,86 | 206,50     | 210,66 |
| 12           |            | 86,20               | 79,00  | 118,97 | 169,43     | 169,86 | 109,10       | 92,16  | 138,79 | 197,67     | 198,17 |
| 13           | Torviscas  | 31,70               | 22,70  | 34,18  | 50,68      | 65,93  | 39,40        | 26,48  | 39,87  | 59,13      | 76,92  |

**Tabla 5.** Valores de caudales punta calculados por la *Guía Metodológica para el cálculo de caudales en la isla de Tenerife* y por los hidrogramas sintéticos unitarios de Snyder y triangular en las localizaciones de estudio. Periodos de retorno de 250 y 500 años

| Localización | Barranco   | CAUDAL PUNTA (m³/s) |        |        |            |        |              |        |        |            |        |
|--------------|------------|---------------------|--------|--------|------------|--------|--------------|--------|--------|------------|--------|
|              |            | T = 250 años        |        |        |            |        | T = 500 años |        |        |            |        |
|              |            | Guía                | Snyder |        | Triangular |        | Guía         | Snyder |        | Triangular |        |
|              |            |                     | Mín    | Máx    | Mín        | Máx    |              | Mín    | Máx    | Mín        | Máx    |
| 1            |            | 213,70              | 139,50 | 210,09 | 273,25     | 330,95 | 252,20       | 160,63 | 241,90 | 314,62     | 381,06 |
| 2            | Bufadero   | 207,30              | 122,63 | 184,68 | 259,76     | 299,28 | 244,60       | 141,47 | 213,04 | 299,65     | 345,24 |
| 3            |            | 205,40              | 120,83 | 181,97 | 258,08     | 296,66 | 242,40       | 138,96 | 209,27 | 296,79     | 341,16 |
| 4            | Santos     | 335,40              | 218,84 | 329,57 | 402,28     | 410,61 | 387,20       | 248,64 | 374,44 | 457,05     | 466,52 |
| 5            |            | 332,40              | 215,93 | 325,19 | 398,80     | 408,07 | 383,60       | 245,34 | 369,47 | 453,11     | 463,64 |
| 6            | Hierro     | 72,50               | 43,26  | 65,15  | 76,98      | 92,45  | 83,10        | 49,27  | 74,20  | 87,69      | 105,31 |
| 7            | San Felipe | 410,50              | 252,02 | 379,52 | 588,41     | 608,90 | 505,20       | 295,87 | 445,57 | 690,80     | 714,86 |
| 8            |            | 408,60              | 249,14 | 375,19 | 586,74     | 605,92 | 502,80       | 292,49 | 440,48 | 688,84     | 711,35 |
| 9            | San Juan   | 184,90              | 137,13 | 206,51 | 315,46     | 318,36 | 222,30       | 155,66 | 234,42 | 358,10     | 361,38 |
| 10           |            | 332,40              | 315,21 | 474,70 | 683,68     | 700,24 | 414,90       | 361,95 | 545,08 | 785,05     | 804,06 |
| 11           | Infierno   | 148,00              | 120,46 | 181,41 | 246,67     | 251,65 | 176,30       | 136,43 | 205,46 | 279,38     | 285,01 |
| 12           |            | 142,30              | 110,00 | 165,66 | 235,93     | 236,53 | 169,40       | 124,44 | 187,40 | 266,90     | 267,58 |
| 13           | Torviscas  | 50,40               | 32,06  | 48,28  | 71,60      | 93,14  | 59,30        | 36,39  | 54,79  | 81,25      | 105,69 |

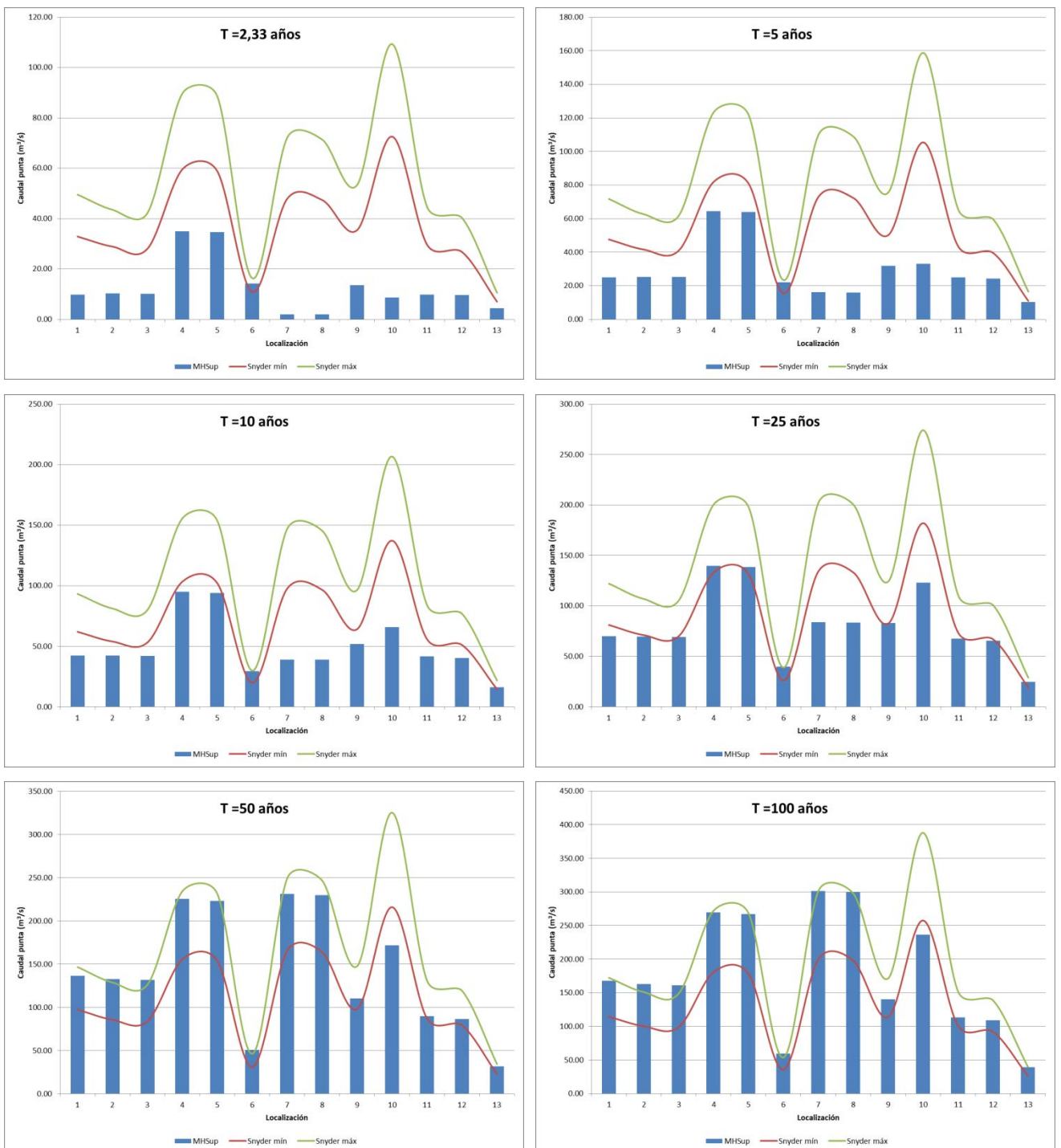
**Tabla 6.** Valores de caudales punta calculados por la *Guía Metodológica para el cálculo de caudales en la isla de Tenerife* y por los hidrogramas sintéticos unitarios de Snyder y triangular en las localizaciones de estudio. Periodos de retorno de 1.000 y 5.000 años

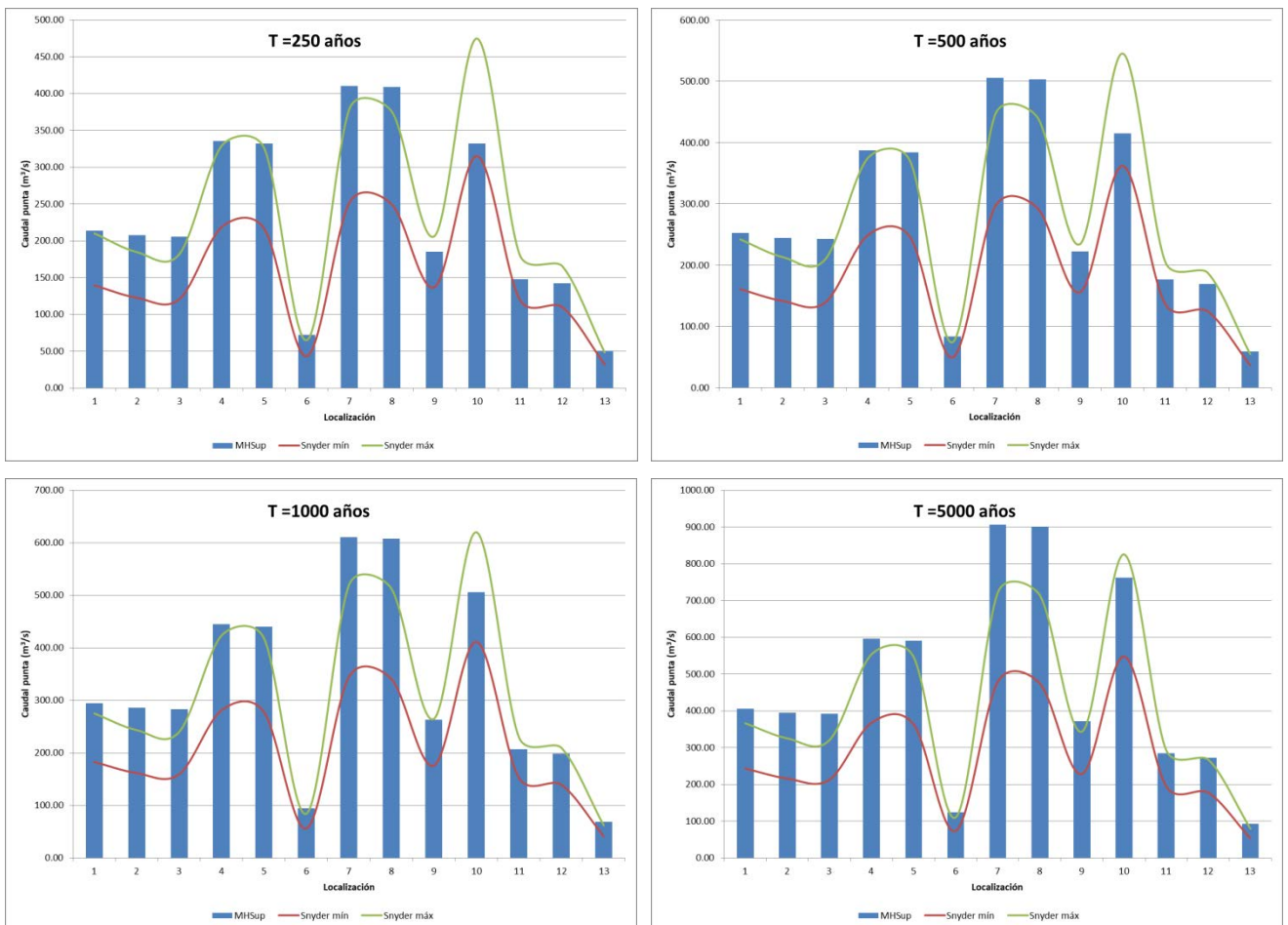
| Localización | BARRANCO | CAUDAL PUNTA (m³/s) |        |       |            |       |               |        |       |            |       |
|--------------|----------|---------------------|--------|-------|------------|-------|---------------|--------|-------|------------|-------|
|              |          | T = 1000 años       |        |       |            |       | T = 5000 años |        |       |            |       |
|              |          | Guía                | Snyder |       | Triangular |       | Guía          | Snyder |       | Triangular |       |
|              |          |                     | Mín    | Máx   | Mín        | Máx   |               | Mín    | Máx   | Mín        | Máx   |
| 1            |          | 294,0               | 182,7  | 275,1 | 357,9      | 433,5 | 406,3         | 243,1  | 366,1 | 476,2      | 576,8 |
| 2            | Bufadero | 285,4               | 161,6  | 243,3 | 342,3      | 394,4 | 395,2         | 215,9  | 325,1 | 457,3      | 526,9 |
| 3            |          | 282,9               | 159,2  | 239,8 | 340,1      | 390,9 | 392,0         | 212,7  | 320,4 | 454,4      | 522,3 |
| 4            | Santos   | 444,5               | 281,2  | 423,5 | 516,9      | 527,6 | 595,7         | 367,8  | 553,9 | 676,1      | 690,1 |
| 5            |          | 440,4               | 277,5  | 417,9 | 512,5      | 524,4 | 590,3         | 362,9  | 546,5 | 670,3      | 685,9 |

|    |            |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |
|----|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| 6  | Hierro     | 94,5  | 56,0  | 84,4  | 99,7  | 119,8 | 124,3 | 73,3  | 110,4 | 130,4  | 156,7  |
| 7  | San Felipe | 610,8 | 344,9 | 519,5 | 805,4 | 833,5 | 905,7 | 479,4 | 722,0 | 1119,4 | 1158,4 |
| 8  |            | 607,5 | 340,4 | 512,7 | 801,8 | 828,0 | 901,3 | 474,0 | 713,8 | 1116,3 | 1152,7 |
| 9  | San Juan   | 263,0 | 175,7 | 264,7 | 404,3 | 408,0 | 371,1 | 228,2 | 343,6 | 524,9  | 529,7  |
| 10 |            | 505,7 | 411,6 | 619,9 | 892,8 | 914,5 | 762,1 | 547,8 | 825,1 | 1188,3 | 1217,1 |
| 11 | Infierno   | 206,5 | 152,8 | 230,2 | 313,0 | 319,3 | 283,9 | 194,8 | 293,4 | 398,9  | 407,0  |
| 12 |            | 198,2 | 139,3 | 209,7 | 298,7 | 299,5 | 272,1 | 177,5 | 267,3 | 380,7  | 381,7  |
| 13 | Torviscas  | 68,8  | 41,0  | 61,8  | 91,7  | 119,3 | 93,2  | 52,7  | 79,4  | 117,8  | 153,3  |

En la Figura 4 se representan los valores de los caudales punta obtenidos por la *Guía Metodológica para el cálculo de caudales en la isla de Tenerife* en columnas azules para cada localización de estudio.

A su vez, se han representado con una línea verde los correspondientes a los caudales punta máximos y con una línea roja los caudales punta mínimos calculados atendiendo a los fundamentos teóricos del hidrograma sintético unitario de Snyder.





**Figura 4.** Comparación de los valores de los caudales punta calculados por la *Guía Metodológica para el cálculo de caudales en la isla de Tenerife* y por el método del hidrograma unitario sintético de Snyder para los periodos de retorno considerados en las localizaciones de estudio

Se puede observar que, salvo excepciones, en las localizaciones en estudio para periodos de retorno:

- De hasta 25 años, la *Guía Metodológica para el cálculo de caudales en la isla de Tenerife* determina unos valores de caudales punta menores que el valor mínimo calculado por el método del hidrograma sintético unitario de Snyder
- De 50 y 100 años, los valores de caudales establecidos por la *Guía Metodológica para el cálculo de caudales en la isla de Tenerife* quedan encuadrados entre los valores mínimo y máximo calculados por el método del hidrograma sintético unitario de Snyder.
- De 250, 500, 1.000 y 5.000 años, el valor máximo del caudal punta calculado por el método del hidrograma sintético unitario de Snyder es menor que el determinado por la *Guía Metodológica para el cálculo de caudales en la isla de Tenerife*.

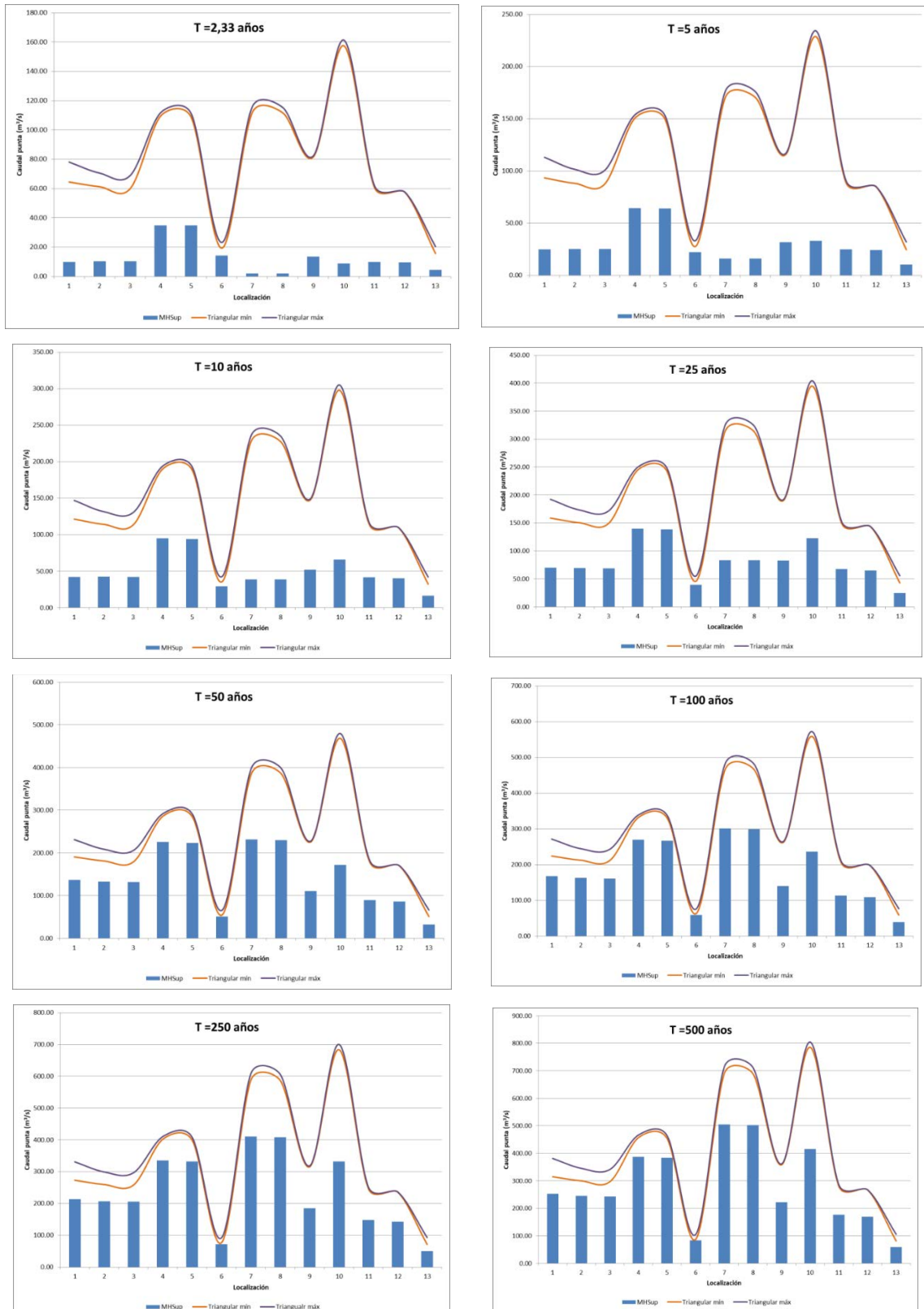
Existen localizaciones en donde se producen excepciones, en concreto las No. 6, 9 y 10:

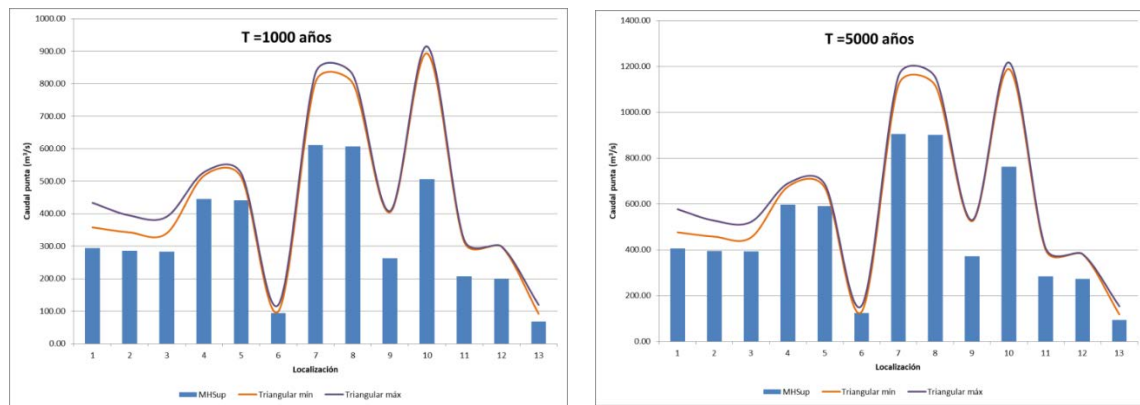
- En la localización No. 6 los valores de los caudales establecidos por la *Guía Metodológica para el cálculo de caudales en la isla de Tenerife* quedan encuadrados entre los valores mínimo y máximo calculados por el método del hidrograma sintético unitario de Snyder para periodos de retorno de hasta 25 años. Para periodos de retorno superiores, el valor máximo del caudal punta calculado por el método del hidrograma sintético unitario de Snyder es menor que el determinado por la *Guía Metodológica para el cálculo de caudales en la isla de Tenerife*.
- En la localización No. 9 el encuadre de los valores caudales punta establecidos por la *Guía Metodológica para el cálculo de caudales en la isla de Tenerife* se produce a partir del periodo de retorno de 50 años, sobrepasándose el valor máximo calculado por el método del hidrograma sintético unitario de Snyder para el periodo de retorno de 5.000 años.



- En la localización No. 10 ocurre lo mismo, pero a partir del periodo de retorno de 250 años. En esta ocasión, para el periodo de retorno de 5.000 años el valor del caudal punta establecido por la *Guía Metodológica para el cálculo de caudales en la isla de Tenerife* sí queda encuadrado dentro de los valores máximo y mínimo calculados por el método del hidrograma sintético unitario de Snyder.

Por otra parte, en la Figura 5 también se han representado los caudales punta obtenidos por la *Guía Metodológica para el cálculo de caudales en la isla de Tenerife* en columnas azules para cada localización de estudio junto con los caudales punta mínimos (línea naranja) y máximos (línea morada) calculados atendiendo a los fundamentos teóricos del método del hidrograma sintético unitario triangular.





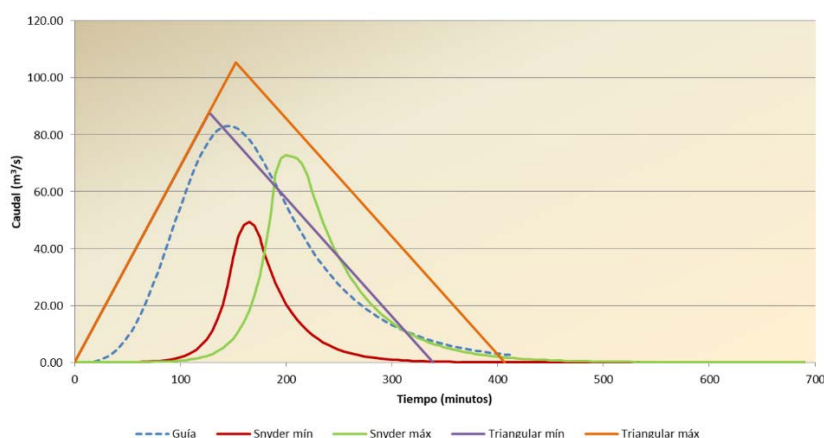
**Figura 5.** Comparación de los valores de los caudales punta calculados por la *Guía Metodológica para el cálculo de caudales en la isla de Tenerife* y por el método del hidrograma unitario sintético triangular para los periodos de retorno considerados en las localizaciones de estudio. Fuente: Elaboración propia.

En esta ocasión la diferencia entre los valores de caudales mínimos y máximos calculados por el método del hidrograma unitario sintético triangular es apenas perceptible, salvo en las localizaciones No. 1, 2 y 3.

Se puede observar que en todas las localizaciones los caudales punta establecidos por la *Guía Metodológica para el cálculo de caudales en la isla de Tenerife* son menores que los establecidos por el método del hidrograma unitario sintético triangular para los periodos de retorno considerados.

Únicamente en la localización No. 6 y para periodos de retorno superiores a 50 años se observa que el valor del caudal punta establecido por la *Guía* se acerca mucho al valor mínimo determinado mediante el método del hidrograma sintético unitario triangular.

Asimismo, si comparamos los gráficos correspondientes a los hidrogramas que se generarían por los métodos de los hidrogramas sintéticos unitarios de Snyder y triangular con el generado por la *Guía Metodológica para el cálculo de caudales en la isla de Tenerife*, se puede observar que ni el tiempo en el que se produce el valor del caudal punta ni el tiempo base de hidrograma son coincidentes. En la Figura 6 se puede ver dicha comparativa, realizada para un periodo de retorno de 500 años en la localización No. 6.



**Figura 6.** Comparativa de hidrogramas calculados por la *Guía Metodológica para el cálculo de caudales en la isla de Tenerife* y por los métodos de los hidrogramas sintéticos unitarios de Snyder y triangular. Determinados para el periodo de retorno de 500 años en la localización No. 6

#### 4. CONCLUSIONES

En el apartado anterior se ha podido comprobar que los caudales punta teóricos calculados por diversos métodos, en principio aplicables a la isla de Tenerife, no dan resultados uniformes.

De forma general puede decirse que para periodos de retorno bajos (hasta 25 años), la *Guía Metodológica para el cálculo de caudales en la isla de Tenerife* obtiene caudales muy inferiores a los valores obtenidos por otros métodos teóricos como el del hidrograma sintético unitario de Snyder o el triangular.

Para periodos de retorno superiores los valores que da presentan gran variabilidad, de forma comparativa, con los resultados de los otros métodos de cálculo teórico utilizados. Dependiendo de la localización y del periodo de retorno considerado, el valor caudal punta definido por *la Guía Metodológica para el cálculo de caudales en la isla de Tenerife* puede ser inferior, superior o acorde con los valores obtenidos por los métodos teóricos de cálculo del hidrograma sintético unitario de Snyder o triangular.

A su vez, los hidrogramas calculados por los distintos métodos empleados en este estudio muestran diferentes tiempos de ocurrencia del caudal punta. Esto nos hace preguntarnos: ¿por qué en la isla de Tenerife es más apropiado considerar el método del hidrograma sintético unitario del Soil Conservation Service del U.S. Department of Agriculture, según establece la *Guía Metodológica para el cálculo de caudales en la isla de Tenerife?*; ¿cuál sería el método más apropiado para determinar el valor del caudal punta teórico y su distribución a lo largo del tiempo dentro de las cuencas en estudio?; ¿no sería más apropiado hacer un “traje a medida” por cuenca vertiente, es decir, determinar un caudal punta y su hidrograma asociado de forma particularizada?

Para poder dar algún tipo de respuesta a estas preguntas se entiende que es necesario analizar valores reales de lluvias y de caudales de escorrentía asociados a las mismas en las localizaciones de estudio (mediante aforadores y estaciones pluviométricas). De esta forma se podría determinar el hidrograma unitario específico de cada una de las cuencas en estudio atendiendo a los tres principios que definen un hidrograma sintético unitario [6]:

1. Para tormentas cortas e intensas, el tiempo de punta del hidrograma producido es constante e independiente de la duración de la tormenta, es decir, que se observan tormentas intensas y de duración creciente
2. Para tormentas de la misma duración e inferior al tiempo en el que se produce el máximo caudal de escorrentía ( $t_0$ ) el volumen de escorrentía producido es proporcional a la intensidad de dichas tormentas
3. El hidrograma producido por una tormenta de duración superior al  $t_0$  se puede obtener dividiendo la tormenta en partes de tiempo iguales o interiores a  $t_0$  y superponiendo los hidrogramas obtenidos.

Se prevé que con los elementos de aforo y medida de precipitaciones que pretende instalar el Consejo Insular de Aguas de Tenerife en las localizaciones en estudio se pueda conseguir dar respuesta a las preguntas anteriormente realizadas.

## REFERENCIAS

- [1] Consejo Insular de Aguas de Tenerife. (2016). Guía metodológica para el cálculo de caudales de avenida en la isla de Tenerife. Recuperado: <https://www.aguastenerife.org/images/pdf/ponenciasdocumentos/GuiaMetodologicaCalculoAvenidas.pdf>
- [2] Braojos J. (2019). 100 años de la hidrología superficial en Tenerife. Consejo Insular de Aguas de Tenerife
- [3] Mockus V. (1957). Use of Storm and Watershed Characteristics in Synthetic Hydrograph Analysis and Application. Soil Conservation Service del US Department of Agriculture.
- [4] Snyder F. (1938). Synthetic Unit-Graphse. Trans Am Geophys Union.
- [5] Aparicio F. (2001). Fundamentos de hidrología de superficie. Limusa
- [6] Clark C. (1945). Storage and the Unit Hydrograph. Estados Unidos. ASCE

# Potencial de los tubérculos andinos *Tropaeolum tuberosum*, *Ullucus tuberosus* y *Oxalis tuberosa* para la elaboración de chips saludables por medio de *air fryer*

Sebastián Mateo Mora Suárez<sup>1</sup>

María Hernández-Carrión<sup>2</sup>

*Universidad de los Andes*  
Colombia

En este capítulo se presenta una revisión de los resultados de investigación hallados en literatura acerca del mercado actual de chips en Colombia y las características nutricionales, funcionales, sensoriales y el impacto social y ambiental de los cultivos de cubios (*Tropaeolum tuberosum*), chuguas (*Ullucus tuberosus*) e hibias (*Oxalis tuberosa*). Asimismo, se muestran los resultados de percepción de posibles consumidores con el objetivo de conocer la viabilidad de diseñar y elaborar a escala industrial chips saludables a base de estos tubérculos por medio de freído por aire forzado (Air Fryer). Los resultados muestran que el mercado actual en el sector de snacks en Colombia presenta un panorama prometedor para incursionar en la innovación y desarrollo de este tipo de alimentos. Asimismo, los cubios, chuguas e hibias cuentan con excelentes propiedades nutricionales y funcionales, además del impacto positivo que proporcionaría el cultivo de estos tubérculos en los agricultores y en el medio ambiente. Lo anterior dado que elaborar este tipo de productos contribuiría a reducir las enfermedades producidas por el consumo de chips tradicionales, al mismo tiempo que se promueve e impulsa la agricultura tradicional y ancestral de la zona andina de Colombia. Finalmente, a partir de la encuesta de percepción se obtuvo que lanzar al mercado un producto de estas características podría ser una buena alternativa para reemplazar los chips comúnmente consumidos.

---

<sup>1</sup> Ingeniero Químico e Ingeniero de Alimentos.

Contacto: [sm.mora12@uniandes.edu.co](mailto:sm.mora12@uniandes.edu.co)

<sup>2</sup> Doctor en Ciencia, Tecnología y Gestión Alimentaria.

Contacto: [m.hernandez1@uniandes.edu.co](mailto:m.hernandez1@uniandes.edu.co)

## 1. INTRODUCCIÓN

El Millennium Ecosystem Assessment Board MEAB 2005 estima que de las 10.000 a 15.000 especies comestibles conocidas a nivel mundial, sólo 7,000 se han usado en la agricultura y, de ellas, apenas un 2% se consideran económicamente significativas. Hoy en día, el 75% de la comida mundial proviene de tan solo 12 especies de plantas y 5 especies animales. Más del 90% de las variedades cultivadas ha desaparecido de los campos en parte por el crecimiento del área cultivada con monocultivos [1]. En la Región Andina colombiana existe el caso de por lo menos una docena de tubérculos, tres granos, tres legumbres y más de una docena de frutas que se encuentran en desuso o desconocidos debido a su reemplazo por especies europeas como el trigo, la cebada, las zanahorias y las habas que fueron introducidas por los españoles [2].

En la Región Andina existen cultivos que son poco conocidos, incluso en los mismos países del área ya que suelen satisfacer demandas de carácter local [3]. Entre estos se destacan tres especies en particular: el cubio (*Tropaeolum tuberosum*), la chugua o ruba (*Ullucus tuberosus*) y la hibia (*Oxalis tuberosa*). Por lo general, están sembrados en pequeñas áreas bajo sistemas de producción tradicionales y en condiciones difíciles, pero son imprescindibles para asegurar la diversificación alimentaria y el sustento de las poblaciones que viven en mayor riesgo [4].

Al parecer, la distribución de la variabilidad de estas especies no es uniforme en toda la franja andina; se concentra más bien en nichos denominados *microcentros* con características sociales, medioambientales y culturales favorables para la conservación natural de la biodiversidad [5].

En Colombia, mediante una investigación realizada por el Departamento de Desarrollo Rural y Regional de la Pontificia Universidad Javeriana, se identificó un microcentro en el departamento de Boyacá, Colombia. Aquí, la presencia de cubios, chuguas e hibas es evidente a diferentes escalas de siembra, desde su presencia en pequeñas franjas dentro de la huerta hasta en medianas áreas, que los convierten en cultivos secundarios de los sistemas productivos [6].

Con la creciente presión que ejerce la población sobre los recursos naturales, se esperaría un incremento en el número de especies para la alimentación, pero en realidad sucede lo contrario, la diversidad y el número de especies potenciales disminuye [7, 8]. A pesar de los avances en ciencia y tecnología en Colombia, no se han desarrollado suficientes metodologías para aprovechar los recursos autóctonos con el fin de proporcionar un mayor valor agregado. La economía campesina y su sostenibilidad no solo se fundamentan en la productividad, sino también en la biodiversidad de las especies [9, 10]; la reducción de especies agrícolas en el territorio constituye una amenaza directa para la supervivencia humana. Hoy, gracias a la globalización y la influencia de insumos externos y bienes *comodities*, especies autóctonas han desaparecido de la canasta familiar [11].

Históricamente, los tubérculos andinos han jugado un papel importante en la alimentación de muchas comunidades en América Latina [12]. Sin embargo, según [13] los cubios tienen poca aceptación fuera de un consumo familiar o local, lo cual se traduce en una baja comercialización. La baja comercialización se ha explicado por diferentes causas. Para León [2] este problema podría deberse a que el sabor *no es agradable al paladar de gentes blancas*, a su origen indígena y a que, al ser alimento de campesinos pobres, es rechazado por las clases altas. La misma situación se presenta para el caso de las hibas. En contraste, las chuguas son más aceptadas por la población no rural [14] y, de hecho, son consideradas el cultivo predominante de algunas poblaciones de la Región Andina [2].

Los sistemas agrícolas con alta diversidad genética o policultivos son más resistentes ante fenómenos como infestaciones de plagas y maleza, reducen la erosión del viento y mejoran la infiltración del agua [15]. Es por ello que, ante el cambio ambiental global, es fundamental para los sistemas agrícolas mantener una base amplia de cultivos y variedades que puedan permitirles a los agricultores estar mejor preparados para los diferentes escenarios futuros a los que pudieran enfrentarse, ya que un sistema biodiverso es menos vulnerable, más resiliente y adaptable a problemas de toda clase (clima, pestes, suelos).

En este sentido es necesario promover y apoyar medidas de conservación *in situ*, es decir, aquellas que son realizadas directamente en los sitios de producción [16, 17]. Una de las principales razones por la cuales es

importante mantener el uso de las variedades locales es que tienen una gama de usos secundarios muy variados (medicinales, comestibles y forraje) y tienen múltiples usos culinarios (que, a su vez, pueden contribuir a una dieta balanceada), razones por las cuales los agricultores han escogido conservarlas [1].

En los últimos años se ha visto un incremento en la importancia que se le ha dado a la recuperación de los tubérculos tradicionales por sus propiedades nutricionales y medicinales. Por ejemplo, dentro de los usos medicinales atribuidos a los cubios están los tratamientos para los problemas de la próstata [18], la picazón en la piel por heridas [19], los problemas renales, los dolores del hígado [20] e incluso para aclarar manchas en la piel [21]. Un estudio reciente sobre la propiedad antioxidante de los cubios confirma el beneficio del consumo de estos tubérculos [22].

Los cubios también se caracterizan por su alto contenido de vitamina C y contienen un 16% de proteína en material deshidratado [2]. De hecho, los cubios y las habias presentan un mayor contenido de calcio, vitamina A, B2 y C que la papa [23]. Rescatar el uso medicinal de estas plantas es de suma importancia ya que representa una manera económica de prevenir enfermedades y genera un incentivo para que los agricultores mantengan diferentes variedades [24].

Recuperar y fomentar cultivos que se están perdiendo es de suma importancia, no sólo porque mejoran la capacidad de reparación de los sistemas productivos, sino también porque son parte del patrimonio cultural y material de las regiones donde se consumían originalmente. La domesticación y el uso de cada cultivo encierra en sí parte de la historia de los pueblos [1]. Adicionalmente, muchas especies menores o poco utilizadas pueden suministrar un alto contenido de nutrientes por lo que, promoviéndolas adecuadamente, podrían ser incluidas en programas de mejoramiento de la dieta a un bajo costo [25].

En este capítulo se estudia la viabilidad de diseñar y elaborar a escala industrial chips saludables a base de cubios (*Tropaeolum tuberosum*), chuguas (*Ullucus tuberosus*) e habias (*Oxalis tuberosa*) por medio de freído por Air Fryer. Se realizó una revisión de la literatura para encontrar información del mercado actual de chips en Colombia, se estableció la descripción de los chips elaborados según sus características nutricionales, funcionales y sensoriales, se determinó el impacto social y ambiental de estos cultivos en el país y por último se analizó la percepción del posible consumidor frente al producto elaborado que se propone elaborar.

Esto con el objetivo de proponer un producto final que sea alternativo a los snacks comúnmente consumidos, llamativo e innovador para los consumidores tanto por sus propiedades nutricionales como características organolépticas, funcional por sus beneficios para la salud y que además promueva e impulse la agricultura tradicional y ancestral de la zona andina de Colombia.

## 2. MÉTODO

Para el presente trabajo se llevó a cabo una revisión de literatura en relación con los cubios (*Tropaeolum tuberosum*), chuguas (*Ullucus tuberosus*) e habias (*Oxalis tuberosa*) y la elaboración de chips en el país. Específicamente, se indagó información relacionada al mercado actual de chips en Colombia, se investigó sobre las características nutricionales, funcionales y sensoriales de estos tres tipos de tubérculos.

Además, se consultó el impacto social y ambiental de estos cultivos en el país, y por último se llevó a cabo una encuesta de percepción para analizar la posible aceptación o rechazo de elaborar chips por medio de Air Fryer a partir de estos tres tubérculos.

Para obtener información consistente y confiable se hizo uso de base de datos como *ScienceDirect*, *SpringerLink Journals* y *Wiley Online Library*, y de revistas como *Journal of Food Science and Technology*, *International Journal of Food Sciences and Nutrition* y *Journal of the Science of Food and Agriculture*, además de libros como *Food Chemistry*.

Por otro lado, con el objetivo de encontrar la información de manera más eficiente posible se utilizaron palabras claves como *Tropaeolum tuberosum*, *Ullucus tuberosus*, *Oxalis tuberosa*, cubio, chugua, habia, Air Fryer, alimento funcional y chips.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Propiedades de los tubérculos andinos

Conforme al objetivo principal del presente trabajo, el producto propuesto son chips a partir de cubios, chuguas e hibias por medio de freído por aire forzado o Air Fryer. En este sentido, se busca producir chips que contribuyan a reducir las enfermedades producidas por el consumo de chips tradicionales, al mismo tiempo que se promueve e impulsa la agricultura tradicional y ancestral de la zona andina de Colombia. A continuación, se describen las propiedades de los tubérculos empleados para el desarrollo del producto propuesto.

##### 3.1.1 Propiedades nutricionales

En la Tabla 1 se muestran las características nutricionales encontradas en la literatura reportadas por diferentes autores. En esta tabla se encuentra la cantidad de humedad (agua) en g/100 g de base húmeda, el contenido en proteínas, lípidos, carbohidratos, minerales (cenizas) y fibra dietaria total en mg/g en base seca; y por último las calorías en kcal/100 g en base húmeda. En resumen, se aprecia que los tres tubérculos tienen un contenido en agua muy similar de aproximadamente 86,3 g/100g en base húmeda. Además, según lo reportado en la literatura, el cubio es el tubérculo con mayor cantidad de proteínas (115,38 mg/g) y calorías (45,70 kcal/100g), mientras la chugua posee un mayor contenido en lípidos (8,32 mg/g) y la hibia resalta por su alto contenido en carbohidratos (888,00 mg/g).

**Tabla 1.** Características nutricionales reportadas para los cubios (*Tropaeolum tuberosum*), chuguas (*Ullucus tuberosus*) e hibias (*Oxalis tuberosa*)

| Componente                                | Cubio  |        | Chugua          | Hibia  |
|---|--------|--------|-----------------|--------|
|   | [26]   | [27]   | [28]            | [27]   |
| Agua (g/100g)                             | 87,00  | 86,20  | 87,40           | 84,60  |
| Proteínas totales [mg/g BS <sup>a</sup> ] | 115,38 | 113,77 | 80,60           | 84,00  |
| Lípidos totales [mg/g BS]                 | 7,69   | 10,14  | 6,50            | 6,00   |
| Carbohidratos [mg/g BS]                   | 746,15 | 587,68 | 649,60          | 888,00 |
| Minerales (Cenizas) [mg/g BS]             | 38,46  | 30,43  | 54,00           | 35,00  |
| Fibra dietaria total [mg/g BS]            | 61,54  | 36,23  | 64,90           | 51,00  |
| Calorías [kcal/100g BH <sup>b</sup> ]     | 45,70  | 38,10  | NR <sup>c</sup> | 37,40  |

<sup>a</sup>Base seca, <sup>b</sup>Base húmeda, <sup>c</sup>No reportado

El cubio nutricionalmente es un cultivo importante, por su alto contenido de vitamina C y proteínas, el cual supera al de la leche materna [29]. Además, en un estudio sobre cuatro variedades de cubios colombianos, se cuantificaron isotiocianatos mediante el método de Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), en donde de las cuatro variedades de cubios estudiadas, la amarilla presentó valores entre 12,96 y 27,69  $\mu$ moles/g; el morado entre 19,32 y 22,54  $\mu$ moles/g; el morado-blanco entre 11,47 y 20,05  $\mu$ moles/g; y el rojo-blanco entre 4,86 y 45  $\mu$ moles/g [30]. Posee un alto valor nutricional debido a su alto contenido de carbohidratos [20]. Además, comparado con la papa, la chugua, y la hibia presenta una mayor capacidad antioxidante, con alto contenido de antocianinas y carotenoides [31].

De manera similar, la chugua contiene niveles altos de carbohidratos y fibra, cantidades moderadas de proteínas y poca grasa [32]. Según Gross et al. [33], los principales azúcares de este tubérculo son glucosa y fructosa. Por último, en el caso de la hibia se informó que esta tiene un valor nutricional equivalente o mejor que la papa; en promedio, la hibia contiene 84,6% de humedad en base húmeda, 84 mg/g de proteína y 0,6 mg/ g de lípidos en base seca [27].

Por otro lado, estos tubérculos también son ricos nutricionalmente ya que contienen todos los aminoácidos esenciales. La recopilación de esta información encontrada en la literatura se encuentra en la Tabla 2, donde se aprecian las cantidades en rangos de lisina, treonina, valina, isoleucina, leucina, fenilalanina + tirosina, triptófano y metionina + cistina, todos en mg/g de proteína, para los cubios, chuguas e hibias, respectivamente. Se puede apreciar que el cubio y la chugua tienen un mayor contenido proteico en comparación con la hibia que sólo posee 84,00 mg/g de proteínas en base seca. Sin embargo, en cuanto a

aminoácidos esenciales la hibia resulta ser el tubérculo más rico nutricionalmente ya que posee los valores más altos. Seguido a este la sigue la chugua con resultados similares en contenido de Isoleucina, leucina, Fenilalanina + Tirosina, Triptófano y Metionina + Cistina y, por último, el cubio que reportó los resultados más bajos de aminoácidos esenciales entre los tres tubérculos.

**Tabla 2.** Cantidades en rangos de aminoácidos esenciales contenidos en los cubios, chuguas e hibias.

| Componente                              | Cubio     | Chugua    | Hibia     |
|---|-----------|-----------|-----------|
|   | [26] [34] | [27] [35] | [27] [36] |
| Proteínas [mg/g BS <sup>a</sup> ]       | 115,38    | 113,77    | 84,00     |
| Lisina [mg/g proteína]                  | 35-41     | 41-55     | 57-59     |
| Treonina [mg/g proteína]                | 22-24     | 23-30     | 44-47     |
| Valina [mg/g proteína]                  | 25-46     | 33-37     | 26-48     |
| Isoleucina [mg/g proteína]              | 25-37     | 34-48     | 36-46     |
| Leucina [mg/g proteína]                 | 35-43     | 41-57     | 53-60     |
| Fenilalanina + Tirosina [mg/g proteína] | 14-37     | 49-70     | 57-69     |
| Triptófano [mg/g proteína]              | 4,7-5,3   | 7,6-10,6  | 5,5-8,0   |
| Metionina + Cistina [mg/g proteína]     | 13-15     | 27-34     | 25-34     |

<sup>a</sup>Base seca

### 3.1.2 Propiedades funcionales

Parte fundamental de la elaboración de chips a partir cubios, chuguas e hibias es, además de sus propiedades nutricionales, sus propiedades funcionales y los diferentes beneficios para la salud relacionados al consumo de este tipo de tubérculos.

En cuanto al cubio (*Tropaeolum tuberosum*), se ha establecido su importancia en la medicina natural por sus propiedades terapéuticas en el tratamiento de enfermedades genitourinarias [37]. Además, es conocido por sus componentes primarios y secundarios (isotiocianatos) de interés tanto para la industria como para la medicina. Investigaciones preliminares indican que las plantas de cubios contienen, entre otras sustancias, isotiocianatos, proteínas, almidones y azúcares [27]. Los principales glucosinolatos identificados han sido: 4-hidroxi-bencilo GSL (OHB, glucosinalbina), bencil GSL (B, glucotropeolina) y m-metozibencil GSL (MOB, glucolimnatina) [38] los cuales mejoran el tratamiento de próstata en hombres [39].

Los cubios contienen altos niveles de glucosinalatos (glucosilato de metoxibencilo y glucosilato de bencilo) los cuales producen isotiocianatos en presencia de la enzima mirosinasa. El isotiocianato de bencilo parece ser el más abundante en plantas de cubios y se ha informado que es un inhibidor en el desarrollo de cáncer de mama y estómago [40]. Además, hay evidencia de que los polifenoles derivados de los cubios son antioxidantes efectivos, combatiendo el daño causado por procesos oxidantes en estructuras biológicas. Estas propiedades pueden utilizarse en los alimentos y la industria cosmética [41]. Además, la agroindustria artesanal ha desarrollado algunos subproductos de cubios con fines medicinales. Los herbolarios con frecuencia elaboran extractos de cubios o masa deshidratada para la venta [42].

Por el lado de la chugua (*Ullucus tuberosus*), dependiendo del país, además de ser una fuente alimenticia en la Región Andina, también se utiliza en medicina tradicional para el tratamiento de diabetes, así como antiinflamatorio, analgésico y cicatrizante [43]. Estudios de los metabolitos secundarios presentes en chuguas han reportado la presencia de betalainas y de las saponinas triterpénicas tuberosidas A, B, y C. El extracto bruto cetónico de la pulpa de estos tubérculos presenta una excelente actividad cicatrizante [44].

Por último, la hibia (*Oxalis tuberosa*) tiene un contenido fenólico total de entre 0,71 y 1,32 mg/g, teniendo las variedades de color púrpura un mayor contenido y las variedades de color amarillo un menor contenido de fenoles [31]. El contenido total de carotenoides varía de 2 a 25 µg/g en las hibias, el contenido de humedad es de 80-85% y el antioxidante lipofílico en estos tubérculos varía de 69 a 320 µg/g TE [36]. Cabe mencionar que un mayor contenido de antocianinas y compuestos fenólicos, están asociados con la prevención de enfermedades crónicas y degenerativas como el cáncer, enfermedades cardiovasculares y cataratas [45]. Por tanto, su alto contenido en almidón y excelentes propiedades antioxidantes podrían hacer del tubérculo de la hibia una excelente materia prima alimenticia para la elaboración de alimentos extruidos [46].



Espinoza et al. [4] y Chirinos et al. [22] reportaron relación de algunos compuestos derivados de *Tropaeolum tuberosum* (cubio) y *Oxalis tuberosa* (hibia) con propiedades saludables para los riñones, el hígado y la piel, y afirmaron que el consumo de este tipo de alimentos con propiedades antioxidantes puede reducir el riesgo de padecer cáncer, arterioesclerosis, artritis y diabetes, constituyéndose en producto de interés económico para el mercado de nutraceuticos y de alimentos funcionales, lo que concuerda con lo expresado por los productores de mayor edad quienes las utilizan con fines medicinales.

Finalmente, en un estudio realizado por [31], en el que determinaron la capacidad antioxidante y metabolitos secundarios en cuatro especies de cultivos de tubérculos andinos: papa nativa (*Solanum sp.*), cubio (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón), hibia (*Oxalis tuberosa* Molina) y chugua (*Ullucus tuberosus* Caldas), concluyeron que cada tipo de cultivo estudiado puede considerarse una excelente fuente de fitoquímicos dietéticos. Los fitoquímicos responsables de la capacidad antioxidante están relacionados con los compuestos fenólicos y carotenoides presentes en cada tubérculo.

Los valores de antioxidantes de estos cultivos de tubérculos son más altos o comparables a las fuentes conocidas de antioxidantes naturales, como los arándanos, lo que indica que estos cultivos tienen el potencial de ser considerados como nuevas fuentes importantes de nutraceuticos. Esta información muestra que los cultivos de tubérculos andinos son prometedores para la producción de productos nuevos y únicos, saludables y funcionales para el beneficio de productores y consumidores.

### 3.1.3 Propiedades sensoriales

De acuerdo con la Resolución colombiana 2155 de 2012 [47], los chips de tubérculos de la Región Andina se categorizan como hortalizas secas, deshidratadas o desecadas. Esto, debido a que la resolución los define como productos a los que se les ha eliminado la humedad por medios artificiales o naturales y que posteriormente pueden ser sometidos a otros tratamientos para su preparación y envasado, reservándose el nombre de *desecadas o deshidratadas*, a las que se obtienen eliminando la mayor proporción de agua por una corriente de aire caliente o en estufas apropiadas. En este caso, al tratarse de chips elaborados por medio de Air Fryer, se considera que es un producto desecado o deshidratado, ya que se somete a un proceso de freído por aire forzado.

En cuanto a las características sensoriales de los chips obtenidos a partir de cubios, chuguas e hibias, estas varían dependiendo de cada tubérculo. Por el lado del cubio, según León [48] este tubérculo tiene un sabor que recuerda al nabo, pero, si solo se hierve, el sabor se considera desagradable y un poco picante. No obstante, los métodos de preparación entre países difieren; por ejemplo, en algunas áreas son parcialmente secados antes de comer. En cuanto a la chugua, su sabor y apariencia es similar al de la papa, lo que se evidencia en el nombre *papa lisa* que se le ha dado en algunas regiones de Colombia, y por ende su aceptación de sabor es superior frente al cubio y la hibia [24].

Se ha informado que las chuguas cocidas tienen una textura suave y un sabor ligeramente terroso [49], y otros describen los sabores como mucilaginosos y similares a la oca (*Abelmoschus esculentus*) [26]. Algunas variedades contienen mucílagos que puede eliminarse remojándolas o hirviéndolas antes de cocinarlos [50]. Por último, las hibias son tubérculos con un sabor ácido proveniente del ácido oxálico cuya intensidad cambia según la variedad [24]. Sperling y King [26] describieron el sabor de la oca o hibia como ácido dulce o agradablemente amargo. Su sabor también se describió como ácido picante por Veitmeyer [51]. Variedades de hibias que contienen altos niveles de oxalatos se consideran amargas, como las cultivadas en Bolivia [32]. Teniendo en cuenta factores como la textura, aspecto, color, brillo, aroma, sabor particular de cada uno de los tubérculos, y utilizando el método de preparación de los chips por freído de aire forzado (Air Fryer), se espera que el producto obtenido tenga potencial para ser aceptado por los consumidores.

## 3.2 Impacto social y ambiental

En Colombia se ha comprobado que el cubio (*Tropaeolum tuberosum*), la chugua (*Ullucus tuberosus*) y la hibia (*Oxalis tuberosa*) se mantienen en ámbitos en los cuales priman niveles de desarrollo económico muy

bajos, pobreza, exclusión y marginación [52]. Todas ellas son usadas por los pobladores andinos rurales en su alimentación y forman parte de su cultura, además son especialmente importantes para la subsistencia de los agricultores más pobres [53]. En el caso de las hibas, estas sufren del estigma cultural de ser consideradas *comida de pobre* [2]. En la región de Boyacá se ha perdido en gran parte la tradición de cultivar y consumir este tubérculo, lo que conlleva a una merma genética y pérdida de diversidad de la especie en Colombia [14].

No obstante, estos cultivos están ligados íntimamente a su cultura campesina, razón por la cual sus expresiones culturales y técnicas se han mantenido desde la época precolombina hasta hoy [54]. Por tanto, promover el cultivo de estos tubérculos tradicionales generaría una gran cantidad de empleos en las áreas rurales, mientras se elaboran productos novedosos y con mayor valor agregado. Al mismo tiempo, se ayudaría a mantener las expresiones culturales y técnicas típicas de los campesinos productores de cubios, chuguas e hibas, mientras se rompe con el paradigma de alimentos poco conocidos, únicamente utilizados para el consumo de las poblaciones más pobres y vulnerables. También, se impulsaría el consumo de snacks alternativos saludables y con un beneficio nutricional agregado para los consumidores habituales de frituras.

Por otro lado, para entender el impacto ambiental, es necesario comprender las condiciones en las que se dan estos tres tipos de cultivos; el cubio (*Tropaeolum tuberosum*), la chugua (*Ullucus tuberosus*) y la hibia (*Oxalis tuberosa*). Los cubios muestran el rendimiento más alto entre los tubérculos andinos en términos de producción de tubérculos frescos [55]. Además, es de gran interés agronómico por su alta rusticidad y productividad con bajos requerimientos de insumos [56], su cultivo es considerado fácil debido a que no requiere pesticidas ni fertilizantes y es más resistente a la sequía [13] y al frío [2] que otros. Por tanto, la producción de este tipo de tubérculo representaría un gran beneficio en términos de productibilidad; además, que no requeriría de cuidados especiales gracias a su gran resistencia frente a plagas y enfermedades, y a condiciones difíciles como sequías y temperaturas frías.

En el caso de las chuguas, en el centro y sur de los Andes se siembran a alturas de entre los 3000 y 3900 m.s.n.m., mientras en los Andes septentrionales de Ecuador y Colombia se pueden encontrar en alturas hasta de 1000 msnm [14] y en Canadá, Inglaterra y Finlandia se han sembrado a nivel del mar [2]. Una de sus principales fortalezas es el bajo número de pestes y enfermedades que lo afectan y su resistencia a las heladas [14]. Al igual que para el cubio, promover el cultivo de chuguas en Colombia representa una gran oportunidad para generar empleo, ya que es una planta que no requiere cuidados mayores gracias a su resistencia frente a las plagas y enfermedades, y a temperaturas muy bajas.

Finalmente, en el caso de las hibas, estas pueden crecer a una altura de entre 2000 y 3800 msnm, aunque en países templados pueden incluso crecer a nivel del mar. En términos de la producción, las hibas son resistentes a las heladas, aunque es posible que éstas retrasen la producción [2]. Su sensibilidad a la calidad del suelo parece ser un tema de debate: unos autores aseguran que crecen bien en suelos pobres [2], mientras otros estudios han encontrado que responde muy bien cuando es aplicada la cantidad correcta de fósforo y potasio [57]. Por lo que nuevamente, fomentar el cultivo de este tipo de tubérculo podría traer beneficios económicos a los campesinos productores, ya que es una planta versátil frente a diferentes climas, además que no requiere de suelos ricos en nutrientes para desarrollarse efectivamente.

### **3.3 Potencial de los tubérculos andinos para la formulación de nuevos productos alimentarios**

Tradicionalmente los chips se elaboran por freído convencional a escala doméstica e industrial. Este es un proceso de deshidratación que requiere una transferencia rápida de calor y masa cuando el alimento se sumerge en aceite caliente (150-190 °C), se produce una textura crujiente, olores, colores y sabores agradables [58]. Sin embargo, está la preocupación de los consumidores por los problemas de salud como la obesidad, hipertensión, diabetes y cáncer, asociados al frecuente consumo de este tipo de producto, con alto contenido de grasa, calorías y formación de sustancias tóxicas como las acrilamidas. En los últimos años se han incrementado los estudios en nuevas alternativas tecnológicas en el procesamiento de alimentos que reduzcan el contenido de grasa manteniendo la calidad nutricional y sensorial de los mismos.

El freído por aire forzado es un método económico y se encuentran equipos de uso doméstico comercialmente disponibles a nivel mundial. En este proceso, el alimento frito se obtiene por contacto directo del producto y una emulsión externa de gotas de aceite en aire caliente dentro de una cámara que está en movimiento constante [59, 60]. Imita la deshidratación y la formación de la corteza típica de los alimentos fritos de la manera convencional.

Estudios han demostrado que el contenido de lípidos en los productos elaborados por este método es significativamente más bajo, la formación de acrilamida se reduce y los atributos sensoriales pueden ser similares a los fritos por inmersión en aceite [61, 62].

Actualmente en Colombia encontramos una gran variedad de snacks que pueden ser consumidos tanto por niños como por adultos, estos son comercializados en almacenes de cadena y poseen precios asequibles, lo que los convierte en las primeras opciones para el consumidor en caso de que se quiera satisfacer un antojo.

De acuerdo con el Documento Técnico de Azúcares Adicionados del Ministerio de Salud, específicamente en el capítulo 6, se ha recomendado evitar al máximo la ingesta de dichos alimentos por sus altos contenidos de calorías, azúcar, grasas y sodio, ya que estos en exceso pueden desencadenar enfermedades crónicas como la hipertensión arterial, aterosclerosis, diabetes y el aumento indeseado del peso corporal [63].

La obesidad puede presentarse en cualquier etapa de la vida y es tan preocupante en la niñez como en la edad adulta, debido a que esta puede ser un cofactor para el desarrollo de enfermedades crónicas y metabólicas. En Colombia, la obesidad según las encuestas de situación nutricional va en aumento, lo que se atribuye a distintos factores, como son los malos hábitos alimenticios y la poca actividad física. Sin embargo, debido a los estilos de vida contemporáneos en donde hay poco tiempo para realizar las actividades tanto laborales como del hogar, la población trata de buscar opciones saludables que no afecten su ritmo de vida, por esto que surge la iniciativa de *snacks saludables* para evitar la compra de frituras [64].

Los alimentos categorizados como snacks saludables o nutritivos son aquellos que tienen un mayor contenido en micronutrientes, vitaminas, antioxidantes e ingredientes que hacen que este tipo de productos sean más apetecidos por el consumidor. En la actualidad los snacks saludables más reconocidos son aquellos elaborados con mezclas de granos y frutas, extractos vegetales y los que poseen un alto aporte nutricional. A pesar de que existen atributos que influyen sobre la decisión de compra, hoy en día existen muchos individuos conscientes y preocupados por los alimentos que consumen y el impacto de estos sobre su salud [65].

Esta tendencia ha llevado al incremento de demandas por parte del consumidor, tales como empaques biodegradables o reciclables, procesos sostenibles, y productos alimenticios elaborados con ingredientes seguros, frescos y naturales [66]. Esto coincide con lo establecido por Cross, Babicz y Cushman, quienes reportaron que nutrición y salud fue categorizado como el segundo atributo más importante para el consumidor después de sabor y gusto a la hora de realizar una compra de snacks [67].

Por esta razón se realizó una encuesta de percepción, avalada por el Comité de ética de la investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes, con el objetivo de analizar la aceptación por parte del consumidor frente a la elaboración de chips por medio de Air Fryer a partir de cubios, chuguas e hibas. Con el fin de obtener respuestas lo suficientemente diversas y reales, se intentó llegar al mayor número de personas posibles. Para responder a la encuesta, los encuestados podían acceder a ella por medio del enlace: <https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSebrHyF6bGGD5kRVvHQmd8G8cyx-u5FZNhxGCHA0revbJ6yTw/viewform>

La encuesta constó de tres partes. En la primera se preguntó la edad, género y nivel de estudios de los encuestados, así como sus hábitos alimenticios frente al consumo de chips y su percepción y conocimiento con relación a estos. Asimismo, se determinó el porcentaje de personas que conocen los cubios, chuguas e hibas por medio de imágenes ilustrativas de estas hortalizas (Figura 1).



**Figura 1.** Imágenes utilizadas en la encuesta de percepción para saber si las personas conocían los tubérculos de los (A) cubios, (B) chuguas y (C) hibias.

Para esta primera parte las preguntas fueron:

- a. ¿Qué edad tienes?
- b. ¿Con cuál género te identificas?
- c. ¿Cuál es tu nivel de estudios?
- d. ¿Consumes chips o paquetes? (de papitas, plátano, yuca, etc.)
- e. ¿Qué buscas cuando compras chips o paquetes?

Uno de los objetivos de la encuesta de percepción fue analizar cómo cambia la opinión de los participantes al contar con información sobre un producto en particular, en este caso, chips elaborados a partir de cubios, chuguas e hibias por medio de Air Fryer. Para esto, se facilitó a los encuestados un párrafo informativo sobre estos tubérculos, sus beneficios para la salud y el impacto en la sociedad que puede traer emplearlos como alimento en la industria de snacks. Dicho párrafo se muestra a continuación:

*En la Región Andina existen cultivos que son poco conocidos, incluso en los mismos países del área donde se cultivan. Entre estos se destacan tres especies en particular: el cubio (*Tropaeolum tuberosum*), la chugua o ruba (*Ullucus tuberosus*) y la hibia (*Oxalis tuberosa*). En los últimos años se ha visto un incremento en la importancia que se le ha dado al rescate de los tubérculos tradicionales por sus propiedades nutricionales y medicinales. Dentro de los usos medicinales atribuidos al consumo de estos tres tubérculos están los tratamientos para los problemas de la próstata, los problemas renales, los dolores del hígado, propiedades antioxidantes, inhibidores en el desarrollo de cáncer de mama y estómago, tratamiento de diabetes, así como antiinflamatorio, analgésico y cicatrizante; además de tener un mayor contenido de antocianinas y compuestos fenólicos, los cuales están asociados con la prevención de enfermedades crónicas y degenerativas como el cáncer, enfermedades cardiovasculares y cataratas.*

*Rescatar el uso medicinal de estas plantas es de suma importancia ya que representa una manera económica de prevenir enfermedades y son parte del patrimonio cultural y material de las regiones donde se consumían originalmente. Por otro lado, actualmente en Colombia, de acuerdo con el Documento Técnico de Azúcares Adicionados del Ministerio de Salud, se ha recomendado evitar al máximo la ingesta de snacks o chips por sus altos contenidos de calorías, azúcar, grasas y sodio, ya que estos en exceso pueden desencadenar enfermedades crónicas como la hipertensión arterial, aterosclerosis, diabetes y el aumento indeseado del peso corporal. Tradicionalmente los chips se elaboran por freído convencional a escala doméstica e industrial. Sin embargo, en los últimos años se han incrementado los estudios en el freído por aire forzado (Air Fryer), el cual es un método más saludable, económico y se encuentran equipos de uso domésticos comercialmente disponible a nivel mundial.*

Con esto en mente, la segunda parte de la encuesta consistió en una serie de preguntas cuyo objetivo era comparar la opinión del posible consumidor antes y después de disponer de más información sobre la materia prima del producto. Las preguntas realizadas antes y después del párrafo informativo fueron:

- f. ¿Estarías dispuesto a consumir chips elaborados a partir cubios, chuguas e hibias por medio de Air Fryer?
- g. ¿Consideras innovador elaborar chips a partir de cubios, chuguas e hibias y por medio de Air Fryer?
- h. ¿Pensarías que chips elaborados a partir de cubios, chuguas e hibias y por medio de Air Fryer serían saludables?

- i. ¿Preferirías consumir *chips* elaborados a partir de cubios, chuguas e hibas y por medio de Air Fryer en lugar de los *chips* que normalmente consumes?

La tercera parte de la encuesta tuvo como objetivo determinar si los posibles consumidores comprarían los chips elaborados a partir de estos tubérculos, cuánto estarían dispuestos a pagar por él, cómo se imaginan el sabor de un producto como este y, qué factores les parecen llamativos sobre la elaboración de este producto. Para esto, se formularon las siguientes y últimas preguntas:

- j. ¿Comprarías chips elaborados a partir cubios, chuguas e hibas por medio de Air Fryer? ¿Por qué? Por favor escribe tus razones en la opción otro
- k. ¿Cuánto estarías dispuesto a gastar en un paquete de chips elaborados a partir cubios, chuguas e hibas de 34 gr (tamaño estándar)?
- l. ¿Cómo te imaginas el sabor de chips elaborados a partir de los anteriores alimentos?
- m. ¿Qué factores te parecen llamativos de los chips elaborados a partir de cubios, chuguas e hibas y por medio de Air Fryer?

#### 4. DISCUSIÓN

Durante el desarrollo de la encuesta se recolectó un total de 103 respuestas de posibles consumidores. En la primera parte de la encuesta se obtuvo que aproximadamente el 46,6% perteneció al rango de edades de entre los 18 a 24 años, 9,7% entre 25 y 34 años, 6,8% entre 35 y 44 años, 10,7% entre 45 y 54 años y 26,2% mayores de 54 años. El 59,2% fueron mujeres y el 40,8% hombres. Por último, aproximadamente el 86,4 % de los encuestados afirmaron tener estudios universitarios y el 13,6% estudios secundarios.

Respecto a las preguntas de consumo de chips o paquetes, el 58,3 % afirmó consumirlos de forma esporádica, el 24,3% semanalmente, el 9,7% mensualmente y el 3,9% los consume diariamente o nunca. Estos resultados muestran la demanda positiva de las personas frente a este tipo de alimentos y, por lo tanto, la oportunidad de negocio de incursionar en este sector de la industria alimentaria aportando valor a los productos.

Frente a la pregunta de qué buscaban los encuestados al momento de comprar chips o paquetes, el 43,7 % y 39,8% de las personas marcaron que el precio sea asequible y que la apariencia les resulte atractiva, respectivamente, siendo estos dos factores los más importantes a la hora de comprar chips. Además, es importante destacar que un tercio de los encuestados (33%) considera que es importante que los chips sean bajos en grasa, demostrando el interés de las personas por consumir alimentos cada vez más saludables para su salud. Por otro lado, que sean bajos en sodio y que sean elaborados a partir de fuentes de origen vegetal fueron escogidos por el 25,2% y 24,3% de las personas, respectivamente.

El 28,2% de las personas afirmó no revisar las etiquetas nutricionales de los chips de consumo, lo que implica que por el contrario un gran porcentaje de las personas sí revisa este tipo de información. Por último, el 31,1 % está interesado en probar cosas nuevas, lo que demuestra la oportunidad al incursionar con alimentos y sabores nuevos para los consumidores en el sector de chips. Finalmente, entre las otras opciones que añadieron las personas, mencionaron que les gustaría que los chips fueran al horno en lugar de fritos, que les guste el sabor y sea de su antojo y que sean 100% naturales.

Para la pregunta sobre si las personas encuestadas conocían los tubérculos mostrados en imágenes (cubios, chuguas e hibas) se obtuvieron resultados diferentes dependiendo del tubérculo. Por el lado de los cubios, el 53,4% de las personas afirmó conocer este tubérculo frente a un 42,7% que no lo conocía, asimismo, de las personas que dijeron conocerla el 70,9% acertó al momento de dar el nombre mientras que el 29,1% no mencionó el nombre correcto.

Por otro lado, en el caso de las chuguas, el 51,5% de los encuestados dijo no conocer este tubérculo, frente al 44,7% que, sí lo conoce. No obstante, de las personas que afirmaron conocerlo, solo el 43,5% acertaron al momento de dar el nombre mientras que el 56,5% se equivocaron.

Por último, en el caso de las habias la gran mayoría de personas, con un 78,6%, afirmó no conocer este alimento contra 18,4% que dice conocerlo, sin embargo, de este último grupo de personas solo el 42,1% acertaron al momento de mencionar el nombre puesto que el 57,9% dio un nombre equivocado.

Se puede apreciar como los resultados son consecuentes con la información encontrada en la literatura ya que se evidencia un mayor conocimiento por parte de las personas sobre el cubio, sin embargo, por el lado de las chuguas y en especial de las habias, hay un gran desconocimiento sobre estos tubérculos y más aún al momento de mencionar sus nombres.

Para la segunda parte de la encuesta se analizaron un total de cuatro preguntas antes y después del texto informativo. Los resultados se muestran continuación en la Figura 2. Como resultado se obtuvo en términos generales una respuesta positiva por parte de las personas encuestadas ya que la percepción de ellas mejoró después de leer el párrafo informativo. Esta mejoría se ve reflejada en el aumento del porcentaje de las personas que respondieron *sí* para cada una de las preguntas. Los resultados muestran que las personas una vez tenían conocimiento sobre el tema discutido en relación con los tubérculos andinos, estaban más dispuestos a consumir chips elaborados a partir de cubios, chuguas e habias, consideraban más innovador elaborar este producto, pensaban que elaborar chips a partir de estos tubérculos por medio de Air Fryer era más saludable y preferirían consumir este tipo de chips en lugar de los chips que comúnmente consumen.

Por último, las preguntas donde hubo un mayor cambio de percepción de las personas fueron en la h) e i), relacionadas con saber si pensaban que este tipo de chips serían saludables y si consumirían este producto antes que los chips comunes, ya que para la primera pregunta el porcentaje de personas que respondió *sí* aumentó del 60,2% al 86,4%, y para la segunda pregunta del 40,8% al 64,1%. Como dato adicional, en todas las preguntas el porcentaje de personas que contestó *no sé* disminuyó considerablemente después del texto informativo, esto probablemente debido a que consideraban que tenían la información necesaria para responder afirmativa o negativamente a cada pregunta.

Para la tercera parte de la encuesta se obtuvo que un gran porcentaje de personas (91,3%), sí comprarían chips elaborados a partir de cubios, chuguas e habias frente a las que no, con un 8,7%. En general, las razones que los encuestados dieron para comprar este producto fueron porque les interesa que no sean fritos en aceite, porque suena una idea interesante y saludable, por curiosidad de conocer su sabor y probar un alimento funcional, porque ya conocen el sabor y les gusta, porque sería innovador, por probar opciones diferentes, por los beneficios para la salud que tienen estos tubérculos, por ser productos nativos y por apoyar a los agricultores y al crecimiento de la economía nacional.

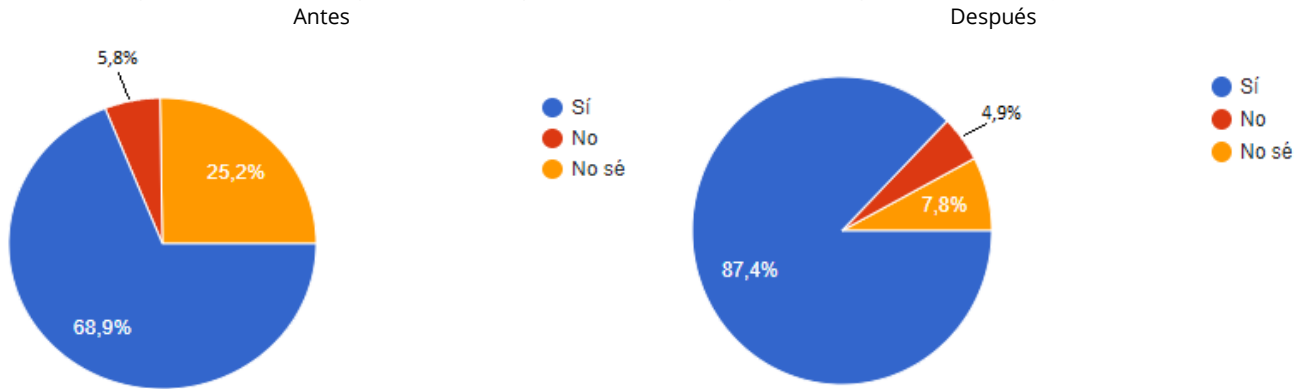
Por otro lado, se logró determinar que el 42,7% de las personas estaría dispuesta a pagar menos de \$3000 COP, lo que concuerda con el estudio del precio promedio de un paquete de papas fritas naturales de misma presentación (34 g) actualmente en el mercado colombiano. Sin embargo, es importante destacar que un 37,9% de las personas estaría dispuesto a pagar entre \$3000 y \$4000 COP y un 19,5% por encima de los \$4000 COP por un paquete de chips elaborados a partir de cubios, chuguas e habias por medio de Air Fryer, lo que representa una posible oportunidad de negocio teniendo en cuenta la aceptación y disposición de las personas a pagar un mayor precio por un snack con estas cualidades.

En relación a la pregunta sobre cómo imaginaban las personas el sabor que tendrían los chips elaborados a partir de estos tubérculos, los resultados muestran que el 73,8% de las personas afirmó que se imaginaban un sabor agradable para este tipo de producto, mientras que un 20,4% afirmó no saber qué sabor tendrían. Lo anterior, demuestra el desconocimiento de las personas alrededor de este tipo de tubérculos incluyendo el sabor de estos. Por último, solo un 5,8% de las personas imaginó un sabor desagradable para los chips.

Finalmente, para la pregunta sobre qué factores les parecían llamativos a los consumidores de elaborar chips a partir de cubios, chuguas e habias, se obtuvieron resultados positivos. Los dos factores que los encuestados escogieron en mayor medida fueron por ser un producto más saludable (propiedades

nutricionales) y por promover e incentivar el consumo y cultivo de especies autóctonas que hacen parte del patrimonio cultural y material de las regiones, con un 68,9% y 67% de respuestas, respectivamente. Por otro lado, producto innovador fue escogido por el 54,4% de los encuestados, producto con beneficios para la salud (propiedades medicinales) por el 49,5% y producto más natural por el 56,3% de las personas encuestadas. Lo anterior pone de manifiesto el potencial y oportunidad de negocio de comercializar un producto tipo snack saludable a base de tubérculos de la Región Andina tales como cubios, chuguas e hibas.

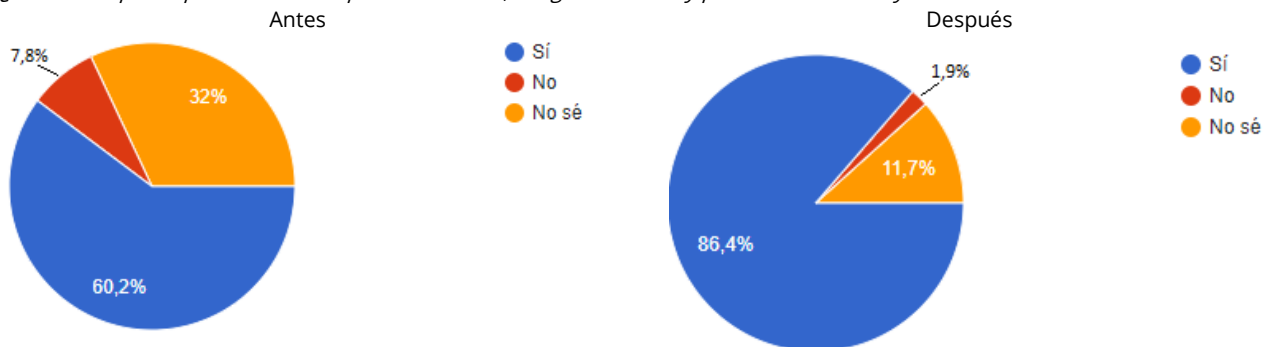
f. ¿Estarías dispuesto a consumir chips elaborados a partir de cubios, chuguas e hibas por medio de Air Fryer??



g. ¿Consideras innovador elaborar chips a partir de cubios, chuguas e hibas y por medio de Air Fryer?



h. ¿Pensarías que chips elaborados a partir de cubios, chuguas e hibas y por medio de Air Fryer sería saludable?



i. ¿Preferirías consumir chips elaborados a partir de cubios, chuguas e hibas y por medio de Air Fryer en lugar de los chips que normalmente consumes?

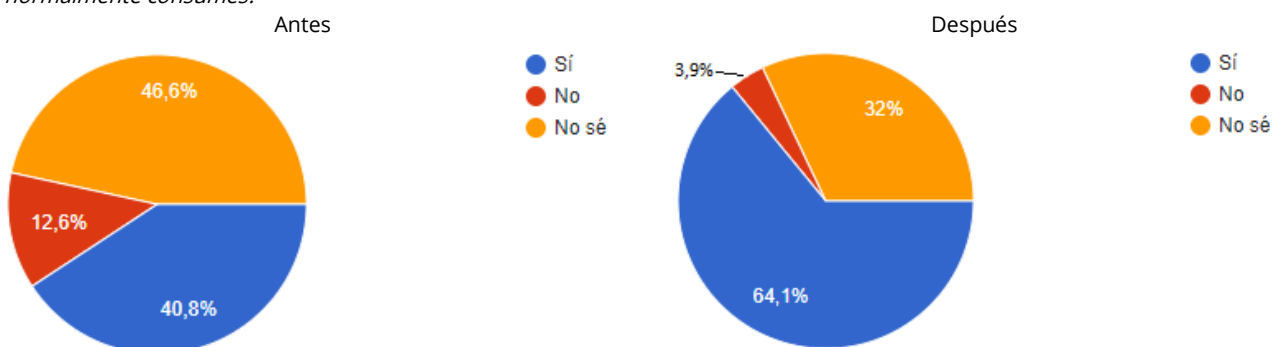


Figura 2. Resultados a las preguntas realizadas antes y después del texto informativo

## 5. CONCLUSIONES

El mercado actual del sector de snacks en Colombia demuestra un panorama prometedor para incursionar en la innovación y desarrollo de este tipo de alimentos y que cada vez sean más saludables para el consumidor. Teniendo en cuenta las excelentes propiedades nutricionales y funcionales de los cubios, chuguas e hibas y el impacto positivo que trae el cultivo de estos tubérculos en los agricultores y en el medio ambiente, se busca producir chips que contribuyan a reducir las enfermedades producidas por el consumo de chips tradicionales, al mismo tiempo que se promueve e impulsa la agricultura tradicional y ancestral de la zona andina de Colombia.

A partir de la encuesta de percepción se concluye que lanzar al mercado chips elaborados a partir de cubios, chuguas e hibas y preparados por medio de freído por aire forzado (Air Fryer) podría ser una buena alternativa para reemplazar los chips comúnmente consumidos. Se demostró que gran parte de las personas conoce acerca de los cubios, sin embargo, la mayoría desconoce las chuguas y en especial las hibas. Por otro lado, una gran parte de los consumidores estarían dispuestos a pagar hasta \$4000 COP por un paquete de chips con estas características lo que representa una oportunidad de negocio atractiva. Además, estarían dispuestos a adquirir este tipo de chips debido a que lo consideran más natural, saludable, innovador, por ser un producto nativo que permitiría apoyar a los agricultores y el crecimiento de la economía nacional; teniendo en cuenta que el consumo de este tipo de alimentos es bastante recurrente en el diario vivir de las personas.

Como trabajo futuro se propone llevar a cabo el alcance de la presente investigación a una experiencia más cercana con el consumidor final. En este sentido, se plantea adoptar formulaciones de este producto y llevarlas a un plano más realista con las personas, desarrollando paneles sensoriales con ellas. De este modo, se podría obtener una perspectiva más cercana a la realidad en cuanto a la percepción y aceptación de elaborar chips a partir de este tipo de tubérculos andinos por medio de un método de freído innovador como lo es el Air Fryer.

## REFERENCIAS

- [1] MEAB. (2005). En ecosystems and human well-being: Current state and trends. IslandPress.
- [2] National Research Council NRC. (1989). Lost crops of the Incas: Little-known plants of the Andes with promise for worldwide cultivation. National Academy Press.
- [3] Ruiz M. (2009). Las zonas de agrobiodiversidad y el registro de cultivos nativos. Aprendiendo de nosotros mismos. Lerma Gómez-EIRL.
- [4] Espinosa P. et al. (1997). Raíces y tubérculos andinos cultivos marginados en el Ecuador. Situación actual y limitaciones para la producción. Ediciones Abya-Yala.
- [5] Cadima X. (2006). Tubérculos. En Moraes R. et al. (eds.), Botánica Económica de los Andes Centrales. Plural.
- [6] Clavijo N. (2011). Tubérculos andinos en Boyacá. Un caso de innovación participativa. En VII Seminario de Desarrollo Rural. Mundos rurales y transformaciones globales: desafíos y estrategias de respuesta. Bogotá.
- [7] Jannick J. (2001). New Crops for the 21st Century. En Conference paper Crop science: Progress and prospects.
- [8] Scheldeman X. et al. (2001). Desarrollo de especies silvestres nativas en cultivos de exportación. International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI). Regional Office for the Americas.
- [9] Aguilar L. (2007). Estrategia regional de la biodiversidad en la región de Cajamarca. Gobierno de Cajamarca.
- [10] Forero J. (2003). Economía campesina y sistema alimentario en Colombia: aportes para la discusión sobre seguridad alimentaria. Universidad Javeriana.
- [11] Aguirre S. et al. (2012). Sistema de producción de tubérculos andinos en Boyacá, Colombia. Cuadernos de desarrollo rural 257-273.
- [12] Langebeek C. (1987). Mercados, Poblamiento e integración étnica entre los Muisca siglo XVI. Colección Bibliográfica Banco de la República.
- [13] León J. (1964). Plantas Alimenticias Andinas. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas Zona Andina.
- [14] Pérez M. (2009). Estado del arte de tubérculos Andinos (*Oxalis tuberosa*, *Ullucus tuberosus*, *Tropaeolum*). En la provincia Sugamuxi. Tesis de maestría. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- [15] Francis C. (1986). Multiple Cropping Systems. MacMillan.
- [16] Zimmerer K. (1996). Changing Fortunes: biodiversity and peasant livelihood in the Peruvian Andes. University of California Press.
- [17] Abbot J. (2005). Counting beans: Agrobiodiversity, indigeneity and agrarian reform. The Professional Geographer 198-212.



- [18] Macía M. et al. (2005). An ethnobotanical survey of medicinal plants commercialized in the markets of La Paz and El Alto, Bolivia. *Journal of Ethnopharmacology* 337-350.
- [19] De la Cruz H. et al. (2007). Ethnobotanical study of medicinal plants used by the Andean people of Canta, Lima, Perú. *Journal of Ethnopharmacology* 284-294.
- [20] Grau A. et al. (2003). Mashua (*Tropaeolum tuberosum*). Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. International Potato Center, International Plant Genetic Resources Institute.
- [21] Pérez E. (1956). Plantas útiles de Colombia, Tercera redacción talleres de sucesores de Rivadeneira. S.A. Impresores.
- [22] Chirinos R. et al. (2008). Phenolic profiles of andean mashua (*Tropaeolum tuberosum*) tubers: Identification by HPLC-DAD and evaluation of their antioxidant activity. *Food Chemistry* 1285-1298.
- [23] Ayala G. (2004). Aporte de los cultivos andinos a la nutrición humana. *Raíces Andinas* 101-102.
- [24] Sánchez C. (2012). Cambios en el consumo de los cubios, chuguas e hibas a través de tres generaciones en el municipio de Ramiriquí, Boyacá. Tesis de maestría Uniandes.
- [25] Yang R. y Keding G. (2009). Nutritional contributions of important african indigenous vegetables. Earthscan.
- [26] Sperling C. y King S. (1990). Andean tuber crops: Worldwide potential in *Advances in New Crops*. En First National Symposium on New Crops: Research Developments, Economics. Indianapolis, USA.
- [27] King S. y Gershoff S. (1987). Nutritional evaluation of three underexploited andean tubers: *Oxalis tuberosa* (Oxalidaceae), *Ullucus tuberosus* (Basellaceae), and *Tropaeolum tuberosum* (Tropaeolaceae). *Economic Botany* 503-511.
- [28] Valcárcel B. et al. (2013). The physical, chemical and functional characterization of starches from Andean tubers: Oca (*Oxalis tuberosa* Molina), ulluco (*Ullucus tuberosus* Caldas) and mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón). *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences* 453-464.
- [29] Espinosa E. et al. (1999). Determinación de la composición de aminoácidos de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) mediante cromatografía líquida de alta performance (HPLC). *Boletín de la Sociedad Química del Perú*.
- [30] Arias M. (2011). Análisis y comparación de los glucosinolatos presentes en diferentes accesiones de cubio (*Tropaeolum Tuberosum*) para evaluar su uso potencial en el control del patógeno de La papa *spongospora* subterránea análisis y comparación de los glucosinolatos. Universidad Nacional de Colombia.
- [31] Campos D. et al. (2006). Antioxidant capacity and secondary metabolites in four species of Andean tuber crops: native potato (*Solanum* sp.), mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón), Oca (*Oxalis tuberosa* Molina) and ulluco (*Ullucus tuberosus* Caldas). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 1481-1488.
- [32] Sangketkit C. et al. (2000). Sensory evaluation of new lines of oca (*Oxalis tuberosa*) grown in New Zealand. *Food Quality and Preference* 189-199.
- [33] Popenoe H. et al. (1989). Lost crops of the Incas. Little known plants of the Andes with promise for world-wide cultivation. National academy press.
- [34] Lim T. (2016). *Tropaeolum tuberosum*. Edible medicinal and non-medicinal plants.
- [35] Lim T. (2015). *Ullucus tuberosus*. Edible medicinal and non-medicinal plants.
- [36] Lim T. (2016). *Oxalis tuberosa*. Edible medicinal and non-medicinal Plants.
- [37] Manrique I. et al. (2014). Colección de germoplasma de mashua conservada en el centro internacional de La papa (CIP). *Tropaeolum tuberosum*.
- [38] Ortega O. et al. (2006). Glucosinolate survey of cultivated and feral mashua (*Tropaeolum tuberosum*) in the Cuzco region of Perú. *Economic botany* 254-264.
- [39] Aire G. et al. (2013). Efecto de *Tropaeolum tuberosum* frente a la hiperplasia benigna prostática inducida en ratas Holtzman. *CIMEL* 1-13.
- [40] Quiros C. y Ortega O. (2004). Determinación de glucosinolatos en mashua (*Tropaeolum tuberosum*). En XI Congreso internacional de cultivos andinos.
- [41] Chirinos R. et al. (2008). Antioxidant properties of mashua (*Tropaeolum tuberosum*) phenolic extracts against oxidative damage using biological in vitro assays. *Food chemistry* 98-105.
- [42] Villacres E. et al. (2018). The effect of sunlight on the content of thiocyanates, Sugars and starches in accessions of *Tropaeolum tuberosum* Ruiz y Pavón. *Journal of food science* 126-135.
- [43] Espada A. et al. (1996). Tuberosides A, B, and C, novel triterpenoid saponins from the hypoglycaemic fraction of *Ullucus tuberosus*. *Liebigs Annalen* 781-784.
- [44] Heil N. et al. (2017). Wound healing activity of *Ullucus tuberosus*, an Andean tuber crop. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine* 538-543.
- [45] Camacho I. et al. (2014). Effect of extrusion conditions on physicochemical characteristics and anthocyanin content of blue corn third-generation snacks. *Journal of food* 320-330.
- [46] Nayak B. et al. (2011). Effect of extrusion on the antioxidant capacity and color attributes of expanded extrudates prepared from purple potato and yellow pea flour mixes. *Journal of food science* 874-883.
- [47] Ministerio de Salud y Protección Social. (2012). Resolución 2155 de 2012. Recuperado: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.minsalud.gov.co%2Fsites%2Frid%2FLists%2FBibliotecaDigital%2FRIDE%2FDE%2FDIJ%2Fresolucion-2155-de-2012.pdf](https://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.minsalud.gov.co%2Fsites%2Frid%2FLists%2FBibliotecaDigital%2FRIDE%2FDE%2FDIJ%2Fresolucion-2155-de-2012.pdf)

- [48] Nicholas H. (2010). *Tropaeolum Tuberosum*. Curtis's Botanical Magazine.
- [49] Pietila L. y Jokela P. (1988). Cultivation of minor tuber crops in Perú and Bolivia. *Agricultural science* 87-92.
- [50] Arbizu C. y Tapia M. (1994). Neglected crops: 1492 from a different perspective, in plant production and protection series. Ed por Hernando JE y Leon J, FAO.
- [51] Veitmeyer N. (1991). Lost crops of the Incas. *New zealand geographic* 49-67.
- [52] Barrera V. et al. (2004). Raíces y tubérculos andinos. Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador. Iniap.
- [53] Gonzales S. et al. (2003). Producción de la Oca (*Oxalis tuberosa*), Papalisa (*Ullucus tuberosus*) e Isaño (*Tropaeolum tuberosum*): Avances en la investigación del manejo agronómico. Fundación PROINPA.
- [54] Clavijo N. y Pérez M. (2014). Tubérculos andinos y conocimiento agrícola local en comunidades rurales de Ecuador y Colombia. *Cuadernos de desarrollo rural* 149-166.
- [55] Condori B. et al. (2008). Agrophysiological characterization and parametrisation of Andean tubers: Potato (*Solanum sp.*), oca (*Oxalis tuberosa*), isaño (*Tropaeolum tuberosum*), and papalisa (*Ullucus tuberosus*). *European Journal of Agronomy* 526-540.
- [56] Pissard A. et al. (2008). Influence of geographical provenance on the genetic structure and diversity of the vegetatively propagated andean tuber crop, Mashua (*Tropaeolum tuberosum*), highlighted by intersimple sequence repeat markers and multivariate analysis methods. *International Journal of Plant Sciences* 1248-1260.
- [57] Valdivia G. et al. (1999). Desarrollo y producción de Oca (*Oxalis tuberosa*) e Isaño (*Tropaeolum tuberosum*) bajo dos niveles de fertilización. *Revista Latinoamericana de la Papa* 121-135.
- [58] Pedreschi F. (2012). Frying of potatoes: physical, chemical, and microstructural changes. *Drying Technology: an-International Journal* 707-725.
- [59] Tian J. et al. (2017). Microstructure and digestibility of potato strips produced by conventional frying and air-frying: An in vitro study. *Food Structure* 30-35.
- [60] Pankaj S. y Keener K. (2017). A review and research trends in alternate frying technologies. *Current Option in Food Science* 74-79.
- [61] Arafat S. (2014). Air frying a new technique for produce of healthy fried potato strips. *J. of Food and Nut. Sci.* 200-206.
- [62] Belkova B. et al. (2018). Impact of vacuum frying on quality of potato crisps and frying oil. *Food Chemistry* 51-59.
- [63] Ministerio de Salud y Protección Social. (2015). Documento Técnico. Recuperado: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.minsalud.gov.co%2Fsites%2Frid%2FLists%2FBibliotecaDigital%2FRIDE%2FVS%2FPP%2FSNA%2Fdocumento-tecnico-azucres-adicionados.pdf](https://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.minsalud.gov.co%2Fsites%2Frid%2FLists%2FBibliotecaDigital%2FRIDE%2FVS%2FPP%2FSNA%2Fdocumento-tecnico-azucres-adicionados.pdf)
- [64] Hurtado A. y Cifuentes L. (2020). Caracterización de la oferta de snacks saludables en un almacén de cadena del municipio de Rionegro-Antioquia Colombia en el año 2020. Tesis de maestría.
- [65] Escobar S. y Nassar M. (2020). Canal moderno-una propuesta para el incremento de las ventas en snacks salados frutos secos Nuts & Seeds en la ciudad de Bogotá, Colombia en estratos 5 y 6. Colegio de Estudios Superiores de Administración.
- [66] Falguera V. et al. (2012). An integrated approach to current trends in food consumption: Moving toward functional and organic products? *Food Control* 274-281.
- [67] Cross A. et al. (1994). Snacking patterns among 1,800 adults and children. *Journal of the American Dietetic Association* 1398-1403.

## Evaluación de la capacidad solubilizadora de fosfato de *Brevibacillus brevis* como estimulante de crecimiento vegetal en cultivos de uchuva (*Physalis peruviana*)

María Isabella Acosta Salinas<sup>1</sup>  
Virginia Roa Angulo<sup>2</sup>  
Universidad El Bosque  
Colombia

*Brevibacillus brevis* es una Rizobacteria estimulante del crecimiento vegetal, que mediante mecanismos directos facilita la fijación de nitrógeno, la producción de sustancias reguladoras del crecimiento, la movilización y solubilización de nutrientes. Estudios previos muestran la capacidad solubilizadora de este género, facilitando que las reservas de fósforo insoluble, presentes en los suelos, sean asimiladas por la planta mejorando su crecimiento y productividad. El presente estudio consistió en la evaluación de la capacidad solubilizadora de fosfato de *Brevibacillus brevis*, con la finalidad de utilizarla como Rizobacteria estimulante de crecimiento en uchuva (*Physalis peruviana*) como potencial biofertilizante. Para esto se realizó la determinación de la viabilidad y pureza de la cepa y la eficiencia solubilizadora de fosfato, para posteriormente ser utilizada como inóculo a evaluar. Se inocularon 50 semillas por tratamiento consistentes de un inóculo bacteriano y un fertilizante químico comparado con un control, a partir de esto se tomó registro de la tasa de germinación, la longitud del tallo y de la raíz, la biomasa aérea y radicular, el pH del suelo y el fósforo total del mismo. Se encontró que las plantas inoculadas con los tratamientos presentan una aceleración en la germinación. Para la altura de la planta el mayor promedio correspondió a 25,9 cm proveniente del inóculo, seguido por el fertilizante con 24,4 cm. En cuanto a la biomasa aérea el inóculo obtuvo 0,81g seguido por el fertilizante con 0,47g, al igual que la biomasa radicular con promedios de 0,41g y 0,29g respectivamente. Finalmente, para la cuantificación del fósforo inorgánico en el suelo inoculado con la cepa se presentó el mayor valor de 22,7 mg/l, y el fertilizante obtuvo la menor concentración con 4,1 mg/l. Debido a los resultados obtenidos la cepa podría ser utilizada como potencial biofertilizante.

---

<sup>1</sup> Licenciada en Biología.

Contacto: [isabella55628@gmail.com](mailto:isabella55628@gmail.com) / [miacosta@unbosque.edu.co](mailto:miacosta@unbosque.edu.co)

<sup>2</sup> Microbióloga industrial y Magíster en Gestión Sostenible del Ambiente.

Contacto: [roavirginia@unbosque.edu.co](mailto:roavirginia@unbosque.edu.co)

## 1. INTRODUCCIÓN

El fósforo después del nitrógeno es el nutriente más requerido por las plantas y microorganismos, su papel en los cultivos se da en todos los procesos fisiológicos ya que actúa en el almacenamiento y la transferencia de energía; además de actuar en la formación de macromoléculas como los ácidos nucleicos y los fosfolípidos. Dentro del sistema suelo-planta solo una pequeña parte del fósforo del suelo es utilizado, esta deficiencia dentro de los procesos agrícolas es tratada por medio de la aplicación de fertilizantes fosfatados que al ser adicionados al suelo pasan a ser compuestos menos solubles y con el tiempo van disminuyendo su disponibilidad para las plantas [1, 2].

Para disminuir el uso de estos fertilizantes se ha implementado la aplicación de inoculantes microbianos como las Rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal. Estos inoculantes cumplen un papel importante en el desarrollo de cultivos sostenibles principalmente porque habitan en las raíces de las plantas y ejercen un efecto positivo ya que ayudan a mejorar la fertilidad del suelo, así como la absorción y la disponibilidad de nutrientes [3].

*Brevibacillus brevis* hace parte del grupo de Rizobacterias estimulantes de crecimiento vegetal que han sido estudiadas recientemente debido a que influyen en la producción de fitohormonas como el ácido indolacético. Esta fitohormona estimula el crecimiento de las raíces, permitiendo que tengan una mayor superficie y la planta pueda acceder a una mayor cantidad de nutrientes del suelo [3]. Esta bacteria además tiene la capacidad de transformar el fósforo insoluble a fósforo soluble en forma de ortofosfatos, esto lo hacen a través de la solubilización la cual se da por medio de la producción de ácidos orgánicos especialmente la producción de ácido indolacético.

Con la liberación de este ácido los grupos hidroxilos y carboxilos quedan los cationes, que se encuentran unidos a los fosfatos como lo son el calcio, el aluminio y el hierro haciendo que este último quede disponible en el suelo [4].

Considerando el papel relevante de las Rizobacterias estimulantes de crecimiento vegetal y la deficiencia del fósforo disponible para las plantas en los suelos ácidos, el presente estudio pretende determinar la capacidad que tiene la Rizobacteria *B. brevis* de solubilizar fosfatos, y su efecto como estimulante de crecimiento en cultivos de uchuva *Physalis peruviana* como posible biofertilizante.

## 2. MARCO CONCEPTUAL

### 2.1 Bacterias promotoras de crecimiento vegetal

Las bacterias promotoras de crecimiento vegetal (Plant Growth Promotion Bacteria PGPB), son bacterias de vida libre que tienen la capacidad de adaptarse y colonizar la rizósfera de las plantas y de esta manera favorecer o promover el crecimiento y la productividad vegetal [5]. Estas bacterias se clasifican principalmente en dos grupos: El primero de ellos consiste en las bacterias promotoras que utilizan su metabolismo mediante la solubilización de fosfatos, la fijación de nitrógeno o la producción de hormonas para incrementar la disponibilidad de minerales, mecanismo que mejora el crecimiento radicular o en la actividad enzimática de la planta. Y el segundo grupo consiste en bacterias promotoras de crecimiento con potencial control biológico las cuales promueven el crecimiento de la planta a partir de la inhibición del crecimiento de fitopatógenos [6, 7].

### 2.2 Rizobacterias estimulantes de crecimiento vegetal

Las Rizobacterias estimulantes del crecimiento vegetal RECV son bacterias rizosféricas de vida libre que tienen la capacidad de promover el crecimiento vegetal, además de actuar en contra de organismos fitopatógenos. Para que una bacteria se considere estimulante de crecimiento vegetal debe cumplir con tres aspectos: El primero es que tenga un buen tiempo de permanencia en la rizósfera después de la inoculación, el segundo es colonizar la superficie de las raíces con el fin de ejercer un efecto directo sobre el crecimiento de las plantas y finalmente ser inocuas para el suelo, planta, agua y animales. Estas bacterias

pueden promover el crecimiento de las plantas mediante mecanismos directos e indirectos que consisten en la fijación de nitrógeno, la producción de sustancias reguladoras del crecimiento, y la movilización y solubilización de nutrientes, respectivamente.

### 2.3 Microorganismos solubilizadores de fosfato

Estos microorganismos tienen la capacidad de solubilizar compuestos fosfatados a partir de procesos bioquímicos como la producción de ácidos orgánicos o la asimilación del fosfato insoluble. Estos procesos de solubilización permiten que las plantas puedan utilizar los fosfatos del suelo y de esta manera se promueva el crecimiento vegetal [8].

Se estima que los microorganismos con capacidad de solubilizar fosfatos en el suelo representan entre el 26 y el 42% de la microflora total del suelo. Estas bacterias permiten incrementar la ganancia de fosfato mediante la hidrólisis del fósforo a una forma inorgánica soluble más conocida como ortofosfatos, disponibles como iones monobásicos ( $H_2PO_4^-$ ) o dibásicos ( $H_2PO_4^{2-}$ ), que son asimilables por las plantas, es por esto por lo que se consideran de gran importancia en el ciclo del fósforo [9].

La *Brevibacillus brevis*, anteriormente clasificada como *Bacillus brevis* es un bacilo grampositivo perteneciente a la familia *Paenibacillaceae*, estrictamente aerobio y formador de esporas, esta bacteria hace parte del grupo de Rizobacterias estimulantes de crecimiento vegetal ya que tiene la capacidad de solubilizar fosfatos a partir de la producción de ácido indolacético AIA, fijar nitrógeno atmosférico  $N_2$  y reducirlo a formas que puedan ser asimiladas por las plantas como lo son los iones amonio  $NH_4$  o nitrato  $NO_3$ , y aumentar la disponibilidad de hierro en el suelo [10, 11].

### 2.4 El fósforo en el suelo

El fósforo es un elemento esencial para la vida de las plantas sin embargo en el suelo es el limitante del crecimiento vegetal porque desempeñan un papel fundamental en los procesos de transferencia de energía y en procesos metabólicos [15]. La disponibilidad de fósforo en el suelo es esencial para el crecimiento vegetal ya que éste representa aproximadamente el 0.2% del peso seco de la planta, este nutriente además es fundamental para los procesos de captación, almacenamiento y transferencia de energía y hace parte de la mayoría de los procesos fisiológicos [12, 14].

Por el contrario, la insuficiencia de fósforo en el suelo puede influir en los cultivos provocando un retraso en la cosecha, así como en la madurez y el desarrollo de la planta [15]. Dentro de los efectos que más destacan se encuentran la inhibición del crecimiento del tallo y la disminución en el número de hojas. Además, dado que el fósforo es uno de los nutrientes que se encuentran en los tejidos meristemáticos, las bajas concentraciones producen una menor emisión de los órganos vegetativos los cuales son los encargados de realizar las funciones que hacen posible el crecimiento y la vida de la planta [13, 16].

### 2.5 Tipos de fósforo presentes en el suelo

En el suelo existen diferentes fuentes de fósforo los cuales pueden ser orgánicos e inorgánicos, y que dependen directamente del tipo de suelo y los diversos factores que este presenta como lo son el pH, tipo de vegetación, actividad microbiana o el uso de [17]. Dependiendo del tipo de suelo, aproximadamente el 50% hace parte de las formas orgánicas, mientras que el resto corresponde a la fracción inorgánica.

El fósforo orgánico del suelo proviene de restos vegetales y animales, estos restos son degradados por los microorganismos propios del suelo y así liberan compuestos fosfatados de bajo peso molecular los cuales constituyen del 29 al 65% del fósforo que se encuentra presente en la superficie del suelo, este tipo de fósforo puede ser liberado en forma de ácidos nucleicos, fosfolípidos y ésteres [15]. Mientras que el fósforo inorgánico se encuentra haciendo parte de los minerales del suelo, principalmente apatitas y variscitas, los cuales por medio de procesos de meteorización liberan fósforo muy lentamente. Se encuentra en forma de ortofosfatos los cuales son derivados del ácido fosfórico  $H_3PO_4$ , calcio y aluminio, y genera enlaces estables con los hidróxidos de Fe, Al o Mn [15].

## 2.6 Mecanismos de transformación del fósforo en el suelo

El ciclo del fósforo es un sistema complejo que involucra procesos de acumulación de dicho elemento en biomasa microbiana, materia orgánica y formas inorgánicas. En el suelo una pequeña parte se encuentra en forma soluble debido a procesos de mineralización, mientras que la mayor parte de este se encuentra en formas insolubles, principalmente como minerales primarios fosfatados, fosfatos fijados por óxidos o fosfatos insolubles de Ca, Fe y Al [18]. La transformación de este elemento está mediada principalmente por los microorganismos del suelo y se puede dar a través de mecanismos de mineralización, inmovilización, y solubilización [15, 19].

## 2.7 Solubilización de fósforo por ácidos orgánicos

La solubilización de fosfatos por medio de la formación de ácidos orgánicos de bajo peso molecular, (ácidos oxálicos, cítrico, butírico, láctico, acético, indolacético, entre otros), llevado a cabo por Rizobacterias es uno de los mecanismos más conocidos. Esta capacidad no solo se debe a la acidificación de la rizósfera de la planta, sino también a la capacidad de formar complejos estables con Fe y Al y al aumento de la concentración de micronutrientes como el Fe, Zn y el Mn [14, 20].

## 2.8 Inoculantes microbianos (biofertilizantes)

Las bacterias cumplen un papel fundamental en el sistema suelo-planta ya que pueden incrementar o disminuir la concentración de nutrientes y tienen la capacidad de producir factores de crecimiento como las fitohormonas por lo que en diversos estudios dichas bacterias han sido utilizadas como inoculantes en plantas [15]. Dentro de los inoculantes microbianos se consideran biofertilizantes los que tienen la capacidad de mejorar la disponibilidad de nutrientes para las plantas como es el caso de la inoculación de microorganismos fijadores de nitrógeno o que tienen la capacidad de aumentar la disponibilidad de nutrientes que se encuentran poco móviles en el suelo como lo es el fósforo, y de esta manera con su aplicación se pueda reducir el uso de fertilizantes químicos [2].

## 2.9 Fertilizante Fert Plant

Los fertilizantes o abonos sintéticos son compuestos que contienen elementos que las plantas necesitan en su ciclo de vida. En diversos estudios se ha demostrado que el uso de estos fertilizantes genera efectos negativos en la calidad ambiental del suelo principalmente porque son inmovilizados en el suelo rápidamente y debido a esto no son utilizados por las plantas si no que por el contrario son acumulados en el suelo lo que genera un deterioro gradual de éste [21]. Estos fertilizantes, además de afectar la fertilidad del suelo y contaminar el ambiente, tienen efectos negativos en las poblaciones microbianas porque, al ser inmovilizados modifican las condiciones fisicoquímicas del suelo como el pH y la cantidad de nutrientes, los microorganismos del suelo dependen de estas condiciones, principalmente del contenido de materia orgánica por lo que al disminuir la calidad del suelo disminuye también la cantidad de las poblaciones microbianas [2, 22].

El fertilizante utilizado fue Fert Plant, que consiste en un abono líquido concentrado con nitrógeno, fósforo, potasio y varios microelementos. Este fertilizante permite una rápida absorción por lo que sus resultados se observan a los pocos días. Por otro lado, las semillas inoculadas con la rizobacteria presentaron un incremento con respecto al control, lo cual puede deberse a que durante la germinación las semillas liberan exudados radiculares los cuales favorecen la asociación de las plantas con los microorganismos [23].

## 3. MARCO REFERENCIAL

En [24] aislaron cepas del género *Bacillus spp.* para usarlos como una alternativa sostenible en cultivos de maíz, el objetivo de este trabajo fue utilizar bacterias promotoras de crecimiento como una alternativa a los fertilizantes y pesticidas de uso agrícola. En los resultados se observó que la inoculación de las bacterias favoreció la producción de las plantas del maíz, así como el peso en seco y en fresco de la planta, el diámetro del tallo y la longitud de la raíz.

[25] estudió el comportamiento de microorganismos nitrificantes y solubilizadores de fosfato asociados a suelo rizosférico de *Espeletia argentea* en dos zonas con diferente grado de intervención en el páramo de rabanal, para esto tomó 25 muestras de suelo de cada zona y realizó el aislamiento de los microorganismos en agares selectivos para identificar los microorganismos asociados con capacidad nitrificante y solubilizadora de fosfato, en sus resultados obtuvo cinco microorganismos solubilizadores de fosfato de los cuales la especie *Brevibacillus brevis* fue la más frecuente en la zona conservada del páramo.

[26] estudió el comportamiento de microorganismos celulíticos y solubilizadores de fosfato asociados a suelo rizosférico de *Espeletia grandiflora* en dos zonas con diferentes grados de intervención en el páramo de Ocetá, para el estudio tomó 25 muestras de suelo para cada zona y cada una le realizó el preenriquecimiento y aislamiento de microorganismos en agares especiales para cada grupo. Como resultados encontraron 12 microorganismos celulíticos y solubilizadores de fosfatos de los cuales los más representativos fueron *Brevibacillus brevis*, *Oerskovia sp.* y *Cryptococcus sp.*

En [3] evaluaron la cepa *Brevibacillus brevis* como Rizobacteria promotora de crecimiento vegetal en cultivos de algodón, a partir de un aislamiento de suelo rizosférico. Se midió además la capacidad de la cepa de solubilizar fosfato en agares especiales y posteriormente se utilizó como inoculantes en semillas de algodón. En los resultados se observó que la cepa tuvo efectos positivos en la longitud de los brotes y de la raíz por lo que concluyen que funciona como promotor de crecimiento y como alternativa al uso de fertilizantes.

[9] evaluó la capacidad de las bacterias solubilizadoras de fosfato BSF en la rizósfera de cultivos de papa. Aisló muestras de suelo rizosférico de páramo en medios de cultivo selectivos para medir cualitativamente la capacidad solubilizadora de fosfato a partir de halos de solubilización y cuantitativamente midiendo la cantidad de fosfato solubilizado, como resultados obtuvo 21 cepas de bacterias con la capacidad de solubilizar fosfato tricálcico dentro de las cuales se reconocen a los géneros *Enterobacter* y *Streptococcus*, ya que se encuentran en varios tipos de suelos y se conocen como promotores de crecimiento por su capacidad de solubilizar fosfatos y de producir auxinas.

## 4. MÉTODO

Esta investigación parte de la siguiente pregunta: ¿Cuál es el efecto de la capacidad solubilizadora de fosfato de *Brevibacillus brevis* como estimulante de crecimiento en cultivos de uchuva (*Physalis peruviana*)?

### 4.1 Área de estudio

El área de estudio fue el municipio de Guayatá, Colombia, en la vereda Sochaquira abajo, en la finca Buenos Aires, ubicada en las coordenadas 4° 57' 13.98" N – 73° 30' 20.38" W. Este municipio se encuentra en el extremo sur occidente del departamento de Boyacá y pertenece al Valle de Tenza. Limita por el norte con Guateque, por el oriente con Somondoco y Chivor y por el occidente con Manta. Se encuentra a 2100 msnm y posee una temperatura promedio de 18°C. El municipio pertenece al Valle de Tenza, posee un área total de 92 Km<sup>2</sup> que equivalen al 0.4% del total de Boyacá, la altura del casco urbano sobre el nivel del mar es de 1767 metros y la temperatura promedio es de 18°C.

En el suelo predominan las arcillas lalitas con texturas gruesas y de color pardo o amarillo oscuro. Las principales actividades económicas del municipio son la agricultura y la ganadería, siendo los principales cultivos el café, caña, maíz, papa, frijol, frutales, entre otros [27]. El presente estudio se realizó en la finca Buenos Aires, ubicada en la vereda Sochaquira abajo que se encuentra entre los 2100 y los 2800 msnm, se determinó el pH de la zona el cual dio como resultado de 6,2 que corresponde a suelos ácidos, en este tipo de suelos la adsorción de fósforo se debe a la presencia de óxidos e hidróxidos de Fe y Al lo que hace que dicho elemento se encuentre en bajas concentraciones disponibles [27].

### 4.2 Viabilidad y pureza de la cepa

Se realizó la caracterización de la cepa previamente aislada de suelo rizosférico del páramo el Rabanal por el método VITEK y BBL Crystal GP. 21. Posteriormente, se determinó la viabilidad y pureza mediante el

aislamiento, crecimiento de las unidades formadoras de colonias UFC y verificación de características macro y microscópicas en agar Brain Heart Infusion BHI [28]

#### **4.3 Determinación de la capacidad solubilizadora de fosfato y evaluación cualitativa de la capacidad solubilizadora de fosfato**

Para la determinación de la capacidad solubilizadora de fosfato se realizó la siembra de la cepa de *Brevibacillus brevis* por la técnica de estría cruzada o agotamiento en agar SRS, con el colorante púrpura de bromocresol como indicador de pH y se dejó incubar durante 24 horas a 37°C. Para la evaluación cualitativa se realizó la siembra de la cepa de *Brevibacillus brevis* en un medio nutritivo líquido el cual se dejó incubando por 24 horas a 37°C.

Posteriormente, se realizó un inóculo teniendo como referencia el tubo número dos de turbidez de la escala de McFarland el cual corresponde a  $6 \times 10^8$  UFC/ml. Dicha concentración fue utilizada debido a que las bacterias inoculadas tienden a competir con las bacterias propias del suelo, y se sabe que el nivel óptimo de inoculación en semillas y plantas es de 10<sup>5</sup> a 10<sup>7</sup> unidades formadoras de colonia por mililitro UFC /ml. Para la eficiencia solubilizadora de fosfato ESF se realizó la siembra del inóculo, aplicando la técnica de difusión en agar en pocillos. Se realizaron 3 pocillos por agar y se sembraron 50 µl del inóculo, dejando la incubación a 37°C durante 5 días.

#### **4.4 Eficiencia solubilizadora de fosfato**

La evaluación de la Eficiencia Solubilizadora se estimó cada 24 horas durante los cinco días mediante la siguiente fórmula:  $ESF = A / B$  Donde A es el diámetro (mm) del halo de solubilización (Diámetro colonia + la zona) y B corresponde al diámetro (mm) de crecimiento de la colonia.

#### **4.5 Inoculo e inoculación de las semillas**

Para la preparación del inoculante líquido se tomaron 10 ml del cultivo y se centrifugó a 4000 rpm por 10 minutos, posteriormente se retiró el sobrenadante y se procedió a realizar el lavado con 10 ml de solución salina al 0.85% para volver a centrifugar por otros 10 minutos a 4000 rpm; se retiró el sobrenadante y se resuspendió el botón celular en otros 10 ml de solución salina al 0.85%. Este lavado se realizó dos veces y antes de resuspender el botón celular después del segundo lavado se adicionaron únicamente 5 ml de la solución salina. Para la inoculación de las semillas se utilizaron tres tratamientos: 250 ml del inóculo estandarizado, 250ml de Solución salina (0.85%)-Control y 250 ml de Fertilizante químico Fert Plant. Para cada tratamiento se sumergieron 50 semillas y se dejaron en agitación durante 30 minutos. Una vez inoculadas las semillas se hicieron montajes en cajas Petri y se realizó el registro del porcentaje y tiempo de germinación, largo de la raíz y largo del vástago.

#### **4.6 Fase de campo**

Una vez germinadas las semillas se procedió a realizar el montaje del diseño experimental en la finca ubicada en el municipio de Guayatá, en el departamento de Boyacá. La siembra de las semillas se realizó en bloques dentro de una parcela de 50 m x 50 m. Se realizaron tres bloques cada uno correspondía a un tratamiento los cuales se encontraban separados a una distancia de 3m.

La inoculación del suelo se realizó cada 15 días para cada uno de los tratamientos. Se midió el porcentaje de germinación, la altura de planta (cm), la longitud de la raíz, el peso seco aéreo y radicular (g) y la producción de frutos.

#### **4.7 Determinación de PH**

Se tomaron 200 g de muestra de suelo rizosférico de cada uno de los bloques realizados a una profundidad de 20 cm. Cada muestra se almacenó en bolsas herméticas individuales y previamente marcadas. Se conservaron a 4 °C en el cepario de microbiología de la universidad El Bosque, en Bogotá. Para el pH se



utilizó la metodología propuesta por SAMLA en el 2004, la cual consiste en pesar 10 g de la muestra de suelo rizosférico en vasos plásticos con 10 ml de agua destilada, esto se dejó en agitación durante 5 minutos y se procedió a calibrar el pHmetro e ingresar el electrodo para realizar la lectura. La lectura se realizó para la relación suelo: agua 1:1; 1:2,5 y 1:5.

#### 4.8 Determinación de fósforo total

La extracción del fósforo se realizó por medio del método de Olsen, para el cual se tomaron 5 gramos de cada una de las muestras de suelo seco y se agitaron durante 30 minutos con 100 ml de una solución de bicarbonato de sodio  $\text{NaHCO}_3$ , a una concentración de 0,5 M junto con 1 gramo de carbón activado, posterior a esto se centrifugaron las muestras a 4000 rpm durante 10 minutos y se procedió a retirar y filtrar el sobrenadante para finalmente utilizar el medidor de DQO y fotómetro multiparamétrico Hanna HI-83099, por medio del cual se realizó la cuantificación del fósforo en la solución.

#### 4.9 Biomasa aérea y radicular

Para la determinación de la biomasa aérea y radicular se extrajeron las plantas, sacando la raíz completa, se separó la raíz de las plantas y se midió el largo del tallo, la parte aérea, así como las raíces se almacenaron en bolsas de papel para posteriormente ser secadas a  $80^\circ\text{C}$  durante 24 horas, una vez secas se pesaron en la balanza analítica para obtener el peso seco de ambas partes.

### 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

#### 5.1 Viabilidad y pureza

Se confirmó la viabilidad y pureza de la cepa a partir del crecimiento en medio y la comparación de las características macroscópicas y microscópicas obtenidas con las reportadas por Johnson y Dunlap, quienes mencionan que *Brevibacillus brevis* es una bacteria Gram positiva, en forma de bastón y formadora de endosporas, esta bacteria puede ser aislada de diversos ambientes y puede crecer de forma aerobia, consiste en colonias lisas, planas y de color gris amarillento o café claro.

#### 5.2 Capacidad solubilizadora de fosfato

La cepa *B. brevis* presentó capacidad solubilizadora, como se observa en la Figura 1, evidenciada por el viraje de color propio de la acidificación del medio SRS cuando los fosfatos tricálcicos son metabolizados por las bacterias que presentan esta capacidad [43, 30]. *Brevibacillus brevis* es conocida como una bacteria solubilizadora de fosfato, el mecanismo que utiliza esta bacteria para hacerlo es mediante la producción de ácidos orgánicos de bajo peso molecular principalmente la producción de ácido indolacético haciendo que los fosfatos precipitados queden disponibles. Esta acidificación se evidencia en el medio de cultivo por el cambio de color del indicador de pH de púrpura a amarillo y la presencia de halos claros alrededor de la colonia como se observa en la Figura 1.

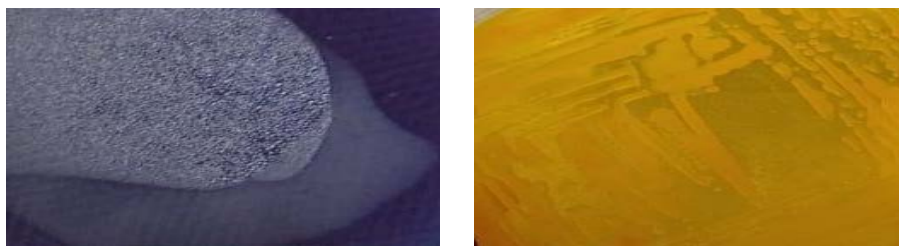


Figura 1. Capacidad solubilizadora de fosfato de *Brevibacillus brevis* en Agar SRS

#### 5.3 Índice de eficiencia solubilizadora de fosfato

El diámetro del halo de solubilización varió de 0,64 mm a 4,41 mm con el paso del tiempo, siendo a las 120 horas el tiempo en el que se presentó un mayor halo de solubilización y por ende una mayor eficiencia de

la capacidad solubilizadora de la bacteria. A las 24 horas de incubación la eficiencia solubilizadora fue de 2,29 y se observó un crecimiento continuo hasta llegar a 9,82 el cual se presentó a las 120 horas. Se presentó una alta correlación entre las variables según la prueba de correlación de Pearson y una regresión lineal positiva dado que a medida que se aumenta el número de horas la eficiencia de solubilización de fosfato aumenta de manera lineal como se observa en la Figura 2. Dicha solubilización se observó por la presencia del halo alrededor de la colonia y por la acidificación del medio el cual se detectó por el cambio en la coloración del indicador de pH del medio. El halo de solubilización y cambio de coloración se presentó en todo el medio de cultivo.

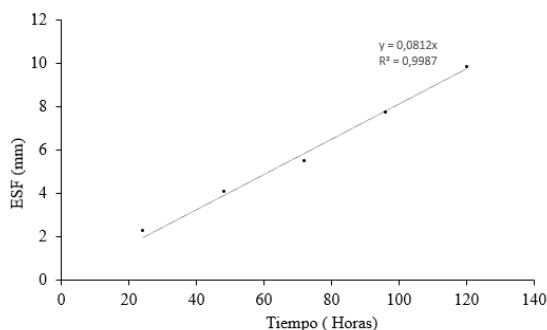


Figura 2. Eficiencia de solubilización de fosfato de *Brevibacillus brevis*

#### 5.4 Porcentaje y tiempo de germinación

Las semillas inoculadas con el fertilizante químico seguido de las semillas inoculadas con la cepa de *Brevibacillus brevis* fueron las que presentaron un mejor resultado en el porcentaje de germinación. En cuanto al análisis estadístico se observaron diferencias significativas como se observa en la Figura 3. La germinación de las semillas de *Physalis peruviana* inoculadas con los diferentes tratamientos inició en el día 13 con el fertilizante y la inoculación de la cepa, y el día 16 inicio la germinación del tratamiento control, lo que indica que si se presentó una aceleración en la germinación ya que según bibliografía el tiempo de germinación de *Physalis peruviana* se da entre los 15 y los 25 días.

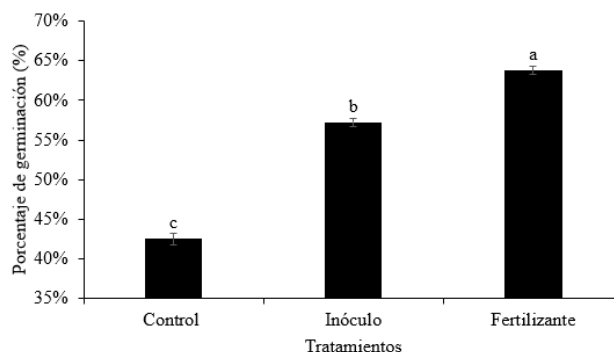


Figura 3. Tasa de germinación de *Physalis peruviana* inoculada con el inóculo bacteriano y el fertilizante químico. Las barras sobre las líneas indican el error estándar. Promedios seguidos por letras distintas indican diferencias estadísticas según la prueba de Tukey

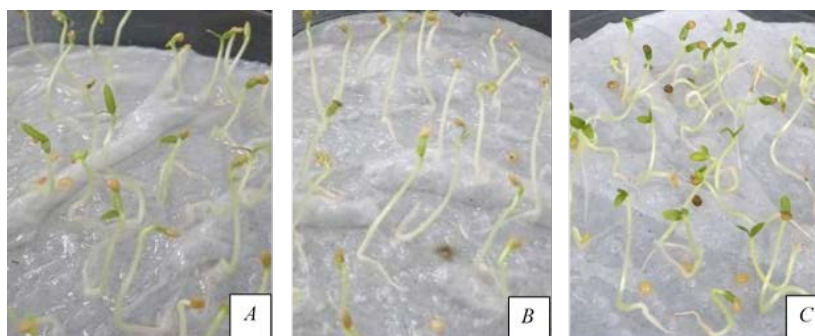


Figura 4. Crecimiento en el tallo y la raíz de los brotes de *Physalis peruviana* en diferentes tratamientos: A) Tratamiento control, B) Tratamiento *B. brevis*, C) Tratamiento fertilizante químico

El fertilizante utilizado fue Fert Plant, el cual consiste en un abono líquido concentrado con nitrógeno, fósforo, potasio y varios microelementos. Este fertilizante permite una rápida absorción por lo que sus resultados se observan a los pocos días. Por otro lado, las semillas inoculadas con la Rizobacteria presentaron un incremento en la germinación con respecto al control, lo cual puede deberse a que durante la germinación las semillas liberan exudados radiculares los cuales favorecen la asociación de las plantas con los microorganismos [23].

Los resultados anteriores además indican que la bacteria *Brevibacillus brevis* promovió la germinación de las semillas de *Physalis peruviana* y un mayor crecimiento en el tallo y la raíz de los brotes en comparación con las semillas inoculadas con el fertilizante y el control como se observa en la figura 4, esto se debe a que la cepa tiene la capacidad de producir ácidos, principalmente ácido indolacético el cual en las plantas es un compuesto hormonal que estimula el crecimiento y el inicio de la germinación en las plantas a través de la estimulación del metabolismo de los componentes de la pared celular de las células en crecimiento [31, 32].

### 5.5 Crecimiento radicular

Para determinar el crecimiento se tomó en cuenta el peso seco de la raíz para cada uno de los tratamientos utilizados, en cuanto a los resultados, se observó que las raíces de las plantas inoculadas con la cepa de *B. brevis* tuvieron un mayor índice de biomasa seguido del tratamiento del fertilizante. El efecto de la bacteria sobre la longitud y la biomasa radicular se visualiza en el incremento radical, este incremento se ve estimulado por el complejo enzimático que se origina en la rizósfera de las plantas debido a la solubilización del fosfato de orgánico a inorgánico, elemento que es fundamental en la fotosíntesis y la respiración celular y es necesario además para el desarrollo de las estructuras reproductivas de las plantas [33].

Esta bacteria además de promover la biomasa de las raíces también ejerció un efecto benéfico directo en la longitud de la raíz, como se observa en la Figura 5. Esto concuerda con los resultados obtenidos por [34], en su estudio aislaron cepas del género *Brevibacillus* las cuales potencializaron la estimulación del crecimiento de las plantas, lo que puede deberse a que las bacterias de este género tienen la capacidad de solubilizar fosfato de calcio y de producir enzimas degradadoras de compuestos con pectina y celulosa, los cuales son utilizados por las bacterias como fuente de energía y de carbono; la degradación de estos compuestos genera en el suelo un aumento en la cantidad de nutrientes y en consecuencia un aumento en la producción de biomasa, adicionalmente, estas bacterias utilizan un mecanismo de acción que consiste en la producción de sustancias químicas orgánicas como lo es el ácido indolacético y el etileno, auxinas que controlan procesos fisiológicos entre ellos la elongación, la división celular y la diferenciación de tejidos [34].



**Figura 5.** Crecimiento en la longitud de la raíz de *Physalis peruviana* en diferentes tratamientos: A) Tratamiento control, B) Tratamiento fertilizante químico, C) Tratamiento *B. brevis*

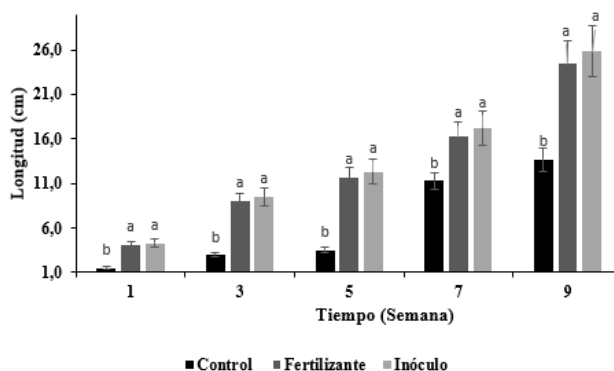
En cuanto a la longitud de la raíz se observó un mayor crecimiento en las raíces de las plantas inoculadas con *B. brevis*. Los efectos positivos de la inoculación se reflejan en los parámetros morfológicos, principalmente en la raíz, incrementando su longitud, el número y el volumen radicular [35]. Esto puede deberse a la síntesis de fitohormonas las cuales estimulan la germinación de las semillas y la emergencia de las plántulas ya que tienen una alta capacidad de adaptación fisiológica por lo que la

inoculación de la bacteria en las raíces genera efectos positivos mejorando la calidad del suelo y aumentando la disponibilidad de nutrientes. Las bacterias inoculadas se adaptan a las condiciones del suelo alcanzando una alta proliferación y de esta manera se activan y se mantienen en la zona radicular de las plantas para así generar metabolitos secundarios que influyen en el crecimiento y el desarrollo de las plantas [36] como se observa en la Figura 5.

## 5.6 Crecimiento aéreo

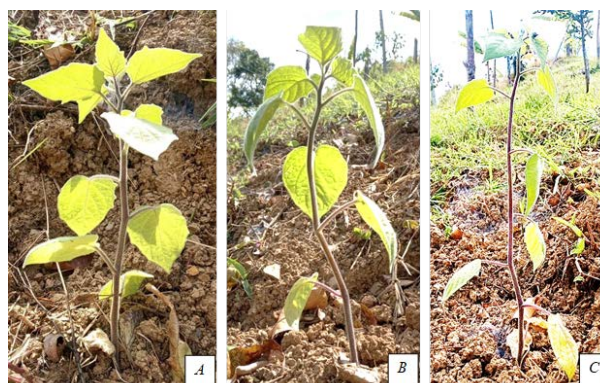
En cuanto al peso seco del tallo se observó que las raíces de las plantas inoculadas con la cepa de *B. brevis* tuvieron un mayor peso seguido del tratamiento fertilizante, el control fue el que obtuvo los menores resultados. En los resultados se observó un aumento en la biomasa aérea de las plantas inoculadas con *B. brevis* esto concuerda con los resultados obtenidos por [16] los cuales presentaron un aumento del 45% de la producción de biomasa aérea de las plantas inoculadas con esta cepa, lo cual puede deberse a que un mayor desarrollo de la raíz favorece la asimilación de agua y nutrientes lo que genera un incremento en el crecimiento del tallo y una mayor producción de biomasa aérea [37].

Adicional al aumento de la biomasa aérea se observó una mayor altura en las plantas inoculadas con el inóculo bacteriano el cual obtuvo un promedio de 25,9 cm seguido de las plantas inoculadas con el fertilizante con un promedio de 24,4 cm en comparación con el control que fue el que obtuvo el menor tamaño con un promedio de 13,7 cm En cuanto al análisis estadístico no se observaron diferencias significativas entre el inóculo bacteriano y el fertilizante según la prueba de Tukey, sin embargo, sí se presentaron diferencias significativas entre todos los tratamientos, como se observa en la Figura 6.



**Figura 6.** Porcentaje de la longitud del tallo de *Physalis peruviana* en diferentes tratamientos. Las barras sobre las líneas indican el error estándar. Promedios seguidos por letras distintas indican diferencias estadísticas según la prueba de Tukey

En los resultados se observó que el fertilizante químico junto con el inóculo bacteriano fueron los que obtuvieron los mejores resultados, el comportamiento de la longitud del tallo del fertilizante puede estar asociado a una mayor disponibilidad de nutrientes principalmente nitrógeno, fósforo y potasio los cuales son esenciales para el desarrollo de las plantas, como se observa en la Figura 7.

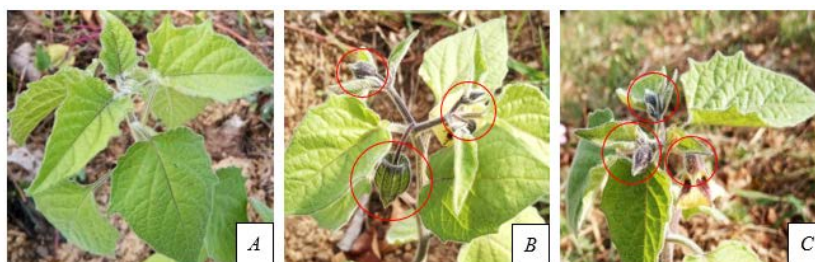


**Figura 7.** Altura de *Physalis peruviana* en diferentes tratamientos: A) Tratamiento control, B) Fertilizante químico, C) Inóculo bacteriano

En cuanto a los resultados obtenidos con la cepa *Brevibacillus brevis* estos pueden estar relacionados a su capacidad de producir auxinas que promueven el crecimiento vegetal [39], y a su capacidad de solubilizar fosfatos a partir de la producción de ácido indolacético, la fijación de nitrógeno atmosférico y la solubilización de fosfatos [10, 11]. Estos resultados también concuerdan con los de [37] en donde se mostró un aumento significativo de la altura y el diámetro del tallo de las plantas inoculadas con *Brevibacillus brevis* en este estudio se menciona que el incremento en la longitud del tallo confirma que la inoculación promovió el desarrollo de la raíz, que puede estar relacionado con una mayor disponibilidad de agua y nutrientes [37].

Una de las características más importantes de la cepa utilizada es que influye en el crecimiento de las plantas a través de la producción de compuestos indólicos como lo son las fitohormonas, estos compuestos actúan directamente en las plantas estimulando el crecimiento y la longitud de las raíces lo que da como resultado una mayor superficie de estas y así la planta logra acceder a una mayor cantidad de nutrientes [3]. Adicionalmente, las rizobacterias estimulantes de crecimiento vegetal, además de contribuir por la producción de hormonas vegetales, solubilizan fuentes de nitrógeno y fósforo del suelo lo que permite una mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas. Además del incremento en el tamaño, se observó que las plantas inoculadas con el fertilizante y con la cepa de *B. brevis* presentaron una aceleración en la producción de frutos, siendo el fertilizante el que presentó los frutos más desarrollados.

Como se observó en los resultados de la germinación el fertilizante fue el que mostró mayor aceleración debido a la rápida capacidad de absorción de fósforo, potasio y varios microelementos que presenta. Sin embargo, se muestra una rápida germinación en el tratamiento inoculado con la cepa, quizás debido a la capacidad de solubilizar fósforo y de producir fitohormonas que favorecen este comportamiento, como se observa en la Figura 8.



**Figura 8.** Producción de frutos de *Physalis peruviana* en diferentes tratamientos: A) Tratamiento control, B) Fertilizante químico, C) Inóculo bacteriano

El aumento en la productividad biológica de las plantas ocasionado por el aumento en la disponibilidad de nutrientes puede ocasionar un mayor número de hojas y un mayor tamaño de estas lo que proporciona una mayor intercepción de luz, fotosíntesis y una mayor acumulación de fotoasimilados, esto produce en las plantas mayor aprovechamiento de los nutrientes y un aumento en el rendimiento de los frutos [37].

## 5.7 Determinación de fósforo

En cuanto a los resultados del fósforo total presente en el suelo se observó que la mayor cantidad de fósforo disponible para las plantas se encontró en el suelo inoculado con la cepa de *B. brevis* como se observa en la Tabla 1. Esto debido a su capacidad de solubilizar fosfatos mediante la producción de ácidos orgánicos.

**Tabla 1.** Determinación de fósforo en los diferentes tratamientos

|                               | Determinación de fósforo (mg/L) |              |         |
|-------------------------------|---------------------------------|--------------|---------|
|                               | <i>B. brevis</i>                | Fertilizante | Control |
| Fósforo (P)                   | 7,4                             | 1,3          | 3,4     |
| PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | 22,7                            | 4,1          | 10,4    |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 17                              | 3,1          | 7,8     |

Los fosfatos solubles son absorbidos por la planta, lo cual mejora su crecimiento y productividad. Estos ácidos orgánicos provienen del metabolismo de compuestos como lípidos, péptidos o carbohidratos [20].

El mecanismo de acción que utilizan las bacterias solubilizadoras de fosfato a través de la producción de ácidos orgánicos es debido a que estas utilizan la glucosa como fuente de carbono [20]. Estos ácidos orgánicos son producidos en el periplasma de las bacterias gram positivas a través de la ruta directa de la oxidación de la glucosa, en cuya ruta intervienen enzimas importantes que se encuentran en el exterior de la membrana 45 citoplasmática y de esta manera logran oxidar los sustratos del espacio periplásmico.

Los ácidos orgánicos producidos son liberados hacia el exterior de las células y así es como logran liberar una gran cantidad de fósforo soluble, los fosfatos minerales producen un intercambio de cationes y aniones, provenientes de los ácidos orgánicos que se unen al metal haciendo que quede libre el fósforo [9]. Por otro lado, las bajas concentraciones de fósforo en el suelo inoculado con el fertilizante pueden deberse a que, del fósforo que es agregado a los suelos en forma de fertilizantes fosfatados, solo entre el 10% y 20% son aprovechados ya que son rápidamente fijados y precipitados formando sales insolubles.

Las bajas concentraciones del fósforo agregado por los fertilizantes químicos pueden deberse además de la precipitación a que en los suelos ácidos hay una gran cantidad de Fe y Al los cuales fijan el fósforo a partir de la formación de ortofosfatos de Fe y Al, esto ocurre debido a que los hidróxidos compuestos por ellos atraen iones fosfatados a la superficie de las partículas que terminan formando fosfatos complejos [42].

En cuanto al pH de las muestras de suelo de cada tratamiento se observó que el suelo inoculado con la cepa obtuvo un valor de 6,42, este pH a pesar de ser ácido es el que presenta una mejor solubilización del fósforo ya que se rompen los enlaces con el Al, Ca y Fe, lo que explica que en el suelo inoculado con la cepa bacteriana tenga los valores más altos de fósforo disponible, por otro lado en el suelo tratado con el fertilizante químico se presentó el mayor pH el cual fue de 6,75 estos se consideran suelos neutros los cuales tienden a ser muy altos en Ca y Mg, lo que puede significar una mayor deficiencia de micronutrientes y una disminución de fósforo lo que podría explicar por qué el suelo inoculado con el fertilizante presentó la menor concentración, 46 adicionalmente este tipo de químicos con acumulados y precipitados muy fácilmente [43, 44].

## 6. CONCLUSIONES

Se encontró que en la cepa se presenta un aumento continuo en la eficiencia de la capacidad de solubilización de fosfato.

Se presentaron diferencias significativas estadísticas entre los tratamientos en la tasa de germinación, la bacteria aceleró el inicio de la germinación en las plantas y aumentó el tamaño de la raíz y tallo de los brotes.

La inoculación de las semillas con la cepa mostró una mayor producción de biomasa aérea y radicular en comparación con el fertilizante que puede deberse a la mayor disponibilidad de fosforo en el suelo.

Dado que no se encontraron diferencias estadísticas significativas en la longitud del tallo de las plantas inoculadas con el fertilizante y el inoculo bacteriano, este último podría ser utilizado como posible biofertilizante reemplazando el uso de químicos en las plantas.

Se encontraron diferencias estadísticas significativas en las concentraciones de fosforo disponible en las muestras de suelo inoculado con el fertilizante y el inoculo bacteriano, mostrando este último un aumento significativo por lo que su uso en la inoculación del suelo aumenta la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

## REFERENCIAS

- [1] Fernández M. (2007). Fósforo: Amigo o enemigo. ICIDCA 41(2), 51-7.
- [2] Creus C. (2017). Inoculantes microbianos: Piezas de un rompecabezas que aún requiere ser ensamblado. Rev Argent Microbiol 49(3), 207-219.
- [3] Nehra V. et al. (2016). Evaluation of *Brevibacillus brevis* as a potential plant growth promoting rhizobacteria for cotton (*Gossypium hirsutum*) crop. Springerplus 5(1), 948-954.

- [4] Prieto C. (2012). Aislamiento y selección de actinobacterias solubilizadoras de fósforo a partir de suelos del Departamento de Boyacá. Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana.
- [5] Paredes M. y Espinosa D. (2010). Organic acids produced by phosphate solubilizing rhizobacteria: A critical review. *Terra Latinoamericana* 28(1), 61–70.
- [6] De Bashan L. et al. (2007). Bacteria promotora y fisiología. En Ferrera R. y Alarcón A. (ed.), *Microbiología agrícola: Hongos, bacterias, micro y macrofauna, control biológico y planta-microorganismo* (pp. 170–224). Trillas.
- [7] Tapullima J. (2022). Capacidad de remediación de suelos contaminados con metales con maíz var. Chingasino (*Zea Mays L*) asistido por bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR). Trabajo de grado. Universidad Científica del Sur.
- [8] Osorio L. (2017). Aislamiento de bacterias solubilizadoras de fosfato nativas de la ciénaga de mallorquín en el departamento del Atlántico-Colombia. *Microciencia* 6,11–9.
- [9] Beltrán E. (2015). La solubilización de fosfatos como estrategia microbiana para promover el crecimiento vegetal. *Corpoica cienc tecnol agropecu* 15(1), 101–13.
- [10] Bigurra U. et al. (2020). Cinética de crecimiento in vitro de *Brevibacillus brevis* en diferentes medios de cultivo. *Ecosistemas y recursos agropecuarios* 7(2), 1-8.
- [11] Parmar P. et al. (2020). A Case of *Brevibacillus brevis* Meningitis and Bacteremia. *Case Reports in Infectious Diseases* 7, 5931235.
- [12] Vargas J. et al. (2002). Papel ecológico de la flora rizosférica en fitorremediación. *Av Perspect.* 21, 297–300.
- [13] Souza R. et al. (2015). Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. *Genet Mol Biol* 38(4), 401–19.
- [14] Pineda M. (2014). La solubilización de fosfatos como estrategia microbiana para promover el crecimiento vegetal. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria* 15(1), 101–13.
- [15] Henao B. y Vanegas C. (2008). Aislamiento y producción de bacterias fosfato solubilizadoras a partir de compost obtenido de residuos de plaza. Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana.
- [16] Novoa M. et al. (2018). Effect of deficiencies and excesses of phosphorus, potassium and boron on the physiology and growth of avocado (*Persea americana*, cv. Hass) plants. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 12(2), 293–307.
- [17] Rooney D. y Clipson N. (2009). Phosphate addition and plant species alters microbial community structure in acidic upland grassland soil. *Microb. Ecol.* 57(1), 4–13.
- [18] Picone L. y Zamuner E. (2002). Fósforo orgánico y fertilidad fosfórica. *Informaciones agronómicas del cono sur* 16, 11–5.
- [19] Patiño C. y Reyes O. (2014). Los microorganismos solubilizadores de fósforo (MSF): una alternativa biotecnológica para una agricultura sostenible. *Entramado* 10(2), 288–297.
- [20] Paredes M. y Espinosa D. (2010). Ácidos orgánicos producidos por rizobacterias que solubilizan fosfato: Una revisión crítica. *Terra Latinoamericana* 28(1), 61–70.
- [21] Ramírez J. et al. (2015). Influencia de la fertilización en las propiedades físico-químicas de un suelo dedicado a la producción de semilla de *Megathyrsus maximus*. *Pastos y forrajes* 38, 393–402.
- [22] Reyes I. y Valery A. (2007). Efecto de la fertilidad del suelo sobre el microbiota y la promoción del crecimiento del maíz (*Zea mays l.*) con *Azotobacter* spp. *Bioagro* 19(3), 117–126.
- [23] Sánchez M. et al. (2010). Cambios físico-químicos durante la germinación del maíz. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 1(1), 89–93.
- [24] Rodríguez M. et al. (2020). Cepas nativas de *Bacillus* spp. como una alternativa sostenible en el rendimiento de forraje de maíz. *Terra Latinoam* 38(2), 313–321.
- [25] Gutiérrez S. (2020). Estudio del comportamiento de microorganismos nitrificantes y solubilizadores de fosfato asociados a suelo rizosférico de *Espeletia argentea* en dos zonas con diferente grado de intervención en el páramo de Rabanal, Boyacá, Colombia. Trabajo de grado. Universidad el Bosque.
- [26] Forero A. (2018). Estudio del comportamiento de microorganismos celulolíticos y solubilizadores de fosfato asociados a suelo rizosférico de *Espeletia grandiflora* en dos zonas con diferentes grados de intervención en el páramo de Ocetá. Trabajo de grado. Universidad el Bosque.
- [27] López G. y Liyed K. (2018). Cuantificación de la huella hídrica de la microcuenca del Río Sunuba en el municipio de Guayatá. Trabajo de grado. Universidad Católica de Colombia.
- [28] Ramírez L. et al. (2014). *Bacillus*: género bacteriano que demuestra ser un importante solubilizador de fosfato. *Nova* 12(22), 165–77.
- [29] Tejera B. et al. (2013). Aislamiento de *Bacillus* solubilizadores de fosfatos asociados al cultivo del arroz. *Agron. Mesoam.* 24(2), 357-346.
- [30] Callejas G. et al. (2018). Capacidad solubilizadora de fosfato de aluminio por hongos rizosféricos aislados de un Andisol colombiano. *Entramado* 14(2), 218–27.
- [31] Magnitskiy S. y Ligarreto G. (2011). El efecto del nitrato de potasio, del ácido giberélico y del ácido indolacético sobre la germinación de semillas de agraz (*Vaccinium meridionale Swartz*). *Rev. Colomb. Cienc. Hortíc.* 1(2), 137–141.

- [32] Amador K. et al. (2013). Efecto de diferentes reguladores de crecimiento vegetal sobre la germinación de semillas y desarrollo de plántulas de dos especies de *Ferocactus* (Cactaceae). *Polibotánica* 56,109-131.
- [33] Vazallo S. et al. (2013). Efecto de la inoculación de *Rhizobium etli* y *Trichoderma viride* sobre el crecimiento aéreo y radicular de *Capsicum annum* var. *longum*. *Revista Rebiolest.* 1(1), 11-21.
- [34] Bayard I. y Orberá T. (2020). Fertilización de Habichuela Larga con biopreparados bacterianos, materia orgánica y fertilizante NPK. *Revista Cubana de Química* 32(2), 299-310.
- [35] Bashan Y. (1986). Enhancement of wheat roots colonization and plant development by *Azospirillum brasilense* Cd. following temporary depression of the rhizosphere microflora. *Appl. Environ. Microbiol.* 51, 1067-1071.
- [36] Cano M. (2011). Interacción de microorganismos benéficos en plantas: Micorrizas, *Trichoderma* spp. y *Pseudomonas* spp. una revisión. *Rev. Udca. Actual. Divulg. Cient.* 14(2), 123-129.
- [37] Chalé V. et al. (2016). Crecimiento y respuesta a *Bemisia tabaci* en genotipos de *Capsicum annum* inoculados con *Brevibacillus brevis* CEPA CBTC1. *Agrociencia* 50(3), 323-234.
- [38] Cruz A. et al. (2018). Efecto de la aplicación combinada de fertilizante químico y humus de lombriz en *Capsicum annum*. *Centro Agrícola* 45(1), 52-61.
- [39] Johnson E. y Dunlap C. (2019). Phylogenomic analysis of the *Brevibacillus brevis* clade: A proposal for three new *Brevibacillus* species, *Brevibacillus fortis* sp. nov., *Brevibacillus porteri* sp. nov. and *Brevibacillus schisleri* sp. nov. *Antonie Van Leeuwenhoek* 112(7), 991-999.
- [40] Beltrán M. (2014). Bacterias solubilizadoras de fosfato con potencial biofertilizante en suelos cultivados con papa (*Solanum tuberosum*). *Agron.* 22(2), 7-20.
- [41] Lozano Z. et al. (2012). Disponibilidad de fósforo en un suelo de las sabanas bien drenadas venezolanas, bajo diferentes coberturas y tipos de fertilización. *Interciencia* 37(11), 820-827.
- [42] Soto S. (1961). Influencia del pH sobre la fijación de fósforo y su relación con la respuesta del maíz a la fertilización fosfatada. *Acta agronómica* 11(3-4), 1-23.
- [43] Osorio N. (2012). pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. *Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal* 1,1-4.
- [44] Ginés I. y Sancho I. (2002). Incidencia de los fertilizantes sobre el pH del suelo. Trabajo de grado. Universidad Politécnica de Madrid.



# Estudio de los compuestos orgánicos volátiles realizado por medio de microextracción en fase sólida por espacio de cabeza HS-SPME y cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas GC-MS de la cebolla de rama

Juan Pablo Arrubla Vélez<sup>1</sup>  
Santiago Uribe Tabares<sup>2</sup>  
Norma Patricia Durán<sup>3</sup>  
*Universidad Tecnológica de Pereira*  
Colombia

A partir de esta investigación la Universidad Tecnológica de Pereira UTP, Colombia, aporta al conocimiento en un material relacionado con la cebolla de rama denominada *Cebolla Pereirana*, que actualmente cuenta con un sistema de producción propio y es un producto apreciado por su sabor y olor en aplicaciones culinarias. Se presenta el primer estudio de los compuestos orgánicos volátiles COVs realizado por medio de microextracción en fase sólida por espacio de cabeza HS-SPME y cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas GC-MS, comparando 4 variedades de cebolla: Pereirana, Biónica, Veleña y Veleña Sonsón, cultivadas en la Florida, Pereira. Allí se encontraron hasta 29 componentes diferentes, en su mayoría azufrados, como el disulfuro dipropil, E-1-(Prop-1-en-1-il)-2-propildisulfano, disulfuro metil-1-(1-propeniltio)propil, trisulfuro dipropil y (E)-1-(Prop-1-en-1-il)-3-propiltrisulfano. Compuestos que han demostrado estar en la cebolla Pereirana en hasta 20 veces la abundancia relativa con las especies comparadas, y que podrían ser utilizados en productos de alto valor agregado como bioplaguicidas con capacidad de inhibir patógenos y aumentar la productividad de cultivos frutales, aceites concentrados con propiedades antimicrobianas, como aditivo en alimentos procesados, o con propiedades medicinales, que a su vez pueden emplearse para conferir el aroma y sabor de las cebollas sin las dificultades del manejo de grandes cantidades de producto fresco, permitiendo un cambio del modelo de comercio actual sin valor agregado.

---

<sup>1</sup> Químico.

Contacto: [juanpablo77@utp.edu.co](mailto:juanpablo77@utp.edu.co)

<sup>2</sup> Químico.

Contacto: [santiago.uribe@utp.edu.co](mailto:santiago.uribe@utp.edu.co)

<sup>3</sup> Química.

Contacto: [npatricia@utp.edu.co](mailto:npatricia@utp.edu.co)

## 1. INTRODUCCIÓN

Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL, las economías de América Latina y el Caribe, de manera significativa han basado gran parte de su desarrollo en la exportación de recursos naturales. Pese a esto, analistas internacionales consideran que, desde un punto de vista histórico, basar el crecimiento de un país principalmente en la exportación de recursos naturales es muy mala idea, porque a pesar de ser ricos en materias primas, nuestros países han tendido a seguir atrapados en un bajo nivel de desarrollo, por exportar productos sin valor agregado, como petróleo, minerales o granos. La ONU, a través de los documentos Agro 4.0 plantea que, para lograr disminuir efectivamente las brechas de productividad y bienestar con los países desarrollados, es necesario la participación de los centros de investigación. Por su parte la CEPAL, la FAO e IICA, recomiendan la generación de conocimiento, con redes de ciencia y tecnología en las que participen los centros de investigación, las universidades regionales, los actores públicos relevantes, las empresas privadas, las organizaciones de pequeños productores y en general la sociedad civil organizada.

En esta línea de pensamiento propuesta por la ONU, se deben generar oportunidades para promover estrategias activas que fomenten el diálogo y la relación entre la humanidad y la ciencia, donde la academia, los centros de investigación y las entidades públicas intercambien lenguajes, intereses y capacidades comunes, que generen procesos de involucramiento de diversos actores relevantes a los procesos de generación y transferencia de conocimientos y tecnologías; que promuevan mayor vinculación e inversiones de las empresas del sector privado y de los movimientos y organizaciones sociales, así como la presencia de mediadores que promuevan la circulación de ideas y tecnologías.

Según datos de la CEPAL, del total de exportaciones de 2020 los productos primarios representaron un 85,1% en Argentina, 72,9% en Brasil, 87,1% en Chile, 75,1% en Colombia y 93,8% en Ecuador, basando la economía en el extractivismo [1]. De acuerdo a CEPAL [2], la mayor parte del crecimiento económico se debió al alza de precios de materias primas desde 2003 y su auge durante la crisis financiera mundial de 2008 a 2009, no obstante, los ingresos generados no fueron invertidos en educación, desarrollo de capacidades, innovación, investigación y desarrollo, es decir, la inversión pública no estuvo planteada desde los criterios de sostenibilidad económica y ambiental de largo plazo.

Los próximos años serán decisivos para efectuar un cambio cuyo enfoque se centre en sectores más intensivos en conocimiento, pues desde un punto de vista histórico, basar el crecimiento de un país principalmente en la exportación de recursos naturales, es considerado muy mala idea, porque a pesar de ser ricos en materias primas, LAC ha tendido a seguir atrapada en un bajo nivel de desarrollo, por exportar productos sin valor agregado, como petróleo, minerales o grano [3]. Es por este motivo que los gobiernos deberían impulsar reformas para aumentar la productividad, competencia, mejorar la participación de la educación, promoviendo la creación de productos de alto valor agregado, a partir de una estrategia a largo plazo que permita fortalecer las cadenas agroindustriales por medio de investigaciones que posibiliten convertir los productos primarios en productos que se desarrollen dentro de una economía circular invirtiendo así en más tecnología y educación.

Según lo anterior la ONU, a través de los documentos Agro 4.0 [4] plantea que aún quedan muchos desafíos para poder disminuir efectivamente las brechas de productividad y bienestar con los países desarrollados. Un primer paso es brindando un papel activo a las empresas implementando plataformas colaborativas más eficaces, basado en alianzas entre actores públicos, empresas y comunidades locales capaces de generar operación de plataformas digitales, sensores, Internet de las Cosas, robots, drones, Big Data, Cloud Computing, Inteligencia Artificial y Blockchain, que se pueden aplicar en agricultura, agroindustria y territorios rurales. A pesar de que ya existe la tecnología son poco utilizadas en el sector agroalimentario pues los productores y el personal técnico no tienen las habilidades necesarias.

Es por lo mencionado que la CEPAL, FAO e IICA [5], recomiendan la generación conocimiento y tecnologías que permitan mejorar los niveles de productividad y rentabilidad a lo largo de toda la cadena productiva, con redes potentes de ciencia y tecnología en que participen los centros de investigación, las universidades regionales, los actores públicos relevantes, las empresas privadas, las organizaciones de pequeños

productores y en general la sociedad civil organizada. Los espacios que brinden la posibilidad de intercambio de ideas entre la academia, centros de investigación y políticas públicas generan estrategias activas de diálogo y capacidad de actuar frente a intereses comunes, promoviendo así mayor vinculación e inversiones de las empresas del sector privado y de los movimientos y organizaciones sociales, así como la presencia de mediadores que promuevan la circulación de ideas y tecnologías. El proceso de digitalización de la agricultura es inminente, por lo que entre más pronto se disminuyan las brechas y se tenga la disponibilidad de las tecnologías junto a gente capacitada se tendrán resultados más prósperos como aumentos en la producción y reducción de costos en los cultivos. Para ello en primer lugar se debe promover el desarrollo de tecnologías adaptadas a los contextos y en segundo lugar facilitar los medios y procesos para la incorporación y el aprovechamiento pleno de las tecnologías disponibles.

En la mayoría de los países el sector agrícola impulsa el desarrollo del país, Colombia no debe ser la excepción, tiene posibilidades inmensas con respecto a la producción y comercialización de los productos agrícolas. Colombia tiene una extensión de 114 millones de hectáreas, de las cuales son aptas para la siembra 39 millones, según los estudios realizados, solo como área productiva se tienen 5.3 millones [6], lo que permite innumerables posibilidades para ampliar el sector agrícola. En este contexto la cebolla es un cultivo ampliamente extendido en todo el mundo, existen numerosas variedades adaptables a diversos climas. Su producción es una de las más representativas dentro del rubro *hortalizas*. La cebolla se produce en 175 países del mundo, con un área de siembra de 3,4 millones de hectáreas [7].

Actualmente, la producción mundial total de cebolla a 2022 alcanzó los 93,23 millones de toneladas (TM), siendo China (23,91 TM), India (19,42 TM), Egipto (3,12 TM), EE. UU. (3,03 TM) e Irán (2,35 TM) los cinco principales países que contribuyen a esta producción total [8]. En Colombia la producción comercial se realiza hace aproximadamente 50 años y su cultivo se ha adaptado a altitudes entre los 1.500 y 3.000 msnm donde rondan temperaturas entre los 12 y los 20°C. Según la Encuesta Nacional Agropecuaria, ENA, durante el año 2019 en Colombia se cosecharon 16.922 hectáreas de cebolla de rama, con una producción de 414.554 toneladas.

Según ICA, el departamento de Risaralda fue el tercer productor de cebolla larga de Colombia en el año 2022, con cerca de 50 mil toneladas al año, con cultivos en los municipios de Pereira, Guática, Santa Rosa de Cabal, Santuario, Dosquebradas y Belén de Umbría, fue introducida por colonos llegados desde el municipio de Guática, en los años 1960 y posteriormente se sembró en el corregimiento de La Bella [9], dadas las condiciones climáticas, de alta precipitación y días muy cálidos que no favorecían al cultivo, la planta tuvo que adaptarse a estas nuevas condiciones, dando origen a un material de cebolla de rama único, de gran aceptación entre los consumidores de esta región y al que denominaron cebolla *Pereirana*, que ha sido caracterizada de manera morfoagronómica como una cebolla de pseudotallos delgados de color violeta oscuro, hojas de color verde oscuro, porte del follaje intermedio, alto machollamiento, abundante serosidad en sus hojas, y resistentes al quebrado, fuerte irritación de los ojos al estrujar las hojas [10].

Existen más de 500 especies diferentes en el género *Allium* de la familia de las *Liliaceae* pero pocos son de gran importancia como lo es la cebolla de rama [11], puesto que es muy utilizada para brindar a los platos un sabor y aroma característico, las más conocidas son la cebolla de bulbo, la cebolla de rama, el ajo, el puerro y el cebollino [12]. En Colombia se siembran materiales regionales, entre los que se tienen: Junca, Monguana o imperial, Berlinera, Pastusa, Chava y Santa Isabel o R 18 [13]. Se clasifica taxonómicamente como se observa en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Taxonomía cebolla de rama

|          |                      |
|----------|----------------------|
| Reino    | Plantae              |
| División | Magnoliophyta        |
| Clase    | Liliopsida           |
| Orden    | Asparagales          |
| Familia  | Amaryllidaceae       |
| Tribu    | Allieae              |
| Género   | Allium               |
| Especie  | Allium fistulosum L. |

Esta hortaliza se caracteriza por tener alrededor de un 90% de humedad y su porcentaje restante corresponde a proteínas, lípidos, cenizas y minerales (calcio, fósforo, hierro). El aroma característico se le atribuye a los compuestos sulfurados que en su mayoría se encuentran en forma de derivados de cisteína, los cuales sufren un reordenamiento catalizado por la enzima alinasa al ser sometidos a calor, estrés mecánico o extracción.

El género *Allium* posee un perfil de compuestos orgánicos volátiles (COVs) proveniente de tiosulfatos, tiosulfonatos, mono, di y trisulfuros, específicamente los que se encuentran en una mayor concentración son dimetiltrisulfuro, propenilpropildisulfuro, dipropil disulfuro, propenilmetildisulfuro, metilpropiltrisulfuro y dipropiltrisulfuros [14].

Los compuestos sulfurados son responsables del sabor, por lo que las diferencias que se presentan en las diversas especies dependen del tipo y concentración de estos compuestos azufrados característicos de su perfil de COVs. El compuesto responsable de generar esta variedad de compuestos se le atribuye a S-alk(en)il-l-cisteína-S-óxido gracias a la actividad enzimática de la alinasa. El mecanismo de acción empieza desde el citoplasma donde se encuentra ubicado el S-alk(en)il-l-cisteína-S-óxido, en donde la alinasa entra en contacto cuando la cebolla es sometida a estrés mecánico.

Esta reacción enzimática produce ácidos sulfónicos que se condensan en tiosulfatos; estos se consideran compuestos aromáticos *primarios* producidos en el primer minuto después de la ruptura de la pared celular. Durante los próximos 30 min, los tiosulfatos sufren un reordenamiento, generando monosulfuros y polisulfuros, que se conocen como compuestos aromáticos *secundarios*. Este patrón de compuestos y reacciones es común a la mayoría de las especies de *Allium*, no obstante, factores como temperatura de almacenamiento, tiempo de almacenamiento, tejido vegetal vivo y especies patógenas posiblemente presentes en las muestras pueden afectar los COVs [15].

Para extraer los compuestos sulfurados se pueden utilizar una variedad de métodos como lo son la extracción líquido-líquido, hidrodestilación o microextracción en fase sólida por espacio de cabeza HS-SPME, esta última es libre de disolventes donde los analitos se adsorben directamente de una fase acuosa o gaseosa a unas fibras de sílice fundida recubierta con una fase polimérica. Los analitos se ordenarán según sus coeficientes de distribución o sus constantes de equilibrio de adsorción para posteriormente ser desorbidos en el cromatógrafo de gases acoplado a espectrometría de masas GC-MS para su respectiva separación y caracterización [16].

El método requiere un tiempo mínimo de preparación de la muestra y es adecuado para el muestreo puntual como a la exposición integral a lo largo del tiempo [17]. Para la microextracción en fase sólida SPME se hace necesario el uso de fibras especializadas recubiertas de diferentes polímeros o partículas adsorbentes con capacidad de capturar moléculas volátiles para su posterior análisis [18].

Una vez los analitos son extraídos por medio de SPME, se hace necesario el uso de una técnica de separación como lo es la cromatografía de gases GC. En esta técnica la muestra se distribuye entre dos fases una estacionaria y otra móvil. La fase móvil desplazará al analito mediante un gas inerte por la fase estacionaria que corresponderá a un adsorbente sólido [19]. La espectrometría de masas se basa en la separación de partículas moleculares o atómicas por su diferente masa y así proporcionar datos acerca de la composición de las moléculas inorgánicas, orgánicas y biológicas [20], ha demostrado ser útil para la caracterización de compuestos volátiles en cebolla, donde se determinó que los compuestos más abundantes en las muestras analizadas correspondían a propil disulfuro, alil-isopropil disulfuro y propanotiol [15].

El complemento de estas tres técnicas SPME/GC-MS es usada para el análisis de COVs debido a que se hace uso de pequeñas cantidades de muestra, y evita el uso de disolventes, lo que promueve la química sostenible, además se pueden detectar una gran variedad de compuestos simultáneamente; ha demostrado ser útil para realizar un estudio efectivo de los COVs en *Allium*, inclusive para el monitoreo de cebollas infectadas, donde se evidenció que existe una mayor concentración de compuestos tales como propeno, disulfuro de carbono, isopreno, pentano, 2-metilfurano, 3-metilfurano, 1-propenotiol, hexano y metilpropilosulfuro siendo estos indicadores de descomposición [21,22].

La técnica SPME se fundamenta en el equilibrio de partición de compuestos de interés entre la matriz y la fase de extracción que recubre la superficie de la fibra de sílice fundida, esta fibra debe ser seleccionada según la selectividad de la fibra por los compuestos a analizar, condiciones de extracción como tiempo de exposición de la fibra, temperatura de equilibrio, dinámico o estático, lo que es determinante para obtener límites de detección adecuados para los analitos de interés [23].

La eficiencia de esta técnica depende mucho de la fibra que se utilice para extraer compuestos con diversidad de polaridades en donde la fibra recubierta de polidimetilsiloxano PDMS ha sido satisfactoria en la mayoría de los casos, la temperatura y los tiempos de exposición, optimizan el análisis, puesto que facilitan la extracción. Previamente se han estudiado los compuestos volátiles de hojas frescas de *Allium fistulosum* y *Allium tuberosum* con HS-SPME donde los principales COVs de *A. fistulosum* fueron dipropil disulfuro (67%), disulfuro de 1-propenilpropil (23%) y trisulfuro de dipropil (6%), siendo analizados por GC-MS [23].

Investigaciones previas en el grupo de investigación Oleoquímica, de la Universidad Tecnológica de Pereira, han permitido identificar 108 compuestos mediante distintas fibras, encontrándose como compuestos mayoritarios en el aceite esencial de cebolla junca disulfuro de dipropil, el 1-Alil-2-isopropil disulfan, la 2-undecanona, el trisulfuro de dipropil, el (E)-1-(Prop-1-en-1-il)-3-propiltrisulfan y la 2-tridecanona.

En consideración a que la mayor parte de las exportaciones de los países de Latinoamérica y del Caribe LAC corresponden a materias primas agrícolas con poco valor agregado, y a sabiendas que esta práctica disminuye la posibilidad de participar de los mercados más dinámicos y precios finales de los productos, con este proyecto se busca generar información y gestionar conocimiento orientado a la identificación de olores, que es un área importante en una amplia gama de industrias como la cosmética, la alimentación, las bebidas y el diagnóstico médico, entre otras.

La presente investigación presenta una novedosa caracterización del perfil de compuestos orgánicos volátiles COVs en cebolla *Pereirana*, material único de la región de Risaralda, Colombia. encontrando una alta concentración de COVs que se vislumbra como una oportunidad para los productores locales ya que se podrían elaborar productos desde shampoo para el crecimiento del cabello, hasta biofumigantes con capacidad de inhibir patógenos y aumentar la productividad del cultivo, aceites concentrados con propiedades antimicrobianas o en la alimentos procesados que brinde propiedades medicinales y que a su vez pueden emplearse para conferir el aroma y sabor de las cebollas sin las dificultades del manejo de grandes cantidades de producto fresco [34-38].

## 2. MÉTODO

### 2.1 Muestreo

Las muestras fueron tomadas durante el segundo semestre de 2021, en la finca la Castilla y la Carmela (Figura 1) ambas en las coordenadas 4.7559450, -75.6088910, donde se tomaron las cañas de cada una de las 4 variedades de cebolla de rama que se conocen en la zona como la Pereirana o Agua Azul, Veleña o Blanca, Veleña Sonsoneña, Biónica o Ferro (Figura 2).



Figura 1. Corregimiento de la Florida, Risaralda, Colombia. Fincas La Castilla y La Carmela



Figura 2. Variedades de cebolla recolectadas en el corregimiento de la Florida

## 2.2 Análisis de compuestos orgánicos volátiles

Las muestras fueron transportadas en bolsas plásticas a 4°C y almacenadas en el refrigerador a la misma temperatura. Posteriormente se trituraron las hojas y tallo de la respectiva variedad pesando 1 g. y almacenando en un vial SPME cerrado herméticamente, este mismo procedimiento se realizó con cada una de las variedades. Para cada muestra se realizó el análisis HS-SPME a una temperatura de 45°C con un tiempo de 5 min de homogeneización y 15 min de exposición a la fibra de polidimetilsiloxano PDMS, tal como se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Montaje microextracción en fase sólida HS-SPME

El análisis fue realizado por GC-MS equipado con una columna capilar Shimadzu SH-Rxi-5MS, en la cual se inyecta la fibra PDMS 100  $\mu\text{m}$  a través del puerto de inyección con helio como gas de arrastre (Grado 5.0), a una velocidad lineal de 35,0 cm/s. La corrida inicia con una temperatura de horno 40°C (2 min) a una velocidad de calentamiento de 3°C/min, hasta 90°C (3 min), posteriormente un incremento de 3°C/min, hasta 150°C (5 min) y por último la velocidad de calentamiento de 10°C/min, hasta 280°C (1 min) para un tiempo total de corrida de 60,67 min. Los espectros de masas se obtuvieron por impacto electrónico IE a 70 eV. Las temperaturas de la fuente de ionización y de la línea de transferencia fueron de 220 y 250°C respectivamente. El análisis cualitativo se realizó por comparación con los espectros de masas de las librerías NIST 14 y NIST 14s.

Para el estudio de los datos se realizó un análisis descriptivo en el programa IBM SPSS Statistics 25 de las variables *tipo de cebolla* y *tipo de compuesto*, ambas en escala nominal. La forma de presentar los datos cualitativos se hizo a través de tabla de contingencia donde se indican los atributos considerados para cada variable, en el caso del tipo de cebolla, 4 variedades y tipo de compuesto [24]

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

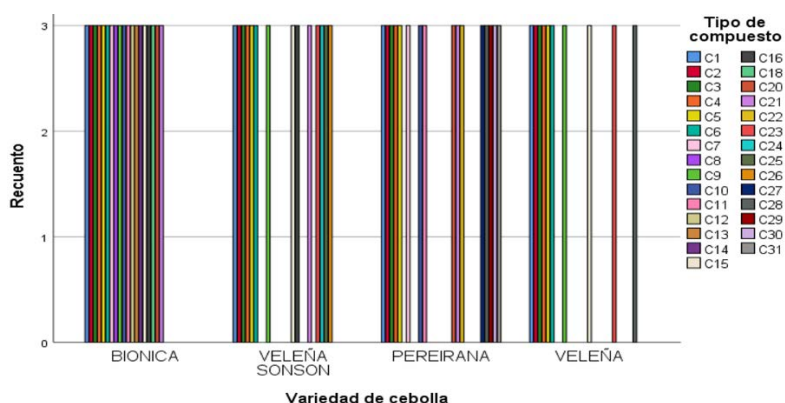
### 3.1 Análisis de los resultados de extracción

Los principales componentes de las 4 variedades analizadas fueron identificados según sus espectros de masas de las librerías NIST 14 y NIST 14s se agrupan en la Tabla 2, en la cual se identificaron 29 compuestos con la fibra PDMS, en su mayoría sulfurados.

**Tabla 2.** Compuestos orgánicos volátiles identificados por la fibra PDMS en las distintas variedades analizadas por HS-SPME-GC/MS

| Código                             | Compuesto   | Tiempo de retención | Área      |
|------------------------------------|---|---------------------|-----------|
| <b>Monosulfuros</b>                |   |                     |           |
| C20                                | Propil mercaptano                                       | 2,19                | 67183092  |
| <b>Disulfuros</b>                  |   |                     |           |
| C1                                 | Disulfuro dipropil                                      | 19,05               | 645650089 |
| C2                                 | (E)-1-(Prop-1-en-1-il)-2-propildisulfano                | 19,195              | 61683283  |
| C3                                 | Disulfuro, metil 1-(metiltio)propil                     | 24,315              | 5727388   |
| C7                                 | 1-Metil-2-(1-(propiltio)propil)disulfano                | 41,53               | 1482445   |
| C8                                 | Disulfuro, metil 1-(1-propeniltio)propil                | 42,135              | 12542697  |
| C21                                | Disulfuro, metil propilo                                | 10,182              | 9105947   |
| C23                                | 1-(1-propenil)-2-(4-tiohept-5-il)disulfuro              | 41,52               | 1542842   |
| C22                                | Disulfuro, bis(1-metiletilo)                            | 19,055              | 19767341  |
| C27                                | 1-Alil-2-isopropildisulfano                             | 17,905              | 3412246   |
| <b>Trisulfuros</b>                 |   |                     |           |
| C4                                 | Trisulfuro dipropil                                     | 30,915              | 123193997 |
| C5                                 | (E)-1-(Prop-1-en-1-il)-3-propiltrisulfano               | 31,47               | 6174386   |
| C28                                | (Z)-1-(Prop-1-en-1-il)-3-propiltrisulfano               | 31,09               | 1318250   |
| C29                                | 1-Alil-3-propiltrisulfano                               | 31,25               | 2356675   |
| C30                                | Alil-propiltrisulfano                                   | 31,47               | 6174386   |
| <b>Tetrasulfuros</b>               |   |                     |           |
| C11                                | 6-Etil-4,5,7,8-tetratriaundecano                        | 40,46               | 4817421   |
| <b>Otros compuestos sulfurados</b> |   |                     |           |
| C9                                 | 5-metil-2-octil-3(2H)-Furanona                          | 45,205              | 3756319   |
| C10                                | 2,4-Dimetil-5,6-ditia-2,7-nonadienal                    | 50,045              | 9195788   |
| C18                                | 2,3-Bis(etiltio)hexano                                  | 23,24               | 4288644   |
| C31                                | Ácido etanotioico, éster S-propilo                      | 7,715               | 3474829   |
| <b>Otros</b>                       |   |                     |           |
| C6                                 | 2-Tridecanona   | 38,675              | 12332170  |
| C12                                | 4-octadecil-morfolina                                   | 50,575              | 1213420   |
| C13                                | N,N-dimetil-1-Heptadecanamina                           | 51,52               | 922863    |
| C14                                | Ácido 1,6,10-dodecatrieno-3-carboxílico, éster metílico | 54,705              | 2165541   |
| C15                                | Ácido 9-octadecenoico, (E)-éster metílico,              | 54,805              | 1812623   |
| C16                                | Ácido 9,12-octadecadienoico (Z,Z)-, éster metílico      | 55,145              | 1488937   |
| C24                                | 3(2H)-Furanona, 2-hexilo-5-metil-                       | 45,21               | 503037    |
| C25                                | Escualeno   | 56,255              | 1762429   |
| C26                                | Heneicosano   | 58,11               | 763648    |

De los compuestos identificados se presentó 1 monosulfuro, 9 disulfuros, 5 trisulfuros, 1 tetrasulfuro, 4 compuestos sulfurados y 9 compuestos varios como acetonas o derivados de ésteres. Los disulfuros y trisulfuros fueron los más abundantes. Mediante un análisis descriptivo de gráfico de barras (Figura 4) se observó que la variedad de cebolla Biónica presenta la mayor cantidad de COVs seguidamente de las variedades Pereirana y Veleña Sonsón; finalmente, la variedad Veleña presentó el menor contenido de COVs.

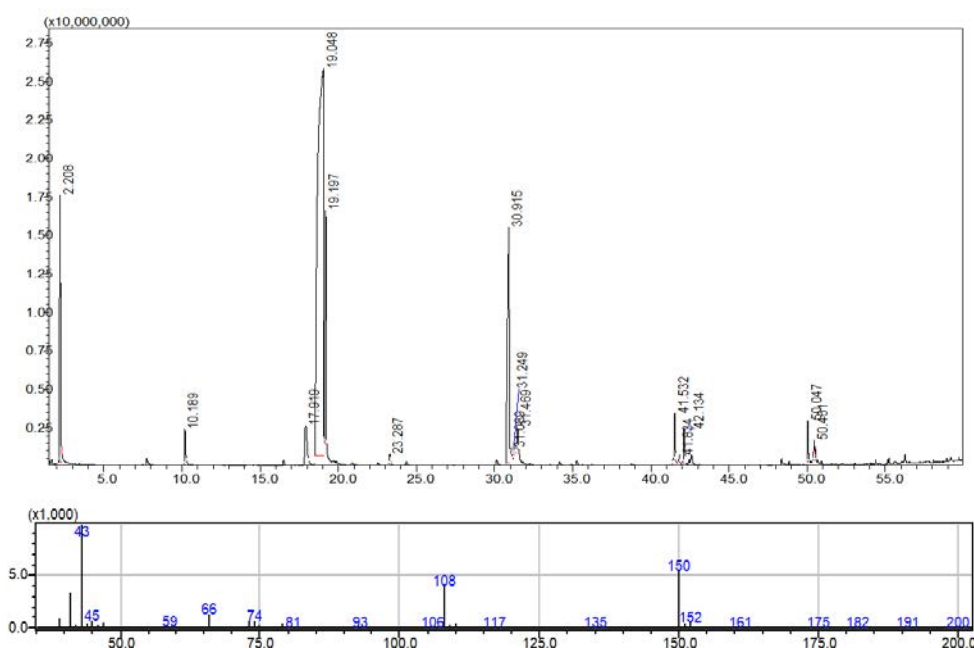


**Figura 4.** Los 29 compuestos obtenidos a partir de las 4 variedades de cebolla de rama

Compuestos como Disulfuro dipropil, E)-1-(Prop-1-en-1-il)-2-propildisulfano, Disulfuro metil-1-(1-propeniltio)propil, Trisulfuro dipropil y (E)-1-(Prop-1-en-1-il)-3-propiltrisulfano estuvieron presentes en las 4

variedades y que tuvieron un porcentaje de área para la cebolla Pereirana de 65,67%, 6,28%, 1,08%, 12,53%, 0,63% respectivamente. Lo que corresponde a investigaciones anteriores donde se identificó que los compuestos activos del género *Allium* son disulfuro de dialilo, trisulfuro de dialilo, sulfuro de dialilo, disulfuro de dipropil, trisulfuro de dipropil, disulfuro de 1-propenilpropil, disulfuro de metilo de alilo y disulfuro de dimetilo que podrían tener propiedades antioxidantes y antimicrobianas [25].

La cebolla Pereirana se caracteriza por contener 1-Alil-3-propiltrisulfano, (Z)-1-(Prop-1-en-1-il)-3-propiltrisulfano, 1-Alil-2-isopropildisulfano, Ácido etanoico, éster S-propilo que corresponden a compuestos organosulfurados, mientras que las otras variedades se diferencian por tener cetonas y derivados de ésteres. La fibra PDMS extrajo 29 compuestos con uno de los picos más abundante con un tiempo de retención de 19,050 correspondiente al disulfuro dipropil, quien en la cebolla Pereirana tuvo 20 veces la abundancia relativa con respecto a las otras variedades puesto que para esta variedad se debió realizar una dilución del extracto, ya que el extracto era tan concentrado que saturaba el detector de masas, el compuesto en mención tuvo iones de referencia de 43 y 150 unidades de masa atómica (UMA) (Figura 5), siendo la dilución un factor relevante a tener presente en los posteriores análisis.



**Figura 5.** Cromatograma PDMS de la cebolla Pereirana y los iones respectivos del disulfuro dipropil

Comparativamente, los principales compuestos de *A. Fistulosum* analizados por HS-SPME/GC-MS en un estudio anterior fueron el dipropil disulfuro con un contenido relativo del 67%, disulfuro de 1-propenilo propil (23%) y trisulfuro de dripropil (6%) con tiempos de retención 19,2, 19,5 y 27,4 min. respectivamente [26]. Compuestos que fueron detectados de igual manera en esta investigación con tiempos de retención similares.

De acuerdo al análisis estadístico realizado, se muestra la existencia de compuestos comunes entre las distintas variedades los cuales fueron asociados en grupos según sus similitud en estructuras o masas molares en donde se logró observar (Figura 4 y Tabla 2) que los compuestos C22, C27, C29 y C30 son di y trisulfuros con masa molar entre 148 y 180 UMA, del cual se puede destacar el 1-Alil-2-isopropildisulfano, compuesto que ha sido encontrado en aceite de cebolla junto con el dipropil disulfuro y dipropil trisulfuro, este tipo de compuestos pueden ser utilizados para brindar aroma sabor a los alimentos procesados sin los inconvenientes de usar un gran cantidad de cebolla triturada, sin embargo, se debe tener presente que concentraciones se ven disminuidas a medida que la temperatura aumenta lo que hace que el aroma cambie significativamente [27].

Se observan asociados los compuestos C6, C9, C15 y C16 de los cuales los 3 primeros cumplen con las características de ser cetonas de metilo. Las cetonas de metilo incluyen 2-undecanona y 2-tridecanona, que son importantes para la industria del sabor y la fragancia. Estos compuestos tienen una variedad de



funciones naturales y comerciales importantes, incluyendo actuar como feromonas e insecticidas naturales en las plantas. Las concentraciones de 2-undecanona y 2-tridecanona en bulbos de cebolla, pueden ver afectados por el tipo de suelo en que se encuentran y según sus concentraciones pueden generar un efecto protector contra ataque de insectos lo que puede indicar que las variedades Bionica, Veleña y Veleña Sonsón podrían utilizarse como productos con protección contra insectos [28].

Tanto la 2-tridecanona como la 3(2H)-furanona, 5-metil-2-octilo han sido reportadas en estudios anteriores en aceites destilados de cultivares de *A. Fistulosum* mediante las técnicas de extracción en tubo ITEX y microextracción en fase sólida SPME [29].

Los compuestos C1, C3,C4 y C21 dieron a la formación de otro grupo, donde los compuestos C1, C4 y C21 se describen en estudios previos como disulfuros de alquilo que por la acción de calor o irradiación UV se pueden convertir en dimetiltiofenos y disulfuros saturados que usualmente son disulfuros de dimetilo y disulfuro de dipropilo [30], dichos compuestos han sido identificados en otros estudios, en el que los volátiles identificados en los aceites destilados de cebollas galesas y cebolletas fueron el trisulfuro de metilpropil, metil l-propenilo trisulfuro, disulfuro de dipropil y disulfuro de propilo 1-propenilo [31].

La presencia de este grupo de compuestos resultan ser las moléculas con mayor actividad biológica, puesto que podrían ser usados para la biofumigación de suelos y estimulación del crecimiento vegetal, específicamente esta propiedad se le atribuye al dimetil disulfuro y disulfuro dipropil, según se demostró en un estudio mediante el uso de residuos de *Alliaceae* para controlar patógenos transmitidos por el suelo los cuales, no solo logran controlar los patógenos, sino que también lograron aumentar la productividad de los frutos entre un 15-20% siendo este un potencial biofumigante que podría ser utilizado para reemplazar el bromuro de metilo, una sustancia que se caracteriza por destruir la capa de ozono [32].

En investigaciones de los aceites esenciales de cebolla, *Allium porrum* L. (*Alliaceae*), se caracterizó la presencia de disulfuro de dipropil, trisulfuro de dipropil y tetrasulfuro de dipropil. Los resultados obtenidos sugieren que la presencia del grupo alilo es fundamental para la actividad antimicrobiana de estos derivados sulfurados cuando están presentes en *Allium* o en otras especies [33]. El compuesto C28 no se encontró asociado con ninguno de los grupos y dicho compuesto es el (Z)-1-(Prop-1-en-1-il)-3-propil trisulfano.

Compuestos como disulfuro de dialilo, trisulfuro de dialilo, sulfuro de dialilo, disulfuro de dipropil, trisulfuro de dipropil, disulfuro de 1-propenilpropil, disulfuro de metilo de alilo y disulfuro de dimetilo corresponden a los compuestos con mayor actividad de la familia *Alliaceae* los cuales han demostrado tener propiedades medicinales como actividades antibacterianas y antioxidantes, gracias a los compuestos organosulfurados de los cuales se cree que pueden prevenir el desarrollo de cáncer, enfermedades cardiovasculares, neurológicas, diabetes, enfermedades hepáticas, así como alergias y artritis [34]. Estos compuestos organosulfurados también podrían ser aprovechados como champú con propiedades de crecimiento del cabello [35], gel antibacterial [36] o como inhibidor de bacterias en alimentos [37] y como posible repelente de insectos [38].

#### 4. CONCLUSIONES

Como aporte a la generación de conocimiento composicional de 4 variedades de cebolla (*Pereirana*, *Biónica*, *Veleña* y *Veleña Sonsón*) cultivadas en el departamento de Risaralda, Colombia, se caracterizaron los COVs por medio de HS-SPME/GC-MS, logrando identificar 29 compuestos, en su mayoría azufrados.

La cebolla de rama Pereirana, se destaca por la presencia de hasta 20 veces la concentración de dimetil disulfuro y disulfuro dipropil, los cuales pueden ser utilizados como materia prima para la elaboración biofumigantes (antifungico, bactericida insecticida, incluso como bioestimulantes), permitiendo el reemplazo de productos destructores del ecosistema como pesticidas organoclorados, organofosforados.

Mediante el análisis descriptivo se determina que las variedades Biónica y Pereirana tienen la mayor cantidad de COVs y sus compuestos asociados resultan tener diversas aplicaciones, que se encuentran

asociadas en el ámbito cosmético como champú, o médico mediante sus propiedades antibacterianas y antioxidantes e inclusive para prevenir el desarrollo de enfermedades que afectan constantemente la salud pública como el cáncer, enfermedades cardiovasculares, neurológicas, diabetes, enfermedades hepáticas, así como alergias y diabetes.

Se demuestra que el conocimiento y la investigación son fundamentales para aportar al cambio de paradigma en la economía de LAC, donde actualmente las exportaciones se basan en productos naturales, sin embargo, con *Allium fistulosum* y sus residuos de poda pueden ser aprovechados para incorporarlos a la agroindustria y transformarlos en productos de mayor valor agregado y que a su vez se encuentren dentro de una economía circular.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, por la financiación del proyecto SI9-22-2 a través de la convocatoria para financiar proyectos de Semilleros de Investigación en 2021. Al Grupo de investigación Oleoquímica por el apoyo logístico para el desarrollo del proyecto del semillero de investigación Cromatografía. Al analista Hugo Fernando Arias y a los estudiantes Michelle Rojas Mejía, Juan Felipe Alape Romero y Juan Pablo Morales Correa.

### REFERENCIAS

- [1] CEPAL. (2022). Anuario Estadístico de América Latina y el Caribe 2021= Statistical Yearbook for Latin America and the Caribbean 2021.
- [2] Altomonte H. y Sánchez R. (2016). Hacia una nueva gobernanza de los recursos naturales en América Latina y el Caribe. Cepal.
- [3] BBC News Mundo. (2022). Por qué el actual "boom" de las materias primas no está enriqueciendo a América Latina. Recuperado: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-62259890>
- [4] CEPAL. (2021). Agro 4.0. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Recuperado: <https://www.cepal.org/es/proyectos/agro-40-0>
- [5] CEPAL. (2021). Perspectivas de la Agricultura y del Desarrollo Rural en las Américas: Una mirada hacia América Latina y el Caribe 2021-2022.
- [6] La República. (2022). Los cultivos agrícolas con mayor extensión son los tropicales, cereales y frutales, que representan 70% del área total de tierras. Recuperado: <https://www.larepublica.co/economia/del-34-del-area-potencial-para-cultivar-en-colombia-se-aprovecha-cerca-del-13-5-3391297>
- [7] Infoagro. (2018). Portal líder en agricultura. Recuperado: <http://www.infoagro.com/hortalizas/cebolla.htm>
- [8] Kumar M. et al. (2022). Onion (*Allium cepa* L.) peels: A review on bioactive compounds and biomedical activities. *Biomedicine & Pharmacotherapy* 146, 112498.
- [9] Jaramillo O. y Vallejo A. (2014). Historia rural de Pereira. Paisaje Cultural Cafetero. Academia Pereirana de Historia. Instituto municipal de cultura y fomento al turismo.
- [10] Polanco M. y Pérez J. (2018). Caracterización morfoagronómica de seis clones de cebolla rama (*Allium fistulosum* L.) cultivados en el municipio de Pereira. *RIAA* 9(2), 3-12.
- [11] Kuo M. y Ho C. (1992). Volatile constituents of the distilled oils of Welsh onions (*Allium fistulosum* L. variety maichuon) and scallions (*Allium fistulosum* L. variety caespitosum). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 40(1), 111-117.
- [12] Pinzón R. (2004). La cebolla de rama (*Allium fistulosum*) y su cultivo. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA. Recuperado: [https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/2121/41284\\_27373.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/2121/41284_27373.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [13] Ramírez H. (2004). La Cebolla de Rama (*Allium fistulosum*) y su Cultivo. CORPOICA.
- [14] Colina C. et al. (2013). Novel approach for the determination of volatile compounds in processed onion by headspace gas chromatography-mass spectrometry (HS GC-MS). *Talanta* 103, 137-144.
- [15] Taglienti A. et al. (2021). Characterization of volatile organic compounds in 'rossa di tropea' onion by means of headspace solid-phase microextraction gas chromatography-mass spectrometry (HS/SPME GC-MS) and Sensory Analysis. *Agronomy* 11(5), 874-896.
- [16] Chvilíčková I. y Kubáň V. (2004). Headspace solid-phase microextraction (HS-SPME): A microscale sampling technique for determination of monoterpene hydrocarbons in coniferous needles by gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS). *Analytical and bioanalytical chemistry* 378(1), 150-158.
- [17] Boyd A. et al. (1994). New solvent-free sample preparation techniques based on fiber and polymer technologies. *Environmental science & technology* 28(13), 569A-574A.
- [18] Cantrell M. et al. (2020). Determination of organosulfides from onion oil. *Foods* 9(7), 884-897.

- [19] Kaur G. y Sharma S. (2020). Gas Chromatography–A Brief Review 5, 125-131.
- [20] Payá A. (2006). Fundamentos y funciones de la espectrometría de masa. Universidad de Valencia.
- [21] Wang A. et al. (2019). Emission of volatile organic compounds from yellow onion (*Allium cepa* L.) bulbs during storage. *Journal of food science and technology* 56(6), 2940-2948.
- [22] Licen S. et al. (2021). Derivatized volatile organic compound characterization of Friulano wine from Collio (Italy–Slovenia) by HS-SPME-GC-MS and discrimination from other varieties by chemometrics. *British Food Journal*.
- [23] Hori M. (2007). Onion aphid (*Neotoxoptera formosana*) attractants, in the headspace of *Allium fistulosum* and *A. tuberosum* leaves. *Journal of Applied Entomology* 131(1), 8-12.
- [24] López C. (2004). Técnicas de análisis multivariante de datos. Pearson Educación.
- [25] Bastaki S. et al. (2021). Chemical constituents and medicinal properties of *Allium* species. *Molecular and Cellular Biochemistry* 476(12), 4301-4321.
- [26] Wang A. et al. (2019). Emission of volatile organic compounds from yellow onion (*Allium cepa* L.) bulbs during storage. *Journal of food science and technology* 56(6), 2940-2948.
- [27] Tian P. et al. (2021). Analysis of volatile compound changes in fried shallot (*Allium cepa* L. var. *aggregatum*) oil at different frying temperatures by GC–MS, OAV, and multivariate analysis. *Food Chemistry* 345, 128748.
- [28] Antonious G. (2013). 2-Undecanone and 2-tridecanone in field-grown onions. *Journal of Environmental Science and Health Part B* 48(4), 302-307.
- [29] Kusano M. et al. (2016). Unbiased profiling of volatile organic compounds in the headspace of *Allium* plants using an in-tube extraction device. *BMC Research Notes* 9(1), 1-12.
- [30] Boelens M. et al. (1971). Volatile flavor compounds from onion. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 19(5), 984-991.
- [31] Kuo M. et al. (1990). Novel polysulfides identified in the volatile components from Welsh onions (*Allium fistulosum* L. var. *maichuon*) and scallions (*Allium fistulosum* L. var. *caespitosum*). *Journal of agricultural and food chemistry* 38(6), 1378-1381.
- [32] Arnault I. et al. (2013). Use of Alliaceae residues to control soil-borne pathogens. *Industrial crops and products* 49, 265-272.
- [33] Casella S. et al. (2013). The role of diallyl sulfides and dipropyl sulfides in the in vitro antimicrobial activity of the essential oil of garlic, *Allium sativum* L., and leek, *Allium porrum* L. *Phytotherapy Research* 27(3), 380-383.
- [34] Bastaki S. et al. (2021). Chemical constituents and medicinal properties of *Allium* species. *Molecular and Cellular Biochemistry* 476(12), 4301-4321.
- [35] Patel N. et al. (2018). Formulation and evaluation of onion hair nourishing shampoo. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics* 8(4), 335-337.
- [36] Sharma K. et al. (2018). Systematic study on active compounds as antibacterial and antibiofilm agent in aging onions. *Journal of food and drug analysis* 26(2), 518-528.
- [37] Hannan A. et al. (2010). In vitro antibacterial activity of onion (*Allium cepa*) against clinical isolates of *Vibrio cholerae*. *Journal of Ayub Medical College Abbottabad* 22(2), 160-163.
- [38] Khater H. et al. (2009). Lousicidal, ovicidal and repellent efficacy of some essential oils against lice and flies infesting water buffaloes in Egypt. *Veterinary Parasitology* 164(2-4), 257-266.

# Macroinvertebrados bentónicos en tres afluentes de Caño Grande en la zona de influencia de la reserva natural nacional Nukak, Guaviare, Colombia: Aporte a la calidad de agua y características fisicoquímicas

Daniel Fernando Tolosa Soler<sup>1</sup>  
Mónica Andrea Castillo-Aguilar<sup>2</sup>  
Federico Beltrán Hilarión<sup>3</sup>  
*Universidad El Bosque*  
Colombia

El Sistema Nacional de Áreas Protegidas SINAP de Colombia cumple los compromisos de conservación y promoción de los recursos naturales en el territorio nacional, generando proyectos de investigación con el fin de determinar la calidad de sus recursos a través de planes de manejo territorial. La Territorial Amazonía lleva a cabo el monitoreo de recursos dentro de las áreas protegidas y las zonas de influencia de los cinco departamentos de la Región, por lo que caracterizar el recurso hídrico para determinar la calidad del mismo y el impacto de fenómenos antrópicos en el territorio que podrían afectar dicho recurso es un objetivo. Este estudio se desarrolló en el municipio de El Retorno, departamento de Guaviare, Colombia. Se realizó levantamiento de información en tres Reservas Naturales de la Sociedad Civil RNSC donde se cruzan tres diferentes afluentes que desembocan en Caño Grande, en la zona de influencia de la Reserva Natural Nacional RNN Nukak. El estudio se realizó entre julio y diciembre de 2021 en un total de nueve estaciones, y se hizo un reconocimiento de la zona a través del índice QBR; para determinar la calidad del agua se midieron parámetros fisicoquímicos con un multiparámetro HANNA HI9829, y se utilizó el índice biológico de calidad BMWP\_Col/ASPT, para lo cual se colectaron muestras de macroinvertebrados acuáticos a través de colecta manual y Red D (1mm), teniendo en cuenta los valores de abundancia y riqueza. Los datos se analizaron a través de un análisis de correspondencia canónica y una agrupación clúster según las abundancias. Los afluentes analizados presentan una calidad de agua clasificada entre 6,71 y 7,71, y se obtuvo una relación entre las abundancias de las familias de macroinvertebrados y las variables ambientales de temperatura, saturación de oxígeno y oxígeno disuelto, una menor relación con las variables pH y caudal; las familias más abundantes fueron de las Chironomidae (14,32%) y Elmidae (11,65%).

---

<sup>1</sup> Biólogo.

Contacto: [danielfernandotolasoler@gmail.com](mailto:danielfernandotolasoler@gmail.com)

<sup>2</sup> Bióloga, Especialista en Docencia Universitaria y Magíster en Gestión Sostenible del Ambiente.

Contacto: [castillomonica@unbosque.edu.co](mailto:castillomonica@unbosque.edu.co)

<sup>3</sup> Profesional en Mercadeo y Comunicación Comercial.

Contacto: [equipotecnico.nukak@parquesnacionales.gov.co](mailto:equipotecnico.nukak@parquesnacionales.gov.co)

## 1. INTRODUCCIÓN

El departamento del Guaviare cuenta con un alto valor de recurso hídrico para la zona del trapecio Amazónico Colombiano, así mismo con un complejo de áreas protegidas por el sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia PNN. Específicamente, la RNN Nukak se encuentra enmarcada en el refugio Pleistocénico de Mier-Alto Vaupés, uno de los cuatro refugios de conservación de la Biodiversidad del País [1]. La cuenca del Caño Grande, en inmediaciones al municipio de El Retorno presenta afluentes de aguas con coloración amarillo-ocre principalmente generado por la carga de limos y arcillas en suspensión que se presentan en la zona. Los afluentes de la zona de estudio presentan cauces que se caracterizan por ser de tipo erosivo, generando una alta carga de sedimentos, que aumenta durante los meses de mayor precipitación y a raíz de actividades antrópicas como ganadería y cultivos extensivos cercanos a los bosques ribereños de este departamento.

El programa de Monitoreo de la Reserva Nacional Natural Nukak [2], anexo al Plan de manejo del RNN Nukak 2019-2023, se propone el estudio continuo del estado de los Valores Objeto de Conservación VOC, a través del programa de Monitoreo como instrumento proveedor de información para facilitar los procesos de planificación, puesta en marcha y evaluación de las estrategia de manejo [3], definiendo como una Prioridad Integral de Conservación PIC el recurso hídrico, específicamente la cuenca alta del Río Inírida y sus servicios ecosistémicos, a través del monitoreo de diferentes cuencas donde se incluye Caño Grande.

A partir de este objetivo se crea el acuerdo de trabajo entre el Grupo de Investigación en Biología-GRIB de la Universidad El Bosque y la Dirección Territorial Amazonía, para realizar el primer acercamiento a la calidad de agua de la cuenca Caño Grande en el municipio de El Retorno a través de la caracterización de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en relación con las variables fisicoquímicas en un muestreo de tres diferentes afluentes que conectan la cuenca de Caño Grande.

## 2. MARCO REFERENCIAL

En el departamento del Guaviare se han realizado estudios de calidad de agua hacia el área de la limnología, donde, a través de caracterizaciones ecológicas de la microcuenca abastecedora de agua del acueducto de San José del Guaviare se evaluó la calidad del agua a través de macroinvertebrados bioindicadores y diversidad vegetal, estimando el índice BMWP/Col [4].

En 2013 la Universidad Nacional de Colombia realizó un estudio regional de zonas homogéneas en el departamento del Guaviare, en donde se hace un acercamiento a la composición, estructura y función de la artropofauna asociada a la vegetación y aspectos limnológicos en varios ecosistemas del municipio de San José del Guaviare [5].

Se han realizado proyectos enfocados en trabajos de conservación y manejo de recursos naturales en asociación con la Corporación Comunitaria de conservación y protección de los recursos naturales de la Serranía La Lindosa CORPOLINDOSA, enfocados al levantamiento de línea base teniendo en cuenta valores de calidad ecológica y biológica de cuerpos de agua. Entre 2020 y 2021 se realizaron muestreos de levantamiento hidrobiológicos enfocados en la calidad del agua, teniendo en cuenta valores de abundancia [6-7]. Así mismo, se ha analizado la diversidad de perifiton como indicador de calidad de agua de Caño Baranda, Serranía de la Lindosa, teniendo en cuenta los cambios de variables fisicoquímicas [8] como comunidades indicadoras.

### 2.1 Macroinvertebrados acuáticos

Los macroinvertebrados son un amplio grupo que se encuentra en los afluentes de aguas continentales, contiene una gran variedad de órdenes pertenecientes a los Phylum Arthropoda, Mollusca, Annelida, Nematomorpha, Platyhelminthes y Coelenterata, siendo el medio acuático un lugar ideal para el desarrollo completo o de los primeros estadios de los ciclos de vida de los diferentes grupos [9]. El grupo más investigado es la clase Insecta, los cuales en su mayoría cumplen gran parte del ciclo de vida dentro de la columna de agua, y luego emergen a la superficie cuando han alcanzado una edad específica [10].

Las transformaciones metamórficas de estos individuos a menudo dependen de la dinámica de recursos y condiciones del ecosistema, por lo que la riqueza de los macroinvertebrados presentes se relacionan con las características físicas y químicas del afluente [11]. La posición ecológica de las especies en estas comunidades también juega un papel importante debido a las relaciones interespecíficas que rigen la dinámica poblacional de esta comunidad [10].

## 2.2 Físicoquímicos

Los parámetros físicoquímicos se refieren a la composición del agua, son de tipo cuantitativo y reflejan las características de los cuerpos de agua continentales a través de lecturas de calidad correspondiente de orígenes inorgánicos. Los parámetros físicoquímicos dan una información extensa de la naturaleza de la química del agua y sus propiedades físicas, sin aportar información de su influencia en la vida acuática [12], por lo que se utiliza el complemento del análisis biológico para entender la relación de cambio dentro de los sistemas continentales con respecto a aspectos ecológicos de las especies que habitan [13].

## 2.3 Índices de calidad

- *Biological Monitoring Working Party BMWP*. Es un índice cuantitativo que considera la sensibilidad de diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos a los cambios de su entorno con el fin de considerarlos como bioindicadores, esto a través de darle valores entre el 1 al 10 según la familia encontrada en la muestra. En el territorio colombiano se utiliza la adaptación de este índice propuesta por Roldán en el 2003, el cual presentó una adaptación con respecto a abundancias de familias con una distribución en el territorio nacional [14].
- *Puntaje Promedio Por Taxón (Average Score per-Taxon ASPT)*. Promedio de indicación entre número de taxones que fueron evaluados y los resultados del índice BMWP para determinar la calidad de agua, esto con el fin de ajustar los valores de comparación para los resultados del índice BMWP, los resultados de este índice se muestran valores entre 1 – 10 y clasifica la calidad del agua por color y clase [14].

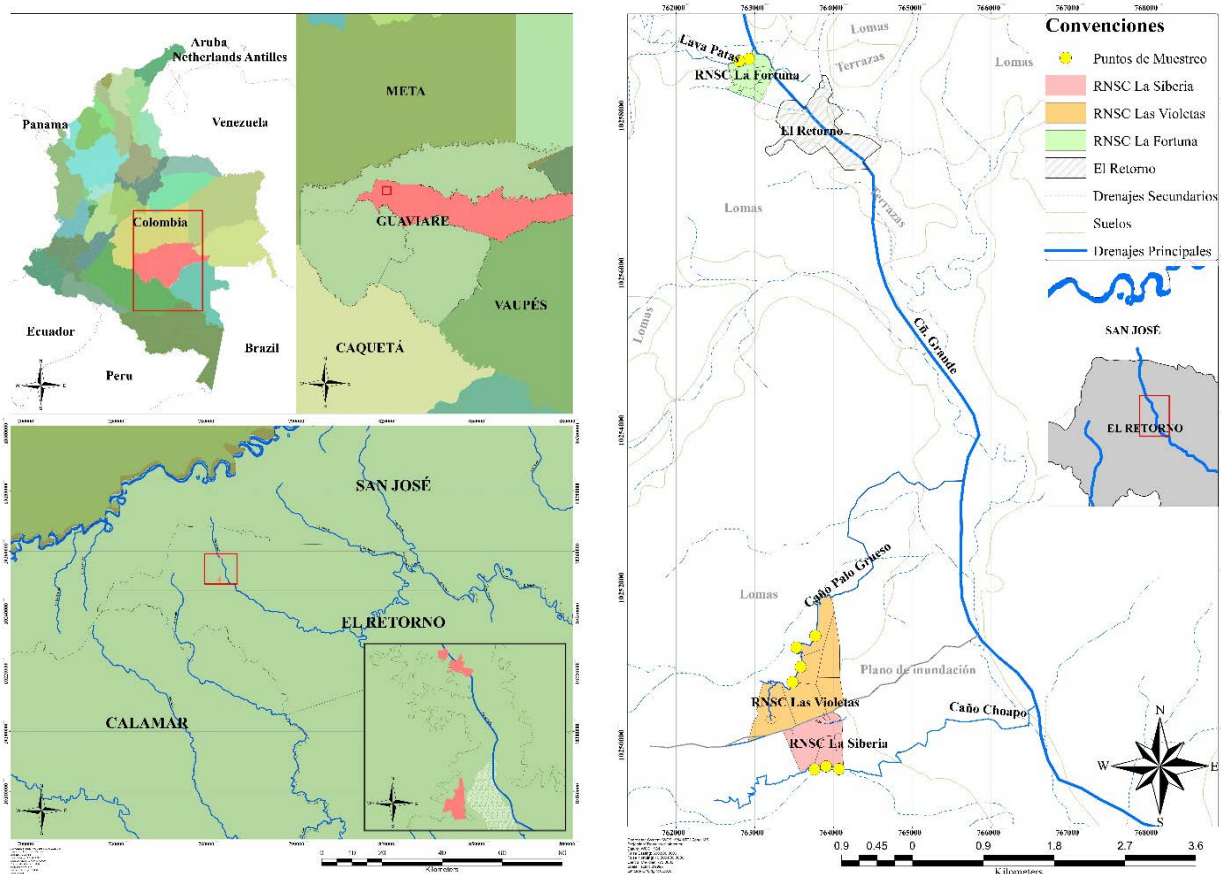
## 3. MÉTODO

Durante los meses de julio a diciembre de 2021 se realizaron cinco salidas de campo en tres afluentes, muestreando nueve estaciones. Para esta labor se reunió un grupo de trabajo fruto de una alianza estratégica entre la unidad administrativa especial de Parques Naturales de Colombia y la Universidad El Bosque en la ciudad de Bogotá, donde se repartieron labores de levantamiento y análisis de información con respecto a las competencias de cada entidad, y se estipularon objetivos relacionados con un proyecto de investigación, regulado por la Dirección Territorial Amazonía, donde se acoge parte de esta investigación por el Grupo de Investigación en Biología-GRIB de la Universidad El Bosque.

### 3.1 Área de estudio

La cuenca de Caño Grande se encuentra ubicada en el municipio El Retorno, dentro de la zona de influencia de RNN Nukak, y es reconocido por ser un tributario que deposita sus aguas en el río Inírida en el departamento de Guaviare (Figura 1A). Se muestrearon tres afluentes que desembocan en la cuenca de Caño Grande: Caño Choapo (RNSC Siberia), Palo Grueso (RNSC Violetas) y Lava Patas (RNSC La Fortuna) (Figura 1B). El Clima del área de influencia de la RNN Nukak se caracteriza por ser de tipo tropical estacional monomodal, con una estación seca entre diciembre y febrero; en general las temperaturas medias son poco variables oscilando entre los 24 y 27°C, con precipitaciones anuales entre 2.500 y 3.000mm [15].

Se realizó el levantamiento de información de características hidrobiológicas discriminando los datos obtenidos por afluente. Dentro de cada cuerpo de agua se estipularon diferentes estaciones de muestreo dependiendo de la disponibilidad del terreno, con una distancia promedio de 1 km entre las estaciones. Para determinar en cuáles cuerpos de agua se realizaría el levantamiento se realizó una evaluación de índice de calidad de quebrada (QBR) [17].



**Figura 1.** A) Ubicación de los puntos de muestreo para los afluentes de Caño Grande. B) Ubicación de las Reservas Naturales de la Sociedad Civil RNSC con respecto a la cuenca de Caño Grande [16]

### 3.2 Recolección y procesamiento de muestras

En cada estación se registraron las variables fisicoquímicas pH, Temperatura, Oxígeno Disuelto, Sólidos Totales, Turbidez, Conductividad, utilizando el multiparámetro HANNA HI9829 y velocidad de corriente [18]. Así mismo, se tomaron los registros de la comunidad biológica de macroinvertebrados bentónicos utilizando red D en los sustratos con materia orgánica fina y profundidad superior a 30 cm, completando el muestreo con la recolección manual en ambientes someros removiendo piedras, troncos y hojarasca, con una duración de 50 minutos/hombre.

Las muestras fueron limpiadas y etiquetadas en la oficina de Parques Nacionales en San José del Guaviare y transportadas en viales con líquido preservante hacia el laboratorio INBIBO de la Universidad El Bosque, en la ciudad de Bogotá. Los organismos fueron identificados hasta el nivel taxonómico más específico posible, siendo como carácter mínimo la Taxa de Familia, para esto se usaron las siguientes claves taxonómicas: [11, 19-22]. El material se preservó en frascos de vidrio con alcohol al 70% e ingresó a la Colección de Referencia de Macroinvertebrados Bentónicos (MCUB-R-MC) [23].

### 3.3 Análisis de datos

Se realizó una prueba estadística de homogeneidad de varianza Levene, análisis de normalidad y ANOVA de un factor para conocer si se ajustaban a una distribución normal y si presentaban diferencias estadísticas significativas; el comportamiento de las variables fisicoquímicas en el tiempo y entre estaciones se analizó a partir de pruebas Tukey. El estudio de la comunidad biológica con respecto a la abundancia de los organismos por estación y los meses de muestreo, se evaluó usando análisis de agrupación clúster utilizando el método de Ward a una distancia euclidiana<sup>2</sup>, mediante el programa Statistical Package for Social Sciences (IBM SPSS v19).

Para la comparación entre la relación de las variables ambientales con respecto a los valores de abundancia por familia se realizó con un análisis de correspondencia canónica teniendo en cuenta las estaciones de

muestreo, en RStudio. Para la caracterización de la calidad de agua se emplearon los índices: *Biological Monitoring Working Party BMWP/Col* modificado para Colombia por Roldán en 2016, *Average score per Taxa ASPT*, siendo un puntaje alto de estos índices indicador de lugares limpios de contaminación orgánica, al contar con un alto número de taxones de puntaje elevado [24-25].

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Abundancias

Se colectaron 412 individuos del Phylum Arthropoda, divididos en 6 Clases, 16 Ordenes, 44 Familias, y se lograron determinar 26 géneros. De la comunidad total de individuos la Clase Insecta fue la más abundante con un total de 366 individuos (88.83%), el Orden Coleóptera fue el más abundante con 117 individuos (28.40 %) y la Familia más abundante fue Chironomidae con 59 individuos (14.32%) seguido de la Familia Elmidae con 48 individuos (11.65%) (Figura 2). Se registraron las Familias Trichodactylidae, Ampullariidae, Entomobryidae, Perlidae y Ptilodactylidae con un único individuo las cuales solo se encontraron en una única estación durante los 5 meses de muestreo. Datos sometidos a pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas Levene ( $P < 0.05$ ), transformación Log Y+1 aceptando el supuesto de normalidad ( $P > 0.05$ ), y ANOVA sin diferencias significativas ( $P > 0.05$ ).

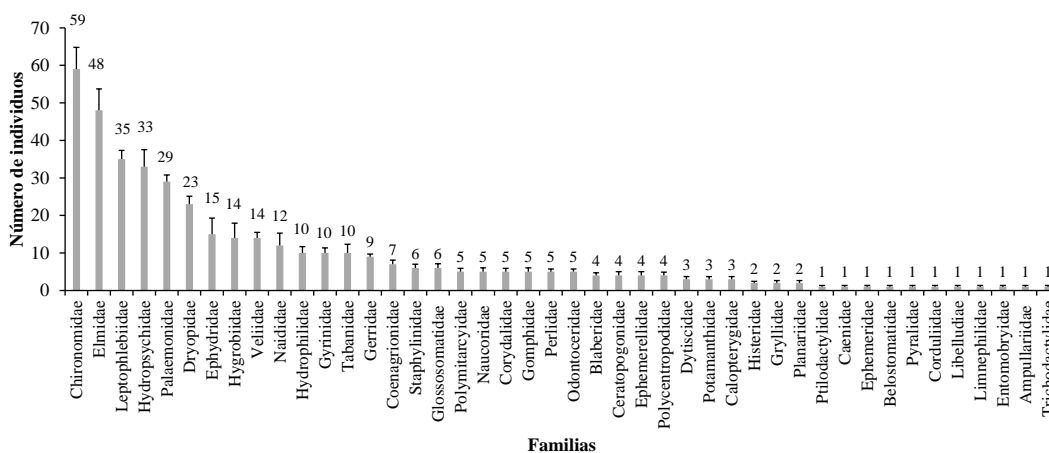


Figura 2. Abundancia total de individuos durante todo el muestreo [16]

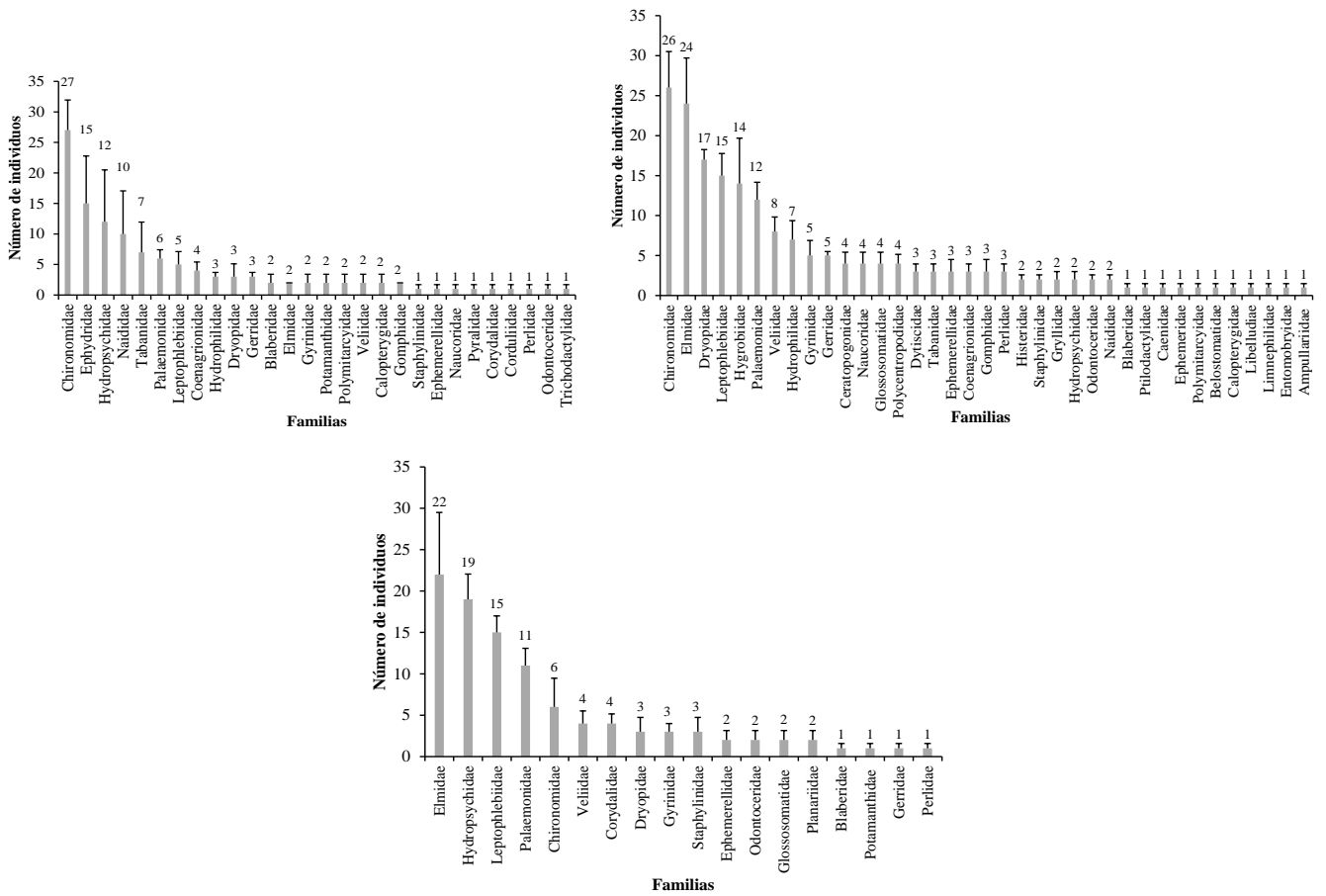
Para Lava Patas se encontraron 120 individuos divididos en 28 familias siendo la más abundante la familia Chironomidae con 27 individuos (22,5%) seguida de la familia Ephyridae con 15 individuos (12,5%) y la familia Hydropsychidae con 12 individuos (10%) (Figura 3A). En Palo Grueso se registraron 164 individuos divididos en 37 familias siendo la más abundante la familia Chironomidae con 26 individuos (15,85%) seguida de la familia Elmidae con 24 individuos (14,63%) y la Familia Dryopidae con 17 individuos (10,36%) (Figura 3B); para Caño Choapo se colectaron 102 individuos divididos en 18 Familias siendo la más abundante la familia Elmidae con 22 individuos (21,56%) seguida de la familia Hydropsychidae con 19 individuos (18,62%) y la familia Leptophlebiidae con 15 individuos (14,7%) (Figura 3C).

### 4.2 Físicoquímicos

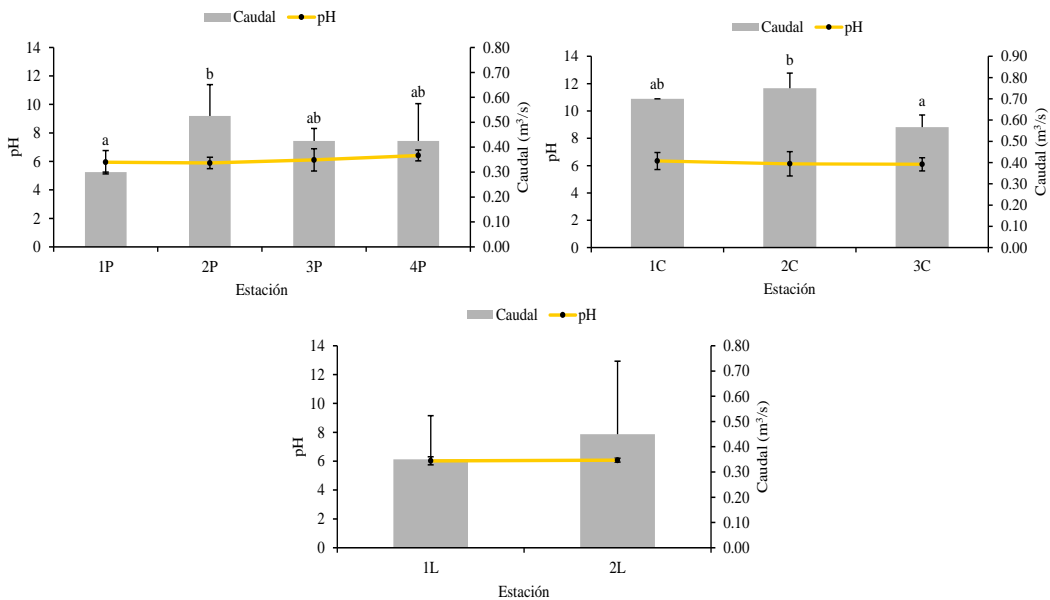
Se realizaron pruebas Tukey ( $P \leq 0,05$ ) con respecto a las variables ambientales de oxígeno disuelto, temperatura, caudal y pH según su variación por estación y tiempo. Se presentaron diferencias significativas en la variable caudal con respecto al cambio por estación en Palo Grueso, Caño Choapo y Lava Patas respectivamente, donde las estaciones 2P y 3P tuvieron un valor promedio mayor de caudal y las estaciones 1P y 3C un valor inferior en comparación con las demás, el resultado de la estación 2L fue mayor con respecto a la estación 1L (Figura 4).

La variable oxígeno disuelto varió oscilando según la temperatura, fue evidente el cambio con respecto a las estaciones y meses para los tres afluentes oscilando entre 24°C a los 27°C para la temperatura y entre 0.35 -7.89 (mg/L), los cambios en estas variables fueron más bruscos cuando se hace una evaluación por meses, pero también es notorio el cambio por estaciones para los diferentes afluentes (Figura 5).





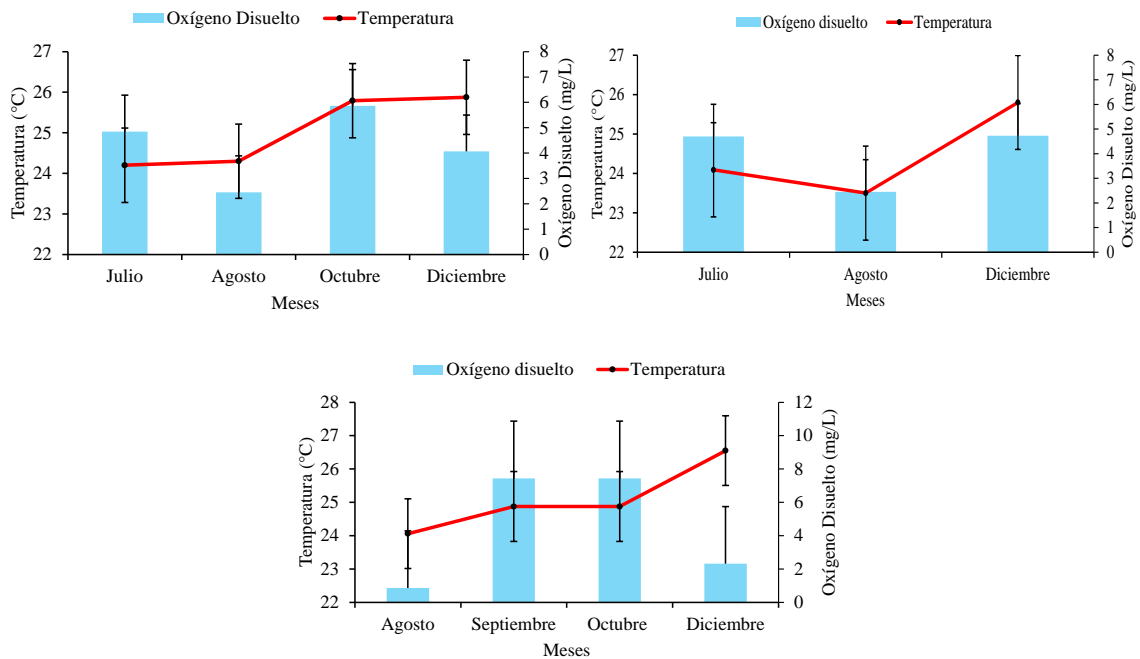
**Figura 3.** Abundancias totales por familia y mapas de ubicación. A) Abundancias Lava Patas; B) Abundancias Palo Grueso; C) Abundancias Caño Choapo [16]



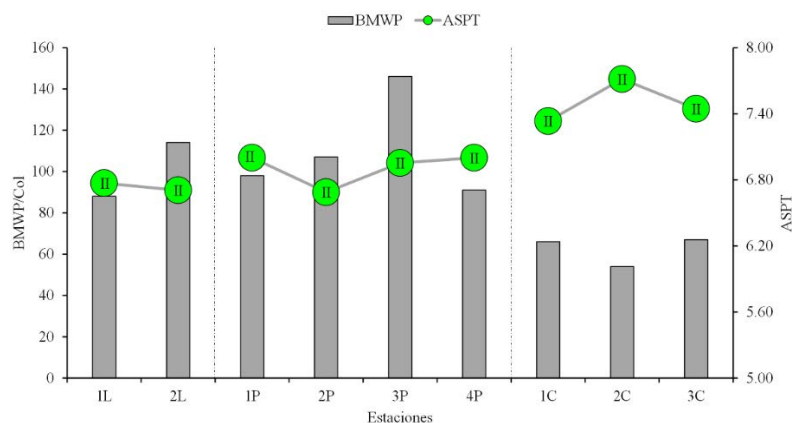
**Figura 4.** Resultados totales de Caudal y pH en los afluentes Palo grueso, Caño Choapo y Lava Patas. A) Palo Grueso [Estaciones] (Caudal vs pH); B) Caño Choapo [Estaciones] (Caudal vs pH); C) Lava Patas [Estaciones] (Caudal vs pH). Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ) [16]

### 4.3 Índices biológicos de calidad de agua

La calificación según la lectura de los valores de BMWP\_Col y ASPT arrojó la categoría de calidad *Aceptable*, considerada agua ligeramente contaminada para todas las estaciones. El Caño Choapo está en un mejor estado, donde, las estaciones 1C, 2C Y 3C presentan valores de 7.33 a 7.71 respectivamente. Para Lava Patas y Palo Grueso se observa un aumento en el valor del índice aguas abajo, que podría estar mostrando una mejoría en el sistema (Figura 6).



**Figura 5.** Gráficas de resultados totales de oxígeno disuelto y temperatura en los afluentes Palo Grueso, Caño Choapo y Lava Patas. A) Palo Grueso [Meses] (Temperatura vs Oxígeno Disuelto); B) Caño Choapo [Meses] (Temperatura vs Oxígeno Disuelto); C) Lava Patas [Meses] (Temperatura vs Oxígeno Disuelto) [16]



**Figura 6.** Histograma de comparación de valores de BMWP vs valores ASPT (Clases) para todas las estaciones para los afluentes evaluados

#### 4.4 Análisis de agrupación clúster

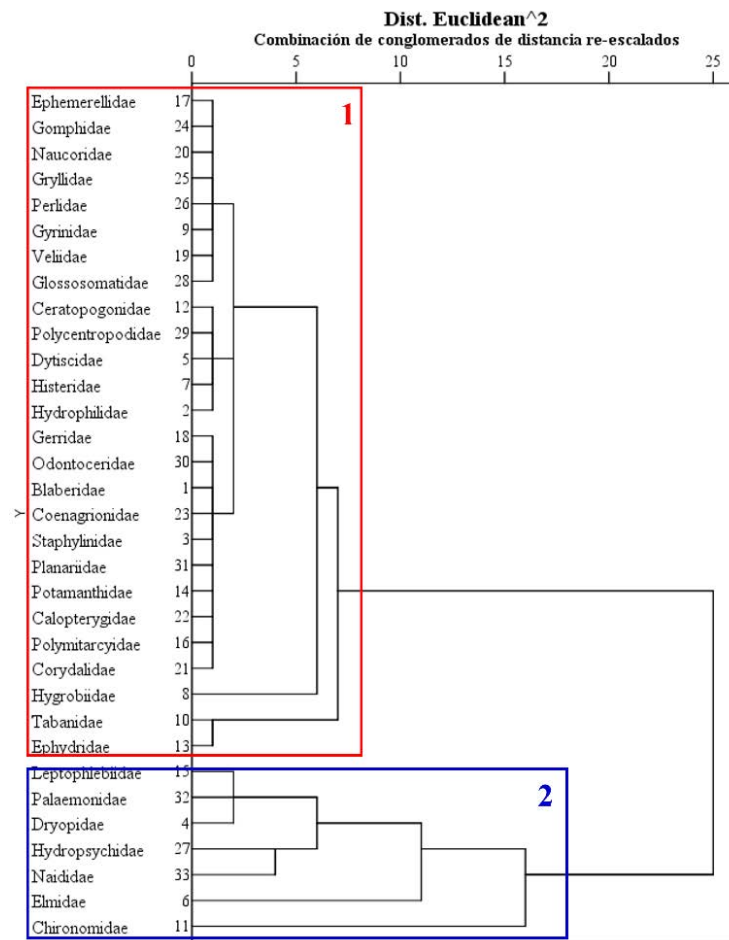
Se presentan dos grupos basados en la distancia que separa a las familias según la abundancia relativa en las diferentes estaciones, se evidencia que las familias se agruparon según la repetición de frecuencias en las diferentes estaciones y las abundancias más representativas. Se muestra una agrupación significativa basada en el número de conglomerados en torno a las abundancias relativas, haciendo relación con la diversidad de las familias según la repetición de las frecuencias.

En el análisis de la diversidad en el conglomerado de grupos, se evidencia que el Grupo 1 reúne las familias con una dominancia significativa conforme a las frecuencias relativas, encontrando la familia Chironomidae, la más abundante en toda la muestra y dominante en varias estaciones. El grupo 2 son las familias con menor abundancia y frecuencia dentro de las estaciones, consideradas de menor abundancia (Figura 7).

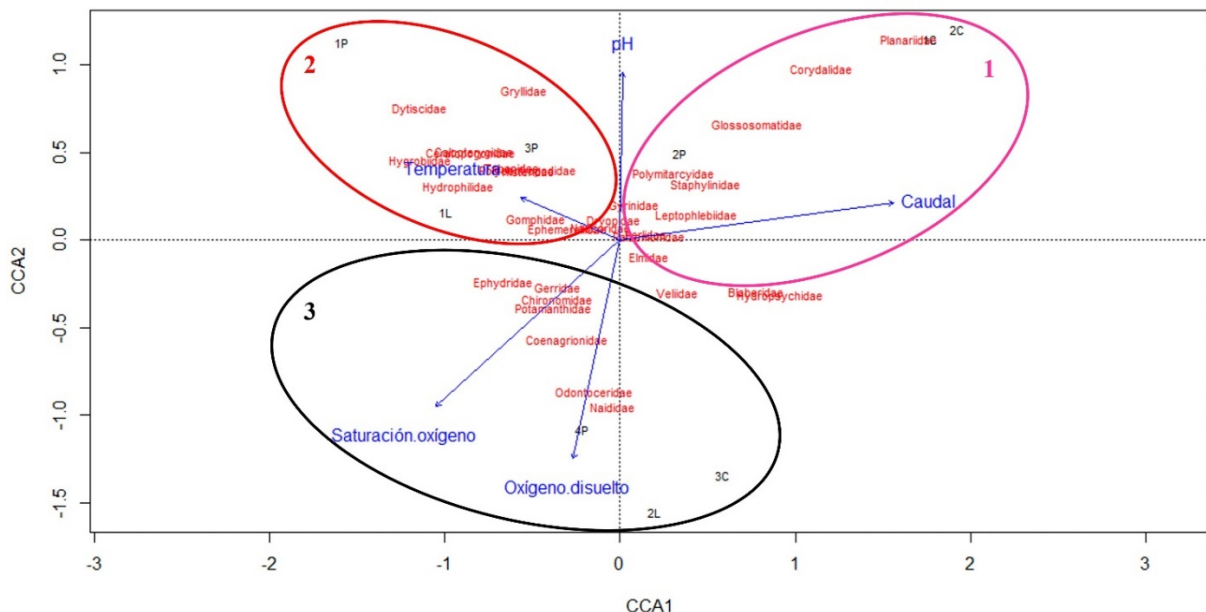
#### 4.5 Análisis de Correspondencia Canónica

Se observa la relación entre las familias Leptophlebiidae, Glossosomatidae, Sthaphylinidae, Corydalidae y Planariidae con la variable caudal, de forma directamente proporcional en las estaciones 1C, 2C y 2P (grupo 1), las familias Dysticidae, Hydrophilidae, Gyrinidae, Ephemerellidae y Gomphidae se relacionan en las

estaciones 1P, 3P y 1L con las variables temperatura y pH (grupo 2). Las variables de oxígeno disuelto, saturación de oxígeno en las estaciones 2L y 4P presentan una relación inversa con la presencia de las familias Potamanthidae, Chironomidae, Gerridae, Ephydriidae, Coenagrionidae, Odontoceridae y Naididae (Figura 8).



**Figura 7.** Dendrograma de análisis clúster según las abundancias totales por familia para las diferentes estaciones en los tres afluentes. (Método de Ward, Coeficiente euclidiano<sup>2</sup>, Clústeres por matriz de distancia re-escalada, Correlación cofenética = 3.015 para 32 casos). Grupo 1: Familias con valores de abundancia mayores y frecuentes. Grupo 2: Familias con menores abundancias o abundancias no similares



**Figura 8.** Análisis de correspondencia canónica (ACC) entre las variables ambientales (Temperatura, Saturación de oxígeno, Caudal, pH, Oxígeno disuelto), las abundancias relativas de las familias y las estaciones de muestreo

## 5. DISCUSIÓN

### 5.1 Macroinvertebrados acuáticos

Las familias pertenecientes al orden díptera suelen ser más representativas en las diferentes estaciones al aprovechar de una manera generalista los recursos que se encuentran dentro del sistema lótico, por lo tanto es normal encontrar este tipo de familias presentando una gran abundancia en los diferentes estaciones de muestreo, la existencia de estas familias no representa una acusación negativa en contra de los recursos dentro del sistema, son familias con una amplia distribución en ambientes acuáticos y su presencia dentro del sistema es un reflejo mismo de la cadena trófica en función a las otras familias [26]. Específicamente la familia Chironomidae aprovecha en gran medida la materia orgánica disponible en el ambiente y es capaz de adherirse a los sustratos con facilidad, presenta una alta tolerancia que le permite permanecer en los sitios sin importar las variaciones fisicoquímicas en el tiempo [27].

La familia Elmidae al ser diversa, se conoce que sus integrantes ovopositan en los cuerpos de agua, al parecer sin ser preferentes de sistemas lóticos o lenticos, pero se han mostrado más propensos a ovopositar en sistemas lóticos de baja velocidad [9]. Se reconocen que son herbívoros oportunistas con la capacidad de aprovechar materia orgánica que se sedimenta, debido a sus preferencias por los sitios donde alimentarse, estas larvas de vida libre dependen de condiciones físicas del sistema, generalmente por el nivel de saturación de oxígeno, aunque se benefician de la turbidez y sólidos disueltos que le permiten ocultarse de depredadores comunes [28]. La mayor presencia de la familia Elmidae para Caño Choapo puede estar relacionada con la variable de oxígeno disuelto, que permite un acoplamiento con facilidad a la disponibilidad de oxígeno, aunque su población puede reducirse en diferentes periodos del año [29].

La familia Elmidae como taxa dominante, fue la más abundante para el afluente Caño Choapo y la segunda más representativa en el afluente Palo Grueso. El predominio por parte del orden Coleoptera puede asociarse a la capacidad de resistencia de diferentes familias al cambio de factores ambientales, aunque se ha documentado que los individuos de esta familia no se favorecen en sistemas con un índice de calidad con contaminación alta o crítica, es posible encontrarlos en sistemas con contaminación moderada con tal de que los niveles de oxigenación sean óptimos y haya disponibilidad de alimentos, según su característica de detritívoros [28]. Es una familia muy relacionada con los niveles de oxígeno, que pueden estar presentes en aguas con un nivel de contaminación mayor a un estado moderado [29].

Otras familias encontradas dentro del orden Coleóptera fueron Dryopidae, Hygrobiidae y Hydrophilidae, estas familias fueron representativas en la abundancia total para todas las estaciones, estos son considerados taxones con un grado de sensibilidad a los cambios ambientales con respecto a los índices (Figura 6). La distribución de estas familias abarca sistemas lóticos en zonas tropicales y subtropicales, con disponibilidad de sedimentos, generalmente asociados al aprovechamiento de materia orgánica en descomposición y alimentarse de algas ribereñas, la heterogeneidad de sustrato permite el desarrollo de las ninfas de estos individuos [29]. La sensibilidad de estos individuos varía por familia, por lo que es posible encontrar individuos en aguas con características de alta turbidez y sólidos disueltos totales, consideradas en una clasificación de *contaminación moderada*. Por lo general sus abundancias son mayores en sistemas con corriente lenta y una menor concentración de oxígeno, aun así, dentro de los organismos reportados, existen géneros asociados a una buena oxigenación y son sensibles a los cambios bruscos en la temperatura como el género *Dryops* sp., de la familia Dryopidae [30].

### 5.2 Variables fisicoquímicas

Se reflejó un cambio significativo en la variable de caudal reflejados en cambios espaciales en los tres afluentes, relacionado con la dinámica pluvial de la zona, presentando diferencias en el transporte de sólidos disueltos, lo que genera un ambiente hídrico con mayor abundancia y con aumento de velocidad, sin embargo, la variable ambiental más estable entre los meses y las estaciones fue el pH, reflejando un rango neutro en los análisis temporales y por estación para los tres afluentes (Figura 4). Valores neutros de pH se ajustan a las condiciones favorables para el establecimiento de comunidades de macroinvertebrados en sistemas lóticos.

El comportamiento del oxígeno disuelto entre los meses y las estaciones, muestran un aumento y disminución en armonía con los valores de temperatura. Trabajos realizados en el municipio de El Retorno, reportan como resultado relaciones significativas entre las variables de temperatura y oxígeno disuelto [7]. Correspondencia que se presenta en esta investigación, donde, la dinámica entre el oxígeno y la temperatura presentan dinámicas sincrónicas, con un cambio visible para el mes de diciembre, donde se reportan los valores más altos de temperatura (26,12°C) observándose disminución en el caudal y el oxígeno disuelto.

### 5.3 Índice biológico de calidad de agua

Las estaciones muestreadas presentan una calidad *Aceptable*, considerada como sistemas con ligera contaminación por materia orgánica, propio de sistemas lóticos de zonas con influencia de bosques ribereños, donde se observa la alta carga de materia orgánica gruesa, como hojarasca y troncos caídos, que requieren tiempo para la degradación y descomposición.

El afluente Palo Grueso presentó la mayor diversidad de familias por estaciones, reportando los mejores resultados de la evaluación de BMWP\_Col, en las estaciones 2P y 3P. Las pequeñas variaciones de las características fisicoquímicas y fisiográficas por estación reflejadas en la heterogeneidad del sustrato, favorece el establecimiento de distintas familias. Al hacer un análisis espacial con este índice, es posible relacionar la presencia de algunas familias sensibles por la interacción ecológica dentro de la comunidad [31], como el caso de la familia Polycentropodidae dentro del orden Trichoptera la cual se encontró en la estación 2P y tiene una alta clasificación de sensibilidad según los índices utilizados.

### 5.4 Análisis de agrupación clúster

El análisis Clúster arrojó dos grupos que se relacionan con la diversidad presente en las estaciones de los tres afluentes, donde, las similitudes se basaron en la repetición de frecuencias de las familias por estación y las abundancias (Figura 7). El primer grupo abarca las familias presentes en pocas estaciones y con valores bajos de abundancia, reflejando comunidades más diversas con familias de Coleópteros, Dípteros, Ephemeropteros, Hemípteros, Plecópteros, Tricópteros, Odonatos y Megápteros. Esta diversidad se relaciona con el uso del recurso y las condiciones ambientales, propias de ambientes acuáticos considerados saludables [9].

El segundo grupo aglomera las familias con mayor abundancia, presentes en la mayoría de las estaciones, en este caso se encuentra la familia Chironomidae, Elmidae, Dryopidae, Leptophlebiidae, Palaemonidae, Hydropsychidae y Naididae, son familias representantes de sistemas lóticos que en condiciones favorables son abundantes y se pueden encontrar diferentes géneros y especies para cada una de estas familias. Se reconoce la permanencia de estos tipos de taxa debido a que son típicos aprovechadores de recurso en sustratos heterogéneos, un ejemplo claro es la dominancia de la familia Chironomidae, dípteros generalistas cuyas condiciones de supervivencia son de alta tolerancia encontrándolos en sistemas considerados en contaminación moderada y alta, esto se debe a la capacidad de aprovechamiento de estos espacios a pesar de que presenten algún tipo de interferencia natural o antrópica.

Caso similar con la familia Naididae los cuales son tubificidos cosmopolitas con capacidad de resistir entornos adversos, se han encontrado individuos de algunas especies en aguas estancadas con altos niveles de contaminación. la presencia de estas familias se asocia a su capacidad de permanencia en diferentes estados de calidad, por lo encontrarlos en las diferentes estaciones que están en un estado de contaminación *bueno* (Figura 7) no es de extrañarse lo que también explica su dominancia frente a los otros taxa [33].

### 5.5 Análisis de correspondencia canónica CCA

En la correspondencia entre las variables fisicoquímicas con las abundancias por familias, se obtuvo una relación más cercana entre las variables, oxígeno disuelto y saturación de oxígeno, con las familias Coenagrionidae, Ephydriidae, Potamanthidae, Odontoceridae, Chironomidae y Gerridae, estas familias

abarcan individuos que pueden depender de diferentes condiciones de ambiente siendo la disponibilidad de oxígeno un factor limitante como los órdenes Trichoptera, Coleoptera, Ephemeroptera y Plecoptera [9].

Las familias que mostraron una mayor relación con las estaciones de muestreo fueron Naididae, Planariidae, Calopterygidae y Hydrophilidae lo que se puede relacionar con las condiciones fisiográficas dentro de las propias estaciones o a otras características fisicoquímicas no consideradas como nitritos y nitratos, como ejemplo la familia Planariidae asociada a la estación 1C del orden Tricladida, son detritívoros y aprovechan la materia orgánica en descomposición, normalmente se encuentran en sistemas lóticos con baja profundidad, beneficiados de sustrato rocoso asociado a material vegetal sumergido (Figura 8) [34].

La variable caudal presentó diferencias significativas con los datos entre estaciones, este cambio se relacionó estrechamente con la familia Leptophlebiidae la cual es conocida como taxón sensible a cambios dentro del sistema. Los resultados pueden deberse a que esta familia presenta dependencia de la disponibilidad del recurso y a la heterogeneidad del sustrato, factor que se favorece cuando hay cambios graduales en el caudal (Figura 8).

El pH fue el factor más estable y se relacionó estrechamente con la familia Gyrinidae, un grupo de coleópteros con sucesiones de desarrollo dentro de los sistemas lóticos, con una amplia distribución en la región tropical. Los individuos de esta familia tienen un rango de tolerancia mayor para condiciones de cambio de temperatura y acidez, y no se relaciona con aguas consideradas con una calidad menor a moderada [9].

## 6. CONCLUSIONES

La identificación de los individuos determinó una dominancia por parte de la clase Insecta dentro de la comunidad de macroinvertebrados, siendo el orden Coleóptera y la familia Chironomidae del orden Díptera las más abundantes.

La variación de los organismos con respecto a los factores fisicoquímicos se asocia a la disponibilidad de oxígeno disuelto y temperatura, siendo la variable de pH la más estable entre las estaciones y los meses de muestreo, favoreciendo la estabilización y permanencia de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en la zona de estudio.

La evaluación de BMWP-Col/ASPT arrojó que los tres diferentes afluentes tienen estaciones que se consideran en un estado de calidad *Aceptable*. El afluente con mejor estado de conservación conforme a los resultados del análisis de calidad es Palo Grueso, los afluentes Caño Choapo y Lava Patas muestran cambios en los valores dentro del índice que refleja una mejora de la calidad del sistema. Condiciones que favorecen que las familias de macroinvertebrados se establezcan.

### Agradecimientos

Al grupo de funcionarios de la RNN Nukak; Víctor Zetina, Yesica Soler y Leider Covalada, que hicieron parte esencial para la recolección de los datos y el seguimiento de la fase de campo; al Museo de Ciencias de la Universidad El Bosque y al Programa de Biología por el préstamo de herramientas para el proceso de identificación taxonómica, especialmente a Víctor Rodríguez, coordinador de colecciones del museo, por su acompañamiento en las capacitaciones y por su asesoría en el área de manejo de colecciones; a Gypsy Alexandra Tarazona y al Helber Balaguera por su asesoría en los análisis estadísticos y el manejo de programas de análisis de datos.

## REFERENCIAS

- [1] Cueto J. et al. (2021). II informe de campo sobre calidad del Agua en Caños asociados a la cuenca de Caño Grande, Tributado del Río Inírida. Parques Nacionales Naturales de Colombia. Dirección Territorial Amazonía. Reserva Nacional Natural Nukak.
- [2] Reserva Nacional Natural Nukak. (2019). Programa de monitoreo de la Reserva Nacional Natural Nukak. Documento anexo del Plan de Manejo del RNN Nukak 2019-2023. Dirección Territorial Amazonia. Parques Nacionales Naturales de Colombia.

- [3] Flórez N. (2008). Estrategia nacional de monitoreo del Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia. Parques Nacionales Naturales. Subdirección Técnica. Grupo Planeación del Manejo.
- [4] García J. y Galíndez L. (2011). Caracterización ecológica de la microcuenca que abastece de agua al acueducto municipal de San José del Guaviare. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente* 10, 31-43.
- [5] Moreno R. (2012). Diseño de un manual guía del docente para el estudio limnológico de ecosistemas acuáticos para el fortalecimiento de conceptos científicos en estudiantes de educación media. Bogotá.
- [6] Gutiérrez D. et al. (2020). Colombia y sus recursos: estrategias económicas y de conservación dirigidas a fortalecer el sector rural en San José del Guaviare, Guaviare - Fase 4. Universidad el Bosque.
- [7] Moreno M. y Rodríguez V. (2021). Colombia y sus recursos: estrategias económicas y de conservación dirigidas a fortalecer el sector rural en San José del Guaviare, Guaviare. Fase 7: evaluación de aspectos limnológicos. Universidad el Bosque.
- [8] Cajamarca N. et al. (2021). Diversidad de Perifiton como indicador de calidad de agua en Caño Barandas, Reserva Natural El Diamante de las Aguas, Guaviare, Colombia. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas* 1(33), 143-153.
- [9] Domínguez E. y Fernández H. (2009). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. *Sistemática y biología*. Fundación Miguel Lillo, Argentina.
- [10] Hauer F. y Resh V. (2017). Macroinvertebrates. *Methods in Stream Ecology* 1, 297-319.
- [11] Roldán G. y Ramírez J. (2008). *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Universidad de Antioquia.
- [12] Samboni R. et al. (2007.). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. Universidad Nacional de Colombia.
- [13] Posada J. et al. (2000). Caracterización fisicoquímica y biológica de la calidad de aguas de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. *Revista de Biología Tropical* 48(1), 59-70.
- [14] Álvarez L. (2005). Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt.
- [15] Etter A. (2001). Puinawai y Nukak. Caracterización de dos Reservas Nacionales Naturales de la Amazonía Colombiana. *Ambiente y Desarrollo*. Pontificia Universidad Javeriana.
- [16] Tolosa D. (2022). Macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores en tres afluentes de Caño Grande, Guaviare-Colombia. Aporte a calidad de agua y características fisicoquímicas. Recuperado: <http://hdl.handle.net/20.500.12495/7910>
- [17] Research Group Freshwater Ecology and Management. (2010). Índice de calidad del bosque de ribera. Recuperado: [https://www.ub.edu/fem/docs/protocols/Prot\\_QBR%20cast.pdf](https://www.ub.edu/fem/docs/protocols/Prot_QBR%20cast.pdf)
- [18] Rice E. et al. (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association.
- [19] Fernández H. y Domínguez E. (2001). Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos Sudamericanos, Instituto de Ciencias Naturales e Instituto M Lillo. Universidad Nacional de Tucumán
- [20] Posada G. y Roldán G. (2003). Clave ilustrada y diversidad de las larvas de trichoptera en el noroccidente de Colombia. *Caldasia* 251, 169-192.
- [21] Wolff M. (2006). *Insectos de Colombia. Guía básica de Familias*. Laboratorio de Colecciones Entomológicas GIEM.
- [22] Campos M. (2014). *Crustáceos decápodos de agua dulce de Colombia*. Universidad Nacional de Colombia.
- [23] Caro D. (2021). Consolidación de procesos: administrativos, gestión e investigación del Museo de Ciencias de la Universidad El Bosque.
- [24] Armitage P. et al. (1983). The performance of a new biological water quality score system bases on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. *Water Res* 17, 333-347.
- [25] Zeybek M. et al. (2014). The use of BMWP and ASPT indices for evaluation of Water quality according to Macroinvertebrates in Degirmendere Stream (Isparta, Turkey). *Turkey Journal of Zoology* 38, 603-613.
- [26] Galarza G. et al. (2016) Estudio limnológico de varios sistemas lóticos y lénticos aledaños a la reserva Yotoco Valle del Cauca, Colombia. Departamento de Biología.
- [27] Paggi A. (2003). Los Quironómidos (Diptera) y su empleo como bioindicadores. *Biología Acuática* 21, 50-57.
- [28] Gil J. (2014). determinación de la calidad del agua mediante variables físico químicas, y la comunidad de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua en la cuenca del río Garagoa. Universidad de Manizales.
- [29] González M. et al. (2020). Sensibilidad de Elmidae (Insecta: Coleoptera) a la perturbación del hábitat y la calidad fisicoquímica del agua en ambientes lóticos de los Andes colombianos. *Rev. de Biología Tropical* 68(2), 601-622.
- [30] Gutiérrez P. y Springer M. (2010). Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos del Orden Coleoptera en El Salvador. Editorial Universitaria UES.
- [31] Roldán G. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Uso del Método BMWP/Col, Colombia. Editorial Universidad de Antioquia.
- [32] Sánchez M. y García D. (2018). Determinación del índice BMWP/Col, mediante la utilización de macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad de agua, en el cauce del río Guachicos, que surte el acueducto del municipio de Pitalito. Huila.

- [33] Forero J. (2019). Macroinvertebrados bentónicos y su relación con la calidad del agua en la cuenca alta de Río Frío. Cundinamarca.
- [34] Gutiérrez J. et al. (2002). Bioindicación de la calidad del agua con lógica difusa Sugeno y macroinvertebrados acuáticos de la Sabana de Bogotá. *Acta Biológica Colombiana* 7(2), 37-51.



# Etiología de la marchitez del chile (*Capsicum annuum* L.) de una zona productora de Zacatecas, México

Irving Hernández-Hernández<sup>1</sup>

Elizabeth Medina-Miranda<sup>2</sup>

Rubén Pérez-Pérez<sup>3</sup>

Mauricio Nahuam Chávez-Avilés<sup>4</sup>

Lenin Sánchez-Calderón<sup>5</sup>

<sup>1-4</sup> Tecnológico Nacional de México

<sup>5</sup> Universidad Autónoma de Zacatecas

México

El chile (*Capsicum annuum* L.) es uno de los principales cultivos agrícolas de México y, con una producción de 3.324.260 toneladas, el estado de Zacatecas se posiciona como el tercer productor a nivel nacional. Sin embargo, esta producción se ve afectada por enfermedades como la secadera del chile, la cual es causada por un complejo multipatógeno de especies fúngicas como *Phytophthora capsici* Leo., *Rhizoctonia* spp., *Fusarium* spp. y *Verticillium* spp., entre otros, aunque los mecanismos de interacción involucrados en el proceso de infección no están del todo claros. En este trabajo se aislaron e identificaron los microorganismos asociados a la secadera del chile guajillo de una zona productora de Zacatecas. Además, se determinó el tipo interacción que se establece entre los microorganismos identificados, para lo cual se colectaron plantas de *Capsicum annuum* con síntomas de la enfermedad, a partir de las cuales se aislaron e identificaron las especies fúngicas y oomicetos presentes en cada muestra. Posteriormente, se realizaron evaluaciones en medio Agar Papa Dextrosa PDA para identificar el tipo de interacción entre las diferentes cepas. Se aislaron un total de 16 cepas identificadas como *Aspergillus* spp. (A1 y A2), *Fusarium* spp. (F1, F2 y F3), *Pythium* spp. (P1, P2 y P3), *Phytophthora* spp. (Ph1, Ph2, Ph3 y Ph4), *Trichoderma* (Tr1 y Tr2) y *Verticillium* spp. (V1 y V2). Así mismo, se identificaron tres interacciones nulas en las cuales no se observaron mecanismos de antagonismo (interacción compatible) y 25 interacciones que presentaron mecanismos de antagonismo (micoparasitismo y antibiosis). Por lo que se determinó que las cepas aisladas de los diferentes géneros están asociadas al complejo fitopatológico que ocasiona la secadera de chile en la zona productora analizada, las cuales se establecen mediante interacciones compatibles e incompatibles, dando lugar a procesos de sinergismo o sucesión, en la interacción con el hospedero, de los organismos identificados.

---

<sup>1</sup> Maestro en Ciencias en producción agrícola sustentable.

Contacto: [ihernandez@cdhidalgo.tecnm.mx](mailto:ihernandez@cdhidalgo.tecnm.mx)

<sup>2</sup> Ingeniera Bioquímica.

Contacto: [elizabethmedina371@gmail.com](mailto:elizabethmedina371@gmail.com)

<sup>3</sup> Maestro en Ingeniería en Tecnología Ambiental.

Contacto: [rperez@cdhidalgo.tecnm.mx](mailto:rperez@cdhidalgo.tecnm.mx)

<sup>4</sup> Doctor en Ciencias Biológicas.

Contacto: [nchavez@cdhidalgo.tecnm.mx](mailto:nchavez@cdhidalgo.tecnm.mx)

<sup>5</sup> Doctor en Ciencias Biológicas.

Contacto: [leninsanc@uaz.edu.mx](mailto:leninsanc@uaz.edu.mx)

## 1. INTRODUCCIÓN

El chile (*Capsicum* spp.) es uno de los principales cultivos agrícolas de México, con una producción de tres millones 324 mil 260 toneladas dentro del territorio nacional en 2020, que genera ganancias de aproximadamente 34 mil 12 millones de pesos, lo que lo posiciona como el segundo productor a nivel mundial, a nivel nacional los principales estados productores son Chihuahua con el 22%, Sinaloa 19% y Zacatecas con el 14% [1, 2]. México cuenta con una amplia variedad de chiles criollos pertenecientes al género *Capsicum* clasificados por su taxonomía en especies, sub-especies y diversidades botánicas con un total de 31 especies. Entre las especies de *Capsicum* que mayormente se cultivan se encuentran *Capsicum annuum* L., *Capsicum pubescens* (chile manzano) y *Capsicum chinense* (chile habanero) [3, 4].

Dentro de éstas, *C. annuum* L. es la especie que más se cultiva dentro del territorio, esta especie es una planta que puede ser anual, bianual o perene, dependiendo de la variedad. Esta especie se caracteriza por poseer un tallo lleno de ramas con una altura que va de 0,5 a 1,5 m con flores blancas. Los frutos pueden variar en color y tamaño dependiendo de la etapa fenológica de producción. Además, esta especie es capaz de tolerar una gran variedad de climas [1, 2]. Sin embargo, las condiciones óptimas de crecimiento de *C. annuum* son temperaturas de 25°C a 30°C durante el día y en la noche de 18°C a 20°C. Así mismo, el suelo debe ser aireado, permeable, con un pH de 5.5 a 7 y una humedad óptima que va del 70% al 80% [5, 6].

Este cultivo cuenta con cuatro etapas fenológicas, donde la primera es la germinación, la cual dura de 8 a 12 días. Mientras que la segunda se conoce como crecimiento de la plántula, donde inicia el crecimiento de las hojas verdaderas, éstas alcanzan su tamaño adecuado, el tallo principal se divide y ramifica. La tercera etapa conocida como floración y fructificación se caracteriza por la aparición de flores en las axilas de las hojas superiores, el periodo abarca hasta que los frutos comiencen a brotar. Una vez que la hortaliza alcanza su desarrollo completo comienza la cuarta etapa de maduración, donde la clorofila del chile se descompone provocando su cambio de coloración de verde a marrón-rojizo, dependiendo de la variedad.

Entre las principales variedades de chile cultivadas de *Capsicum annuum* se encuentran: serrano, jalapeño, poblano, guajillo, entre otros. El chile guajillo destaca como una de las principales especies cultivadas y consumidas dentro del territorio nacional, el estado de Zacatecas se destaca como uno de los principales productores, el cual se posiciona como el tercer productor a nivel nacional de esta variedad [3, 4, 7, 8].

No obstante, este cultivo se ve afectado por diferentes factores abióticos y bióticos durante sus diferentes etapas fenológicas. Entre los factores abióticos se encuentran: temperatura, humedad, sequías, etc., mientras, que los bióticos se refieren al ataque por plagas, virus, bacterias, hongos y nematodos. Sin embargo, la mayoría de las enfermedades que afectan este cultivo son causadas por hongos fitopatógenos, las cuales repercuten en los rendimientos y calidad de *C. annuum* L., lo que se traduce en pérdidas de producción y, por ende, económicas [9, 8].

Dentro de estas enfermedades destacan las causadas por hongos fitopatógenos, entre las cuales se encuentran enfermedades como el moho gris causado por *Botrytis cinerea*, éste se desarrolla en condiciones de alta humedad superiores al 70% y temperaturas de 18°C a 20°C; la antracnosis del chile generada por *Colletotrichum capsici* deteriora la calidad del fruto; ahogamiento de plántulas ocasionada por *Sclerotinia sclerotiorum*; la cenicilla polvorienta provocada por especies como *Blumeria graminis*, *Erysiphe cichoracearum* y *Sphaerotheca fuliginea* afecta la parte aérea de la planta principalmente las hojas; ahogamiento o Damping off causado por especies del género *Fusarium*, *Pythium* y *Rhizoctonia*, que afecta las primeras etapas fenológicas de la planta, provocan la pudrición de la raíz; y la secadera o marchitamiento del chile afecta el tejido radical y causa la muerte de la planta en las etapas de desarrollo [10-12].

Ésta última ha demostrado estar asociada a la presencia de múltiples patógenos entre los cuales se destacan *Phytophthora capsici* L., *Rhizoctonia* spp., *Verticillium* spp., *Pythium* spp., *Aspergillus* spp., entre otros [13].

- *P. capsici* L. pertenece al reino Chromista, phylum Oomycota y familia Peronosporancea, posee micelio conformado de filamentos ramificados y continuos denominados hifas. A su vez, presentan oogonios en

forma esférica con anteridios anfiginos que al momento de ser fertilizados generan oosporas plerónicas. Su ciclo de vida se lleva a cabo de manera sexual o asexual, en la fase sexual se producen oosporas de pared gruesa, las cuales pueden sobrevivir en condiciones ambientales adversas, en condiciones óptimas germinan formando tubos germinales que producen esporangios, los cuales afectan el tejido radical de la planta hospedera, dando lugar a la pudrición de este tejido y a la alteración de la absorción de agua y nutrientes [14]. En la fase asexual se forman esporangios en medios acuosos, los cuales contienen zoosporas biflageladas, las cuales son liberadas con el descenso de la temperatura y trasladadas por medio acuoso para adherirse al tejido vegetal como semillas, raíces, hojas o tallos. Seguido de esto, se da la germinación, lo cual da paso a la formación del tubo germinal que penetra al hospedero. Las hifas del oomiceto se ramifican en el tejido vegetal, esto facilita el desarrollo de micelio, el cual posteriormente producirá esporangios, lo que da paso a nuevo ciclo de infección [14-16].

- *Rhizoctonia* spp. es un hongo saprófito del reino Fungi, phylum Basidiomycota y clase Agaricomycetes. Este hongo posee un micelio incoloro y su coloración puede tornarse entre amarillo y café a medida que madura; así mismo, genera ramificaciones sobre la hifa principal. Durante el proceso de infección detiene el crecimiento del ápice del hospedero, genera lesiones cafés en el tallo y posteriormente lo necrosa, lo cual provoca la muerte de la planta [17]. El ciclo de vida de *Rhizoctonia* spp., inicia cuando los esclerocios presentes en el suelo se estimulan por medio de los exudados producidos por la planta hospedera. Estos esclerocios generan micelio, el cual ataca la superficie de la raíz, a través de la producción de enzimas extracelulares como celulasas y peptidasas, que degradan los componentes de la pared celular, lo que provoca la muerte de la planta [9, 17, 18].
- *Fusarium* spp. es un hongo saprófito perteneciente al reino fungi, phylum Ascomycota, clase Deuteromycete, orden Hypocreaceae y familia Hypocreaceae. Las especies de este género tienen un amplio rango de hospederos entre las cuales destacan las especies del género *Capsicum*. No obstante, se pueden encontrar especies con comportamientos endófitos, saprófitos y patógenos. Además, presentan diversas pigmentaciones dependiendo de la especie como: púrpura, blanca, crema, entre otros. También presentan tres distintos tipos de esporas asexuales como macroconidios, microconidios y clamidosporas [9, 19].

El ciclo de vida de las especies del género *Fusarium* fitopatógenas comienza cuando las esporas generan tubos germinales, los cuales se adhieren y penetran el tejido vegetal por medio de heridas o puntas de las raíces. Una vez que el hongo se encuentra situado dentro de la planta, el micelio se propaga por toda la raíz hasta llegar a los tejidos vasculares, por donde se traslada a la corona de la planta. El micelio se esparce y produce microconidios que se trasladan por los tejidos vasculares a la parte alta de la planta, los microconidios germinan y se propagan a los vasos contiguos, lo que limita el transporte de agua y nutrientes, esto provoca clorosis en parte aérea de planta y posteriormente la muerte [9, 19-21].

- *Verticillium* son organismos pertenecientes al reino Fungi del phylum Ascomycota, clase Sordariomycetes. El micelio de este hongo es ramificado, septado y multinucleado, con presencia de conidióforos, sus conidios presentan una forma ovalada y alargada, los cuales se generan en hifas especializadas llamadas fiálides. Su ciclo de vida da inicio con la estimulación de los microesclerocios que se trasladan en el agua presente en el medio, los cuales germinan dando lugar a hifas que pueden penetrar la raíz a través de heridas o mediante la penetración directa. Seguido de esto, el hongo accede a la zona de alargamiento de la raíz e invade la corteza, después las hifas colonizan el xilema, para dar lugar a la formación de conidios, los cuales son trasladados por los tejidos vasculares. Como respuesta la planta hospedera activa mecanismos de defensa como la producción de tiolinas que obstruyen el sistema vascular lo que provoca la marchitez y clorosis tanto de hojas como de tallos [22-24].
- *Pythium* son oomicetos pertenecientes al phylum Oomycota y familia Pythiaceae. Las especies de este género son consideradas como fitopatógenas de una gran variedad de plantas. No obstante, también son considerados como parásitos del tejido radicular de la planta hospedera, ya que pueden permanecer latentes por largos periodos de tiempo hasta encontrar las condiciones adecuadas para intentar, dando lugar a lesiones de una coloración marrón en la punta de la raíz, para posteriormente dar lugar al necrosamiento de este tejido, además de causar marchitamiento en la parte aérea del hospedero.

Actualmente el género está representado por más de 330 especies las cuales han sido aisladas en distintas zonas del planeta lo que demuestra su adaptabilidad a distintos climas [25].

- El ciclo de vida de *Pythium* se puede dar de forma sexual o asexual, en la reproducción sexual el micelio genera oogonios y anteridios en las hifas; el anteridio produce un tubo germinal, el cual se sitúa en el oogonio, lo que da lugar al proceso de fecundación. Este proceso causa que la pared del oogonio fecundado se engruese y, cambie su conformación a oospora. Las oosporas germinan y producen un tubo germinal que generan zoosporas que se encargarán de infectar a la planta huésped. En el caso de la reproducción asexual se producen esporangios capaces de germinar sobre una superficie o líquido, éstos generan un tubo germinal o bien puede ocurrir un proceso de escisión citoplasmática que genera zoosporas biflageladas, que se mantienen en vesículas, posteriormente son liberadas y trasladadas por medio acuoso, éstos se enquistan sobre el tejido de la planta hospedera, el quiste germina para producir un tubo germinal que dará lugar al proceso de infección [11, 25, 26].
- *Aspergillus* spp. es un tipo de hongo saprófito del reino Fungi de phylum Ascomycota de clase Eurotiomycetes y perteneciente a la familia Aspergillaceae. Estas especies fúngicas se encuentra formadas por hifas septadas con un diámetro de 2,6 µm y 8 µm aproximadamente, éstas se encuentran ramificadas, formando cabezas conidiales que presentan una estructura en forma de vesícula y cubiertas por fiálides, que producen conidios. Algunas especies de este género se caracterizan por afectar en etapas post-cosecha granos y leguminosas. Además, se ha encontrado que algunas especies de este género pueden favorecer la infección sucesiva de otros fitopatógenos [9].

En conjunto, los microorganismos patógenos asociados a la secadera del chile antes mencionados como provocan pérdidas de entre el 26% y 90% en la producción anual del cultivo de *C. annuum* [10, 27-30]. No obstante, la sintomatología de la enfermedad se puede presentar de forma variada, dependiendo de las especies presentes, originan síntomas como la marchitez de las hojas sin cambio de color, clorosis, caída prematura de hojas, plegamiento de hojas, maduración prematura e irregular de frutos, además de necrosamiento de la raíz o de la base del tallo, lo que lleva a la muerte de la planta [31, 32].

Así mismo, se ha demostrado que la severidad de esta enfermedad es diferencial de acuerdo con las especies presentes en la zona de incidencia, la patogenicidad y virulencia, así como por las características genotípicas de la planta hospedera [29, 32, 33]. Lo que sugiere que esta enfermedad es modulada por las interacciones ocurren entre los diferentes agentes patógenos, el hospedero y las condiciones ambientales, esto da como resultado un complejo proceso asociado a sistemas de biocomunicación intra e interespecie, así como a señalizaciones internas de *quorum* [33, 34].

Esto da como resultado que los procesos de infección de complejos multipatógeno se dé a través de mecanismos de sucesión de especies, establecimiento de nichos especializados o a través de mecanismos de tolerancia, inhibición y facilitación. En este sentido, se ha demostrado que la infección provocada *Fusarium* spp., *Rhizoctonia* spp. y *Phytophthora* spp. sobre *C. annuum*, disminuye al realizar co-inoculaciones de los tres patógenos de forma simultánea en comparación con la infección generada de forma individualmente, esto se atribuye a mecanismos de antagonismos entre las cepas, lo que da lugar una reducción en la incidencia y desarrollo de la enfermedad.

Sin embargo, la combinación de *Fusarium* y *Rhizoctonia* spp. no mostró una reducción en la severidad en la enfermedad, lo que sugiere que estos dos fitopatógenos pueden coexistir de forma simultánea durante el proceso de infección [35].

Así mismo, se ha demostrado que la infección simultánea de fitopatógenos como *Mycosphaerella pinodes* y *Phomamedicaginis* var *pinodella*, asociados a la enfermedad del tizón, limita el proceso de infección y el desarrollo de la enfermedad. Sin embargo, la sucesión de estas especies incrementa la severidad de la enfermedad [36]. Por lo cual, en el presente trabajo, se aislaron e identificaron los microorganismos asociados a la secadera del chile guajillo de una zona productora de Zacatecas, además se determinó el tipo interacción que se establecen entre los microorganismos identificados.

## 2. MÉTODO

### 2.1 Toma de muestra

El aislamiento de los microorganismos se realizó a partir de muestras de plantas en producción de chile guajillo y pasilla de una zona productora del estado de Zacatecas, las cuales presentaban síntomas de la enfermedad, como marchitez, clorosis, así como necrosis de tejido radical y foliar. Las muestras colectadas de: suelo, raíz, hojas, tallo y fruto, fueron colocadas en bolsas de plástico herméticas y trasladadas al Laboratorio de Bioquímica y Biología Molecular del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Ciudad Hidalgo, para su procesamiento.

### 2.2 Aislamiento y purificación de hongos

Las muestras colectadas de tejido de vegetal se cortaron en secciones de 4 mm aproximadamente con ayuda de un bisturí, bajo condiciones asépticas, seguido de esto los fragmentos se desinfectaron superficialmente en una solución acuosa al 2% de hipoclorito de sodio durante 3 min, seguido de esto se realizaron dos lavados con agua destilada estéril. Las muestras de tallo, hojas y fruto se colocaron en tubos cónicos de 15 mL con 9 mL de agua destilada estéril [13].

Para el caso de las muestras de suelo, se realizaron diluciones seriadas de 1:10, 1:100 y 1:1,000. Para lo cual se pesó un gramo de suelo, el cual se resuspendió en 99 mL de agua destilada estéril, seguido de esto la solución se mantuvo en agitación durante 5 min a 180 rpm. Posteriormente se realizaron las diluciones previamente mencionadas, las cuales se agitaron en el vórtex para homogeneizarlas. Seguido de esto, se tomaron 20  $\mu$ L de muestra, los cuales se colocaron en cajas Petri con medio PDA para llevar a cabo el aislamiento de cepas fúngicas y PDA suplementado con jugo de verduras V8 al 10% (PDA-V8) para el aislamiento de oomicetos, las placas se espatularon con ayuda de perlas de vidrio y se mantuvieron de 2 a 3 días en obscuridad a temperatura ambiente hasta observar crecimiento microbiano [37].

Una vez que se observó crecimiento, las placas fueron sometidas luz artificial por 12 horas, para inducir estrés y diferenciar morfológicamente las distintas cepas presentes en los cultivos mixtos, de acuerdo a su pigmentación, forma y tamaño. Seguido de esto se llevaron a cabo resiembras de las distintas colonias identificadas hasta obtener cultivos axénicos, las resiembras se realizaron mediante la técnica de picadura, utilizando cajas Petri con medio PDA y PDA-V8, mediante la técnica de picadura. Las placas se incubaron a temperatura ambiente hasta obtener cultivos axénicos [15, 38].

### 2.3 Identificación morfológica

A partir de los cultivos axénicos, se identificaron las diferentes cepas a nivel macroscópico, para lo cual se analizaron las características morfológicas, como: color de la colonia, textura, elevación, borde y presencia de pigmentos en el medio de cultivo, esto se llevó cabo en ambos medios de cultivo. Así mismo, se analizó la morfología a nivel microscópico, para esto obtuvieron micrografías de cada cepa, para lo cual se tomaron muestras del centro y parte media borde de las diferentes cepas con ayuda de cinta adhesiva, a la par se colocó una gota de colorante con azul brillante No. 1 sobre la superficie de un portaobjetos, seguido de esto se colocó la muestra y se cubrió con el cubreobjetos [39], las muestras fueron analizadas bajo el microscopio a 40-X, las características morfológicas analizadas fueron la estructura y tipo de hifas, la presencia o ausencia de septos, estructuras reproductivas asexuales y de resistencia como conidios, macroconidios y zoosporas [40]. Las cepas identificadas fueron clasificadas de acuerdo a su género para ensayos posteriores.

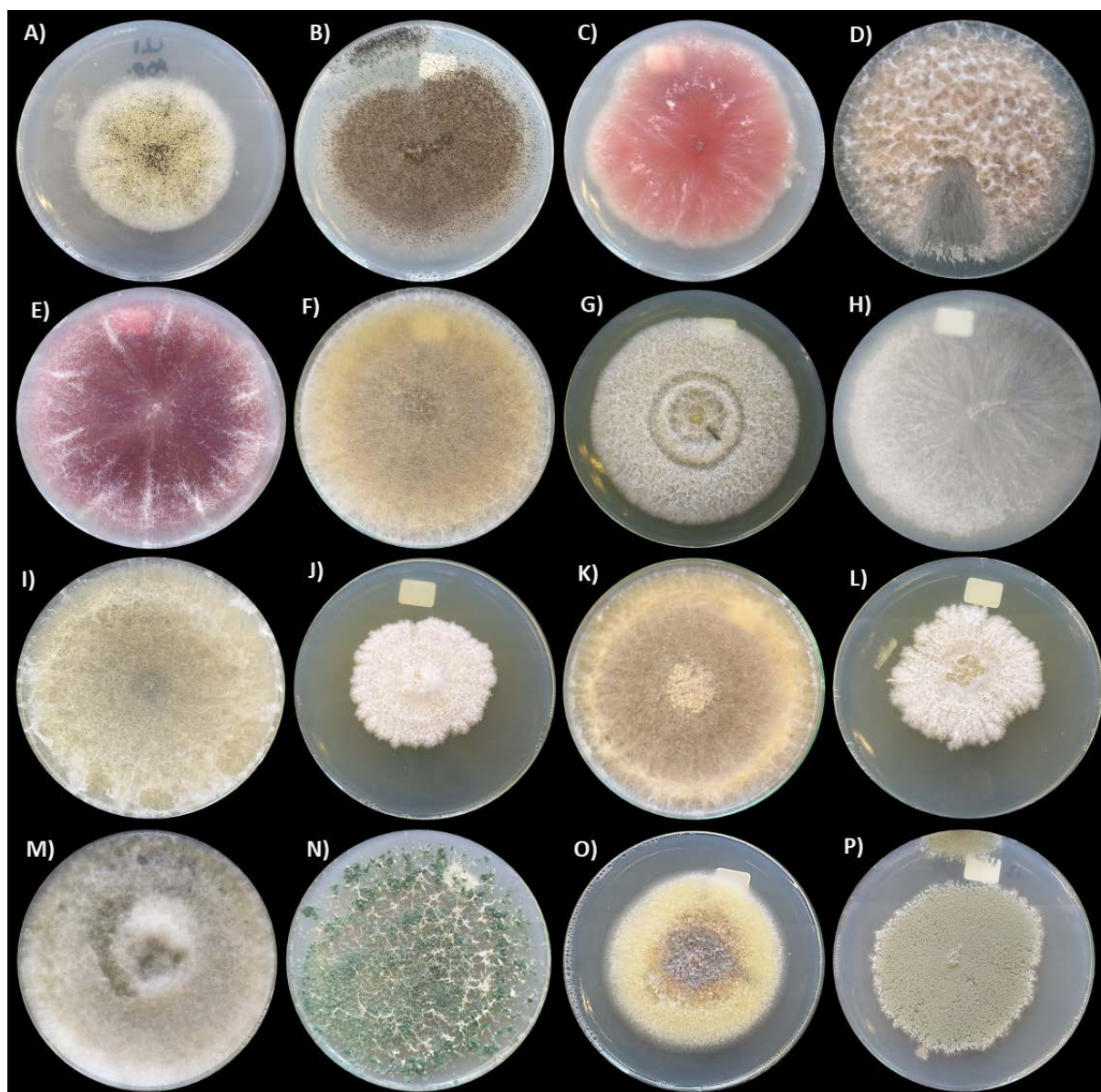
### 2.4 Pruebas de compatibilidad

Por otro lado, se llevaron a cabo pruebas de compatibilidad entre las diferentes cepas identificadas como fitopatógenos, para lo cual, se realizaron confrontaciones en cajas Petri con medio PDA, para esto las diferentes cepas clasificadas en los géneros de *Aspergillus*, *Pythium*, *Fusarium*, *Phytophthora* y *Verticillium* fueron confrontados unos contra otros, para esto se usaron discos de 5 mm de diámetro como preinóculo

de la cepa a evaluar, el cual se colocó en el centro de la placa, seguido se esto se tomaron propágulos de 5 mm de diámetro de las cepas pertenecientes a un género distinto a la cepa ubicada en la parte central, los discos se colocaron alrededor a una distancia equidistante. Este mismo proceso se realizó para todas las cepas hasta confrontar todos los géneros entre sí. Las placas se mantuvieron a temperatura ambiente y en ausencia de luz. Se midió el crecimiento radial cada 24 horas, una vez que se dio la interacción entre las cepas se determinó el tipo que correspondía, considerando como interacción compatible aquellas en las que se no se observaron mecanismos de antagonismo como micoparasitismo o antibiosis entre las cepas evaluadas y como interacción incompatible donde observaron dichos mecanismos [35].

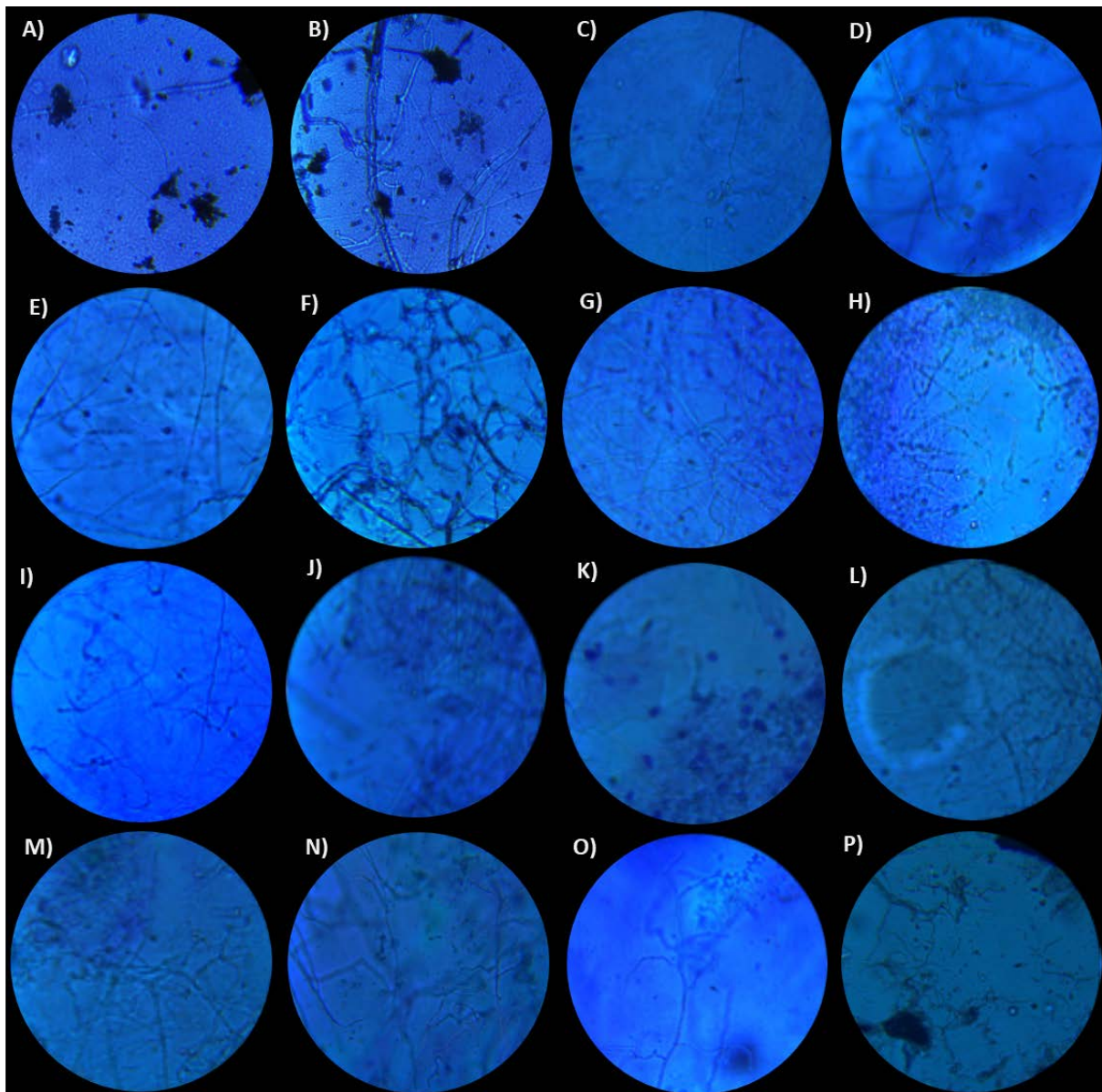
### 3. RESULTADOS

Como parte de los resultados obtenidos se aislaron un total de 16 cepas, de las cuales 14 fueron catalogadas como fitopatógenos, debido a sus características morfológicas macroscópicas y microscópicas. Dentro de éstas se aislaron dos cepas pertenecientes al género *Aspergillus* (A1 y A2), la cuales presentaron micelio de pigmentación blanca a grisácea y esclerocios de color marrón oscuro a negro (Figura 1A y 1B), que presentaron cabezas conidiales biseriadas, radiales, estipe hialino y liso, lo cual concuerda con las características del género *Aspergillus* (Figura 2A y 2B).



**Figura 1.** Morfología de las cepas fúngicas aisladas de plantas de *C. annuum* L. asociadas a la secadera del Chile de una zona productora de Zacatecas. Fotografías representativas. (A y B) *Aspergillus* spp. A1 y A2, (C-E) *Fusarium* spp. F1, F2 y F3, (F-H) *Pythium* spp. P1, P2 y P23, (I-L) *Phytophthora* spp. Ph1, Ph2, Ph3 y Ph4, (M y N) *Trichoderma* Tr1 y Tr2, (O y P) *Verticillium* V1 y V2

Así mismo, se identificaron tres cepas pertenecientes al género *Fusarium*, las cuales fueron nombradas como F1, F2 y F3, las cepas presentaron micelio de color rosa a violeta con apariencia algodonosa, además de presentar la difusión de pigmentos en el medio de cultivo de color violeta. En cuanto a las estructuras microscópicas se identificó la presencia de micro y macroconidios en forma de luna y septados, así como micelio septado (Figuras 2C, 2D y 2F).



**Figura 2.** Micrografías de las cepas fúngicas aisladas de plantas de *C. annuum* L. asociadas a la secadera del Chile de una zona productora de Zacatecas. Imágenes representativas. (A y B) *Aspergillus* spp. A1 y A2, (C-E) *Fusarium* spp. F1, F2 y F3, (F-H) *Pythium* spp. P1, P2 y P23, (I-L) *Phytophthora* spp. Ph1, Ph2, Ph3 y Ph4, (M y N) *Trichoderma* Tr1 y Tr2, (O y P) *Verticillium* V1 y V2

Aunado a esto, se identificaron cuatro cepas pertenecientes al género *Pythium*, las cuales fueron nombradas con las claves P1, P2, P3 y P4, estas cepas presentan características morfológicas correspondientes a este género (Figuras 1F, 1G y 1H). Se observaron estructuras microscópicas como zoosporas, hifas sin septos y hialinas, así como la presencia de esporangios (Figuras 2F, 2G y 2H). Aunado a esto se aislaron cuatro cepas de *Phytophthora* spp. (Ph1, Ph2, Ph3 y Ph4), que presentaron crecimiento micelial blanco algodonoso aéreo, el cual puede ser marcadamente radiado o ligeramente estrellado (Figuras 1I, 1J, 1K y 1L), con esporangios en forma elipsoide, ovaloide y papilado, micelio sin septos y la producción de zoosporas (Figuras 2I, 2J, 2K y 2L).

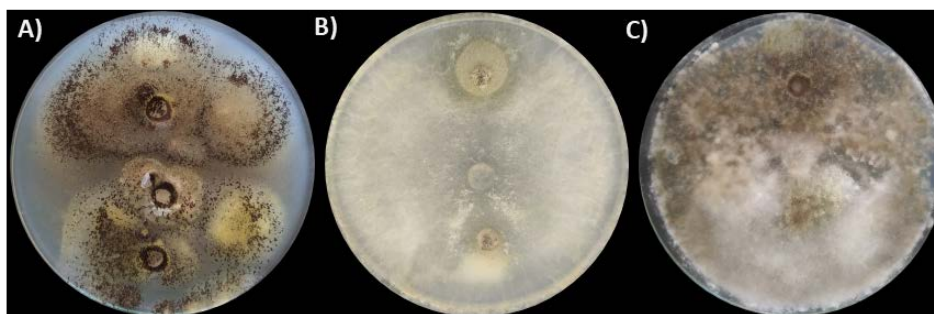
Además, se identificaron dos cepas de *Trichoderma* spp. (Tr1 y Tr2), las cuales presentaron una colonia circular con micelio abundante, las cuales desarrollan un color blanco cuando crecen en ausencia de luz y

adquieren un color verde en condiciones de estrés, además de la formación de los anillos concéntricos característicos de este género (Figuras 1M y 1N), así mismo, las microfotografías revelaron estructuras características de este género, sin embargo, estas cepas no se consideraron para los ensayos posteriores debido a que las especies de este género, son utilizadas principalmente como agentes de control biológico contra especies fúngicas (Figuras 1M y 1N).

Por otro lado, se obtuvieron dos cepas pertenecientes al género *Verticillium* spp. (V1 y V2), los cuales presentan una colonia redonda, con tonalidades en color amarillo y verde olivo, respectivamente (Figuras 1O y 1P); con presencia de micelio vegetativo hialino, septado y multinucleado, conidios ovoides o elipsoides, los cuales generalmente son unicelulares, además se observaron ramificaciones secundarias, hialinas, con fiálides en forma de verticilos, con presencia de septos en la base, características que concuerdan con la morfología de dicho género (Figuras 2O y 2P).

Una vez identificadas las diferentes cepas aisladas y clasificadas en los diferentes géneros, se realizaron confrontaciones entre éstas para identificar el tipo de interacción que establecen, para lo cual, se consideraron como interacciones compatibles a aquellas en las cuales no se presentó un efecto antagónico entre las cepas y como interacción no compatible a aquellas en las que se observaron mecanismos antagónicos como micoparasitismo o antibiosis.

En este sentido, durante las interacciones entre las cepas del género *Aspergillus* vs. *Phytophthora* o *Verticillium*, se identificaron tres interacciones compatibles, las cuales se dieron entre las cepas de *Aspergillus* spp. (A1 y A2) vs. las cepas de *Phytophthora* spp. (Ph1 y Ph2), para este caso no se observaron mecanismos de micoparasitismo o antibiosis entre las cepas evaluadas. Sin embargo, se observó que para el caso de la confrontación de A1 y A2 vs. Ph1, las cepas de *Aspergillus* spp. mostraron un mayor crecimiento sobre la placa (Figura 3A), lo que sugiere el empleo de mecanismo de competencia por espacio. Para el caso de la interacción de A1 y A2 vs Ph2 se observó una mayor capacidad de crecimiento por parte de la cepa de *Phytophthora* spp., lo que demuestra una mayor velocidad de crecimiento por parte de esta cepa (Figura 3B), aunado a esto no se observaron antagonismos entre las cepas A1 y A2.



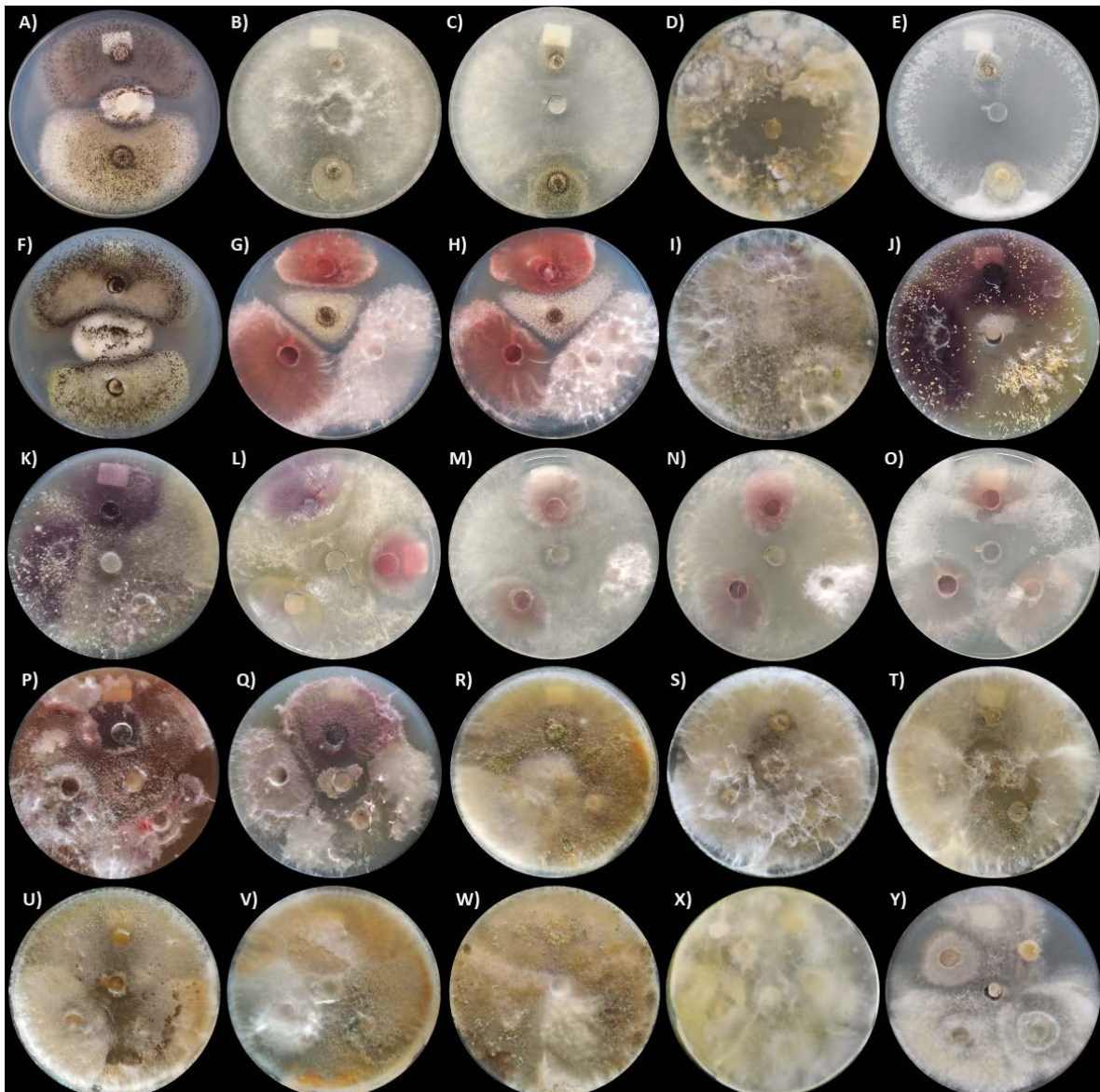
**Figura 3.** Interacciones compatibles interespecie de cepas aisladas de plantas de *C. annuum* L. con síntomas de la secadera del chile. Fotografías representativas del ensayo en medio PDA. (A) A1 y A2 vs. Ph1, (B) A1 y A2 vs Ph2 y (C) A1 y A2 vs. V2

Por su parte, en la interacción de A1 y A2 vs. *Verticillium* spp. (V1), tampoco se observaron mecanismos de antagonismo entre las cepas (Figura 3C), sin embargo, las cepas de *Aspergillus* presentan un mayor crecimiento en comparación con el crecimiento mostrado por la cepa V1, efecto observado previamente con la cepa Ph1. El resultado de las tres interacciones compatibles identificadas, permite deducir que las cepas evaluadas pueden actuar sinérgicamente de forma inter-especie para el caso de las cepas A1 y A2, además de coexistir de forma intra-especie.

Por otro lado, se determinaron las interacciones incompatibles entre las distintas cepas, donde se identificaron un total de 25 interacciones que presentaron mecanismo de antagonismo como antibiosis o micoparasitismo. En este sentido, se determinó que las cepas de *Aspergillus* spp. A1 y A2 presentaron interacción no compatible con las cepas de *Phytophthora* Ph3 y Ph4, al observarse mecanismos de antibiosis y micoparasitismo, respetivamente (Figuras 4A y 4B), donde la cepa de Ph3 presentó el mecanismo de antibiosis contra A1 y A2, sin embargo, las cepas del género *Aspergillus* poseen una mayor velocidad de



crecimiento al cubrir un área mayor sobre el medio de cultivo. Por su parte, el mecanismo de micoparasitismo fue ejercido por la cepa Ph4 sobre ambas cepas de *Aspergillus*, las cuales presentaron crecimiento mínimo, además de evidenciar una mayor velocidad de crecimiento por parte de la cepa Ph4.



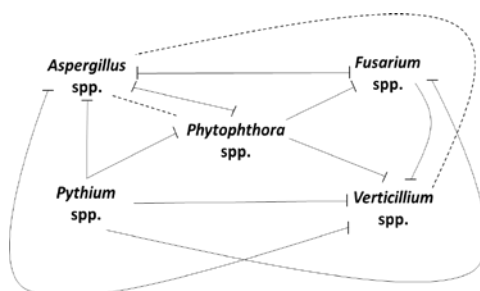
**Figura 4.** Interacciones incompatibles inter-especie de cepas aisladas de plantas de *C. annuum* L. con síntomas de la secadera del chile. Fotografías representativas de los bioensayos, (A y B) A1 y A2 vs Ph3 o Ph4, respectivamente, (C-E) A1 y A2 vs. P1, P2 o P3, respectivamente, (F) A1 y A2 vs V1, (G y H) F1, F2 y F3 vs. A1 o A2, (I-L) F1, F2 y F3 vs. Ph1, Ph2, Ph3 o Ph4, respectivamente, (M-O) F1, F2 y F3 vs. P1, P2 o P3, respectivamente, (P y Q) F1, F2 y F3 vs. V1 o V2, respectivamente, (R-U) P1, P2 y P3 vs. Ph1, Ph2, Ph3 o Ph4, respectivamente, (V y W) P1, P2 y P3 vs. V1 o V2, respectivamente, (X y Y) Ph1, Ph2, Ph3 y Ph4 vs. V1 y V2

Por su parte, al confrontar las cepas de *Aspergillus* spp. vs. las cepas de *Pythium* P1, P2 y P3, se observaron mecanismos de micoparasitismo en todos los casos (Figura 4C, 4D y 4E), donde dicho mecanismo fue ejercido por parte de las cepas de *Pythium* sobre ambas cepas de *Aspergillus*, por su parte las cepas de *Aspergillus* no mostraron ningún efecto sobre P1, P2 y P3. En cuanto a la confrontación de A1 y A2 vs V1, se observó que la cepa V1 desarrollo el mecanismo de antibiosis contra ambas cepas de *Aspergillus* spp., mientras que éstas últimas presentan una mayor capacidad de competencia por espacio al cubrir una mayor área, además ambas cepas presentaron el mecanismo de micoparasitismo contra la cepa V1, lo que indica que en esta interacción el antagonismo se da forma bidireccional (Figura 4F). Para el caso de las confrontaciones de A1 y A2 vs. las tres cepas de *Fusarium* (F1, F2 y F3) destacó el mecanismo de antibiosis (Figuras 4G y 4H), dicho mecanismo se presenta en las cepas de ambos géneros evaluados, ya que no se observa una inhibición dominante de una cepa sobre otra, lo cual se presenta como líneas de inhibición del crecimiento bien definidas en la zona de confrontación.

Por otro lado, las evaluaciones de *Fusarium* spp. (F1, F2 y F3) vs *Phytophthora* spp. (Ph1, Ph2, Ph3 y Ph4), presentan un mecanismo de micoparasitismo, el cual es ejercido por parte de las cepas de *Phytophthora* spp. sobre las cepas de *Fusarium* spp. en todos los casos (Figura 4 I-L). Por su parte las cepas de *Fusarium* spp., no presentaron efecto antagónico contra *Phytophthora* spp. Así mismo en la interacción de *Fusarium* spp. (F1, F2 y F3) vs *Pythium* spp. (Figuras 4 M a 4O), se observó que las cepas *Pythium* spp. micoparasitan a *Fusarium* spp. en todos los casos, mientras que las cepas no presentan mecanismos de antagonismo efectivos contra *Pythium*. Sin embargo, la confrontación F1, F2 y F3 vs V1 o V2, mostró que las cepas de *Fusarium* spp. son las que ejercen el mecanismo de micoparasitismo sobre las cepas de *Verticillium* spp. (Figuras 4P y 4Q). Por otro lado, las confrontaciones de *Pythium* spp. (P1, P2 y P3) vs *Phytophthora* spp. (Ph1, Ph2, Ph3 y Ph4) (Figuras 4R a 4U), mostraron que *Pythium* spp. desarrolló mecanismos de micoparasitismo y competencia por espacio sobre todas las cepas de *Phytophthora* spp., por su parte las cepas de *Phytophthora* spp. presentaron un crecimiento mínimo y no fue posible observar los mecanismos de antagonismo.

Por su parte, en la interacción de *Phytophthora* spp. (Ph1, Ph2, Ph3 y Ph4) vs *Verticillium* spp. (V1 y V2), las cepas de *Phytophthora* spp. presentaron micoparasitismo contra ambas cepas del género *Verticillium* spp., mientras que las cepas de *Verticillium* spp. no mostraron ningún mecanismo de antagónico contra *Phytophthora* spp., además de presentar un crecimiento mínimo (Figuras 4X y 4Y).

Lo anterior supone que los procesos de infección mediados por interacciones incompatibles entre las diferentes cepas, se da mediante el establecimiento de nichos especializados con respecto al tiempo o espacio, lo que da lugar a un complejo proceso de interacciones compatibles e incompatibles entre las diferentes especies identificadas como agentes causales de la enfermedad de la secadera del chile, donde se destaca la presencia de mecanismos de antibiosis y micoparasitismo en las interacciones identificadas como incompatibles, las cuales pueden ser unidireccionales como es el caso de *Pythium* spp. sobre las cepas de los géneros *Aspergillus*, *Verticillium* y *Phytophthora* o de forma bidireccional como en el caso de la interacción de *Aspergillus* spp. vs *Verticillium* spp. y de *Aspergillus* spp. vs *Fusarium* spp. (Figura 5). Aunado a esto, se demostró que las interacciones compatibles se pueden dar entre especies de los géneros que no presentan antagonismo como en el caso de las confrontaciones de *Aspergillus* vs *Phytophthora* y *Aspergillus* spp. vs *Verticillium* spp., donde algunas de las cepas presentaron compatibilidad.



**Figura 5.** Representación esquemática de las interacciones dadas entre el complejo multipatógeno asociado a la secadera del chile. Las líneas negras continuas indican la inhibición mediante mecanismos de micoparasitismo o antibiosis (interacciones incompatibles) y las líneas punteadas indican interacciones compatibles

#### 4. DISCUSIÓN

La secadera es una de las principales enfermedades que afecta el cultivo del chile (*Capsicum annuum*) y causa pérdidas de hasta el 100%, la cual está asociada con diversos fitopatógenos, lo que ha llevado a la ejecución de diversos estudios enfocados en identificar dichos microorganismos. En este sentido, en [13] identificaron cepas de *Fusarium oxysporum*, *Phytophthora* spp. y *Rhizoctonia* spp., en cultivos de *Capsicum annuum* en el estado de Guanajuato. Por otro lado, en [10] identificaron *Phytophthora* spp., *Pythium* spp., *Fusarium* spp., *Rhizoctonia* spp. y *Verticillium* spp., en cultivos de *Capsicum annuum* en los estados de Durango y Zacatecas.

Estos estudios concuerdan con los resultados obtenidos en el presente estudio, donde se aislaron e identificaron diferentes cepas fitopatógenas a partir de plantas con síntomas de la enfermedad de la

secadera del Chile. Las cepas se identificaron como pertenecientes a los géneros *Aspergillus*, *Fusarium*, *Pythium*, *Phytophthora* y *Verticillium* (Figuras 1 y 2), las cuales fueron identificadas de acuerdo a sus características macroscópicas y microscópicas, dichas características concuerdan con lo reportado en la literatura [20, 25, 41, 42]. Sin embargo, se ha demostrado que la virulencia e incidencia de la enfermedad es diferencial de acuerdo con las especies presentes en la zona de incidencia [10, 28]. Lo que sugiere que esta enfermedad es modulada por las interacciones que se dan entre los diferentes agentes patógenos, el hospedero y de las condiciones ambientales, lo que da como resultado un complejo proceso asociado a sistemas de biocomunicación intra e interespecie [36, 43, 44].

Aunado a esto, se ha demostrado que la infección y desarrollo de las enfermedades asociadas a complejos patogénicos dependen de interacciones sinérgicas, antagónicas y coexistencia entre las diferentes especies, dando lugar a procesos de sucesión de especies, nichos especializados y mecanismos de antagonismo, así como competencia por nutrientes [43, 45, 46]. Como lo demostró [36], quienes demostraron que la infección simultánea de fitopatógenos como *Mycosphaerella pinodes* y *Phomamedicaginis* var *pinodella*, asociados a la enfermedad del tizón, limita el proceso de infección y el desarrollo de la enfermedad.

En este sentido, se llevaron a cabo pruebas de compatibilidad entre las diferentes cepas aisladas con el objetivo de identificar las interacciones compatibles e incompatibles, donde se encontró que las especies de *Aspergillus* muestran interacción compatible con las especies de *Phytophthora* Ph1 y Ph2, así como con *Verticillium* V2 (Figuras 3A a 3C), ya que en estas interacciones no se observaron mecanismos de micoparasitismo o antibiosis por ninguna de las cepas, lo que sugiere que durante el proceso de infección estas cepas pueden actuar de forma sinérgica o coexistir, lo cual puede incrementar la severidad de la enfermedad [36, 47].

Sin embargo, se observó que las cepas de *Aspergillus* spp. (A1 y A2) durante la interacción de con las cepas Ph1 y V1 presentó un mayor crecimiento, mientras que con Ph2 presentó un mayor crecimiento contra A1 y A2, lo que sugiere que durante el proceso de coinoculación de estas cepas se pueden desarrollar nichos especializados, los cuales son delimitados por la zona de incidencia dentro de la planta hospedera [46].

Por otro lado, se determinó que las cepas de *Aspergillus* spp. A1 y A2 presentaron interacción no compatible con las cepas de *Phytophthora* Ph1 y Ph2 (Figura 4 A y B), *Pythium* P1, P2 y P3 (Figura 4 C, D y E) y *Fusarium* (F1, F2 y F3) (Figuras 4G y 4H). Por su parte, las cepas de *Fusarium* spp. (F1, F2 y F3) mostraron incompatibilidad con *Phytophthora* spp. (Figuras 4I a 4L), *Pythium* spp. (Figuras 4M a 4O) y *Verticillium* spp. (Figura 4 P-Q). Mientras *Pythium* spp. presentó incompatibilidad con *Phytophthora* spp. (Figuras 4R a 4U), y *Phytophthora* spp. con *Verticillium* spp. (Figuras 4X y 4Y), donde se observa mecanismos de micoparasitismo y antibiosis, lo que indica que estas cepas se desarrollan mediante sucesión de especies dentro del mismo nicho o que éstas tienen nichos especializados en la planta hospedera, los cuales son delimitados por la producción de compuestos volátiles orgánicos o compuesto difusibles, sin embargo, estos mecanismos de antagonismo pueden contribuir a reducir la incidencia de la enfermedad [20, 43, 46, 48].

No obstante, los procesos de antagonismo entre estas especies se pueden dar de forma unidireccional o bidireccional (Figura 5), lo que da lugar a un complejo proceso de interacciones antagónicas y sinérgicas entre las cepas, lo cual puede contribuir a modular de forma diferencial el proceso de infección. Aunado a esto es necesario considerar que los procesos de infección son afectados por otros factores, ya que el número de especies fitopatógenas presentes en la planta hospedera dependen de las condiciones ambientales, de los mecanismos de resistencia de la planta, la virulencia de las distintas cepas involucradas, las cuales inducen cambios en la planta hospedera que afectan el establecimiento y desarrollo de especies sucesivas [31, 43, 46, 49].

## 5. CONCLUSIONES

Las cepas aisladas de los diferentes géneros están asociadas al complejo fitopatológico que ocasiona la secadera de Chile, el cual se establece mediante interacciones compatibles e incompatibles, dando lugar de un complejo proceso que involucra sinergismo o sucesión de los diferentes organismos identificados.

## Agradecimientos

Este trabajo fue desarrollado gracias al financiamiento otorgado por el Tecnológico Nacional de México a través de la convocatoria Proyectos de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación 2022 con clave14465.22PD.

## REFERENCIAS

- [1] SIAP. (2022). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Recuperado: <https://www.gob.mx/siap>
- [2] Sánchez B. et al. (2022). Situación actual y futura de la cadena productiva de chile verde: un caso de estudio en Zacatecas, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 45(2), 261-261.
- [3] Hernández T. et al. (2020). *Capsicum annuum* (hot pepper): An ancient Latin-American crop with outstanding bioactive compounds and nutraceutical potential. A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 19(6), 2972-2993.
- [4] Martínez A. et al. (2022). Genetic diversity, gene flow and differentiation among wild, semiwild and landrace chile pepper (*Capsicum annuum*) populations in Oaxaca, México. *American Journal of Botany* 109(7), 1157-1176.
- [5] Feldmann F. y Rutikanga A. (2021). Phenological growth stages and BBCH-identification keys of Chilli (*Capsicum annuum* L., *Capsicum chinense* JACQ., *Capsicum baccatum* L.). *Jou. of Plant Dise. and Protection* 128(2), 549-555.
- [6] Aliyu L. (2000). Effect of organic and mineral fertilizers on growth, yield and composition of pepper (*Capsicum annuum* L.). *Biological agriculture & horticulture* 18(1), 29-36.
- [7] del Rocio Y. et al. (2018). Morphological diversity of Zacatecas Guajillo chile landraces is broad and is given mainly by fruit traits. *Emirates Journal of Food and Agriculture* 31(6), 440-448.
- [8] Hernández E. et al. (2018). Caracterización in vitro de rizobacterias y su antagonismo con hongos causantes del damping off en chile. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 9(3), 525-537.
- [9] Agrios G. (2005). *Plant Pathology*. Elsevier.
- [10] Velásquez R. et al. (2013). Manejo de las principales enfermedades del chile para secado en el norte centro de México. Folleto técnico. *Campo Experimental Zacatecas*.
- [11] Andrade P. et al. (2019). Antagonismo de *Trichoderma* spp. vs hongos asociados a la marchitez de chile. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 10(6), 1259-1272.
- [12] Guerrero B. et al. (2022). Variabilidad genotípica de aislados de *Phytophthora capsici* en Guanajuato. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 13(1), 181-190.
- [13] Albañil J. et al. (2015). Estudio regional de fitopatógenos asociados a la secadera del chile en Guanajuato, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 6, 2191-2197.
- [14] Barchenger D. (2018). Challenges and strategies for breeding resistance in *Capsicum annuum* to the multifarious pathogen, *Phytophthora capsici*. *Frontiers in plant science* 9, 628-634.
- [15] Gobena D. et al. (2012). Genetic diversity of *Phytophthora capsici* isolates from pepper and pumpkin in Argentina. *Mycologia* 104(1), 102-107.
- [16] Cheng W. et al. (2019). Chitin synthase is involved in vegetative growth, asexual reproduction and pathogenesis of *Phytophthora capsici* and *Phytophthora sojae*. *Environmental microbiology* 21(12), 4537-4547.
- [17] Mannai S. et al. (2018). Rhizoctonia root rot of pepper (*Capsicum annuum*): Comparative pathogenicity of causal agent and biocontrol attempt using fungal and bacterial agents. *Journal of Plant Pathology & Microbiology* 9(2), 431-439.
- [18] Kankam F. et al. (2021). Rhizoctonia disease of potato: Epidemiology, toxin types and management. *Egyptian Journal of Phytopathology* 48(1), 197-209.
- [19] Husaini A. et al. (2018). Host-pathogen interaction in *Fusarium oxysporum* infections: where do we stand? *Molecular Plant-Microbe Interactions* 31(9), 889-898.
- [20] Karlsson I. et al. (2021). *Fusarium* head blight from a microbiome perspective. *Fron. in Microbiology* 12, 628373.
- [21] Mukjang N. (2022). Microbial community succession in steam-sterilized greenhouses infected with *Fusarium oxysporum*. *Environmental Microbiology Reports* 14(4), 577-583.
- [22] Vasileva K. y Todorova V. (2020). Evaluation of pepper (*Capsicum annuum* L.) varieties to several methods of inoculation with *Verticillium dahliae* Kleb. in different conditions. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 26(2), 423-430.
- [23] Keykhasber M. et al. (2018). *Verticillium* wilt caused by *Verticillium dahliae* in woody plants with emphasis on olive and shade trees. *European journal of plant pathology* 150(1), 21-37
- [24] Vangalis V. (2021). Establishment of conidial fusion in the asexual fungus *Verticillium dahliae* as a useful system for the study of non-sexual genetic interactions. *Current genetics* 67(3), 471-485.
- [25] Arora H. et al. (2021). *Pythium* damping-off and root rot of *Capsicum annuum* L.: impacts, diagnosis, and management. *Microorganisms* 9(4), 823.
- [26] Kageyama K. (2019). Clarification of the life cycle of *Pythium* species generates an insight into the development of a disease control strategy. *Soil Microorganisms* 73(1), 2-4.

- [27] Velásquez R. et al. (2001). Sintomatología y géneros de patógenos asociados con las pudriciones de la raíz del chile (*Capsicum annum* L.) en el Norte-Centro de México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 19(2), 175-181.
- [28] Velásquez R. y Reveles L. (2017). Necrosis foliar; nuevo síntoma asociado a la pudrición de la raíz de chile (*Capsicum annum*) en Durango y Zacatecas, México. *Revista mexicana de micología* 46, 47-53.
- [29] Pérez C. et al. (2017). Diagnóstico de síntomas y patógenos asociados con marchitez del chile en Valles Centrales de Oaxaca. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 8(2), 281-293
- [30] Majeed L. et al. (2019). Biological management of damping-off disease of Chilli (*Capsicum annum* L.). *Ecology, Environment and Conservation* 25(1), 353-356.
- [31] Vallejo A. et al. (2019). Response of *Capsicum pubescens* genotypes to damage caused by the fungal wilt complex. *Revista mexicana de fitopatología* 37(1), 50-70.
- [32] Espinoza et al. (2019). Antagonistas microbianos para biocontrol de la marchitez y su efecto promotor en el rendimiento de chile serrano. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 10(SPE23), 187-197.
- [33] Tollenaere C. et al. (2016). Evolutionary and epidemiological implications of multiple infection in plants. *Trends in plant science* 21(1), 80-90.
- [34] Hosni T. et al. (2011). Sharing of quorum-sensing signals and role of interspecies communities in a bacterial plant disease. *The ISME journal* 5(12), 1857-1870.
- [35] Vallejo A. (2018). Variación de morfotipos de *Capsicum pubescens* en la resistencia a la marchitez. Tesis que para obtener el título de maestría en ciencias agropecuarias y ciencias naturales.
- [36] Le May C. et al. (2009). Plant disease complex: Antagonism and synergism between pathogens of the Ascochyta blight complex on pea. *Journal of Phytopathology* 157(11-12), 715-721.
- [37] Carlina S. et al. (2021). Manual práctico de microbiología básica. Popayán: Editorial Universidad del Cauca, Colombia.
- [38] Moreno J. y Albarracín V. (2012). Aislamiento, cultivo e identificación de microorganismos ambientales a partir de muestras naturales. *Reduca (Biología)* 5(5), 79-93.
- [39] González M. et al. (2011). Técnicas de tinción de estructuras fúngicas con colorantes vegetales como una alternativa no contaminante. *Bioagro* 23(1), 65-68.
- [40] Watanabe, T. (2010). Pictorial atlas of soil and seed fungi morphologies of cultured fungi and key to species. Taylor & Francis Group.
- [41] Gevens A. et al. (2008). Characterization of *Phytophthora capsici* causing foliar and pod blight of snap bean in Michigan. *Plant Disease* 92(2), 201-209.
- [42] Inderbitzin P. y Subbarao K. (2014). *Verticillium* systematics and evolution: how confusion impedes *Verticillium* wilt management and how to resolve it. *Phytopathology* 104(6), 564-574.
- [43] Abdullah A. et al. (2017). Host-multi-pathogen warfare: pathogen interactions in co-infected plants. *Frontiers in plant science* 8, 1806.
- [44] Monteiro P. et al. (2022). Three novel species of fungi associated with pine species showing needle blight-like disease symptoms. *European Journal of Plant Pathology* 162(1), 183-202.
- [45] Mishra B et al. (2019). Systems biology and machine learning in plant-pathogen interactions. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 32(1).
- [46] Dutt A. et al. (2022). Multi-infections, competitive interactions, and pathogen coexistence. *Plant Pathology* 71(1), 5-22.
- [47] Lamichhane J. y Venturi V. (2015). Synergisms between microbial pathogens in plant disease complexes: a growing trend. *Frontiers in plant science* 6, 385
- [48] Cesari S. (Multiple strategies for pathogen perception by plant immune receptors). Multiple strategies for pathogen perception by plant immune receptors. *New Phytologist* 2019(1), 17-24.
- [49] Ferreira R. et al. (2006). Fungal pathogens: the battle for plant infection. *Critical Reviews in Plant Sciences* 25(6), 505-524

# Polimorfismo TSER 3RG>C del gen de la Timidilato Sintasa en una muestra de población venezolana: Una herramienta para detectar susceptibilidad a la intoxicación por fluoropirimidinas en pacientes con cáncer

Cecilia Villegas<sup>1</sup>

Yuselin Mora<sup>2</sup>

Kevyn Parodi<sup>3</sup>

José Oliveros<sup>4</sup>

Narviz Pulido<sup>5</sup>

Nancy Moreno<sup>6</sup>

<sup>1-6</sup>Universidad de Carabobo  
Venezuela

<sup>1,2</sup>Universidad de La Frontera  
Chile

Las fallas terapéuticas frente a agentes antineoplásicos, como las fluoropirimidinas, son un problema de salud pública en el mundo. La enzima Timidilato Sintasa TS codificada por el gen *TYMS* es blanco de las fluoropirimidinas, drogas relevantes en el tratamiento de tumores sólidos. Existen dos polimorfismos en la región 5'UTR del gen *TYMS* relacionados con toxicidad y farmacorresistencia a estos fármacos: 1) TSER (rs45445694), una región hipervariable con repeticiones en tándem de 28 pb, cuyos alelos más frecuentes son 2R, asociado a toxicidad y 3R asociado a farmacorresistencia, y 2) SNP 3RG>C (rs2853542), presente en la repetición 2 del alelo 3R, que modifica la función de 3R, donde la presencia de G se asocia a farmacorresistencia y C a toxicidad. Venezuela exhibe los niveles más altos de 3R en Latinoamérica, pero no existen datos acerca del SNP. El objetivo de este trabajo es determinar la frecuencia de TSER en una muestra de voluntarios sanos de Puerto Cumarebo, estado Falcón, Venezuela, para evaluar la influencia del SNP sobre la inferencia de la expresión de *TYMS* basada en genotipos. Se extrajeron 2 mL de sangre periférica para aislar ADN, se determinaron los genotipos de TSER mediante Reacción en Cadena de la Polimerasa PCR. El SNP se analizó en homocigotos 3R/3R mediante PCR-RFLP. La frecuencia de los genotipos fue 2R/3R (60,0%), 3R/3R (22,9%), 2R/2R (15,7%) y 3R/4R (1,4%). Respecto al SNP, el genotipo 3RC/3RC fue el más frecuente (37,5%) y el alelo predominante fue 3RC (59,4%). Los resultados del análisis del SNP afinaron la categorización de los individuos según la expresión de TS basada en genotipos, lo cual constituye una herramienta para identificar sujetos susceptibles a eventos de toxicidad por tratamiento con fluoropirimidinas. La interdisciplinariedad es un factor determinante para lograr la integración de este tipo de ensayo en la práctica clínica.

---

<sup>1</sup> Magíster en Ciencias Biomédicas y Estudiante del Doctorado en Ciencias Mención Biología Celular y Molecular aplicada.  
Contacto: [cvillegas4@uc.edu.ve](mailto:cvillegas4@uc.edu.ve)

<sup>2</sup> Magíster en Ciencias Biomédicas y Estudiante del Doctorado en Ciencias Mención Biología Celular y Molecular aplicada.  
Contacto: [y.mora03@ufromail.cl](mailto:y.mora03@ufromail.cl)

<sup>3</sup> Licenciado en Bioanálisis.  
Contacto: [kevynndpb@gmail.com](mailto:kevynndpb@gmail.com)

<sup>4</sup> Licenciado en Bioanálisis.  
Contacto: [jose1sag1bio@gmail.com](mailto:jose1sag1bio@gmail.com)

<sup>5</sup> Magíster en Ciencias Biomédicas.  
Contacto: [npulido2@uc.edu.ve](mailto:npulido2@uc.edu.ve)

<sup>6</sup> Doctor en Biología Molecular.  
Contacto: [nmoreno6@uc.edu.ve](mailto:nmoreno6@uc.edu.ve)

## 1. INTRODUCCIÓN

El uso de fluoropirimidinas (5-FU, o su profármaco Capecitabine) como agente quimioterápico en el tratamiento de tumores sólidos es muy amplio, siendo particularmente importante en el cáncer colorrectal CCR donde viene es el medicamento de primera línea, tanto en monoterapia como en combinación con otros fármacos [1]. Dentro del conjunto de individuos tratados con estos fármacos, existe un grupo que desarrolla marcada toxicidad asociada al tratamiento, lo que a menudo conlleva a dosis limitantes y retrasos en la administración de los esquemas. Actualmente, se conoce con certeza que polimorfismos en la enzima *DPYD* poseen una clara asociación con la aparición de reacciones adversas a fluoropirimidinas, sin embargo, las bajas frecuencias con las que presentan estos polimorfismos en las poblaciones son incapaces por sí solas de dar cuenta del número de pacientes que desarrolla este tipo de eventos [2].

En este sentido, diversas investigaciones respaldan el hecho que la presencia de polimorfismos en el gen de la Timidilato Sintasa *TYMS* ejercen un rol importante en la quimioresistencia y toxicidad a 5-Fluorouracilo 5-FU [3-5] y Metotrexato MTX [6]. *TYMS* actualmente es reconocido por la base de datos de conocimientos de farmacogenómica (PharmGKB) como un *farmacogén muy importante* [7], debido a que las variaciones en las regiones reguladoras condicionan el nivel de enzima circulante lo cual tiene relación directa con la respuesta frente a este tipo de drogas.

La Timidilato Sintasa TS (EC 2.1.1.45) es una enzima esencial para la supervivencia de las células en división, *in vivo* cataliza la conversión de 5-desoxiuridina monofosfato dUMP, hasta 5-desoxitimidina monofosfato dTMP utilizando como cofactor y donador del grupo carbono al 5,10 Metilentetrahidrofolato [8]. La dTMP por su parte es imprescindible para la reparación y replicación del ADN y debido a que su síntesis de *ново* ocurre únicamente por esta vía la TS se convierte en el blanco de este tipo de antineoplásicos.

El nivel de expresión del gen *TYMS* varía por la presencia de polimorfismos en 5' UTR, (*untranslated region*), el primero, conocido como *Tymidylate Synthase Enhancer Region* TSER (rs45445694), consiste en unidades de repetición de 28 pb con una función potenciadora en el promotor [9, 10]. Estas unidades de repetición presentan secuencias de reconocimiento (E-box) para la unión de factores de tipo USF1/2 que participan en la activación transcripcional [11]. El número de repeticiones en tándem en 5' UTR se ha asociado con mayor eficiencia en la transcripción de *TYMS* [9], así como con niveles más altos de ARNm [3].

Hasta el momento se ha reportado la existencia de 9 alelos que se informan desde TSER\*1 con una repetición (1R) [12] hasta TSER\*9 con 9 Repeticiones (9R) [13], pero son los alelos TSER\*2 y TSER\*3 los más comunes. Se ha demostrado que individuos homocigotos TSER\*3 (3R/3R) poseen una mayor expresión de enzima pudiendo presentar una respuesta deficiente al tratamiento con 5-FU [3], no obstante, estos individuos tienen una mayor capacidad para tolerar dosis elevadas del medicamento. Por otro lado, un meta-análisis que incluyó 2.402 sujetos, en su mayoría europeos, demostró que el alelo TSER\*2 en homocigosis (2R/2R) está asociado con menor cantidad de TS y mayor riesgo de toxicidad [14]. Respecto a esto, en 2019 la agencia Suiza de productos terapéuticos (Swissmedic) aprobó la inclusión de esta información en la etiqueta del fármaco Fluorouracil Labatec®, advirtiendo del posible incremento de la toxicidad en pacientes con los genotipos 2R/2R y 2R/3R [7].

Por otra parte, se ha demostrado que la relación directa entre el número de repeticiones en TSER y la actividad transcripcional de *TYMS* puede ser modificada por la presencia de un segundo polimorfismo funcional, un SNP (rs2853542) dentro de TSER que consiste en la sustitución G>C en el nucleótido número 12 de la segunda repetición de individuos que portan el alelo TSER\* 3 [11], esta sustitución (3RG>3RC) altera la secuencia de reconocimiento del factor USF1 y abole su función, ocasionando una notable reducción en los niveles de expresión de *TYMS* respecto al alelo silvestre [11, 15, 16], lo cual genera como consecuencia un comportamiento similar al del Alelo TSER\*2.

Debido a la relación existente entre los polimorfismos *TYMS* y la resistencia o grado de toxicidad frente a las fluoropirimidinas, su determinación en los pacientes previo a la administración de los esquemas de quimioterapia podría representar un instrumento útil para predecir cuales pacientes son proclives a desarrollar efectos adversos más graves, además de orientar la terapia hacia ajustes de dosis que permitan

un mejor resultado. Sin embargo, muchos de estos análisis se basan únicamente en la detección del polimorfismo TSER, lo que acarrea sesgos en la categorización de los pacientes. Por estas razones, la inclusión del análisis SNP 3RG>C en conjunto con la detección inicial de TSER viene a ser una útil herramienta en la clínica, puesto que permite:

1. Identificar cuales individuos dentro de los que poseen el genotipo 3R/3R (Alta expresión) son los que verdaderamente poseen una sobreexpresión del gen (Verdaderos 3R).
2. Identificar Individuos susceptibles a toxicidad aun cuando estos exhiban el genotipo TSER (2R/2R) asociado a bajo riesgo.

Por otra parte, es importante destacar que los polimorfismos de *TYMS* tienen una distribución variable en las poblaciones [13, 17, 18], y en Latinoamérica es poca la información que se tiene acerca de la distribución del SNP en individuos sanos. Sin embargo, reportes previos acerca de la frecuencia del polimorfismo TSER en México [19, 20], Perú [20] Chile [21] y Venezuela (Región central). [22] sitúan a Venezuela como uno de los países con la mayor frecuencia del alelo 3R en América del Sur (61,35%), no habiéndose publicado datos acerca del SNP 3RG>C en ninguna región del país. El estudio de estos polimorfismos en las poblaciones sanas aporta conocimientos importantes para la farmacogenética, además de ser la base para estudios de casos y controles.

El objetivo de esta investigación fue determinar la distribución del polimorfismo TSER (rs45445694) en una muestra de población sana de Puerto Cumarebo estado Falcón, Venezuela y evaluar la frecuencia con la que se presenta el SNP en los homocigotos TSER\*3 con el fin de obtener una mayor aproximación respecto la inferencia de la expresión de TS basada en genotipos previo al análisis en pacientes. La generación de este conocimiento es una etapa inicial para realizar estudios de correlación entre los genotipos *TYMS* y la supervivencia en pacientes con cáncer tratados con fluoropirimidinas.

## 2. MÉTODO

Se analizaron 70 voluntarios sanos, de ambos géneros, no consanguíneos, sin antecedentes de cáncer y mayores de 18 años, habitantes de Puerto Cumarebo (11°29'10"N 69°21'01"O), ciudad costera del estado Falcón, perteneciente a la región Centro occidental de Venezuela. Los individuos fueron seleccionados de forma aleatoria mediante un muestro probabilístico no intencional. Todos los participantes firmaron el respectivo consentimiento informado aprobado por el Comité de Bioética del Instituto de Investigaciones Biomédicas Dr. Francisco J. Triana Alonso de la Universidad de Carabobo.

A todos los individuos se les extrajeron 2 mL de sangre periférica a partir de la cual se realizó aislamiento del ADN mediante una modificación del método de precipitación salina [23]. La determinación del polimorfismo TSER se realizó mediante amplificación por PCR de un segmento de 5' UTR utilizando un par de cebadores circundantes al segmento de repetición de 28 pb [24]. Las condiciones para la reacción de amplificación se realizaron de acuerdo a lo descrito en [22]. Los productos PCR fueron verificados mediante electroforesis en soporte de poliacrilamida al 8% revelado con sales de plata. Los resultados obtenidos para cada individuo fueron fotografiados y archivados utilizando equipo de foto documentación modelo GEL-DOC XR (Bio-rad®).

Para identificar la variación 3RG>C presente en los individuos con genotipo 3R/3R se realizó un análisis de RFLP (por sus siglas del inglés, *Restriction Fragment Length Polymorphism*) con la enzima de restricción Hae III (Promega®) según especificaciones del fabricante. El producto de esta digestión fue sometido a electroforesis en geles de poliacrilamida al 10% revelado con sales de plata. El tamaño esperado en los fragmentos de ADN correspondientes al alelo 3RG es de 66, 37, 28 y 10 pb., mientras que para el alelo 3RC se esperan fragmentos de 94, 37 y 10 pb.

El cálculo de las frecuencias genotípicas y alélicas de los polimorfismos analizados se realizó mediante el programa estadístico SPSS, *statistic 19*. El equilibrio de Hardy Weimberg y la comparación estadística de los datos obtenidos en relación al polimorfismo TSER en 5'UTR con otras poblaciones, se realizó mediante la



prueba de Chi-cuadrado ( $\chi^2$ ); las diferencias se consideraron estadísticamente significativas para un valor de  $p < 0,05$ .

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Determinación del polimorfismo TSER

Se identificaron cuatro genotipos cuyas frecuencias se resumen en la Tabla 1. El genotipo heterocigoto 2R/3R fue el más frecuente, observándose en 42 individuos (60,0%), seguido por el homocigoto 3R/3R en 16 sujetos (22,9%) y el homocigoto 2R/2R en 11 individuos (15,7%), solo se identificó un heterocigoto 3R/4R (1,4%). De los tres alelos observados 3R fue el más prevalente (53,6%). La distribución de los genotipos se encuentra en equilibrio de Hardy Weinberg ( $p > 0,05$ ).

**Tabla 1.** Frecuencia genotípica y alélica del polimorfismo TSER en 5' UTR del gen *TYMS*

| Frecuencia genotípica |    |      | Frecuencia alélica |     |      |
|-----------------------|----|------|--------------------|-----|------|
| Genotipo              | n  | (%)  | Alelo              | n   | (%)  |
| 2R/2R                 | 11 | 15,7 | 2R                 | 64  | 45,7 |
| 2R/3R                 | 42 | 60,0 | 3R                 | 75  | 53,6 |
| 3R/3R                 | 16 | 22,9 | 4R                 | 1   | 0,7  |
| 3R/4R                 | 1  | 1,4  |                    |     |      |
| Total                 | 70 | 100  | Total              | 140 | 100  |

#### 3.2 Análisis del polimorfismo de un solo nucleótido (G>C) en homocigotos TSER\*3

El resultado del análisis de restricción en los productos PCR de los 16 sujetos homocigotos 3R/3R mostró la presencia de los tres genotipos posibles: 3RG/3RC tuvo la mayor frecuencia observándose en 7 individuos (43,7%), seguido por 3RC/3RC en 6 sujetos (37,5%), el menos frecuente fue el homocigoto 3RG/3RG presente solo en 3 individuos (18,8%). En la frecuencia alélica la variante más común fue 3RC (59,4%) (Tabla 2).

**Tabla 2.** Frecuencia genotípica y alélica del polimorfismo 3RG>C en homocigotos TSER\*3

| Expresión de TS** | Frecuencia genotípica |    | Frecuencia alélica |       |    |      |
|-------------------|-----------------------|----|--------------------|-------|----|------|
|                   | Genotipo              | n  | (%)                | Alelo | n  | (%)  |
| Alta              | 3RG/3RG               | 3  | 18,8               | 3RG   | 13 | 40,6 |
| Alta              | 3RG/3RC               | 7  | 43,7               | 3RC   | 19 | 59,4 |
| Baja              | 3RC/3RC               | 6  | 37,5               |       |    |      |
|                   | Total                 | 16 | 100                | Total | 32 | 100  |

\*\* Expresión de la enzima TS basada en los genotipo TSER y el SNP 3RG>C propuesta en [16]

#### 3.3 Comparación estadística del polimorfismo TSER con otras poblaciones

Al comparar los resultados acerca del polimorfismo TSER obtenidos en esta investigación con datos de la región Central de Venezuela [22] se observó que no existe diferencia estadísticamente significativa entre ambas regiones ( $p = 0,103$ ), mientras que en relación a otras latitudes el resultado es variable (Tabla 3). Existe similitud estadística ( $p > 0,05$ ) con muestras de poblaciones de Estados Unidos (Afroamericanas), Kenia [25], Italia [17], Portugal [26], España [27], México (Guadalajara) [19] y Chile [21]. Se evidenciaron diferencias con población de China ( $p = 0,001$ ) [28], mexicanos residentes en Los Ángeles ( $p = 0,05$ ) y peruanos (0,049).

**Tabla 3.** Comparación estadística del polimorfismo TSER presente en 5' UTR de *TYMS* con los datos reportados en muestras de otras latitudes

| Población                     | n   | 2R/2R n (%) | 3R/3R n (%) | 2R/3R n (%) | $p$   | Fuente |
|-------------------------------|-----|-------------|-------------|-------------|-------|--------|
| Venezuela (Puerto Cumaribo) * | 70  | 11 (15,7)   | 16 (22,9)   | 42 (60,0)   | -     | -      |
| Venezuela (Región central)    | 260 | 34 (13,1)   | 94 (36,2)   | 127 (48,8)  | 0,103 | [22]   |
| Chile                         | 368 | 78 (21,2)   | 116 (31,5)  | 174 (47,3)  | 0,116 | [21]   |
| México (Guadalajara)          | 456 | 85 (18,81)  | 137 (30)    | 230 (50)    | 0,294 | [19]   |
| México (Los Ángeles)          | 91  | 14 (15,5)   | 42 (46,6)   | 34 (37,7)   | 0,005 | [20]   |
| Perú                          | 73  | 8 (10,9)    | 31 (42,5)   | 34 (46,5)   | 0,049 | [20]   |

|                                 |     |           |            |            |        |      |
|---------------------------------|-----|-----------|------------|------------|--------|------|
| España                          | 283 | 66 (23,3) | 72 (25,5)  | 145 (51,2) | 0,291  | [27] |
| Portugal                        | 170 | 30 (17,6) | 53 (31,2)  | 87 (51,2)  | 0,363  | [26] |
| Italia                          | 139 | 31 (22,0) | 31 (22,0)  | 74 (54,0)  | 0,499  | [17] |
| China                           | 439 | 20 (4,6)  | 290 (66,1) | 129 (29,4) | 0,0001 | [28] |
| Kenia                           | 98  | 17 (17,0) | 25 (26,0)  | 43 (44,0)  | 0,443  | [25] |
| Estados Unidos (Afroamericanos) | 92  | 18 (20,0) | 22 (24,0)  | 49 (53,0)  | 0,721  | [25] |

Las diferencias fueron consideradas estadísticamente significativas para valores de  $p < 0,05$

\* Solo se identificó un individuo con el genotipo 3R/4R. Los genotipos con el alelo 4R fueron excluidos de la comparación.

#### 4. DISCUSIÓN

La influencia de los polimorfismos del gen *TYMS* sobre la respuesta al tratamiento con fluoropirimidinas en pacientes con diversos tipos de cáncer y la variabilidad étnica en la distribución de dichos polimorfismos [13, 25] sustentan la importancia de este gen en farmacogenética/farmacogenómica y por ello se hace necesario el estudio de estas variantes a escala mundial.

La distribución de genotipos TSER en la población de Puerto Cumarebo ubicada en la región Centro occidental de Venezuela es similar a lo reportado en [22] en la región Central de Venezuela, en ambos casos, el genotipo heterocigoto 2R/3R es predominante, este resultado es comparable a lo reportado en Chile [21] y países europeos, como España [27], Italia [17] y Portugal [26] (Tabla 3).

El genotipo 3R/3R, que se presentó con una frecuencia del 22,9% (Tabla 1) está asociado a respuesta deficiente a la quimioterapia con 5-FU [3, 29] si bien, algunos reportes son contrastantes respecto a dicha correlación [30], la mayoría de los estudios coinciden en que 3R/3R es un predictor de resistencia a la quimioterapia con 5-FU y baja tasa de supervivencia en pacientes con CCR en estadíos avanzados [31-33]. Respecto a la frecuencia alélica se confirmó la presencia del alelo 3R de forma predominante en el país (53,6%) lo cual resalta la importancia de conocer el estado del SNP.

El genotipo 2R/2R que está asociado a buena respuesta al tratamiento con fluoropirimidinas mostró una frecuencia de 15,7% (Tabla 1). Este genotipo está vinculado con eventos de toxicidad a estos fármacos en pacientes con cáncer, por ejemplo: gastrointestinal [34] adenocarcinoma de páncreas [35] y colorectal [36].

El primer cribado de este estudio el cual se basó únicamente en el polimorfismo TSER mostró que 16/70 individuos portaban el genotipo 3R/3R (Tabla 1), los cuales presentarían una mayor expresión de *TYMS* siendo potencialmente resistentes a la terapia con 5-FU, como ha sido reportado en [37], no obstante, cuando se analizan los datos acerca del estado del SNP en este grupo se observa una modificación notable del resultado, debido a que 6 de los 16 individuos también presentan el genotipo 3RC/3RC, que los condiciona a un comportamiento similar a los homocigotos 2R/2R, tal como lo establece la categorización propuesta en [16]. Esto significa que el grupo inicial constituido por 16 individuos ahora se reduce a 10 individuos y por tanto, se puede concluir que, en la población estudiada, solo el 62,5% de los de los homocigotos 3R/3R puede ser catalogados de alta expresión de *TYMS* por presentar al menos un alelo 3RG, y son los individuos que potencialmente podrían presentar resistencia a la terapia con estas drogas [16].

El resultado del SNP 3RG>C es además una herramienta para identificar sujetos susceptibles a eventos de toxicidad, pues los individuos con el genotipo 3RC/3RC desde el punto de vista funcional se comportan como un sujeto 2R/2R [16] y son intolerantes a las dosis estándar del fármaco. En este sentido los resultados del análisis del SNP, también modificaron la apreciación que se tuvo acerca del número de sujetos considerados como de baja expresión de TS (los que poseen el genotipo 2R/2R) (Tabla 1), quienes pasaron de 11 individuos a 17, por la adición de 6 individuos con el genotipo 3RC/3RC. Identificar estos individuos a nivel clínico es muy importante, porque además de ser los que más se beneficiarán de la terapia, son a su vez el grupo más proclive a desarrollar toxicidad en distinto grado [38], convirtiéndose en candidatos para el ajuste personalizado de la dosis.

Estamos conscientes que la cantidad de sujetos con baja o alta expresión en la totalidad de la muestra analizada pudiera variar si se incluye el análisis del SNP G>C en los heterocigotos 2R/3R, pues su clasificación dentro de un grupo específico depende de la determinación del alelo G en 3R. Aunque este análisis no se

incluyó en el presente estudio, resaltamos que su consideración en enfermos es imprescindible ya que permite inferir con mayor precisión la expresión de TS sujetos susceptibles [39], constituyendo una valiosa herramienta tanto para el médico tratante como para el paciente sometido a regímenes de quimioterapia.

Al efectuar la comparación estadística de los resultados respecto al polimorfismo TSER con los reportados en [22] en la región central de Venezuela, no se observaron diferencias significativas ( $p = 0,103$ ), aun cuando la frecuencia del genotipo 3R/3R resultó ser más baja en la presente investigación. En ambas regiones se confirmó la presencia del alelo 4R indicativo del aporte del componente africano, este alelo ha sido reportado en poblaciones afroamericanas pero no se ha observado en poblaciones europeas [25]. En Venezuela el aporte génico predominante es el de origen español (58,8%), seguido del amerindio (28,5%) y por último del africano (12,6%) [40]; sin embargo, se reportó la existencia de una heterogeneidad genética inter-regional, que según estudios anteriores parece ser menos marcada entre las regiones Central y Centro occidental [40], esto es consistente con lo observado en este trabajo respecto la distribución de los polimorfismos TSER.

Mayores diferencias genéticas inter-regiones se han reportado respecto a las regiones andina y oriental, y en ese sentido, resultaría interesante investigar el comportamiento de los alelos TSER en la región andina venezolana, ya que de acuerdo con lo reportado en [40] esta región posee el menor grado de mestizaje con un aporte nulo del componente africano y predominancia de genes españoles en un 72,6%.

En lo que concierne a los datos del polimorfismo TSER obtenidos en el presente estudio y su comparación con los reportados en otras latitudes, solo se observaron diferencias significativas con chinos, peruanos, y mexicanos residentes de Los Ángeles, diferencias que no se evidencian cuando se comparó con mexicanos residentes de Guadalajara (Tabla 3). Este resultado señala la existencia de diferencias intrínsecas entre grupos poblaciones y demuestra la importancia que tiene el estudio de los polimorfismos genéticos en regiones específicas, ya que el aporte de la ancestría europea y amerindia es variable de acuerdo con la localidad estudiada [41]. La semejanza observada con países europeos como España ( $p = 0,4836$ ), Portugal ( $p = 0,6324$ ) e Italia ( $p = 0,7727$ ) (Tabla 3) viene determinada por los aspectos históricos, políticos y culturales que enmarcaron la relación de Venezuela con el continente europeo y la composición genética adoptada a partir de la época colonial, en la cual hubo una sustitución de los genes nativos por genes europeos en su mayoría y africanos en menor proporción, quedando disminuido el componente amerindio [42].

Los datos obtenidos acerca de la frecuencia alélica del SNP en el estado Falcón, fueron concordantes con la información actualizada hasta el 2021 disponible en la base de datos: *gnomAD v3.1.1* para Latinoamérica, en la cual se reporta un discreto predominio a favor del alelo C (50,48%), y una frecuencia de 53,9%, según datos del proyecto 1000 genomas para población americana mezclada (Colombia, Puerto Rico, Perú y México) [43], La frecuencia del Alelo C en los homocigotos TSER\*3 analizados en este estudio fue de 59,4%, lo que podría significar un beneficio clínico en cuanto a farmacorresistencia.

Con el fin de tener una apreciación más certera sobre la inferencia de la expresión enzimática de TS basado en los polimorfismos *TYMS* se hace necesario además de determinar el polimorfismo *1494del6* en 3' UTR, ya que este posee influencia importante sobre la tasa de traducción, y es sabido que la determinación de estos polimorfismos en conjunto es potencialmente mejor predictor de respuesta que si se evalúan cada uno de forma independiente [44, 45].

La generación de conocimiento sobre los polimorfismos de 5'UTR del gen *TYMS* en una muestra de población de la región Centro occidental de Venezuela contribuye a ampliar los datos que se tienen acerca de estos polimorfismos en el país, lo que tiene impacto en el área de farmacogenética por su relación con la predicción y pronóstico de la terapia con fluoropirimidinas [46, 47] además de ser útil para investigar la existencia de asociaciones de estos polimorfismos con algunos tipos de cáncer con el fin de hallar marcadores pronósticos para esta enfermedad [27, 28, 46, 48, 49].

A pesar de la importancia que la generación de conocimientos en farmacogenética/ farmacogenómica reviste para las familias y la sociedad en general; la integración de dichos conocimientos en la práctica clínica es un proceso difícil sobre todo en América Latina debido a la existencia de diferentes barreras, entre ellas

las más relevantes fueron descritas por [50] como la necesidad de lineamientos claros para el uso de la farmacogenómica, seguido por conocimiento insuficiente por parte de los clínicos y la ausencia de instituciones reguladoras que faciliten el uso de exámenes farmacogenéticos. Estas barreras solo podrán vencerse con la interdisciplinariedad de diferentes áreas donde juegan un papel primordial, la investigación, la educación y las regulaciones del estado.

## 5. CONCLUSIONES

El análisis del polimorfismo TSER en una muestra de voluntarios sanos de Puerto Cumarebo, estado Falcón ubicada en la región Centro occidental de Venezuela, confirmó la presencia del alelo 3R de forma predominante (53,6%) en otra región del país.

El análisis del SNP en 3RG>C en los homocigotos TSER\*3 proporcionó resultados alentadores acerca de la frecuencia del alelo 3RC (59,4%), lo que permitió clasificar un importante número de individuos dentro del grupo de baja expresión de TS, aun cuando éstos resultaron ser homocigotos 3R/3R. El 62,5% de los homocigotos 3R/3R analizados son los que realmente estarían en riesgo cuando se consideran los polimorfismos *TYMS* como elementos predictivos de falla en la terapia con 5-FU, este es el primer reporte del polimorfismo SNP en 3RG>C en una región específica de Venezuela.

Se resalta la importancia de incluir tanto el análisis de TSER como del SNP cuando se analizan enfermos, ya que su conocimiento permite una selección más precisa de los individuos vulnerables a desarrollar toxicidad en distinto grado y quienes necesitarían ajustes de dosis.

Las barreras existentes entre la generación de conocimientos en farmacogenética/farmacogenómica y su integración a la práctica clínica, solo podrán ser superadas con un trabajo interdisciplinario que incluya diversas áreas, entre ellas: la investigación, la educación y las regulaciones del estado.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a los voluntarios que participaron en este estudio, a la Licenciada Carmen Piña por su colaboración en la toma de muestras y a la Licenciada Teresa Oropeza por la colaboración en la ejecución de algunos experimentos. También agradecemos a los Dres. Flor Herrera y Heriberto Correia del Instituto de Investigaciones Biomédicas Dr. Francisco J. Triana-Alonso por su colaboración en cuanto a la utilización de espacios, equipos y algunos reactivos. Este trabajo estuvo financiado por el Fondo Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación (FONACIT) a través de los proyectos: 2012001248 y 2012002328.

### REFERENCIAS

- [1] Vodenkova S. et al. (2020). 5-fluorouracil and other fluoropyrimidines in colorectal cancer: Past, present and future. *Pharmacology & therapeutics* 206, 107447.
- [2] Negarandeh R. et al. (2020). Evaluation of adverse effects of chemotherapy regimens of 5-fluoropyrimidines derivatives and their association with DPYD polymorphisms in colorectal cancer patients. *BMC cancer* 20(1), 560.
- [3] Pullarkat S. et al. (2001). Thymidylate synthase gene polymorphism determines response and toxicity of 5-FU chemotherapy. *The pharmacogenomics journal* 1(1), 65-70.
- [4] Danenberg P. (2004). Pharmacogenomics of thymidylate synthase in cancer treatment. *Frontiers in bioscience: A journal and virtual library* 9, 2484-94.
- [5] Marsh S. (2005). Thymidylate synthase pharmacogenetics. *Investigational new drugs* 23(6), 533-537.
- [6] Krajinovic M. et al. (2002). Polymorphism of the thymidylate synthase gene and outcome of acute lymphoblastic leukaemia. *The Lancet* 359(9311), 1033-1034.
- [7] Thorn C. et al. (2013). PharmGKB: the Pharmacogenomics Knowledge Base. *Methods in molecular biology* 1015, 311-20.
- [8] Lehninger A. et al. (2005) *Principios de bioquímica*. Ediciones Omega.
- [9] Kaneda S. et al. (1990). Structural and functional analysis of the human thymidylate synthase gene. *The Journal of biological chemistry* 265(33), 20277-84.
- [10] Horie N. y Takeishi K. (1997). Identification of functional elements in the promoter region of the human gene for thymidylate synthase and nuclear factors that regulate the expression of the gene. *The Journal of biological chemistry* 272(29), 18375-81.

- [11] Mandola M. et al. (2003). A novel single nucleotide polymorphism within the 5' tandem repeat polymorphism of the thymidylate synthase gene abolishes USF-1 binding and alters transcriptional activity. *Cancer research* 63(11), 2898-2904.
- [12] Dhawan D. y Padh H. (2017). Thymidylate synthase enhancer region: Novel allele in Indians. *Annals of human biology* 44(1), 87-90.
- [13] Marsh S. et al. (1999). Ethnic variation in the thymidylate synthase enhancer region polymorphism among Caucasian and Asian populations. *Genomics* 58(3), 310-2.
- [14] Jennings B. et al. (2012). Functional polymorphisms of folate metabolism and response to chemotherapy for colorectal cancer, a systematic review and meta-analysis. *Pharmacogenetics and genomics* 22(4), 290-304.
- [15] Gusella M. y Padrini R. (2007). G>C SNP of thymidylate synthase with respect to colorectal cancer. *Pharmacogenomics* 8(8), 985-96.
- [16] Kawakami K. y Watanabe G. (2003). Identification and functional analysis of single nucleotide polymorphism in the tandem repeat sequence of thymidylate synthase gene. *Cancer research* 63(18), 6004-7.
- [17] Graziano F. et al. (2004). Association of thymidylate synthase polymorphisms with gastric cancer susceptibility. *International journal of cancer* 112(6), 1010-1014.
- [18] Bolufer P. et al. (2007). The potential effect of gender in combination with common genetic polymorphisms of drug-metabolizing enzymes on the risk of developing acute leukemia. *haematologica* 92(3), 308-314.
- [19] Gallegos M. et al. (2018). TYMS 2R3R polymorphism and DPYD [IVS] 14+ 1G> A mutation genes in Mexican colorectal cancer patients. *Acta Biochimica Polonica* 65(2), 227-234.
- [20] Marsh S. et al. (2015). Pharmacogenomic assessment of Mexican and Peruvian populations. *Pharmacogenomics* 16(5), 441-448.
- [21] Acuña M. et al. (2006). Genetic variants in the enhancer region of the thymidylate synthase gene in the Chilean population. *British journal of clinical pharmacology* 61(6), 778-782.
- [22] Villegas C. et al. (2017). Thymidylate Synthase: Predicted Expression Phenotypes Based on Analysis of Haplotypes (5'UTR/3'UTR) in Venezuelan Population. *Current Pharmacogenomics and Personalized Medicine* 15(2), 105-120.
- [23] Miller S. et al. (1988). A simple salting out procedure for extracting DNA from human nucleated cells. *Nucleic acids res* 16(3), 1215.
- [24] Iacopetta B. et al. (2001). A polymorphism in the enhancer region of the thymidylate synthase promoter influences the survival of colorectal cancer patients treated with 5-fluorouracil. *British journal of cancer* 85(6), 827-30.
- [25] Marsh S. et al. (2000). Novel thymidylate synthase enhancer region alleles in African populations. *Human mutation* 16(6), 528-538.
- [26] Carmona B. et al. (2008). 5' and 3' UTR thymidylate synthase polymorphisms modulate the risk of colorectal cancer independently of the intake of methyl group donors. *Molecular medicine reports* 1(5), 747-752.
- [27] Henríquez L. et al. (2009). Gene polymorphisms in TYMS, MTHFR, p53 and MDR1 as risk factors for breast cancer: a case-control study. *Oncology reports* 22(6), 1425-1433.
- [28] Gao C. et al. (2012). Polymorphisms in the thymidylate synthase gene and risk of colorectal cancer. *Asian Pacific journal of cancer prevention: APJCP* 13(8), 4087-4091.
- [29] Martínez E. et al. (2010). UGT1A and TYMS genetic variants predict toxicity and response of colorectal cancer patients treated with first-line irinotecan and fluorouracil combination therapy. *Bri. Jou. of can.* 103(4), 581-589.
- [30] Páez D. et al. (2011). Pharmacogenetic study in rectal cancer patients treated with preoperative chemoradiotherapy: polymorphisms in thymidylate synthase, epidermal growth factor receptor, GSTP1, and DNA repair genes. *International Journal of Radiation Oncology\* Biology\* Physics* 81(5), 1319-1327.
- [31] Villafranca E. et al. (2001). Polymorphisms of the repeated sequences in the enhancer region of the thymidylate synthase gene promoter may predict downstaging after preoperative chemoradiation in rectal cancer. *Journal of clinical oncology : official journal of the American Society of Clinical Oncology* 19(6), 1779-1786.
- [32] Spindler K. et al. (2007). Germline polymorphisms may act as predictors of response to preoperative chemoradiation in locally advanced T3 rectal tumors. *Diseases of the colon and rectum* 50(9), 1363-1369.
- [33] Tan B. et al. (2011). Thymidylate synthase genotype-directed neoadjuvant chemoradiation for patients with rectal adenocarcinoma. *Journal of clinical oncology : official journal of the American Society of Clinical Oncology* 29(7), 875-583.
- [34] Romiti A. et al. (2016). The TYMS-TSER polymorphism is associated with toxicity of low-dose capecitabine in patients with advanced gastrointestinal cancer. *Anti-cancer drugs* 27(10), 1044-1049.
- [35] Wilks A. y Saif M. (2017). First Case of Foot Drop Associated with Capecitabine in a Patient with Thymidylate Synthase Polymorphism. *Cureus* 9(1), e995.
- [36] Lecomte T. et al. (2004). Thymidylate synthase gene polymorphism predicts toxicity in colorectal cancer patients receiving 5-fluorouracil-based chemotherapy. *Clinical cancer research : an official journal of the American Association for Cancer Research* 10(17), 5880-5888.
- [37] Nalejska E. et al. (2014). Prognostic and predictive biomarkers: tools in personalized oncology. *Molecular diagnosis & therapy* 18(3), 273-284.

- [38] Santini D. et al. (2004). Thymidylate synthase expression in normal colonic mucosa: a predictive marker of toxicity in colorectal cancer patients receiving 5-fluorouracil-based adjuvant chemotherapy. *Oncology* 67 (2), 135-42.
- [39] 39. Marcuello E. et al. (2004). Single nucleotide polymorphism in the 5' tandem repeat sequences of thymidylate synthase gene predicts for response to fluorouracil-based chemotherapy in advanced colorectal cancer patients. *International journal of cancer* 112(5), 733-737.
- [40] Rodríguez Á. et al. (2001). Frecuencia génica y porcentaje de mezcla en diferentes áreas geográficas de Venezuela, de acuerdo a los grupos Rh y ABO. *Interciencia* 26(1), 8-12.
- [41] Wang S. et al. (2008). Geographic patterns of genome admixture in Latin American Mestizos. *PLoS Genet* 4(3), e1000037-e1000037.
- [42] Castro D. y Suárez M. (2010). Sobre el proceso de mestizaje en Venezuela. *Interciencia* 35(9), 654-658.
- [43] Karczewski K. et al. (2020). The mutational constraint spectrum quantified from variation in 141,456 humans. *Nature* 581(7809), 434-443.
- [44] Kawakami K. et al. (2005). Prognostic role of thymidylate synthase polymorphisms in gastric cancer patients treated with surgery and adjuvant chemotherapy. *Clinical cancer research : an official journal of the American Association for Cancer Research* 11(10), 3778-3783.
- [45] Afzal S. et al. (2011). The association of polymorphisms in 5-fluorouracil metabolism genes with outcome in adjuvant treatment of colorectal cancer. *Pharmacogenomics* 12(9), 1257-1267.
- [46] Lurje G. et al. (2009). Thymidylate synthase gene variations: predictive and prognostic markers. *Molecular cancer therapeutics* 8(5), 1000-1007.
- [47] Gibson T. (2006). Polymorphisms in the thymidylate synthase gene predict response to 5-fluorouracil therapy in colorectal cancer. *Clinical colorectal cancer* 5(5), 321-323.
- [48] 48. Zhai X. et al. (2006). Polymorphisms in thymidylate synthase gene and susceptibility to breast cancer in a Chinese population: a case-control analysis. *BMC cancer* 6, 138.
- [49] Dotor E. et al. (2006). Tumor thymidylate synthase 1494del6 genotype as a prognostic factor in colorectal cancer patients receiving fluorouracil-based adjuvant treatment. *Journal of clinical oncology : official journal of the American Society of Clinical Oncology* 24(10), 1603-1611.
- [50] Quinones L. et al. (2014). Perception of the usefulness of drug/gene pairs and barriers for pharmacogenomics in Latin America. *Current drug metabolism* 15(2), 202-208.

# En la búsqueda de nuevos precursores de gasotransmisores de interés clínico, ¿es la Anti-Lewisita británica BAL precursor del H<sub>2</sub>S?

Cristian Buendía-Atencio<sup>1</sup>  
Aura Ximena Gómez Heredia<sup>2</sup>  
Miguel Ángel Delgado Gómez<sup>3</sup>  
Vaneza Paola Loret Velásquez<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup>Universidad Antonio Nariño

<sup>3</sup>Universidad Distrital Francisco José de Caldas

<sup>4</sup>Universidad Militar Nueva Granada  
Colombia

El ácido sulfhídrico H<sub>2</sub>S hace parte del grupo de los gasotransmisores junto con el monóxido de carbono CO y el óxido de nitrógeno NO que, a concentraciones fisiológicas (50-160 μM), pueden presentar efectos protectores, antiapoptóticos, antiinflamatorios y antiproliferativos en células cardiovasculares, endoteliales y nerviosas. Actualmente, se ha considerado que la liberación lenta y moderada de H<sub>2</sub>S puede ser una alternativa para el tratamiento SARS-CoV-2 activando los canales de KATP, expresados en la membrana celular de las células del músculo bronquial que promueve la broncodilatación. En este trabajo se emplearon diversas técnicas y metodologías computacionales para evaluar si el fármaco Anti-Lewisita británica BAL es un candidato precursor del sulfuro de hidrógeno. Como resultados se exploraron las posibles geometrías del BAL y se estimaron las propiedades vibracionales, específicamente se revisaron detalladamente las rotaciones presentes en dos ángulos diedros, para estimar los cambios de energía conformacional permitiendo encontrar seis confórmeros con energías crecientes de -990,437792 hartrees, -990,7432475 hartrees, -990,7431773 hartrees, -990,7423848 hartrees, -990,7414258 hartrees y -990,7383616 hartrees. Se realizó una evaluación energética de cuatro reacciones elementales de la reactividad de BAL en un medio tipo Fenton, con la presencia de radicales hidroxilos con valores de -7,3 y -8,6 kcal/mol para  $C_3H_8OS_2 + \dot{O}H \rightarrow C_3H_7\dot{O}S_2 + H_2O$ , 17,5, 9,5 kcal/mol para  $C_3H_7\dot{O}S_2 \rightarrow C_3H_6S_2OH$ , 18,9, 27,3 kcal/mol para  $C_3H_6S_2OH + H_2O \rightarrow H_2S + H_2O + C_3H_5SO$ , y -87,5 y -96,0 kcal/mol  $C_3H_5SO + \dot{O}H \rightarrow C_3H_6SO_2$  con los métodos MP2 y M06-2X, respectivamente. Estas estimaciones energéticas predicen valores prometedores para considerar a la molécula Anti-Lewisita británica como un posible precursor del gasotransmisor H<sub>2</sub>S.

---

<sup>1</sup> Químico y Doctor en Ciencias Químicas.

Contacto: [c.buendia@uan.edu.co](mailto:c.buendia@uan.edu.co)

<sup>2</sup> Licenciada en Química.

Contacto: [agomez@uan.edu.co](mailto:agomez@uan.edu.co)

<sup>3</sup> Ingeniero Químico y Magíster en Educación.

Contacto: [madelgado@udistrital.edu.co](mailto:madelgado@udistrital.edu.co)

<sup>4</sup> Química Farmacéutica y Doctora en Ciencias Químicas.

Contacto: [vaneza.lorett@unimilitar.edu.co](mailto:vaneza.lorett@unimilitar.edu.co)

## 1. INTRODUCCIÓN

Los gasotransmisores son un grupo de pequeñas moléculas gaseosas como el óxido nítrico NO, el sulfuro de hidrógeno H<sub>2</sub>S, el monóxido de carbono CO y otros gases, que tienen una alta solubilidad en lípidos y pueden penetrar las membranas celulares sin requerir un transportador o receptor específico [1–3]. Los gasotransmisores son generados endógenamente por enzimas específicas y pueden desempeñar varias funciones en concentraciones fisiológicamente relevantes al dirigirse a objetivos celulares y moleculares específicos. Se ha demostrado ampliamente que la generación y el metabolismo anormal de estos gasotransmisores están relacionados con diversos procesos biológicos, como la biología vascular, las funciones inmunitarias, la supervivencia celular, el metabolismo, la longevidad y el desarrollo y la resistencia al estrés [4].

Los gasotransmisores tienen funciones bien definidas en el sistema vascular al regular la contracción y dilatación, ya que tanto el H<sub>2</sub>S como el NO actúan como factores hiperpolarizantes derivados del endotelio o como factores relajantes derivados del endotelio [5]. El H<sub>2</sub>S producido tanto de manera endógena como exógena en bajas concentraciones puede además presentar efectos protectores, antiapoptótico, antiinflamatorios y anti proliferativos en células endoteliales y nerviosas [6]. Los estudios del H<sub>2</sub>S comenzaron en los años 60 con revisiones a la producción endógena de este gas en bacterias con resultados positivos direccionados a la protección y reducción en la sensibilidad a los antibióticos [7].

Citi y colaboradores [8] realizaron un estudio en el que muestran que el mecanismo del SAR-COV2 es a través de la *tormenta de citoquinas* las cuales provocan el crecimiento descontrolado de células proinflamatorias generando un aumento de IL-17 (interleucina citoquina proinflamatoria) que desencadena una amplia cascada proinflamatoria a través de citoquinas como factor de necrosis tumoral TNF. La sintomatología de esta enfermedad se da principalmente en los pulmones manifestando deficiencia respiratoria que presenta una falta de regulación del sistema inmune que conduce a aumentos marcados en permeabilidad del endotelio pulmonar provocando insuficiencia respiratoria aguda, síndrome de angustia y eventos trombóticos en la etapa tardía del contagio, estudios realizados muestran que en pacientes con enfermedades cardiovasculares o patologías metabólicas, diabetes e hipertensión complican el pronóstico de supervivencia al contagio por el Covid-19 [9].

Los últimos estudios han evidenciado la correlación entre la gravedad de la enfermedad Covid-19 y los niveles de H<sub>2</sub>S plasmáticos exponiendo así una relación inversamente proporcional donde a menores cantidades de H<sub>2</sub>S presentes en el plasma los pacientes presentaban a su vez mayor gravedad en el pronóstico del Covid-19. Estos estudios permitieron proponer la administración de H<sub>2</sub>S como una estrategia farmacológica que permitiría restaurar los niveles plasmáticos de este gasotransmisor contrarrestando las graves consecuencias de la enfermedad actual [10]. En la actualidad el descubrimiento y diseño de nuevos fármacos (Drug Discovery) emplea el uso de técnicas computacionales (*in silico*) para la propuesta o selección de candidatos moleculares que representan un ahorro en tiempo y dinero para las farmacéuticas comparado con un modelo tradicional de la década pasada [11].

Los cálculos teóricos y computacionales juegan un papel fundamental en la predicción de propiedades de reactividad química y estimación de valores termodinámicos que son comparables con los datos experimentales, recientemente se estudió la molécula dihidroxiacetona DHA, como potencial molécula liberadora del gasotransmisor monóxido de carbono CO al reaccionar con los radicales hidroxilos generados en una reacción tipo Fenton. Sadhukhan y col. [12] realizaron estudios de análisis NBO para examinar las interacciones entre orbitales, cálculos de la energía de activación respecto al mecanismo de reacción propuesto, estudios de parámetros termodinámicos por etapas y estudios cinéticos a través de la predicción de las constantes de velocidad de las reacciones elementales.

Demostaron que tanto los cálculos computacionales como los ensayos experimentales presentan una alta coincidencia y evidencian la formación del gasotransmisor CO tras observar la reducción de la mioglobina a desoximioglobina al ser expuesta al CO como producto de la reacción del DHA con los radicales hidroxilos presentes en el reactivo Fenton [12]. Este resultado es muy importante ya que puede incidir en una nueva función farmacológica para el DHA, algo que en *drug discovery* se conoce como reposicionamiento de



fármacos. Esta estrategia busca reducir costos, tiempo de investigación y generación de residuos, que generalmente se incrementan con la búsqueda tradicional de fármacos (Figura 1), mediante la atribución de una nueva aplicación terapéutica diferente a la función original de un medicamento [14].

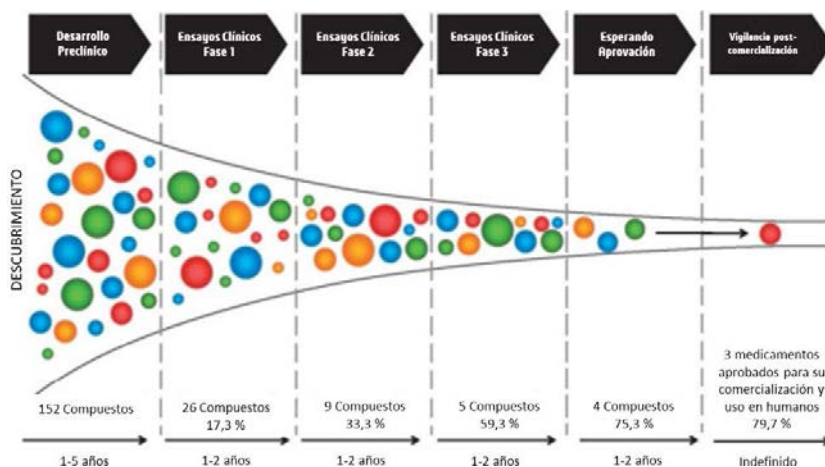


Figura 1. Fases de descubrimiento de un fármaco [13]

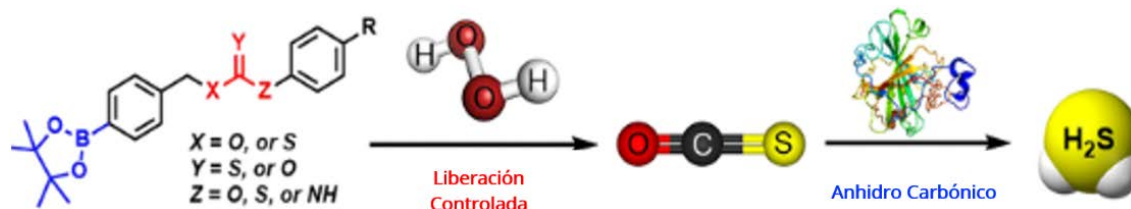
Los recursos tecnológicos igualmente son ampliamente usados para el reposicionamiento de fármacos el cual es una apuesta altamente atractiva ya que implica el uso de compuestos ya sintetizados, sin riesgo, con costes de desarrollo globales potencialmente más bajos y con plazos de desarrollo más cortos, y la ventaja de tener un riesgo de fracaso mucho menor [15]. Algunos de los medicamentos caracterizados por ser reposicionados son: el ácido acetil salicílico (Aspirina) inicialmente se atribuyó a este medicamento la acción de antiinflamatorio; sin embargo en el año 2013 se le atribuyó una nueva indicación de antiplaquetario [16], la bromocriptina, medicamento utilizado inicialmente para el tratamiento de la enfermedad de Parkinson, la hiperprolactinemia y galactorrea, es utilizado actualmente para tratar la diabetes mellitus [17], el raloxifeno fue utilizado originalmente para tratar el cáncer de próstata y de mama; sin embargo se encontraron grandes ventajas al para el tratamiento de la osteoporosis [18], así como estos ejemplos en la actualidad ya se tiene mayor evidencia científica del reposicionamiento de fármacos.

En 2017 se realizó una amplia revisión de las posibles moléculas donadoras de H<sub>2</sub>S y se encontraron moléculas donadoras naturales tiosulfatos, presentes en alimentos como la cebolla y el ajo donde los glóbulos rojos se encargan de degradar estos compuestos a H<sub>2</sub>S (Tabla 1), y moléculas del tipo donantes sintéticos donde se destaca el compuesto morpholin-4-ium 4 methoxyphenyl (morpholino) phosphinodithioate GYY4137 [20], que corresponde a una molécula de liberación lenta que ha mostrado tener actividad vasodilatadora, antihipertensiva, antiinflamatoria y anticancerosa.

Tabla 1. Lista y estructuras de los principales componentes del ajo (*Allium sativum*) [19]

| Compuestos                    | Formula Molecular                                | Estructura |
|-------------------------------|--|------------|
| Allin                         | C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> NO <sub>3</sub> S |            |
| Alicina                       | C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> OS <sub>2</sub>   |            |
| E-Ajoeno                      | C <sub>9</sub> H <sub>14</sub> OS <sub>3</sub>   |            |
| Z-Ajoeno                      | C <sub>9</sub> H <sub>14</sub> OS <sub>3</sub>   |            |
| 2-vinil-4H-1,3-ditiina        | C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> S <sub>2</sub>     |            |
| Sulfuro de dialilo (DAS)      | C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> S                 |            |
| Disulfuro de dialilo (DADS)   | C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> S <sub>2</sub>    |            |
| Trisulfuro de dialilo (DATS)  | C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> S <sub>3</sub>    |            |
| sulfuro de alilo metilo (AMS) | C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> S                  |            |

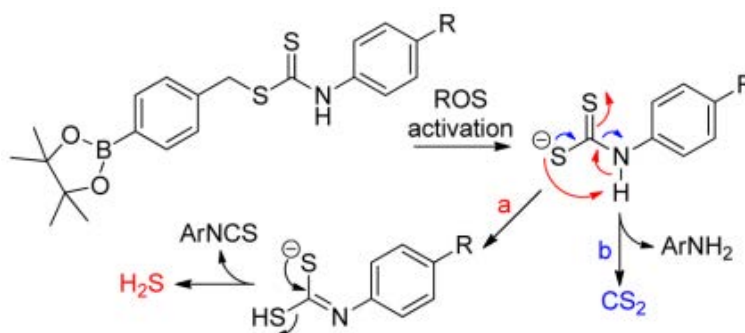
Zhao y colaboradores [21] realizaron una investigación en la cual se propuso un nuevo mecanismo de liberación de H<sub>2</sub>S a partir de sulfuro de carbonilo COS mediante compuestos como los tiocarbamatos, tiocarbonatos y ditiocarbonatos, estos son capaces de liberar COS a partir de la activación de especies reactivas del oxígeno, en este caso la interacción con peróxido de hidrógeno H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, una vez se obtiene el COS este se convierte rápidamente en H<sub>2</sub>S mediante la acción de la enzima anhidrasa carbónica (Figura 2).



**Figura 2.** Diagrama para la obtención de ácido sulfhídrico H<sub>2</sub>S a partir de la obtención de sulfuro de carbonilo COS mediante la activación de un donante con peróxido de hidrógeno H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> [21]

Los donantes propuestos están diseñados para la liberación de COS/H<sub>2</sub>S y para cada uno de ellos se obtuvo información tanto computacional como experimental [21]. Para proporcionar más información acerca de la energía de liberación de COS/H<sub>2</sub>S Zhao y colaboradores [21] realizaron inicialmente una búsqueda conformacional para las geometrías tanto del estado fundamental e intermedio como del estado de transición al nivel de teoría DFT/B3LYP con un conjunto de base 6-311++G(d,p). Después de analizar el mecanismo propuesto, se observa que los principales productos provienen de la oxidación de la eliminación del sulfuro de hidrógeno como ácido sulfhídrico y azufre elemental en soluciones, mientras que las reacciones secundarias corresponden a la eliminación del sulfuro de hidrógeno por oxidación de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y la reacción de hidrólisis.

En la Figura 3 se presenta uno de los mecanismos de reacción propuestos para la liberación de H<sub>2</sub>S directa mediante la activación con especies reactivas de oxígeno, el ditiocarbamato podría liberar espontáneamente el H<sub>2</sub>S por la vía de transferencia de protones del nitrógeno al azufre que resulta en la formación de isotiocianato de arilo y exclusión del gasotransmisor. Este estudio permitió demostrar el acceso a una amplia gama de donantes controlables basados en la liberación de COS [21].



**Figura 3.** Mecanismo de reacción directa para la liberación de H<sub>2</sub>S mediante la activación de ROS de un posible donante [21]

Desde la química es necesario proporcionar diversas fuentes de moléculas donadoras o precursoras de H<sub>2</sub>S debido a la importancia de este gasotransmisor, este trabajo tiene como objetivo principal evaluar a través de diversas técnicas y metodologías computacionales si el fármaco Anti-lewisita británica BAL es un candidato precursor del sulfuro de hidrógeno.

La anti-lewisita británica BAL, con nombre química (R,S)-2,3-Dimercaptopropanol C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>OS<sub>2</sub>, más conocido en como Dimercaprol, es un fármaco inicialmente desarrollado para el tratamiento por envenenamiento con metales (en especial el arsénico, el oro y el mercurio) que fue sintetizado en la Universidad de Oxford en 1940 siendo su uso indispensable en el tratamiento contra los efectos del arma química Lewista usada en la segunda guerra mundial [22]. McElroy y colaboradores [23] atribuyeron al Dimercaprol una nueva función como activador de la enzima glutamato cisteína ligasa GCL y con ello la inhibición de la neuro inflamación, esta molécula es un medicamento que ha presentado gran potencial terapéutico.

## 2. MÉTODO

### 2.1 Cribado virtual de la Anti-lewisita británica BAL

Teniendo en cuenta el trabajo de Sadhukhan y col. [12] se realizó un cribado virtual VS modificando la molécula de dihidroxiacetona DHA, Figura 4a, cambiando grupos hidroxilos OH por grupos tiol SH, considerando que el objetivo de este trabajo es la obtención del gas H<sub>2</sub>S, por lo cual se propone a la molécula propano-1,2,3-tritiool que se muestra en la Figura 4b.

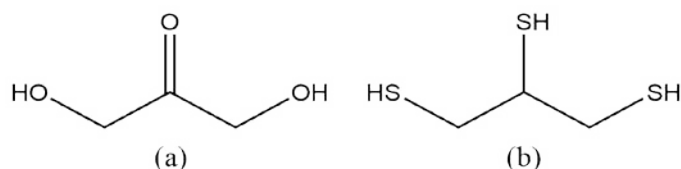


Figura 4. a) Dihidroxiacetona (DHA); b) Propano-1,2,3-tritiool

VS se realizó empleando las bases de datos ChemSpider [24] y Zinc15 [25] basados en la similitud de propano-1,2,3-tritiool; posteriormente, se empleó la base de datos DrugBank [26]. Los resultados fueron analizados y visualizados en el programa DataWarrior que permite la observación de tendencias y patrones de similitud.

### 2.2 Estudio conformacional de la Anti-lewisita británica BAL

Debido a la alta flexibilidad de la molécula de la Anti-lewisita británica y la poca información en la literatura sobre su estructura molecular inicialmente se realizó un análisis conformacional a través de cálculos de la química cuántica a los niveles de teoría MP2, M06-2X y B3LYP combinados con el conjunto de base 6-311+G (*d,p*). El análisis realizado involucro rotaciones de los ángulos diedros S(6)C(5)C(3)S(4) y S(4)C(3)C(2)O(1) cada 20° (ver átomos involucrados en la Figura 5).

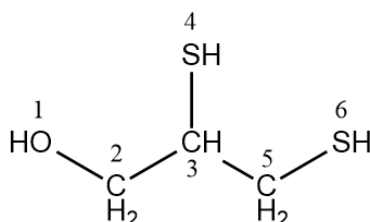
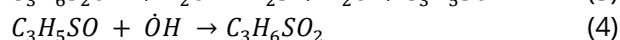
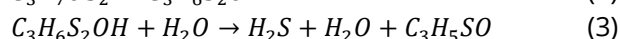
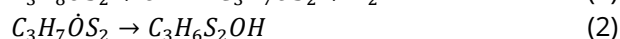
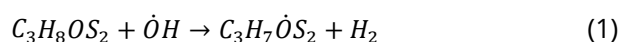


Figura 5. Estructura y numeración para el fármaco Anti-lewisita británica

### 2.3 Estimaciones termoquímicas de la Anti-lewisita británica BAL

Una vez seleccionado el confórmero de la Anti-lewisita británica más estable, se procedió a realizar la estimación de los parámetros geométricos, vibracionales y termoquímicos tanto de la estructura inicial como de los intermediarios del mecanismo de reacción propuesto (ecuaciones (1) a (4)) para la obtención del gasotransmisor ácido sulfhídrico empleando un medio de reacción tipo Fenton.

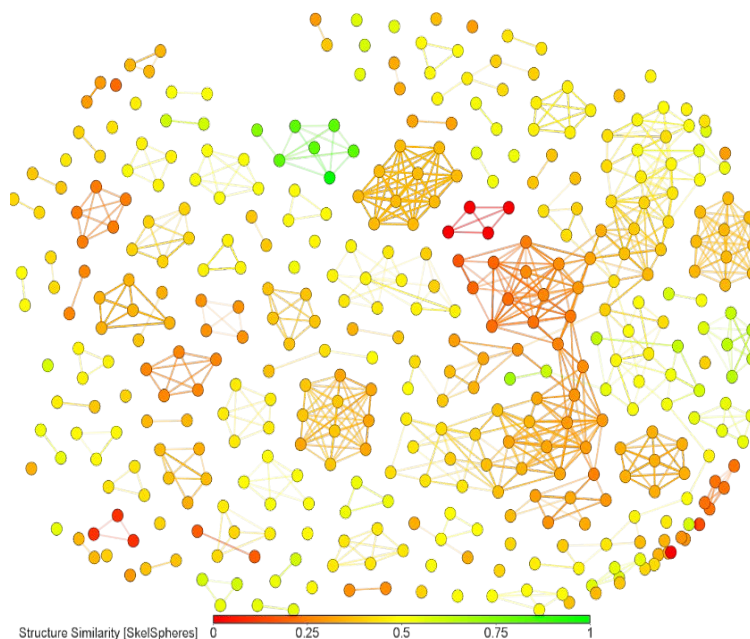


## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

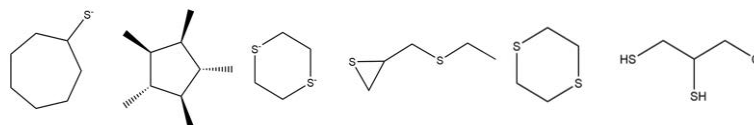
### 3.1 Cribado virtual de la Anti-Lewisita británica BAL

En un primer filtrado se seleccionaron 411 estructuras de las bases de datos ChemSpider [19] y Zinc15 [20] con una relación de una similitud  $\geq 95\%$ . En la Figura 6 se presenta un mapa de similitud respecto a la

molécula propano-1,2,3-tritio, las estructuras en verde corresponden a las de mayor similitud y las rojas corresponden a las estructuras de menor similitud. Posteriormente se filtraron nuevamente y se descartaron estructuras cíclicas y moléculas con átomos halógenos en su estructura como se aprecia en la Figura 7.

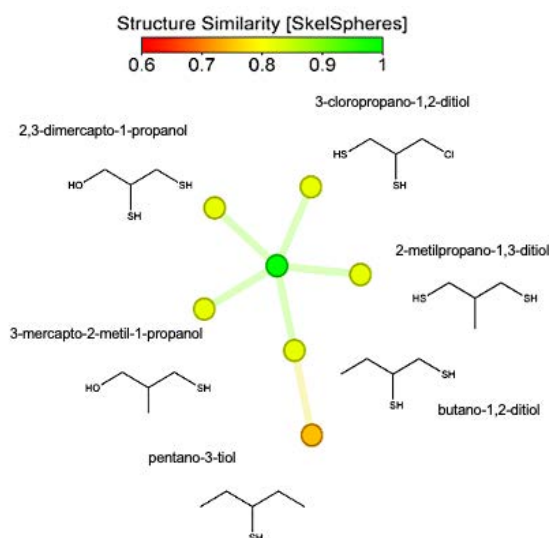


**Figura 6.** Mapa de similitud estructural con respecto a la molécula propano-1,2,3-tritio, las estructuras en verde representan la mayor similitud y las estructuras en rojo la menor similitud



**Figura 7.** Algunas estructuras cíclicas y halogenadas no consideradas en este estudio

En el análisis del mapa de similitud estructural con respecto a la molécula propano-1,2,3-tritio, se observa que en una sección en la parte superior izquierda se localizan las estructuras de mayor porcentaje de similitud, estas fueron ampliadas y se presentan en la Figura 8.



**Figura 8.** Sección de las estructuras que presentan la mayor similitud con respecto a la molécula propano-1,2,3-tritio

Se realizó nuevamente un filtrado respecto al peso molecular entre 110,0 g/mol a 180,0 g/mol este permitió la preselección de 22 estructuras el cual incluyó a aquellas estructuras ubicadas en diversos puntos del mapa de similitud mostrado en la Figura 3 (Tabla 2), con un porcentaje de similitud entre el 60% - 95%.

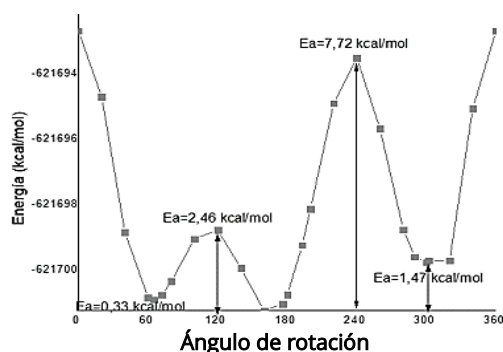
**Tabla 2.** Códigos smiles para las 22 estructuras obtenidas en el cribado virtual. SI representa la aprobación y X no representa la aprobación de las moléculas como fármaco en la base de datos de DrugBank

| Estructuras en código Smile | Fármaco | Estructuras en código Smile | Fármaco |
|-----------------------------|---------|-----------------------------|---------|
| SCCCCS                      | X       | CCSCCCS                     | X       |
| CC(CS)CS                    | X       | CCSC[C@H](C)S               | X       |
| C[C@@H](S)CCS               | X       | CC[C@@H](S)CCS              | X       |
| CSCCCS                      | X       | CC[C@H](S)[C@@H](C)S        | X       |
| C[C@@H](S)[C@@H](C)S        | X       | C[C@H](S)C[C@@H](C)S        | X       |
| CC[C@H](S)CS                | X       | SCC(S)CS                    | X       |
| C[C@H](S)[C@H](C)S          | X       | CCCCCCCS                    | X       |
| OC[C@H](S)CS                | SI      | CCCCC[C@H](C)S              | X       |
| CCCCCCCS                    | X       | SCCCCCCS                    | X       |
| CCCC[C@H](C)S               | X       | CC(C)(C)[C@H](S)CS          | X       |
| SCCCCS                      | X       | CCSCCSC                     | X       |

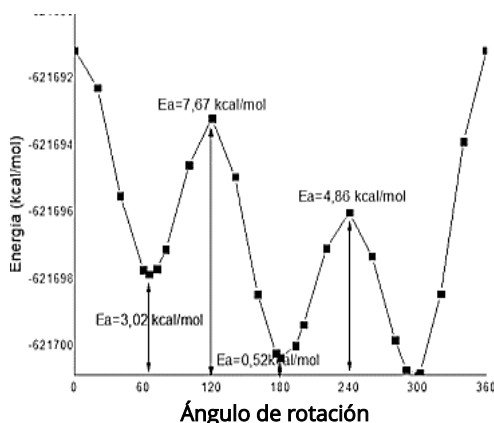
Para que la investigación a futuro sea relevante a nivel experimental y promisorio para el reposicionamiento de fármacos se empleó la base de datos DrugBank el cual tiene información sobre fármacos aprobados por FDA (Administración de medicamentos y alimentos), del análisis de las 22 moléculas la única molécula que cumplió con la aprobación de la FDA fue el dimercapto-1-propanol o dimercaprol (código de acceso a DrugBank DBO6782) [21].

### 3.2 Estudio conformacional de la Anti-Lewisita británica BAL

Después de seleccionar la molécula Anti-lewisita británica (BAL) como molécula de estudio se procedió a realizar un análisis conformacional para conocer la estructura más estable y de mínima energía para los cálculos posteriores de evaluación de la reactividad química. Al realizar las rotaciones de 0° a 360° cada 20° se obtuvieron los diagramas de energías (kcal/mol) contra el ángulo de rotación S1C2C3S6 y S6C3C4O5 (numeración según Figura 2) presentados en las Figuras 9 y 10, respectivamente. En ambas estimaciones se observan estructuras con energías (Ea) que corresponden a 1 mínimo global, 2 mínimos locales y 2 máximos locales. Las diferencias de energías entre estos se presentan en kcal/mol.



**Figura 9.** Energías (kcal/mol) del estudio conformacional respecto a las rotaciones realizadas (0° a 360°) para el ángulo diedro S1C2C3S6

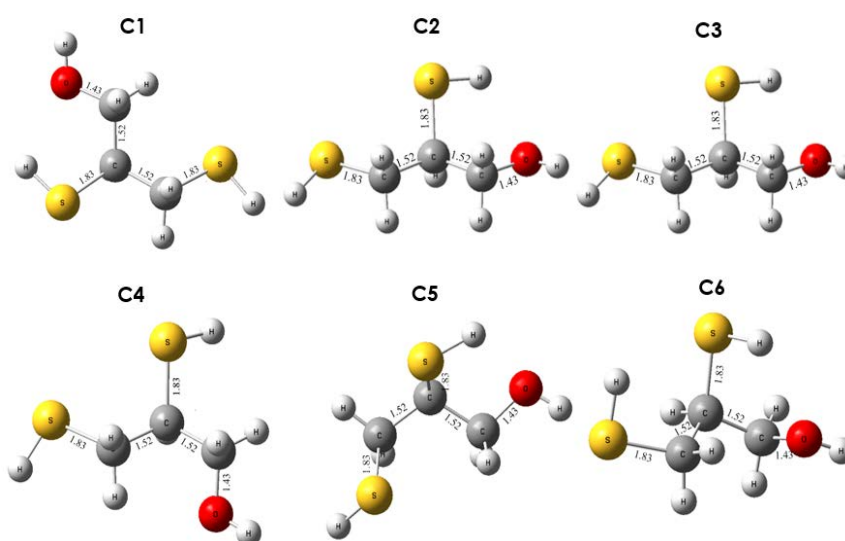


**Figura 10.** Energías (kcal/mol) del estudio conformacional respecto a las rotaciones realizadas (0° a 360°) para el ángulo diedro S6C3C4O5

Posteriormente, se realizó la optimización de los 6 conformeros correspondientes a las estructuras de mínimos locales y globales obtenidas previamente con los métodos MP2 y M06-2X, los resultados de los ángulos se presentan en la Tabla 3 y un ejemplo de los parámetros estructurales obtenidos al nivel MP2 se presentan en la Figura 11.

**Tabla 3.** Ángulos obtenidos de los 6 conformeros de la Anti-lewisita británica BAL bajo el nivel de teoría MP2 y M06-2X con un conjunto de base 6-311+G(*d,p*). Valores reportados en grados (°).

| MP2 | $\angle$ O1-C2-C3 | $\angle$ C3-C1-S5 | DOCC-S | DSCC-S | M06-2X | $\angle$ O1-C2-C3 | $\angle$ C3-C1-S5 | DOCC-S5 | DSCCS |
|-----|-------------------|-------------------|--------|--------|--------|-------------------|-------------------|---------|-------|
| C1  | 107,7             | 110,0             | -60,5  | 174,5  | C1     | 107,4             | 110,3             | -61,2   | 173,9 |
| C2  | 108,0             | 110,4             | -62,5  | 62,5   | C2     | 107,5             | 110,8             | -63,3   | 62,2  |
| C3  | 108,0             | 110,4             | -62,5  | 62,4   | C3     | 107,5             | 110,8             | -63,3   | 62,2  |
| C4  | 107,4             | 110,9             | -178,2 | 63,6   | C4     | 107,0             | 111,2             | -177,9  | 64,6  |
| C5  | 107,3             | 111,5             | -64,8  | -62,8  | C5     | 106,7             | 112,1             | -66,7   | -62,7 |
| C6  | 109,0             | 110,4             | 64,1   | 68,4   | C6     | 107,5             | 114,4             | 66,3    | 68,5  |



**Figura 11.** Parámetros geométricos de los 6 conformeros de la Anti-Lewisita británica BAL. Bajo el nivel de teoría MP2 con un conjunto de base 6-311+G(*d,p*). Distancias reportadas en Å.

Para asegurarnos que las estructuras no correspondían a estados de transición o intermedios no deseados se realizó un cálculo de frecuencias vibracionales armónicas y se detectó que ninguna de ellas predijo una frecuencia con valor negativo. En la Tabla 4 se presentan las frecuencias vibracionales armónicas principales estimados con el método MP2 de cada uno de los conformeros junto con su asignación, que corresponden a vibraciones típicas de la molécula Anti-Lewisita británica tales como la tensión de hidrógeno del grupo tiol, estiramiento del hidrogeno del grupo hidroxilo, tensión entre el oxígeno y el carbono adyacente, balanceo asimétrico del hidrógeno del grupo OH, tensión característica del CH y el CH<sub>2</sub> y una tensión del grupo OH.

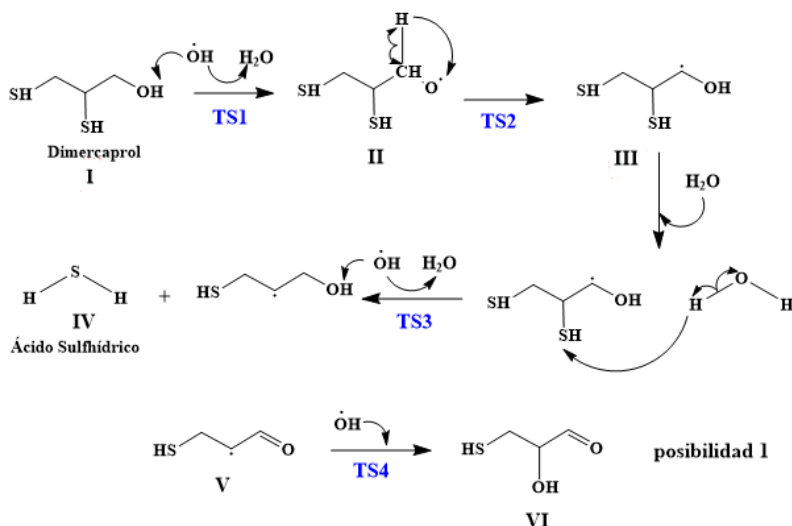
**Tabla 4.** Frecuencias (cm<sup>-1</sup>) y asignaciones para cada uno de los conformeros más estables de la molécula Anti-Lewisita el nivel de teoría MP2/6-311+G(*d,p*)

| Frecuencias vibracionales (cm <sup>-1</sup> ) |      |      |      |      |      | Asignaciones  |
|---|------|------|------|------|------|---|
| C1  | C2   | C3   | C4   | C5   | C6   |   |
| 136   | 144  | 144  | 144  | 149  | 181  | Tensión de hidrógeno respecto a un grupo tiol SH              |
| 715   | 673  | 673  | 714  | 668  | 670  | Vibración de tensión entre el SH y el carbono                 |
| 950   | 970  | 970  | 952  | 986  | 959  | Tensión simétrica doble frente ambos grupos SH                |
| 1089  | 1096 | 1096 | 1105 | 1079 | 1118 | Tensión entre el O del grupo OH y el carbono adyacente        |
| 1268  | 1267 | 1267 | 1268 | 1281 | 1278 | Balanceo asimétrico de los hidrógenos de los grupos CH        |
| 1474  | 1468 | 1468 | 1462 | 1470 | 1461 | Flexión de aleteo (wagging) del grupo OH                      |
| 1552  | 1553 | 1553 | 1556 | 1552 | 1557 | Flexión de tijereteo (scissors) de los grupos CH <sub>2</sub> |
| 2825  | 2817 | 2817 | 2814 | 2820 | 2815 | Tensión simétrica doble frente ambos grupos SH                |
| 2826  | 2823 | 2823 | 2822 | 2823 | 2817 | Tensión asimétrica  |
| 3090  | 3079 | 3079 | 3092 | 3084 | 3084 | Tensiones características de los grupos CH y CH <sub>2</sub>  |
| 3212  | 3199 | 3199 | 3227 | 3205 | 3214 | Tensiones características de los grupos CH y CH <sub>2</sub>  |
| 3882  | 3882 | 3882 | 3877 | 3885 | 3882 | Tensión del grupo OH  |

### 3.3 Estimaciones termoquímicas de la Anti-Lewisita británica BAL

A continuación, se presenta el mecanismo propuesto en este trabajo de la reacción la molécula Anti-lewisita con los radicales hidroxilos generados a partir de una reacción Fenton. El mecanismo comienza con la estructura I que interactúa con un radical hidroxilo, este *ataca* el hidrogeno del grupo OH de la estructura I liberando una molécula de agua y dando paso a la formación de una estructura radicalaria correspondiente a la estructura II; ahora, esta segunda estructura se estabiliza de manera que uno de los hidrógenos del carbono pasa ahora a estabilizar el radical anteriormente formado generando nuevamente el grupo OH y un nuevo radical ahora situado en el carbono que perdió el hidrógeno dando paso a la estructura III.

Posteriormente, la estructura III interactúa con una molécula de agua que dona un hidrógeno al grupo SH más cercano dando paso al primer acercamiento para la formación de ácido sulfhídrico H<sub>2</sub>S (estructura IV), posteriormente el radical OH formado por la pérdida de un hidrogeno en la molécula de agua, interactúa con la estructura III tomando el hidrógeno del grupo OH y formando ahora un doble enlace (estructura V) y una molécula de agua. Finalmente, la estructura V al ser radicalaria debe estabilizarse y se une un radical OH al carbono radical dando paso a la formación de un enlace sencillo y a la molécula estable VI que se muestra en la Figura 12. El mecanismo está basado en el estudio realizado por [12].



**Figura 12.** Mecanismo de reacción propuesto para la generación de ácido sulfhídrico mediante la reacción Fenton la molécula Anti-Lewisita británica

Para una posterior evaluación del mecanismo planteado es necesario inicialmente estimar las energías de reacción ( $\Delta E_r$ ) de las reacciones elementales planteadas en las ecuaciones (1) a (4). Estas energías fueron estimadas con los métodos M06-2X y MP2 y los valores se presentan en la Tabla 5.

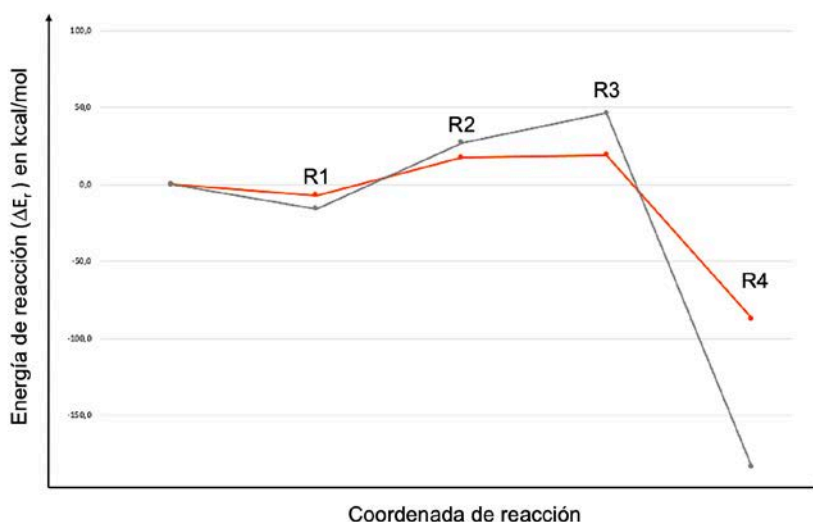
**Tabla 5.** Energías de reacción ( $\Delta E_r$ ) de las reacciones elementales planteadas en el esquema 1 estimadas con los métodos M06-2X y MP2

| Reacción  |     | $\Delta E_r$ (kcal/mol) |        |
|---|-----|-------------------------|--------|
|   |     | MP2                     | M06-2X |
| $C_3H_8OS_2 + \dot{O}H \rightarrow C_3H_7\dot{O}S_2 + H_2O$ | (1) | -7,3                    | -8,6   |
| $C_3H_7\dot{O}S_2 \rightarrow C_3H_6S_2OH$                  | (2) | 17,5                    | 9,5    |
| $C_3H_6S_2OH + H_2O \rightarrow H_2S + H_2O + C_3H_5SO$     | (3) | 18,9                    | 27,3   |
| $C_3H_5SO + \dot{O}H \rightarrow C_3H_6SO_2$                | (4) | -87,5                   | -96,0  |

La ecuación (1) corresponde a una reacción bimolecular y como es de esperar en una reacción radicalaria tipo Fenton esta es favorable con unos valores de  $\Delta E_r$  entre -7,3 kcal/mol y -8,6 kcal/mol para la captación del hidrogeno del grupo OH de la estructura I y de un radical hidroxilo. En la segunda y la tercera reacción propuesta, las ecuaciones (2) y (3) se observan valores de  $\Delta E_r$  positivos en un rango de 9 a 27 kcal/mol entre los dos métodos esperados. La tendencia es la misma sin embargo una diferencia de ~8 kcal/mol entre estos métodos requieren ser evaluados con más detalle, para esto es necesario emplear más métodos de cálculo con el fin de obtener más datos estadísticos [22]. Finalmente, la última reacción R4 corresponde a

la estabilización final de la estructura que se genera una vez se ha formado el H<sub>2</sub>S. La ecuación (4) corresponde a la unión de un grupo OH radical al carbono radical de la estructura V para la formación de la estructura VI, esta presenta unos valores de  $\Delta E_r$  entre -87,5 kcal/mol y -96,0 kcal/mol.

La evaluación de las reacciones elementales se realizó con métodos teóricos de muy alto nivel y las estimaciones describen una curva de reacción característica de reacciones favorecidas energéticamente como se observa en la Figura 13. Esta coordenada de reacción es muy prometedora para considerar a la molécula Anti-Lewisita británica como precursor del gasotransmisor H<sub>2</sub>S. Sin embargo, es necesario en un trabajo posterior estudiar a detalle el mecanismo de la Figura 12 con la participación de las especies intermediarias y las constantes cinéticas de las reacciones R1-R4.



**Figura 13.** Coordenada de reacción de las reacciones propuestas en este trabajo para la generación de ácido sulfhídrico. La línea gris corresponde a los resultados con el método M06-2X/6-311+G(d,p) y la línea roja corresponde al método MP2/6-311+G(d,p)

#### 4. CONCLUSIONES

El cribado virtual es una excelente técnica para direccionar investigaciones con condiciones químicas deseadas en función de la estructura química, en este trabajo se postula a la molécula Anti-Lewisita británica como un fármaco promisorio precursor del gasotransmisor H<sub>2</sub>S.

Un análisis conformacional de la molécula Anti-Lewisita británica permitió encontrar distintas estructuras en la superficie de energía potencial entre ellos los más importantes corresponden a los mínimos locales, adicionalmente se estimaron las frecuencias vibracionales armónicas con sus respectivas asignaciones.

En este trabajo se propone un mecanismo de reacción basado en unas reacciones elementales que involucran al radical hidroxilo y las estimaciones energéticas predicen valores que son muy prometedores para considerar a la molécula Anti-Lewisita británica como un posible precursor del gasotransmisor H<sub>2</sub>S.

#### REFERENCIAS

- [1] Wang R. (2002). Two's company, three's a crowd: can H<sub>2</sub>S be the third endogenous gaseous transmitter?. The FASEB Journal 16(13), 1792-1798.
- [2] Wang R. (2012). Physiological implications of hydrogen sulfide: a whiff exploration that blossomed. Physiological Reviews 92(2), 791-896.
- [3] Wang R. (2014). Gasotransmitters: growing pains and joys. Trends in Biochemical Sciences 39(5), 227-232.
- [4] Yang G. et al. (2016). Gasotransmitters in Biology and Medicine: Molecular Mechanisms and Drug Targets. Oxid Med Cell. 4627308.
- [5] Wang R. (2009). Hydrogen sulfide: a new EDRF. Kidney International 76(7), 700-704.
- [6] Szabo C. (2018). A timeline of hydrogen sulfide (H<sub>2</sub>S) research: From environmental toxin to biological mediator. Biochemical Pharmacology 149, 5-19.



- [7] Stutzenberger F. (1965). Aureus and Escherichia coli to Mercurials. *Appl. Microbiol.* 13, 5-14.
- [8] Citi V. et al. (2020). Anti-inflammatory and antiviral roles of hydrogen sulfide: Rationale for considering H<sub>2</sub>S donors in COVID-19 therapy. *British Journal of Pharmacology* 177(21), 4931-4941.
- [9] Sardu C. et al. (2020). Hypertension, Thrombosis, Kidney Failure, and Diabetes: Is Covid-19 an Endothelial Disease? A Comprehensive Evaluation of Clinical and Basic Evidence. *Journal of Clinical Medicine* 9(5), 1417
- [10] Renieris G. et al. (2020). Serum Hydrogen Sulfide and Outcome Association in Pneumonia by the SARS-CoV-2 Coronavirus. *Shock* 54(5), 633-637.
- [11] Hughes J. et al. (2011). Principles of early drug discovery. *Br J Pharmacol.* 162(6), 1239-49.
- [12] Sadhukhan T. (2017). Fenton's Reagent Catalyzed Release of Carbon Monoxide from 1,3-Dihydroxy Acetone. *The Journal of Physical Chemistry A.* 121(23), 4569-4577.
- [13] Farrell L. et al. (2018). Revitalizing the drug pipeline: AntibioticDB, an open access database to aid antibacterial research and development. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy* 73(9), 2284-2297.
- [14] Naveja J. et al. (2016). Drug Repurposing for Epigenetic Targets Guided by Computational Methods. *Epi-Informatics* 327-357.
- [15] Pushpakom S. et al. (2019). Drug repurposing: Progress, challenges and recommendations. *Nature Reviews Drug Discovery* 18(1), 41-58.
- [16] Patrono C. (2013). El ácido acetilsalicílico continúa siendo objeto de investigación y debate 115 años después de su síntesis. *Revista Española de Cardiología* 66(4), 251-254.
- [17] Holt R. et al. (2010). Bromocriptine: Old drug, new formulation and new indication. *Diabetes, Obesity and Metabolism.* 12(12), 1048-1057.
- [18] Pavone V. et al. (2017). Pharmacological Therapy of Osteoporosis: A Systematic Current Review of Literature. *Frontiers in Pharmacology* 8, 803-890.
- [19] El-Saber G. et al. (2020). Chemical Constituents and Pharmacological Activities of Garlic (*Allium sativum* L.): A Review. *Nutrients* 12(3), 872.
- [20] Ling Li et al. (2008). Characterization of a Novel, Water-Soluble Hydrogen Sulfide-Releasing Molecule (GYY4137). *Circulation* 117, 2351-2360
- [21] Zhao, Y. et al. (2017). Kinetic Insights into Hydrogen Sulfide Delivery from Caged-Carbonyl Sulfide Isomeric Donor Platforms. *Journal of the American Chemical Society* 139(45), 16365-16376.
- [22] Campbell B. (1999). Broadsheet number 48: Mercury, cadmium and arsenic: toxicology and laboratory investigation. *Pathology* 31(1), 17-22.
- [23] McElroy P. et al (2017). Post-translational Activation of Glutamate Cysteine Ligase with Dimercaprol. *Journal of Biological Chemistry* 292(13), 5532-5545.
- [24] Pence H. y Williams A. (2010). ChemSpider: An online chemical information resource. *Journal of chemical education* 87(11), 1123-1124.
- [25] Sterling T. y Irwin J. (2015). ZINC 15 - Ligand Discovery for Everyone. *Journal of Chemical Information and Modeling* 55(11), 2324-2337.
- [26] Wishart D. et al. (2017). DrugBank 5.0: a major update to the DrugBank database for 2018. *Nucleic Acids Res.* 46(D1), D1074-D1082.

# Mitigación de pasivos ambientales de Drenajes Ácidos Mineros DAM mediante reúso del relave minero

Walter Pardavé Livia<sup>1</sup>

Brayan Steven Serrano Uribe<sup>2</sup>

Camilo Hernando Castillo Martínez<sup>3</sup>

*Universidad de Santander*  
Colombia

Los relaves o residuos mineros y los Drenajes Ácidos de Mina DAM son pasivos ambientales que, debido a su inadecuada gestión, han causado problemáticas en el cierre de actividades mineras. Para proponer estrategias para el tratamiento y mitigar su impacto en el ambiente, se realizó una investigación en la que se diseñaron filtros con diferentes materiales, incluyendo los relaves mineros. Los principales resultados provienen de la construcción de cinco prototipos a los que se les realizaron pruebas de funcionalidad en cuanto a neutralización del pH en los DAM, esto permitió la selección de dos prototipos para realizar pruebas piloto. La conclusión es que es posible incluir el relave minero como material filtrante en la elaboración de filtros. Desarrollar el proyecto a gran escala permitiría mitigar pasivos ambientales relacionados con la acumulación de residuos sólidos y generación de DAM, impulsando una economía circular.

---

<sup>1</sup> Magíster en Ingeniería.

Contacto: [wal.pardave@mail.udes.edu.co](mailto:wal.pardave@mail.udes.edu.co)

<sup>2</sup> Ingeniero Ambiental.

Contacto: [brayanserrano1999@hotmail.com](mailto:brayanserrano1999@hotmail.com)

<sup>3</sup> Ingeniero Ambiental.

Contacto: [castillocamilo99@gmail.com](mailto:castillocamilo99@gmail.com)

## 1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la industria minera le ha permitido al ser humano impulsar su crecimiento económico y obtener materias primas para la fabricación de diferentes elementos tecnológicos. En 2020, las exportaciones mineras en Colombia alcanzaron los siete mil setecientos millones de dólares y representan el 25% de las exportaciones totales del país [1]. Sin embargo, existe controversia y lucha en el sector ambiental, económico y social debido a que la minería puede generar problemas en los ecosistemas ambientales: deforestación, contaminación de cuerpos hídricos y baja calidad del aire, entre otros [2].

En la época del renacimiento se arraiga en el ser humano una visión antropocéntrica de ver la vida [3] haciéndole creer que sus decisiones pueden someter a la naturaleza para su beneficio en el desarrollo económico e industrial, dejando a un lado las posibles afectaciones sobre el medio ambiente; a raíz de diversas inconformidades hacia este pensamiento surge en la séptima década del siglo XX un movimiento denominado biocentrismo, el cual promueve que todos los seres vivos merecen respeto sin ser medidos mediante escalafones de jerarquización, apreciando como valor elemental el derecho a la vida [4, 5].

Con el nacimiento del biocentrismo comenzó un cambio paulatino en la percepción del ser humano hacia la naturaleza, dando paso a una preocupación colectiva por la conservación del medio ambiente para las generaciones futuras; en 1983 la comisión Brundtland, constituida por la Asamblea General de las Naciones Unidas AGNU, da el origen al concepto de desarrollo sostenible [6], el cual es definido como aquel desarrollo que permite satisfacer las necesidades actuales de la humanidad ejerciendo un equilibrio entre el sector ambiental, económico y social, concediendo a las generaciones futuras la misma posibilidad de satisfacer sus necesidades con un ambiente en buenas condiciones [7].

Es imposible ejecutar actividades en los sectores industriales sin que estas generen impactos positivos o negativos sobre el medio, una posible solución a estos va más allá de impedir el desarrollo de las industrias, el reto está en lograr aquel equilibrio que hace mención el desarrollo sostenible, para ello, el concepto de mitigación se vuelve crucial, pues el objetivo no es impedir la ejecución de proyectos si no mediante la ingeniería y tecnologías poder mitigar los impactos negativos y conservar los positivos. Por esta razón en este capítulo se habla sobre la mitigación de pasivos ambientales en el sector minero.

En general, los pasivos ambientales se definen como la suma de los daños no compensados generados por una empresa a lo largo de su historia [8], esto representa una amenaza para la conservación del planeta y la salud humana puesto que la insalubridad del medio ambiente provoca anualmente la muerte de 12,6 millones de personas [9].

Hablar de Pasivos Ambientales Mineros PAM es mencionar un área donde existe la necesidad de restaurar, mitigar o compensar un daño ambiental no gestionado producido por actividades mineras en su fase de exploración, construcción, operación y cierre [10]. *Para suplir esta necesidad es indispensable poseer lineamientos sobre los incentivos para el control de los PAM, incluyendo el cierre de faenas mineras* [11]. La preocupación radica en que la legislación colombiana no hace referencia sobre los PAMs. Sin embargo: *existe la necesidad de la identificar las áreas afectadas por la actividad minera abandonada con el fin de proceder a la identificación de los PAM y tomar decisiones respecto a su remediación. De esta manera, se deslinda la vieja industria minera de la nueva, abriendo posibilidades para nuevos proyectos que preserven el ambiente y eviten el deterioro de los recursos naturales, denominada por los empresarios mineros "Minería Responsable* [10].

La responsabilidad ambiental empresarial no se debe hacer a un lado, ya que el medio ambiente es fuente principal generadora de ingresos de numerosas empresas mineras; Si no se minimiza su impacto y regula su manejo se podría tener una pérdida parcial o total de los ecosistemas, ya que muchas de estas empresas no reconocen el daño que le hacen al medio ambiente al momento de explotarlo [12]:

*los pasivos ambientales mineros son aquellos elementos, tales como instalaciones, edificaciones, infraestructuras, superficies afectadas por vertidos, depósitos de residuos mineros, tramos de cauces perturbados, áreas de talleres, parques de maquinaria o parques de mineral que, estando en la actualidad en entornos de minas abandonadas o paralizadas, constituyan un riesgo potencial permanente para la salud y seguridad de la población, para la biodiversidad y para el ambiente* [13].

En el grupo de elementos que componen los PAM es importante destacar a los relaves mineros, definidos: *desecho de los procesos de beneficio y transformación del mineral compuesto por una fase sólida, líquida y gaseosa, que dependiendo de sus características físicas y químicas debe someterse a diferentes tratamientos para su transporte y posterior disposición en presas o depósitos* [14].

Su importancia radica en que estos al dejarse abandonados sin una gestión adecuada promueven la contaminación de cuerpos hídricos y la afectación de suelos de la zona de influencia de sus depósitos, a su vez causan afectación al paisaje y dependiendo de su composición fisicoquímica son potenciales generadores de los Drenajes Ácidos de Mina DAM [15]. Los DAM se generan como consecuencia del proceso extractivo en la actividad minera, estos son producidos mediante la oxidación de rocas que contienen minerales sulfurosos [16]. Su principal característica es la acidez en el pH y contenido de algunos metales como hierro, aluminio, mercurio, plomo, entre otros [17].

Con la finalidad de mitigar las afectaciones que generan los DAM sobre el medio ambiente, se han diseñado diferentes métodos de tratamiento como: humedales artificiales aeróbicos y anaeróbicos, drenajes anóxicos con calcáreos, productores continuos de alcalinidad, canales de caliza, reactores biológicos pasivos, entre otros [18]. Sin embargo, se hace necesario promover propuestas innovadoras en el tratamiento de los DAM, es por ello por lo que en este trabajo se propone la reutilización de los relaves o residuos mineros como material para el diseño de un filtro que permita la neutralización de los DAM y mitigar pasivos ambientales.

## 2. MÉTODO

Esta investigación se llevó a cabo empleando la metodología de Desing Thinking enfocándose en la recolección de la información referente al problema a solucionar y su abordaje desde la creatividad a través de métodos iterativos que buscan tener un punto de referencia más amplio cada vez que se abordan las posibles soluciones. A su vez, se procuró tener una aproximación a los materiales y procesos de producción con los que se desarrollan las soluciones obtenidas. La recolección de la información se realizó en las bases de datos de SciELO, Google académico y referencias relacionadas en artículos encontrados, y entre los criterios de selección se tuvo en cuenta la confiabilidad de la información, el reconocimiento del autor, la poca antigüedad de publicación y el tipo de investigación realizada.

Se definió como entorno de estudio e impacto los pasivos ambientales provenientes de minas auríferas ubicadas en el municipio de California, Santander, Colombia. Allí se tomaron muestras de relave minero para el diseño de un filtro que incorpore estos residuos y permita la neutralización del pH en aguas ácidas. Posteriormente se recolectaron muestras de DAM para evaluar la eficacia del filtro. En la Figura 1 se describe detalladamente la metodología implementada para el desarrollo de este trabajo investigativo.

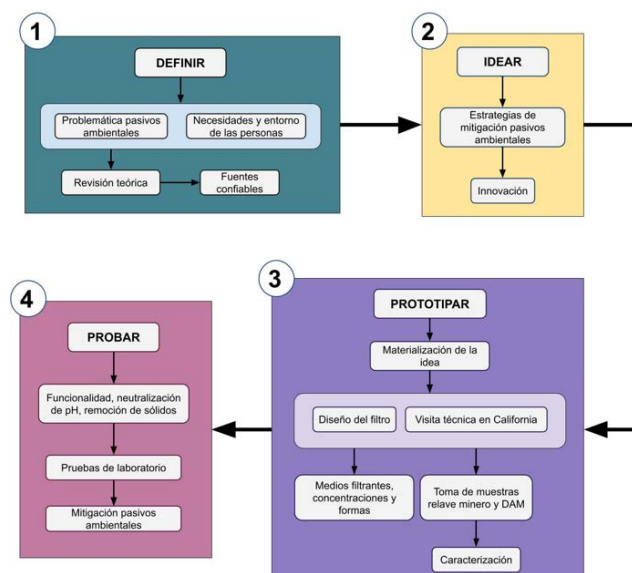


Figura 1. Metodología de trabajo implementada

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Se presenta una propuesta de mitigación de PAM mediante el diseño final de cinco filtros elaborados incluyendo en la mezcla relave o residuo minero, estos son producto de cuatro fases exploratorias en donde se construyeron 20 filtros variando sus materiales filtrantes para posteriormente someterlos a pruebas de neutralización de DAM y observar su comportamiento a través del tiempo. Como parámetros de selección y construcción de los filtros finales se tuvo en cuenta variables como, velocidad de filtrado, neutralización del pH y remoción de sólidos. En la Figura 2 se observan los cinco filtros mencionados y la composición porcentual con respecto al peso de los lechos filtrantes que componen cada uno de los filtros.

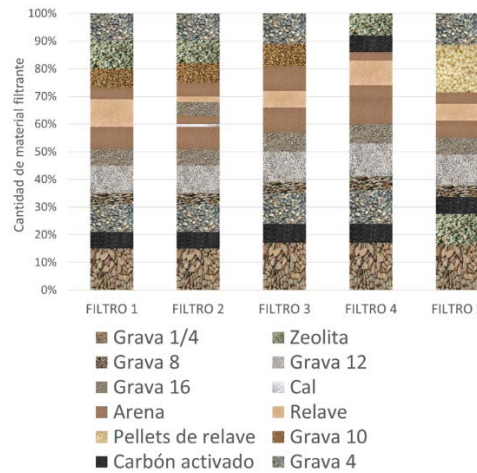


Figura 2. Composición porcentual del material de los filtros finales

A los filtros mencionados en la Figura 2 se les realizaron pruebas de funcionalidad en cuanto a neutralización de la acidez durante 17 días, estas consistieron en generar un fluido ácido en cada uno de los filtros y posteriormente medir el pH en los efluentes, para ello, inicialmente en una fase experimental se usó una solución de ácido clorhídrico HCl con pH entre 2,0 y 2,8.

Luego de verificar la funcionalidad de los filtros, se utilizó una muestra de DAM con pH 2,5 proveniente de una mina aurífera ubicada en el municipio de California, Santander con coordenadas 7,37331° N, 72,90617° O. En la figura 3 se ilustra la boca de la mina, en la Figura 4 se visualiza la medición del pH del drenaje en la mina y en la Figura 5 se observa la escorrentía del DAM.



Figura 3



Figura 4



Figura 5

Dentro de las pruebas realizadas, cada día se llevó a cabo dos inspecciones visuales, la primera fue sobre la velocidad del filtrado y se buscó determinar si existe alguna relación entre los tiempos de filtración y el valor del pH en el efluente, para ello, el proceso de filtrado se llevó a cabo mediante dos métodos: por gravedad y al vacío, estos se pueden observar en las Figuras 6 y 7 respectivamente. La segunda inspección visual se realizó con respecto a la capacidad de remoción de sólidos de cada filtro. En la Figura 8 se observa el DAM denominado como afluente, este se encuentra con turbidez, sin embargo, luego de filtrarse al vacío, en la Figura 9 se visualiza el drenaje de mina neutralizado y sin turbidez.



Figura 6. Filtrado de HCl por gravedad



Figura 7. Filtrado de DAM al vacío



Figura 8. DAM afluente



Figura 9. DAM filtrado efluente

En las Tablas 1 a 5 se encuentran registrados los resultados de las mediciones de neutralización del pH y las inspecciones visuales de los filtros 1, 2, 3, 4 y 5 respectivamente. Estos resultados son evaluados respecto a la resolución 0631 de 2015 en la cual se establecen los parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas – ARnD a cuerpos de aguas superficiales de actividades de minería [19]. Este autor define un rango entre 6 a 9 como valores máximos permisibles para el pH de vertimientos en el sector de la minería aurífera, por lo que este será la rúbrica de evaluación de la funcionalidad de los filtros.

Tabla 1. Resultados de medición en la neutralización del pH en el filtro 1

| Día | Fluido | PH inicial | PH final | Observaciones   |
|-----|--------|------------|----------|---|
| 1   | DAM    | 2,5        | 6,4      | El filtrado al vacío es lento, reduce considerablemente el color y los sólidos en el efluente |
| 2   | HCl    | 2,4        | 6,9      | El filtrado al vacío es lento y no presenta sólidos en el efluente                            |
| 3   | HCl    | 2,5        | 6,9      | El filtrado al vacío es lento y no presenta sólidos en el efluente                            |
| 4   | DAM    | 2,5        | 7,1      | El filtrado al vacío es lento, reduce considerablemente el color y los sólidos en el efluente |
| 5   | HCl    | 2,5        | 7,1      | El filtrado al vacío es lento y no presenta sólidos en el efluente                            |
| 6   | HCl    | 2,3        | 7,8      | El filtrado se realiza por gravedad, es muy lento y no presenta sólidos en el efluente        |
| 7   | HCl    | 2,3        | 7,2      | El filtrado al vacío es lento y no presenta sólidos en el efluente                            |
| 8   | HCl    | 2,0        | 7,1      | El filtrado al vacío es lento y no presenta sólidos en el efluente                            |
| 9   | HCl    | 2,1        | 6,9      | El filtrado al vacío es lento y no presenta sólidos en el efluente                            |
| 10  | HCl    | 2,0        | 6,8      | El filtrado al vacío es lento y no presenta sólidos en el efluente                            |
| 11  | HCl    | 2,0        | 6,9      | El filtrado al vacío es lento y no presenta sólidos en el efluente                            |
| 12  | HCl    | 2,0        | 6,8      | El filtrado al vacío es lento y no presenta sólidos en el efluente                            |
| 13  | HCl    | 2,7        | 7,1      | El filtrado al vacío es lento y no presenta sólidos en el efluente                            |
| 14  | HCl    | 2,4        | 8,1      | El filtrado se realiza por gravedad, es muy lento y no presenta sólidos en el efluente        |
| 15  | HCl    | 2,5        | 7,1      | El filtrado al vacío es lento y no presenta sólidos en el efluente                            |
| 16  | DAM    | 2,5        | 7,0      | El filtrado al vacío es lento, reduce considerablemente el color y los sólidos en el efluente |
| 17  | HCl    | 2,8        | 7,1      | El filtrado al vacío es lento y no presenta sólidos en el efluente                            |

Según la tabla anterior, el filtro 1 realiza un proceso de filtración lento y es efectivo al momento de remover sólidos de un fluido. Todos los valores de pH en el efluente se encuentran en un rango de 6,4 a 8,1 por lo que cumple con lo estipulado en [19] y se puede decir que este filtro es funcional en cuanto a neutralización del pH en el periodo evaluado. Para comprender de una manera ilustrada los resultados obtenidos, en la Figura 10 se observa la tendencia del pH en el efluente del filtro 1 durante 17 días. Se observan dos picos sobresalientes, uno en el día 6 y otro en el 14, es importante destacar que estos fueron los días en donde el filtrado se realizó por gravedad y la velocidad de filtración fue menor en comparación con los demás días

en donde el filtrado fue al vacío. Adicional a ello se puede inferir que la capacidad de neutralización de pH no se ve disminuida a través del tiempo.

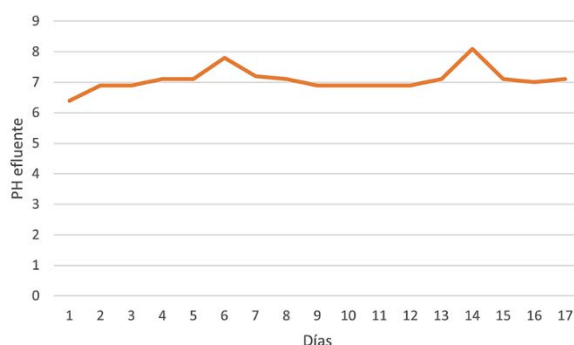


Figura 10. Tendencia de pH en el efluente del filtro 1

Tabla 2. Resultados de medición en la neutralización del pH en el filtro 2

| Día | Fluido | PH inicial | PH final | Observaciones   |
|-----|--------|------------|----------|---|
| 1   | DAM    | 2,5        | 6,2      | El filtrado al vacío es rápido, reduce considerablemente el color y los sólidos en el efluente                              |
| 2   | HCl    | 2,4        | 6,3      | El filtrado al vacío es rápido y no presenta sólidos en el efluente   |
| 3   | HCl    | 2,5        | 6,6      | El filtrado al vacío es rápido y no presenta sólidos en el efluente   |
| 4   | DAM    | 2,5        | 6,5      | El filtrado al vacío es rápido, reduce considerablemente el color y los sólidos en el efluente                              |
| 5   | HCl    | 2,5        | 6,7      | El filtrado al vacío es rápido y no presenta sólidos en el efluente   |
| 6   | HCl    | 2,3        | 7,8      | El filtrado se realiza por gravedad, es lento y no presenta sólidos en el efluente  |
| 7   | HCl    | 2,3        | 6,9      | El filtrado al vacío es rápido y no presenta sólidos en el efluente   |
| 8   | HCl    | 2,0        | 6,6      | El filtrado al vacío es rápido y no presenta sólidos en el efluente   |
| 9   | HCl    | 2,1        | 6,7      | El filtrado al vacío es rápido y el efluente se observa con turbiedad, hay presencia de sólidos finos en la capa de algodón |
| 10  | HCl    | 2,0        | 6,5      | El filtrado al vacío es rápido y el efluente se observa con turbiedad, hay presencia de sólidos finos en la capa de algodón |
| 11  | HCl    | 2,0        | 6,4      | El filtrado al vacío es rápido y el efluente se observa con turbiedad, hay presencia de sólidos finos en la capa de algodón |
| 12  | HCl    | 2,0        | 6,9      | El filtrado al vacío es rápido y el efluente se observa con turbiedad, hay presencia de sólidos finos en la capa de algodón |
| 13  | HCl    | 2,7        | 6,7      | El filtrado al vacío es rápido y el efluente se observa con turbiedad, hay presencia de sólidos finos en la capa de algodón |
| 14  | HCl    | 2,4        | 7,9      | El filtrado se realiza por gravedad, es lento y no presenta sólidos en el efluente  |
| 15  | HCl    | 2,5        | 6,7      | El filtrado al vacío es rápido y el efluente se observa con turbiedad, hay presencia de sólidos finos en la capa de algodón |
| 16  | DAM    | 2,5        | 7,1      | El filtrado al vacío es rápido, reduce considerablemente el color y los sólidos en el efluente                              |
| 17  | HCl    | 2,8        | 6,9      | El filtrado al vacío es rápido y el efluente se observa con turbiedad, hay presencia de sólidos finos en la capa de algodón |

Según la tabla anterior, el filtro 2 realiza un proceso de filtración rápido y es efectivo al momento de remover sólidos de un fluido, sin embargo, hacia el día 9 comienza a presentar un poco de turbiedad en el efluente, esto se debe a la colmatación de los lechos filtrantes en un proceso de traslado de partículas finas del relave minero a las capas descendentes de grava. Todos los valores de pH en el efluente se encuentran en un rango de 6,2 a 7,9 por lo que cumple con lo estipulado en [19] y se puede decir que este filtro es funcional en cuanto a neutralización del pH en el periodo evaluado. Para comprender mejor los resultados obtenidos, en la Figura 11 se observa la tendencia del pH en el efluente del filtro 2 durante 17 días.

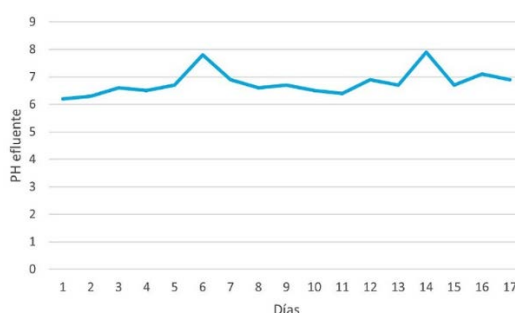


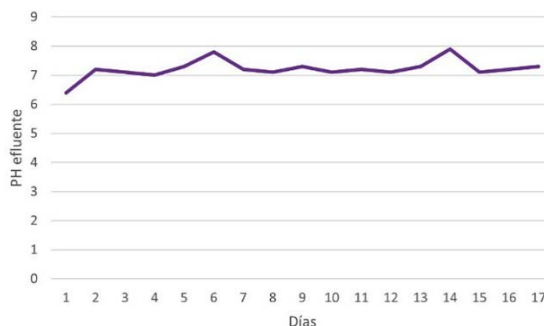
Figura 11. Tendencia de pH en el efluente del filtro 2

En la Figura 11 presentada previamente se observan dos picos sobresalientes, uno en el día 6 y otro en el 14, es importante destacar que estos fueron los días en donde el filtrado se realizó por gravedad y la velocidad de filtración fue menor en comparación con los demás días en donde el filtrado fue al vacío. Adicional a ello se puede inferir que la capacidad de neutralización de pH no se ve disminuida en el tiempo.

**Tabla 3.** Resultados de medición en la neutralización del pH en el filtro 3

| Día | Fluido | PH inicial | PH final | Observaciones   |
|-----|--------|------------|----------|---|
| 1   | DAM    | 2,5        | 6,4      | El filtrado al vacío es lento, reduce considerablemente el color y los sólidos en el efluente |
| 2   | HCl    | 2,4        | 7,2      | El filtrado al vacío es lento y no presenta sólidos en el efluente                            |
| 3   | HCl    | 2,5        | 7,1      | El filtrado al vacío es lento y no presenta sólidos en el efluente                            |
| 4   | DAM    | 2,5        | 7,0      | El filtrado al vacío es lento, reduce considerablemente el color y los sólidos en el efluente |
| 5   | HCl    | 2,5        | 7,3      | El filtrado al vacío es lento y no presenta sólidos en el efluente                            |
| 6   | HCl    | 2,3        | 7,8      | El filtrado se realiza por gravedad, es muy lento y no presenta sólidos en el efluente        |
| 7   | HCl    | 2,3        | 7,2      | El filtrado al vacío es lento y no presenta sólidos en el efluente                            |
| 8   | HCl    | 2,0        | 7,1      | El filtrado al vacío es lento y no presenta sólidos en el efluente                            |
| 9   | HCl    | 2,1        | 7,3      | El filtrado al vacío es lento y no presenta sólidos en el efluente                            |
| 10  | HCl    | 2,0        | 7,1      | El filtrado al vacío es lento y no presenta sólidos en el efluente                            |
| 11  | HCl    | 2,0        | 7,2      | El filtrado al vacío es lento y no presenta sólidos en el efluente                            |
| 12  | HCl    | 2,0        | 7,1      | El filtrado al vacío es lento y no presenta sólidos en el efluente                            |
| 13  | HCl    | 2,7        | 7,3      | El filtrado al vacío es lento y no presenta sólidos en el efluente                            |
| 14  | HCl    | 2,4        | 7,9      | El filtrado se realiza por gravedad, es muy lento y no presenta sólidos en el efluente        |
| 15  | HCl    | 2,5        | 7,1      | El filtrado al vacío es lento y no presenta sólidos en el efluente                            |
| 16  | DAM    | 2,5        | 7,2      | El filtrado al vacío es lento, reduce considerablemente el color y los sólidos en el efluente |
| 17  | HCl    | 2,8        | 7,3      | El filtrado al vacío es lento y no presenta sólidos en el efluente                            |

Según la tabla anterior, el filtro 3 realiza un proceso de filtración lento y es efectivo al momento de remover sólidos de un fluido. Todos los valores de pH en el efluente se encuentran en un rango de 6,4 a 7,9 por lo que cumple con lo estipulado en [19] y se puede decir que este filtro es funcional en cuanto a neutralización del pH en el periodo evaluado. Para comprender de una manera ilustrada los resultados obtenidos, en la Figura 12 se observa la tendencia del pH en el efluente del filtro 3 durante 17 días.



**Figura 12.** Tendencia de pH en el efluente del filtro 2

En la figura presentada previamente se observan dos picos sobresalientes, uno en el día 6 y otro en el 14, es importante destacar que estos fueron los días en donde el filtrado se realizó por gravedad y la velocidad de filtración fue menor en comparación con los demás días en donde el filtrado fue al vacío. Adicional a ello se puede inferir que la capacidad de neutralización de pH no se ve disminuida a través del tiempo.

**Tabla 4.** Resultados de medición en la neutralización del pH en el filtro 4

| Día | Fluido | PH inicial | PH final | Observaciones   |
|-----|--------|------------|----------|---|
| 1   | DAM    | 2,5        | 6,7      | El filtrado al vacío es lento, reduce considerablemente el color y los sólidos en el efluente                               |
| 2   | HCl    | 2,4        | 7,1      | El filtrado al vacío es lento y no presenta sólidos en el efluente  |
| 3   | HCl    | 2,5        | 6,9      | El filtrado al vacío es lento y no presenta sólidos en el efluente  |
| 4   | DAM    | 2,5        | 7,0      | El filtrado al vacío es lento, reduce considerablemente el color y los sólidos en el efluente                               |
| 5   | HCl    | 2,5        | 7,0      | El filtrado al vacío es lento y no presenta sólidos en el efluente  |
| 6   | HCl    | 2,3        | 7,6      | El filtrado se realiza por gravedad, es muy lento y no presenta sólidos en el efluente                                      |
| 7   | HCl    | 2,3        | 6,7      | El filtrado al vacío es lento y no presenta sólidos en el efluente  |
| 8   | HCl    | 2,0        | 6,7      | El filtrado al vacío es lento y no presenta sólidos en el efluente  |
| 9   | HCl    | 2,1        | 6,1      | El filtrado al vacío es rápido y el efluente se observa con turbiedad, hay presencia de sólidos finos en la capa de algodón |



|    |     |     |     |   |
|----|-----|-----|-----|---|
| 10 | HCl | 2,0 | 6,0 | El filtrado al vacío es rápido y el efluente se observa con turbiedad, hay presencia de sólidos finos en la capa de algodón |
| 11 | HCl | 2,0 | 6,0 | El filtrado al vacío es rápido y el efluente se observa con turbiedad, hay presencia de sólidos finos en la capa de algodón |
| 12 | HCl | 2,0 | 6,1 | El filtrado al vacío es rápido y el efluente se observa con turbiedad, hay presencia de sólidos finos en la capa de algodón |
| 13 | HCl | 2,7 | 6,5 | El filtrado al vacío es rápido y el efluente se observa con turbiedad, hay presencia de sólidos finos en la capa de algodón |
| 14 | HCl | 2,4 | 7,5 | El filtrado se realiza por gravedad, es muy lento y no presenta sólidos en el efluente                                      |
| 15 | HCl | 2,5 | 6,2 | El filtrado al vacío es rápido y el efluente se observa con turbiedad, hay presencia de sólidos finos en la capa de algodón |
| 16 | DAM | 2,5 | 6,5 | El filtrado al vacío es rápido, reduce considerablemente el color y los sólidos en el efluente                              |
| 17 | HCl | 2,8 | 7,0 | El filtrado al vacío es rápido y el efluente se observa con turbiedad, hay presencia de sólidos finos en la capa de algodón |

Según la tabla anterior, el filtro 4 realiza un proceso de filtración lento hasta el día 9 en donde su dinámica cambia y comienza a filtrar rápidamente. Es efectivo al momento de remover sólidos de un fluido, sin embargo, hacia el día 9 comienza a presentar un poco de turbiedad en el efluente, esto se debe a la colmatación de los lechos filtrantes en un proceso de traslado de partículas finas del relave minero a las capas descendentes de grava. Todos los valores de pH en el efluente se encuentran en un rango de 6,0 a 7,6 por lo que cumple con lo estipulado en [19] y se puede decir que este filtro es funcional en cuanto a neutralización del pH en el periodo evaluado. Para comprender de una manera ilustrada los resultados obtenidos, en la Figura 13 se observa la tendencia del pH en el efluente del filtro 4 durante 17 días.

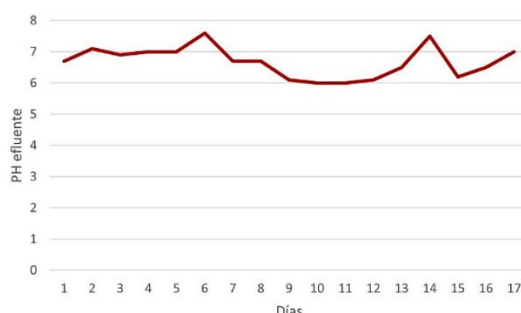


Figura 13. Tendencia de pH en el efluente del filtro 4

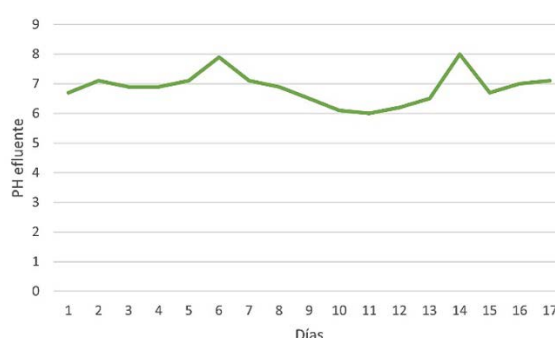
En la figura presentada previamente se observan dos picos sobresalientes, uno en el día 6 y otro en el 14, es importante destacar que estos fueron los días en donde el filtrado se realizó por gravedad y la velocidad de filtración fue menor en comparación con los demás días en donde el filtrado fue al vacío. Adicional a ello se visualiza un descenso en los valores del pH a partir del día 9 en donde también aumenta la velocidad de filtrado, en el día 14 la velocidad de filtrado disminuye al realizarse por gravedad y aumenta el valor del pH, pero al filtrar nuevamente al vacío y aumentar la velocidad de filtración, los valores de pH vuelven a descender. Lo anterior permite plantear la hipótesis de que, a mayor tiempo de filtración, mayor será el valor del pH en el efluente.

Tabla 5. Resultados de medición en la neutralización del pH en el filtro 5

| Día | Fluido | PH inicial | PH final | Observaciones   |
|-----|--------|------------|----------|---|
| 1   | DAM    | 2,5        | 6,7      | El filtrado al vacío es lento, reduce considerablemente el color y los sólidos en el efluente |
| 2   | HCl    | 2,4        | 7,1      | El filtrado al vacío es lento y no presenta sólidos en el efluente                            |
| 3   | HCl    | 2,5        | 6,9      | El filtrado al vacío es lento y no presenta sólidos en el efluente                            |
| 4   | DAM    | 2,5        | 6,9      | El filtrado al vacío es lento, reduce considerablemente el color y los sólidos en el efluente |
| 5   | HCl    | 2,5        | 7,1      | El filtrado al vacío es lento y no presenta sólidos en el efluente                            |
| 6   | HCl    | 2,3        | 7,9      | El filtrado se realiza por gravedad, es muy lento y no presenta sólidos en el efluente        |
| 7   | HCl    | 2,3        | 7,1      | El filtrado al vacío es lento y no presenta sólidos en el efluente                            |
| 8   | HCl    | 2,0        | 6,9      | El filtrado al vacío es lento y no presenta sólidos en el efluente                            |
| 9   | HCl    | 2,1        | 6,5      | El filtrado al vacío es rápido y no presenta sólidos en el efluente                           |
| 10  | HCl    | 2,0        | 6,1      | El filtrado al vacío es rápido y no presenta sólidos en el efluente                           |
| 11  | HCl    | 2,0        | 6,0      | El filtrado al vacío es rápido y no presenta sólidos en el efluente                           |
| 12  | HCl    | 2,0        | 6,2      | El filtrado al vacío es rápido y no presenta sólidos en el efluente                           |

|    |     |     |     |   |
|----|-----|-----|-----|---|
| 13 | HCl | 2,7 | 6,5 | El filtrado al vacío es rápido y no presenta sólidos en el efluente   |
| 14 | HCl | 2,4 | 8,0 | El filtrado se realiza por gravedad, es muy lento y no presenta sólidos en el efluente                                      |
| 15 | HCl | 2,5 | 6,7 | El filtrado al vacío es rápido y el efluente se observa con turbiedad, hay presencia de sólidos finos en la capa de algodón |
| 16 | DAM | 2,5 | 7,0 | El filtrado al vacío es rápido, reduce considerablemente el color y los sólidos en el efluente                              |
| 17 | HCl | 2,8 | 7,1 | El filtrado al vacío es rápido y el efluente se observa con turbiedad, hay presencia de sólidos finos en la capa de algodón |

Según la tabla anterior, el filtro 5 realiza un proceso de filtración lento hasta el día 9 en donde su dinámica cambia y comienza a filtrar rápidamente. Es efectivo al momento de remover sólidos de un fluido, sin embargo, hacia el día 9 comienza a presentar un poco de turbiedad en el efluente, esto se debe a la colmatación de los lechos filtrantes en un proceso de traslado de partículas finas del relave minero a las capas descendentes de grava. Todos los valores de pH en el efluente se encuentran en un rango de 6,0 a 8,0 por lo que cumple con lo estipulado en [19] y se puede decir que este filtro es funcional en cuanto a neutralización del pH en el periodo evaluado. Para comprender de una manera ilustrada los resultados obtenidos, en la Figura 14 se observa la tendencia del pH en el efluente del filtro 5 durante 17 días.



**Figura 14.** Tendencia de pH en el efluente del filtro 5

En la figura presentada previamente se observan dos picos sobresalientes, uno en el día 6 y otro en el 14, es importante destacar que estos fueron los días en donde el filtrado se realizó por gravedad y la velocidad de filtración fue menor en comparación con los demás días en donde el filtrado fue al vacío. Adicional a ello se visualiza un descenso en los valores del pH a partir del día 9 en donde también aumenta la velocidad de filtrado, en el día 14 la velocidad de filtrado disminuye al realizarse por gravedad y aumenta el valor del pH, pero al filtrar nuevamente al vacío y aumentar la velocidad de filtración, los valores de pH vuelven a descender. Lo anterior permite plantear la hipótesis de que, a mayor tiempo de filtración, mayor será el valor del pH en el efluente.

Con la finalidad de comparar el rendimiento de los filtros, en la Tabla 6 se presentan los resultados promedio de las pruebas en cada prototipo y en la Figura 15 se observan las cinco tendencias de pH en el efluente de los filtros. En la figura se observa que los filtros 1 y 3, y 4 y 5 tienen tendencias similares, siendo la primera la que menos cambios bruscos tiene y la segunda es donde se reflejan descensos representativos en la neutralización del pH en comparación con las demás tendencias. En todas las líneas se visualiza dos picos sobresalientes en los días 6 y 14, esto permite reforzar la idea de que el tiempo de filtrado influye en los resultados, pues a menor velocidad, mayor será el valor del pH en el efluente.

**Tabla 6.** Resultados promedio de medición en la neutralización del pH en todos los filtros

| Filtro | PH inicial | PH final | Tipo de filtrado |
|--------|------------|----------|------------------|
| 1      | 2,35       | 6,97     | Al vacío         |
| 2      | 2,35       | 6,64     | Al vacío         |
| 3      | 2,35       | 7,12     | Al vacío         |
| 4      | 2,35       | 6,56     | Al vacío         |
| 5      | 2,35       | 6,72     | Al vacío         |
| 1      | 2,35       | 7,95     | Por gravedad     |
| 2      | 2,35       | 7,85     | Por gravedad     |
| 3      | 2,35       | 7,85     | Por gravedad     |
| 4      | 2,35       | 7,55     | Por gravedad     |
| 5      | 2,35       | 7,95     | Por gravedad     |

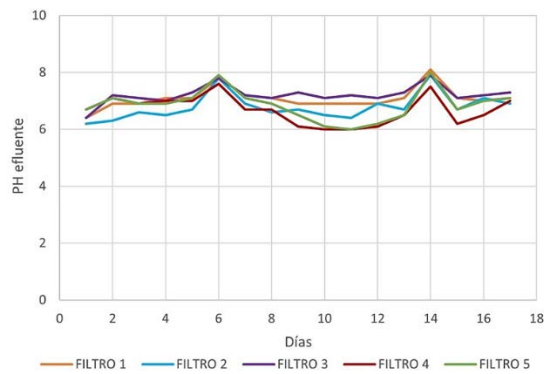


Figura 15. Comparación de Tendencias de pH en el efluente de todos los filtros

#### 4. CONCLUSIONES

Los filtros elaborados con relave minero cumplen la función de neutralizar los Drenajes Ácidos de Mina DAM, obedeciendo a los valores de pH consignados para el sector minero en la resolución 0631 de 2015.

Teniendo en cuenta el mejor desempeño en parámetros como la remoción de sólidos, y constancia en la tendencia de neutralización de pH, los prototipos ideales para desarrollar un proyecto a gran escala son los filtros 1 y 3.

Los parámetros de diseño de los filtros en una mina dependerán del caudal promedio del DAM y área disponible, su vida útil estará determinada por la cantidad de sólidos que ingresen al filtro y el tamaño de este.

En orden descendente, después de una capa de material filtrante fino se debe ir colocando materiales de similar granulometría puesto que, si se hace, al contrario, todo el material fino descenderá hasta el fondo del filtro.

Para que los finos del relave minero no se desplacen hasta el efluente, este se debe ubicar en medio de dos capas de arena.

Con la técnica de filtrado al vacío se reduce significativamente el tiempo de filtración, sin embargo, al momento de llevar el proyecto a lo práctico, se aumentan los costos de producción, pues el filtro necesitaría energía y una bomba para que ejerza la función del vacío.

Cuanto mayor es el tiempo de retención del DAM en el filtro, mayor será el valor del pH en el efluente. Incluir el relave minero como material filtrante en la elaboración de filtros, y desarrollar el proyecto a gran escala, permite mitigar pasivos ambientales relacionados con la acumulación de residuos sólidos y generación de DAM, impulsando una economía circular

Es importante realizar pruebas piloto ubicando los filtros en minas auríferas para así evaluar su comportamiento a través del tiempo y ver como los factores ambientales del medio influyen en los resultados.

#### REFERENCIAS

- [1] Durán J. (2021). Colombia tiene un potencial de exportación ilimitado hacia los mercados internacionales. Recuperado: <https://www.anm.gov.co/?q=colombia-tiene-un-potencial-de-exportacion-ilimitado-hacia-los-mercados-internacionales#:~:text=En%202020%2C%20las%20exportaciones%20mineras,las%20exportaciones%20totales%20de%20Colombia>
- [2] Farfán H. et al. (2013). Management of water resources in protected areas. Springer.
- [3] Molina T. (2018). La edad moderna: Un antropocentrismo descentrado. Recuperado: <https://www.urosario.edu.co/Revista-Nova-Et-Vetera/Columnistas/La-Edad-Moderna-un-antropocentrismo-descentrado/>

- [4] Arrimada M. (2021). Antropocentrismo: Qué es, características y desarrollo histórico. Recuperado: <https://psicologiyamente.com/cultura/antropocentrismo>
- [5] Américo M. (2009). Concepciones del ser humano y la naturaleza desde el antropocentrismo y el biosferismo. *Medio Ambiente y Comportamiento Humano* 10(3), 217-234.
- [6] CEPAL. (2029). Acerca de desarrollo sostenible. Recuperado: <https://www.cepal.org/es/temas/desarrollo-sostenible/acerca-desarrollo-sostenible>
- [7] UN. (1987). Our common future. The world commission on environment and development. United Nations.
- [8] Russi D. y Martínez J. (2003). Los pasivos ambientales. *Revista de ciencias sociales* 15, 123-131.
- [9] OMS. (2016). Comunicado de prensa. Recuperado: <https://www.who.int/es/news/item/15-03-2016-an-estimated-12-6-million-deaths-each-year-are-attributable-to-unhealthy-environments>
- [10] Arango M. y Olaya Y. (2012). Problemática de los pasivos ambientales mineros en Colombia. *Gestión y ambiente* 3(15), 125-133.
- [11] Oblasser A. (2016). Estudio sobre lineamientos, incentivos y regulación para el manejo de los Pasivos Ambientales Mineros (PAM), incluyendo cierre de faenas mineras: Bolivia, Chile, Colombia y Perú.
- [12] Saravia C. (2021). Evaluación de la contaminación del aire por la quema del diablo. *Saneamiento & ambiente* 1(16), 35-45.
- [13] Guzmán F. et al. (2020). Manual para el inventario de minas abandonadas o paralizadas. Asociación de servicios de geología y minería iberoamericanos.
- [14] Ministerio de minas y energía. (2021). Propuesta de lineamientos técnicos de política de buenas prácticas para estandarizar los procesos relacionados con presas de relaves.
- [15] Romero A. y Flores S. (2010). Reúso de relaves mineros como insumo para la elaboración de agregados de construcción para fabricar ladrillos y baldosas. *Industrial data* 2(13), 75-82.
- [16] Akcil A. y Koldas S. (2006). Acid Mine Drainage (AMD): Causes, treatment and case studies. *Journal of cleaner production* 12-13(14), 1139-1145.
- [17] Wu Y. et al. (2005). Feasibility of reflectance spectroscopy for the assessment of soil mercury contamination. *Environmental science and technology* 39(3), 873-878.
- [18] Sánchez J. y Ferreira J. (2016). Drenajes ácidos de mina alternativas de tratamiento. *Medio ambiente y minería* 1, 20-33.
- [19] Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2015). Resolución 0631.

# Síntesis de un polímero magnético de acceso restringido basado en polianilina para la extracción y cuantificación de antibióticos en leche

Diego Hernando Angulo Flórez<sup>1</sup>

Edna Carolina Cipagauta Esquivel<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Fundación Universitaria Juan de Castellanos*

<sup>2</sup> *Universidad de Boyacá*

Colombia

En el presente estudio presenta la metodología de determinación de cuatro antibióticos en leche empleando un polímero conductor de acceso restringido a base de polianilina magnética. El material obtenido se caracterizó por microscopía electrónica de barrido con espectroscopía de energía dispersiva, termogravimetría, espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier y difracción de rayos X. La preparación de muestra se realizó mediante la técnica extracción magnética en fase sólida. El método cromatográfico se desarrolló en fase inversa, modo isocrático, flujo de 1,25 mLmin<sup>-1</sup> y detección a 240 nm, la fase móvil compuesta por metanol: tampón fosfato 50 mM pH 6,4 (45:55, v/v). Los parámetros y condiciones optimizadas para la preparación de la muestra fueron: disolvente de lavado (500 µL de agua), disolvente de elución (800 µL de acetonitrilo/ácido acético (7: 3, v/v)), volumen y pH de la muestra (1 mL y pH 12,5), cantidad de material adsorbente (40 mg RA-MMPAni-HF-CAS) y 60 s de agitación vórtex. El método fue lineal en el rango 16 a 2000 ngmL<sup>-1</sup> con coeficientes de correlación ( $r \geq 0,994$ ) para todos los analitos. El método desarrollado y validado se aplicó para el análisis de muestras de leche de productores rurales del municipio de Soraca en Boyacá Colombia.

---

<sup>1</sup> Licenciado en química, Magíster en Docencia de la química y Doctorado en química.

Contacto: [dangulo@jdc.edu.co](mailto:dangulo@jdc.edu.co)

<sup>2</sup> Licenciado en Química de alimentos y Magíster en química.

Contacto: [eccipagauta@uniboyaca.edu.co](mailto:eccipagauta@uniboyaca.edu.co)

## 1. INTRODUCCIÓN

Los antibióticos ABs son sustancias que eliminan bacterias y que pueden combatir patologías causadas por microorganismos que causan infecciones en otros organismos [1]. Aunque pueden usarse ampliamente contra otros parásitos (protozoos, hongos o helmintos). Pueden ser bactericidas cuando causan la muerte de bacterias (tetraciclinas, sulfamidas, penicilinas, lincosamidas) [2-5] o bacteriostáticos (quinolonas, penicilinas de segunda generación) cuando interrumpen su reproducción o inhiben su metabolismo [6].

Las sustancias antimicrobianas se usan en medicina veterinaria con fines terapéuticos y profilácticos para tratar o prevenir infecciones. En cualquier caso, los antibióticos deben administrarse bajo el control de un veterinario y la normativa vigente exige la prescripción de la receta veterinaria [7]. Cuando los antibióticos se usan correctamente, generalmente combaten las infecciones satisfactoriamente, pero el uso irresponsable genera resistencia bacteriana, alergias, daños en el tracto gastrointestinal, así como problemas en el tejido hepático y renal [6-9]. Según lo anterior, el uso de ABs en terapias veterinarias para tratar infecciones bacterianas es muy común [10-13].

Sin embargo, se debe garantizar la seguridad alimentaria al tiempo que se garantiza que la calidad de los alimentos, especialmente la leche, es adecuada para el consumo humano y no presenta ningún riesgo debido a los residuos de ABs en la leche. Para lograr este objetivo, es importante desarrollar métodos de análisis químicos para identificar y cuantificar los residuos de los compuestos más comunes presentes en la leche. Entre las técnicas de análisis más utilizadas se encuentran la cromatografía de gases GC, la cromatografía líquida de alto rendimiento HPLC, algunos métodos analíticos se han desarrollado y validado mediante detección ultravioleta [12-16] o detección por arreglo de diodos [14-18], ensayos de inmunoabsorción ligado a enzimas ELISA y cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas LC/MS [18-22]. Otros utilizan PP para cuantificación simultánea de tetraciclinas en muestras de leche [14-22]. La mayoría de los estudios se realizan con SPE convencional, ya sea con C18 tradicional o con MIPs.

La extracción de fase sólida magnética MSPE es una variante de la SPE convencional que ha atraído gran atención en la preparación de muestras en los últimos años. Es un nuevo modo de SPE basado en la adopción de nanopartículas magnéticas MNP como adsorbentes, a escala micro o nano y tiene grandes ventajas en la ciencia de la separación. El adsorbente magnético es un material con un aspecto aglomerado y se puede dispersar reversiblemente en soluciones o suspensiones aplicando y eliminando un campo magnético apropiado [23]. Los analitos pueden recogerse fácilmente y eliminarse rápidamente de la solución utilizando un campo magnético externo sin más centrifugación o filtración, separando convenientemente los analitos contenidos en las fases de la muestra [24].

Las nanopartículas magnéticas son generalmente un complejo de  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$  y se sintetizan en más de un paso, que incluye el recubrimiento de nanopartículas de magnetita de sílice  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TEOS}$  para su posterior funcionalización con el material adsorbente apropiado [25]. Los materiales comunes que se utilizan para recubrir nanopartículas de  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$  modificadas para preparar MNP incluyen C18 [26], carbono nanoporoso [27], nanotubos de carbono, grafeno [25-28], óxido de grafeno (GO) [29, 30], polímero iónico líquido [31], polímeros con impresión molecular, materiales a base de sílice mesoporosa [32, 33], materiales orgánicos metálicos MOF y polímeros conductores recientemente [34].

El material adsorbente juega un papel clave en esta técnica de extracción. La naturaleza de los adsorbentes establece su afinidad con los analitos que deben cuantificarse, determinando así la selectividad del método de extracción [35-37]. Para mejorar la capacidad de extracción, se han introducido muchos tipos de nanomateriales como adsorbentes en la técnica de extracción. El polímero conductor magnético MCP tiene características superiores de mayor capacidad de adsorción y selectividad, estabilidad y operación simple; exhibiendo una excelente capacidad de purificación en la preparación de muestras [33-36]. La miniaturización de MSPE se ha desarrollado satisfactoriamente y una de las ventajas de esta variación es el uso de cantidades mínimas de solventes  $\mu\text{L}$  y adsorbentes  $\text{mg}$  para extracción con buenas tasas de recuperación [38]. Otra ventaja del MSPE es la mejora de la eficiencia de extracción al aumentar el contacto entre los analitos y el adsorbente, logrando una mayor capacidad para la masa de adsorbente utilizada [39]. Además, los métodos son favorables para facilitar la transferencia masiva de analitos. Su estrategia

promueve la interacción inmediata entre analitos y adsorbentes, reduce el consumo de solventes orgánicos y acorta el tiempo de preparación de la muestra [40].

Sin embargo, en muestras complejas, las nanopartículas de óxido de hierro puro  $Fe_3O_4$  tienden a aglomerarse para formar grandes agregados que pueden reducir las propiedades paramagnéticas intrínsecas de los materiales [31-40]. Por lo tanto, los cambios en el recubrimiento con moléculas de proteínas apropiadas son cruciales para superar esta deficiencia, lo que permite la exclusión de proteínas de matriz complejas como los fluidos biológicos y evita la formación de aglomeraciones en el material.

La PANi es un material polimérico obtenido por la polimerización de la anilina. La PANi se considera una alternativa innovadora a las necesidades tecnológicas debido a su estabilidad y capacidad de procesamiento. La PANi existe en muchas formas y se clasifica como reducida y neutra es decir que su estructura puede ser PANi-NH o PANi-NH<sup>2+</sup> protonada, dependiendo de la oxidación del átomo de N. Tales formas se clasifican de acuerdo con sus constantes térmicas de formación de polímeros [41]. La PANi tiene una estructura simétrica y conjugada, con un gran desplazamiento de carga que se puede funcionalizar con muchos compuestos de dopaje. La baja solubilidad es el factor principal para su estabilidad conductiva en diferentes medios, ya sean acuosos, ácidos o alcalinos [42].

La PANi también tiene una alta conductividad, que cambia rápidamente después de la exposición al vapor de agua en contraste con la lenta disminución de la conductividad bajo un vacío dinámico [43]. Las diversas aplicaciones de la PANi incluyen el uso como material adsorbente en la preparación de muestras, que se ha utilizado en el campo de la ciencia de separación, como material adsorbente con alta capacidad de adsorción, por ejemplo, clorofenoles de aguas residuales [43]. También se puede usar como material adsorbente en cartuchos de extracción en fase sólida SPE, microextracción en fase sólida (SPME), entre otras técnicas, que aún no están disponibles comercialmente.

Finalmente, los materiales de acceso restringido RAM se nombran así por sus tamaños de poro muy pequeños y que pueden alcanzar el orden de los nanómetros (nm). Por lo tanto, los componentes más grandes, como las proteínas, se retienen en la fase estacionaria [44]. En 2005, Rbeida y otros realizaron un análisis de atropina, un alcaloide que puede usarse como antídoto en caso de desintoxicación de insecticidas organofosforados y gases contaminantes, presentes en el plasma humano y, para ello, la necesidad de preparación y limpieza de muestras uso un material de acceso restringido. Por lo tanto, la estabilidad y la selectividad del analito en el proceso de aislamiento depende del tamaño de la cavidad y de la unión. Una de las ventajas de la RAM es la recuperación de material, es decir, se puede reusar [45].

## 2. MÉTODO

### 2.1 Reactivos y solventes

Estándar analítico TMP 98,85% -99,33% (estándar farmacéutico secundario, material de referencia certificado de Shandong pharm® (Shandong, SD, China), estándar analítico DOX 88,45% (estándar farmacéutico secundario, material de referencia certificado Norbrook® (Newry, EE.UU., Irlanda-Reino Unido), estándar analítico DOX 88,77% (Estándar farmacéutico secundario, material de referencia certificado por Huashu pharm® (Shijiazhuang, HEB, China) y estándar analítico PCN 96,99% (Estándar farmacéutico secundario, material de referencia certificado por Sandoz® (Holzkirchen BV, Alemania) y utilizado como se recibió. Solvente grado HPLC, tolueno, acetona, tetrahidrofurano suministrado por JT Baker® (Ciudad de México, México).

Reactivo anilina pureza 98% obtenido de Sigma-Aldrich® (Steinheim, Alemania) y los reactivos de dimetacrilato de glicerol y 2-hidroxietilmetacrilato se obtuvieron de Sigma-Aldrich® (Steinheim, Alemania). El agua se purificó utilizando un sistema Millipore Milli-Q Plus (Bedford MA, EE. UU.) Hierro (III) cloruro hexahidrato EMSURE® ACS, Reag (Barueri - SP, Brasil). Tetrahidrato de cloruro de hierro (II) EMSURE® ACS, Reag (Barueri - SP, Brasil). Hidróxido de amonio (NH<sub>4</sub>OH 2,8% (v/v)) TOTAL® (Curitiba - PR, Brasil). Ortosilicato de tetraetilo (TEOS) Sigma-Aldrich® (Steinheim, Alemania) Todos los demás productos químicos utilizados en grado analítico con la mayor pureza disponible.

## 2.2 Soluciones de stock y trabajo

Las soluciones madre de TMP, DOX, OXY y PCN se prepararon disolviendo la cantidad exacta (aproximadamente 10 mg corregida de acuerdo con el grado de pureza) de cada medicamento en 10 ml de metanol para obtener una concentración final de 1 mg mL<sup>-1</sup>. Las soluciones madre se almacenaron a -20 °C. La solución stock de trabajo para todos los ABs (TMP, DOX, OXY y PCN) se preparó diluyendo las soluciones estándar en metanol para dar como resultado concentraciones entre 8-1000 ng mL<sup>-1</sup>. Estas soluciones se utilizaron para fortalecer las muestras de leche basadas en el MRL.

## 2.3 Instrumentación y condiciones de separación

Para el análisis cromatográfico, se utilizó un sistema HPLC Agilent modelo 1290 (Agilent Technologies), compuesto por una bomba cuaternaria (G1311 B), un termostato modelo 1290 (G1330B), un inyector automático modelo 1260 Hip ALS (G1367E), un modelo de horno de columna 1290 O TCC (G1316C) y un detector modelo 1290 VL + DAD (G1315C). Todas las separaciones de analitos se realizaron en la columna analítica Phenomenex® Gemini C18 (150 mm × 4,60 mm, 5 µm). La fase móvil consistió en una mezcla de solución salina tamponada con fosfato (PBS) 50 mM: metanol (55: 45, v/v). La fase móvil se bombeó a un caudal de 1,25 ml min<sup>-1</sup> y los datos cromatográficos se obtuvieron a 240 nm utilizando un detector DAD. Todos los procedimientos cromatográficos se realizaron a 25 °C y el volumen de inyección fue de 20 µL para patrones y muestras. El sistema de datos de cromatografía Open LAB de Agilent se utilizó para controlar el sistema HPLC y para la adquisición de datos.

## 2.4 Síntesis de los materiales

La PAni con en el recubrimiento de nanopartículas magnéticas se preparó mediante polimerización química en diferentes etapas. Primero, se sintetizaron nanopartículas de Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> usando 15 mmol de FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O y 10 mmol de FeCl<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O se disolvieron en 80 ml de agua destilada a 80°C, obteniendo una solución amarilla clara, luego se añadieron 50 ml de Solución de NH<sub>4</sub>OH al 28% (v/v) por gateamiento en la solución obtenida, bajo agitación durante 30 minutos y control de temperatura fijado a 80°C. El precipitado negro obtenido (nanopartículas de Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) se filtró y se lavó repetidamente con agua ultrapura hasta que el pH de los lavados viró neutro.

Finalmente, el precipitado se secó a 60°C durante 24 h. Posteriormente se debió funcionalizar las nanopartículas, se pesó en un vaso de precipitados de 500 ml, 2,5 g de Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, luego se añadieron 250 ml de una solución de etanol: agua (5: 1, v/v) y se llevaron al ultrasonido durante 20 minutos. Posteriormente, 41,7 ml de solución de NH<sub>4</sub>OH al 2,8% (v/v) y 4 ml de TEOS se añadieron a la solución sonicada anteriormente de forma rápida. La solución permaneció bajo agitación constante durante 12 h. El sólido marrón obtenido (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-SiO<sub>2</sub>) se filtró y se lavó repetidamente con agua ultrapura hasta que el pH de los lavados se tornó neutro, después de lo cual el producto fue secó a 60 °C durante 24 h.

Ya con las partículas magnéticas modificadas se completó la funcionalización con la anilina para obtener un polímero mesoporos magnético, este material se obtuvo mediante un procedimiento que se llevó a cabo mediante disolver en un vaso de precipitados de 1000 mL 5 g de Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-SiO<sub>2</sub> en 700 ml de agua ultrapura y esta suspensión se sonicó durante 20 minutos y luego se llevó al agitador magnético durante 30 minutos, en seguida 5 g de cloruro de benzalconio (BAC) (tensioactivo) previamente disuelto en 50 ml de HCl 1 M fueron agregados conjuntamente con 5 ml de anilina destilada.

La solución permaneció bajo agitación constante en un baño de hielo y se añadieron al medio de reacción por goteo 200 ml de una solución de persulfato de amonio (que se obtuvo disolviendo 15 g de persulfato de amonio en 200 ml de HCl 1 M). Durante 6 h para obtener un sólido negro que se secó a 60 °C durante 24 h. cómo se puede apreciar en la Figura 1.

A partir de la MMPAni, se procedió a la obtención del material de acceso restringido, la síntesis del material se realizó disolviendo 5 g de MMPAni mezclado con 4,6 ml de metacrilato de 2-hidroxietilo y 0,59 ml de dimetacrilato de glicerol en 175 ml de cloroformo. El proceso de disolución y mezcla se realizó en



ultrasonido durante 10 min. El producto obtenido (RA-MMPAni-HM) se secó a 60 °C durante 24 h. Para el recubrimiento del material se procedió a añadir en un vaso de precipitados de 500 ml, 1,0 g de RA-MMPAni-HM y 20 ml de una solución de caseína (CAS) al 1% (p / v) y luego se agitó en vortex durante 1 minuto.

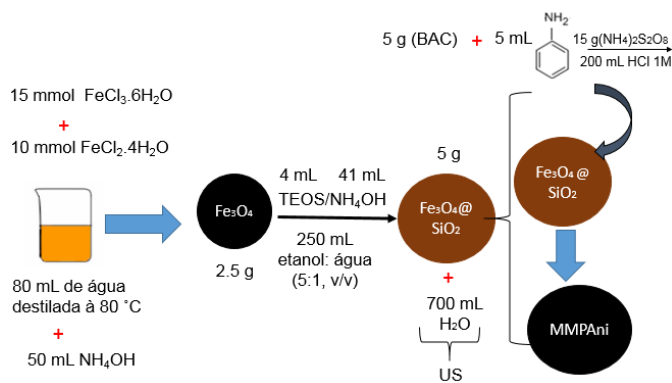


Figura 1. Esquema de la síntesis de la MMPAni

Después de eso, la solución se dejó reposar durante 30 minutos y el exceso se eliminó por decantación. Posteriormente, se añadieron 5 ml de glutaraldehído y se agitó vorticialmente durante 1 min, luego se dejó reposar durante 5 h y se eliminó el exceso. En seguida, se añadieron 10 ml de solución de NaBH4 al 1% (p / v), se agitó vorticialmente durante 1 minuto y se dejó en reposo durante 15 minutos, luego se eliminó el exceso. El precipitado se secó a 60°C en un horno durante 24 h en seguida fue lavado con una solución de agua: metanol (1:1, v / v). Al final, el RA-MMPAni-HM-CAS se secó a 60°C en un horno durante 24 h. Como se puede detallar en la Figura 2.

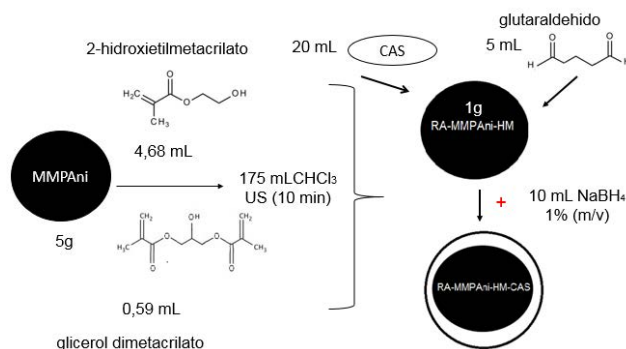


Figura 2. Esquema de la síntesis de la RA-MMPAni-HM-CAS

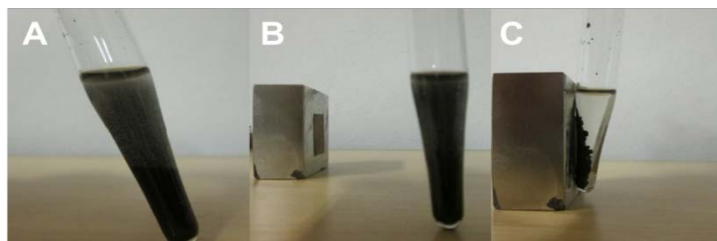
## 2.5 Caracterización de la RA-MMPAni-HM-CAS

Se realizaron análisis IRTF, MEV, TGA, DRX, hidrofobicidad y exclusión de proteínas. Los análisis IRTF se realizaron en el espectrómetro (Bomem Hartmann & Braun, serie MB, Quebec, Canadá) operando entre 4000 y 400  $\text{cm}^{-1}$ , con una resolución de 4  $\text{cm}^{-1}$  utilizando el método KBr convencional. La estructura morfológica del RA-MMPAni-HM-CAS fue investigada por MEV y las imágenes se obtuvieron usando un microscopio Hitachi Analytical Table Top TM3000 (Hitachi, Tokio, Japón) con un voltaje de aceleración que oscila entre -5 kV o 15 kV. Los TGA del RA-MMPAni-HM-CAS se obtuvieron mediante el instrumento de análisis térmico, instrumento. Con una velocidad de calentamiento de 10°C  $\text{min}^{-1}$  con flujo de nitrógeno de 50  $\text{ml min}^{-1}$ , utilizando el rango de 25 a 800°C. Los análisis de rayos X del RA-MMPAni-HM-CAS se realizaron en el equipo Shimadzu®, modelo XRD-6000 (Shimadzu®, Chiyoda-ku) con radiación  $\text{CuK}\alpha$  ( $\lambda = 1,54 \text{ \AA}$ ).

Los análisis se realizaron en el rango de  $2\theta$  operando entre 5 y 75°. La evaluación de la hidrofobicidad de los materiales se evaluó dejando caer una gota de agua suponiendo que la superficie de los materiales evaluados es lisa, y luego se midió el ángulo de contacto de la gota con la superficie, en función de  $\theta$ . Los estudios de exclusión de proteínas se realizaron mediante espectroscopia de absorción molecular en la región UV utilizando un espectrofotómetro UV-vis Varian-Agilent Cary 5000 (Agilent Technologies) y una cubeta de cuarzo con trayectoria óptica de 10 nm. Los datos fueron adquiridos entre el rango de 200 a 400 nm.

## 2.6 MSPE empleando RA-MMPAni-HM-CAS

Este procedimiento se desarrolla a partir de la colocación de 40 mg de RA-MMPAni-HM-CAS en un tubo de ensayo de vidrio convencional (Figura 3A). Luego, el material se activó con 1 ml de agua y el sistema se acondicionó usando agitación vorticial durante 60 s. El proceso de extracción y separación de los ABs se realiza al acercarse a un imán (Figura 3B). Los ABs se recogen en otro tubo de ensayo para el procedimiento de secado y resuspensión.



**Figura 3.** A) Tubo de ensayo que contiene la muestra y el material RA-MMPAni-HM-CAS después del vortex; B) aproximación del súper imán; C) Separación del material RA-MMPAni-HM-CAS después del vortex

Se evaluaron siete parámetros para la optimización del MSPE: disolvente de lavado, volumen del disolvente de lavado, elución y volumen del disolvente, pH y volumen de la muestra, cantidad de material adsorbente (RA-MMPAni-HM-CAS) e influencia de la agitación en el vortex (cinética). Las condiciones para preparar muestras optimizadas fueron: una alícuota de 1 ml de leche enriquecida (pH ajustado a 12,5 con  $\text{NH}_4\text{OH}$ ) con  $150 \text{ ng mL}^{-1}$  de ABs,  $500 \mu\text{L}$  de agua Milli-Q (solvente de lavado),  $700 \mu\text{L}$  de acetonitrilo: ácido acético (7:3, v/v) (solvente de elución), 40 mg de RA-MMPAni-HM-CAS y 60 s de vortex. Luego, la solución eluyente se evaporó para secar en una corriente de nitrógeno y los analitos se resuspendieron en  $150 \mu\text{l}$  de metanol. Finalmente, se inyectó una alícuota de  $20 \mu\text{l}$  en el sistema de HPLC.

## 2.7 Aplicación del método en muestras reales

Para la aplicación del método, se recolectaron 20 muestras reales (50 ml de leche) de supermercados locales y distribuidores certificados de leche ubicados en la ciudad de Tunja, Boyacá, Colombia. Las muestras se descongelaron a temperatura ambiente y se almacenaron en tubos Falcon a  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

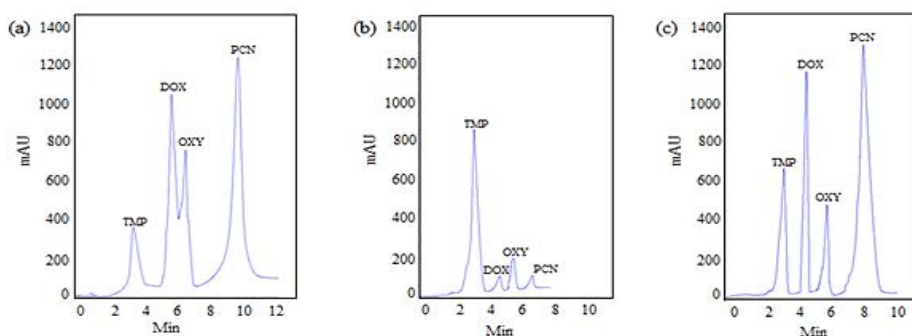
### 3.1 Condiciones cromatográficas para la determinación de los antibióticos

El método para la determinación de los ABs se desarrolló en un modo isocrático y fase reversa, logrando así la separación de los analitos de las muestras de leche. Se utilizaron metanol y PBS 50 mM pH 6.6 para la determinación simultánea de TMP, DOX, OXY y PCN en presencia de posibles interferencias de la matriz (leche) utilizando una columna Phenomenex® Gemini C18 ( $150 \text{ mm} \times 4.60 \text{ mm}$ ,  $5 \mu\text{m}$ ) [34]. El pH del PBS fue un factor importante en la separación de los analitos. Cuando el tampón tiene un pH de 5 (Figura 4a) no hay una separación adecuada en términos de buena resolución y eficiencia para los TCs.

Al cambiar el pH del tampón de pH 5 a pH 6 (Figura 4a), la resolución mejora significativamente y se produce la separación de todos los analitos, aunque no se observa una simetría ideal [38]. Luego, se estudió la proporción de solvente orgánico (metanol) para mejorar la simetría de los picos de separación. Las proporciones de metanol y tampón se ajustaron de 50% de metanol, 50% de tampón a 45% -55% respectivamente para obtener una prueba de determinación múltiple rápida y simple con un tiempo de ejecución razonable, buena simetría, platos teóricos adecuados y una resolución aceptable. Por lo tanto, se desarrolló un método simple y adecuado para TMP, DOX, OXY y PCN en muestras de leche (Figura 4c).

El cromatograma de las condiciones optimizadas mostró un tiempo de operación total de alrededor de 10 min. Para fines analíticos cuantitativos, la longitud de onda de detección se estableció a 240 nm, lo que proporcionó una sensibilidad aceptable, mejor reproducibilidad y menos potencial de interferencia (ruido)

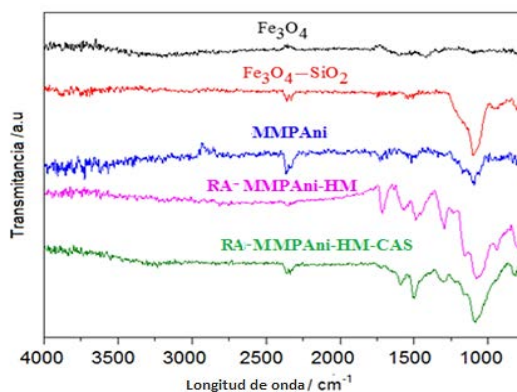
que las otras bandas DAD. En estas condiciones, todos los picos tuvieron buenos tiempos de retención, resoluciones, asimetrías y eficiencias.



**Figura 4.** (Cromatogramas referentes la determinación simultanea de TMP, DOX, OXY e PCN empleando una temperatura de 25°C, flujo de 1,25 mL min<sup>-1</sup>, volumen de inyección de 20 µL y columna Phenomenex® C18 (150 mm x 4,60 mm, 5 µm), λ=240 nm y composición de fase móvil: a) metanol: 50 mM PBS pH 5 (50: 50, v/v); b) metanol: 50 mM PBS pH 6 (50: 50, v/v), y c) metanol: 50 mM PBS pH 6,6 (45: 55, v/v) (separación optimizada)

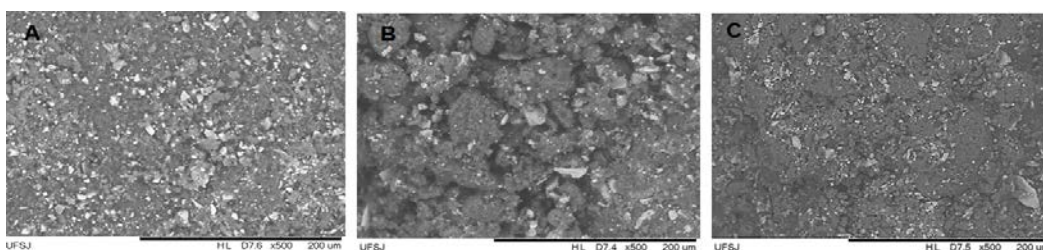
### 3.2 Caracterización de la RA-MMPAni-HM-CAS

Los resultados obtenidos de los espectros IRFT mostraron las señales de absorción a 580 cm<sup>-1</sup> y 588 cm<sup>-1</sup> de las vibraciones de estiramiento de Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, lo que demuestra que las nanopartículas magnéticas se incorporaron con éxito en todos los materiales (Figura 5, línea negra). Además, la señal más intensa a 570 cm<sup>-1</sup> es el producto del estiramiento de Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (Figura 5, línea roja). La banda de absorción a 1068 cm<sup>-1</sup> (Figura 5, línea roja, negra y azul) se puede atribuir a la vibración Si-O-Si, mientras que las bandas a 1634 y 3400 cm<sup>-1</sup> generalmente se asignan a los grupos de silanol Si-OH de la sílice. Las vibraciones a 1700 y 1606 cm<sup>-1</sup> muestran el éxito del recubrimiento de carbono por el anillo aromático de anilina en Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Las bandas entre 3400 cm<sup>-1</sup> y 3500 cm<sup>-1</sup> corresponden al alargamiento de N-H. La banda a 1488 cm<sup>-1</sup> puede atribuirse al anillo de benceno. La banda de 1296 cm<sup>-1</sup> está relacionada con las absorciones de estiramiento C - N (Figura 5, todas las líneas).



**Figura 5.** Espectros de IRFT de los materiales obtenidos

Las Figuras 6A, 6B y 6C muestran las imágenes MMPAni SEM, RA-MMPAni-HM, RA-MMPAni-HM-CAS a 500x ampliaciones, respectivamente. El MEV mostró que los polímeros presentes en los aglomerados muestran una estructura aparentemente homogénea, lo que facilita la adsorción de los analitos [41].



**Figura 6.** Imágenes MEV 500x ampliaciones referentes: A) MMPAni, B) RA-MMPAni-HM, C) RA-MMPAni-HM-CAS

Las curvas TGA de los materiales muestran, en términos generales, que son térmicamente estables a temperatura ambiente y que tienen diferentes perfiles. Para  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (Figura 7 línea negra), se observan dos eventos térmicos, el primero a  $150^\circ\text{C}$ , una ligera pérdida de masa debido a la evaporación del agua y un segundo evento térmico a  $400^\circ\text{C}$ , donde la disminución de la masa no es significativa debido a la estabilidad de la estructura cristalina de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . La Figura 7 (línea roja) muestra un evento térmico único a  $125^\circ\text{C}$  donde se estima una ligera pérdida de agua del material, que se estabiliza a esta temperatura sin perjudicar más la masa debido al aumento de la temperatura.

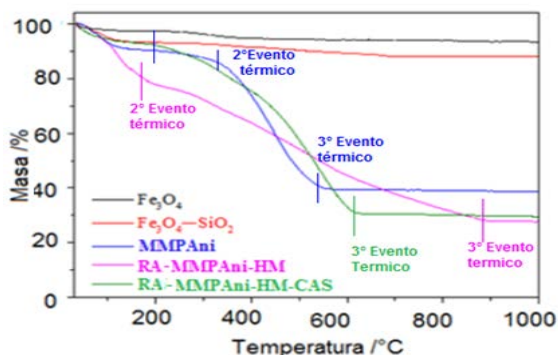


Figura 7. TGA de los materiales obtenidos

Para el análisis de TGA de MMPAni, se puede decir que entre  $80$  y  $125^\circ\text{C}$  hay pérdida de masa debido a la evaporación del agua de la matriz polimérica. A  $355^\circ\text{C}$  hay una degradación significativa del material debido a la volatilización incompleta de los componentes de la matriz polimérica, se puede concluir que hasta  $510^\circ\text{C}$  el material continúa perdiendo hasta el  $60\%$  de su masa. El recubrimiento hecho para MMPAni estabiliza térmicamente el material porque la curva TGA (Figura 8 línea rosa) tiene tres eventos térmicos a  $80^\circ\text{C}$ ,  $200^\circ\text{C}$  y  $900^\circ\text{C}$ . A  $80^\circ\text{C}$  hay una ligera pérdida de masa debido a la evaporación del agua, a  $200^\circ\text{C}$  hay una pérdida de masa del  $20\%$ , y se puede decir que hay una ligera degradación de la matriz polimérica que permanece estable hasta  $900^\circ\text{C}$ , donde el material pierde casi el  $70\%$  de su masa.

Finalmente, para RA-MMPAni-HM-CAS, el análisis TGA (Figura 7 línea verde) de la curva muestra tres eventos térmicos, el primero ocurre a  $80^\circ\text{C}$  con una ligera disminución de la masa por evaporación del agua, a  $250^\circ\text{C}$  y hasta  $600^\circ\text{C}$ , el material se degrada dejando el  $30\%$  de la matriz polimérica intacta debido a la disminución de la masa. Con base en lo anterior, se concluye que los materiales obtenidos tienen una estabilidad térmica considerable para las aplicaciones de preparación de muestras por MSPE y que tienen diferentes características térmicas, lo que demuestra que se sintetizaron diferentes materiales.

Las Figuras 8A, 8B y 8C muestran la actividad de hidrofobicidad de MMPAni, RA-MMPAni-HM y RA-MMPAni-HM-CAS, respectivamente. Es posible afirmar que la MMPAni mantiene sus propiedades no polares por las interacciones de los enlaces  $\pi\text{-}\pi$ , por lo tanto, la gota de agua no se adsorbe en relación con el ángulo de  $60^\circ\text{C}$ . RA-MMPAni-HM, tiene en su estructura el monómero hidrofílico que permite la adsorción de agua, lo que favorece la percolación de la muestra en la fase acuosa. El material recubierto de caseína tiene una actividad hidrofílica con agua que permite que la muestra se filtre, además de proporcionar la barrera física para la exclusión de proteínas, además de tener una buena interacción con las muestras polares.

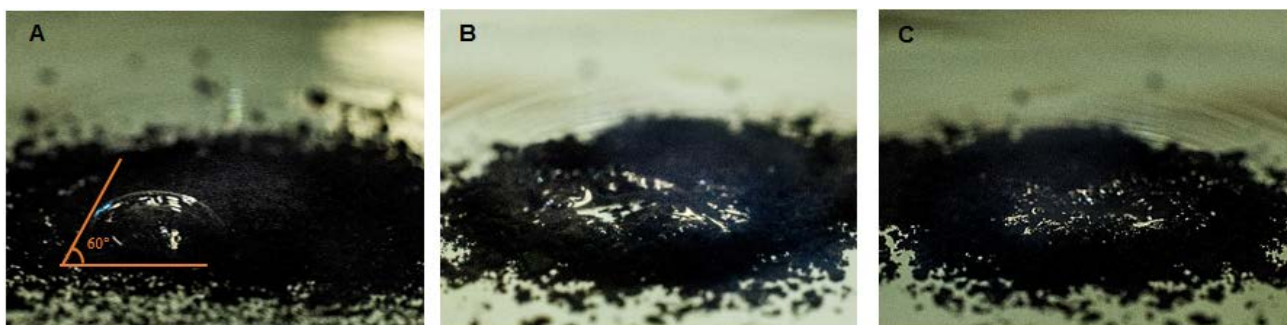
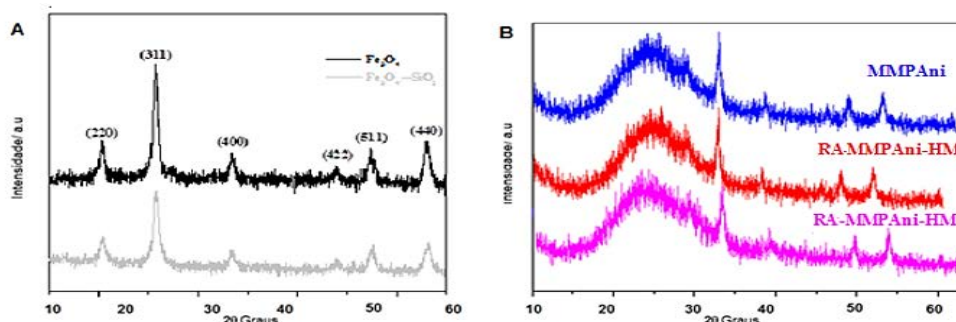


Figura 8. Imágenes de la prueba de hidrofobicidad por ángulo de contacto de: A) MMPAni, B) RA-MMPAni-HM y C) RA-MMPAni-HM-CAS

Los resultados obtenidos por XRD (Figura 9A y 9B) mostraron seis picos de difracción en el espectro de  $Fe_3O_4$ , las vibraciones ocurren a 220 °C, 311 °C, 400 °C, 422 °C, 511 °C y 440 °C, que corresponden a la base del comportamiento de la magnetita (óxido de hierro).

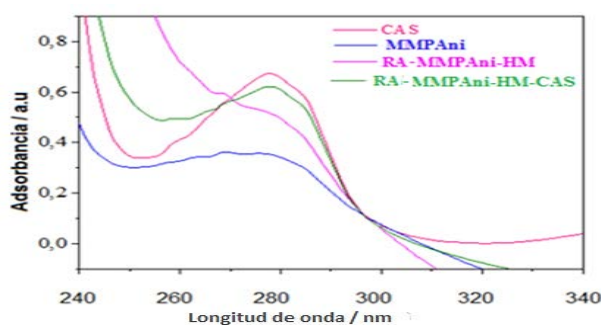


**Figura 9.** Imágenes de la prueba de hidrofobicidad por ángulo de contacto de: A) MMPAni, B) RA-MMPAni-HM y C) RA-MMPAni-HM-CAS

También se observa el mismo patrón de vibraciones que se puede atribuir a la repetición de unidades de  $Fe_3O_4$ , como lo demuestra la polimerización alrededor del núcleo de magnetita.

La prueba de exclusión de proteínas tiene como objetivo excluir macromoléculas que generalmente están presentes en matrices complejas, como en el caso de las muestras de leche. Para esta prueba, se pesaron 40 mg de cada uno de los tres materiales (MMPAni, RA-MMPAni-HM y RA-MMPAni-HM-CAS) y se colocaron en tubos de ensayo que contenían 3 ml de CAS (0,1% m/v), que se utilizó como matriz compleja para la prueba. Cada tubo se agitó durante 60 s, con una agitación constante de 2000 rpm utilizando el vortex. Después de agitar, la solución se analizó por UV-Vis en un rango de 200 a 400 nm. Todas las pruebas se realizaron por duplicado y luego se compararon con la solución CAS (0,1% p/v) que no se puso en contacto con los materiales adsorbentes (100% de exclusión, señal de no adsorción = 100% de exclusión).

Además, permite evaluar si el material ha sido recubierto adecuadamente con CAS, lo que le dará al material la característica de excluir macromoléculas de matrices complejas, como la leche. La Figura 10 muestra las curvas de absorción del estándar CAS y de los tres materiales sintetizados por UV-Vis. Cuando la MMPAni estuvo en contacto con el estándar CAS, absorbió una pequeña cantidad de CAS, lo que resultó en una menor absorción de CAS en UV-Vis. A partir de esto, y sabiendo que las matrices alimentarias, como en el caso de la leche y sus derivados, tienen macromoléculas, los materiales recubiertos se aplicarían mejor y eliminarían una mayor cantidad de interferencias presentes en este tipo de matrices. Los porcentajes de exclusión de proteínas (caseína) para MMPAni, RA-MMPAni-HM y RA-MMPAni-HM-CAS fueron 84,88%, 96,84% y 99,76%, respectivamente. Estos valores indican que los materiales recubiertos excluyen CAS casi por completo en comparación con los materiales no recubiertos, lo que permite la exclusión de macromoléculas y los monómeros peptídicos de aminoácidos presentes en muestras complejas



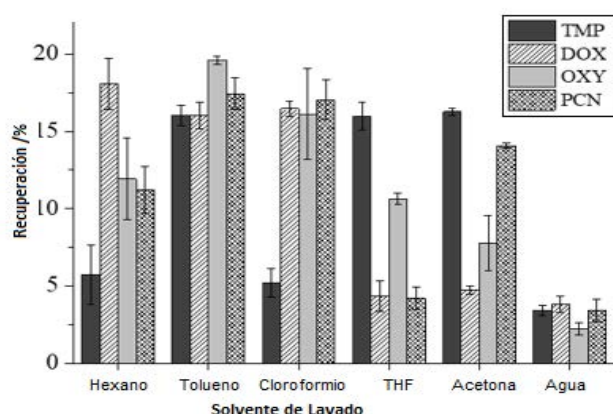
**Figura 10.** Prueba de exclusión de proteínas de CAS

### 3.3 Optimización de la preparación de muestras empleando RA-MMPAni-HF-CAS-SPE

Para extraer eficientemente TMP, DOX, OXY y PCN en muestras de leche mediante MSPE empleando RA-MMPAni-HM-CAS, se evaluaron algunos parámetros como solvente de lavado, solvente de elución, cantidad

de material (RA-MMPAni-HM -CAS), efecto de pH, volumen de muestra y eluyente, volumen de disolvente de lavado y efecto cinético (tiempo de agitación). Es imprescindible evaluar y optimizar el disolvente de lavado, ya que debe eliminarse la mayor cantidad de impurezas e interferencias en las muestras. No solo para minimizar las interacciones no específicas entre RA-MMPAni-HF-CAS y los analitos, sino también para preservar la vida de la columna cromatográfica. Se realizó una etapa de lavado después de cargar con 1 ml de la muestra el tubo de ensayo junto al material adsorbente.

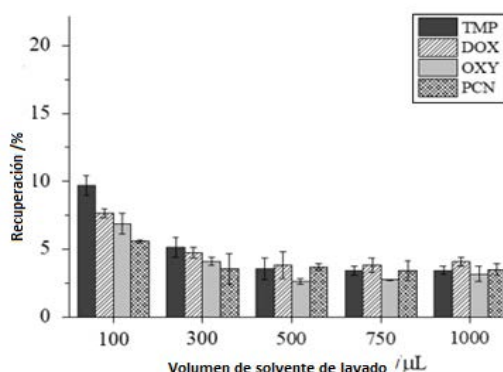
Se evaluaron tres solventes no polares y tres polares (300  $\mu$ L): hexano, tolueno, cloroformo, tetrahidrofurano, agua ultrapura y acetona. Para eliminar las impurezas hidrofílicas, se estudió el efecto de los solventes polares como solvente de lavado. Los disolventes no polares también se utilizaron para evaluar la eliminación de impurezas no polares. Los resultados mostraron bajas recuperaciones para todos los solventes de lavado, como se muestra en la Figura 11.



**Figura 11.** Efecto del solvente de lavado en la recuperación de los analitos

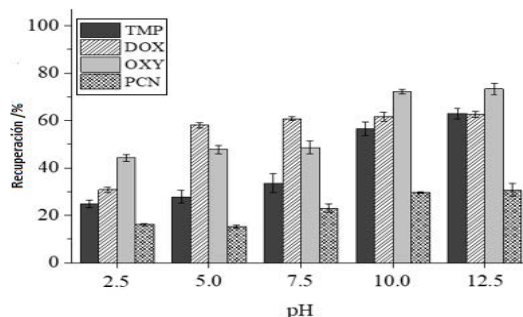
Las recuperaciones de hexano fueron del 5,73% para TMP; 18,07% para OXY; 11,92% para DOX y 11,21% para PCN. En el análisis realizado con tolueno, las extracciones fueron 16,03, 16,00, 19,60 y 17,44% para TMP, OXY, DOX y PCN, respectivamente. Para el cloroformo, las recuperaciones fueron 5,21, 16,46, 16,12 y 17,03% para TMP, OXY, DOX y PCN, respectivamente. Para THF, las recuperaciones fueron de 15,97, 4,35, 10,62, 4,19%, para TMP, OXY, DOX y PCN. Para la acetona, las recuperaciones fueron 16,26, 4,75, 7,75, 14,06%, para TMP, OXY, DOX y PCN. Para agua ultrapura, las recuperaciones fueron 3,40, 3,82, 2,24, 3,41%, para TMP, OXY, DOX y PCN. Estos datos (Figura 11) mostraron que el agua eliminó la interferencia de la matriz con una baja recuperación, lo cual es altamente deseable.

Según los resultados, y viendo la necesidad de eliminar la mayor cantidad de interferencias, ya que la leche es una muestra compleja. El volumen del disolvente de lavado se ha optimizado. En (Figura 12) se observa que 100  $\mu$ L de agua eliminan suficientes interferencias, pero se eluye una cierta cantidad de analitos. 9,69% TMP, 7,65% OXY, 6,85% DOX y 5,56% PCN. 500  $\mu$ L elimina una buena cantidad de interferencia sin la consiguiente pérdida de analitos basada en la recuperación de 3,53%, 3,78%, 2,63% y 3,66% para TMP, OXY, DOX y PCN, respectivamente. Por otro lado, mayores cantidades de agua ultrapura tienen el mismo efecto; por lo tanto, la cantidad apropiada de disolvente de lavado (agua ultrapura) se fijó en 500  $\mu$ L.



**Figura 12.** Efecto del volumen de solvente de lavado

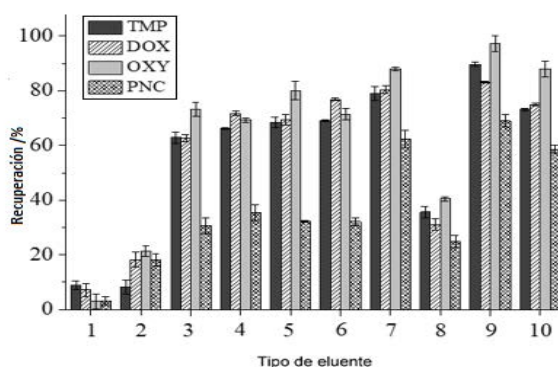
El efecto del pH de la muestra fue un parámetro fundamental para la extracción de los analitos, ya que el control del pH favorece la recuperación de especies orgánicas en muestras biológicas dependiendo de su disociación en medio acuoso. El efecto del pH de la muestra sobre la eficiencia de extracción para los analitos se investigó usando soluciones con valores de pH entre 2.5 y 12.5 (Figura 13).



**Figura 13.** Efecto del pH de la muestra en la recuperación de los analitos

Los resultados mostraron menores recuperaciones en el pH ácido (2,0 y 5,0), con valores que van del 20 al 50%, con la excepción de OXY, que es 58,07% y PCN, que es 15,29%. Mientras que a pH 12,5, las recuperaciones fueron de alrededor del 70%, aunque la recuperación del PCN se mantuvo con valores bajos de alrededor del 30%. Los valores de pKa para TMP, OXY, DOX y PCN son  $7,12 \pm 0,10$ ,  $9,56 \pm 0,10$ ,  $7,46 \pm 0,10$  y  $13,84 \pm 0,10$ , respectivamente. Las condiciones básicas (pH 12,5) favorecieron las interacciones de los analitos con RA-MMPAni-HM-CAS por interacciones intermoleculares del tipo REDOX además del enlace de hidrógeno, lo que justifica la alta recuperación de analitos por la interacción con el solvente de elución.

Encontrar el solvente de elución apropiado es importante para mejorar las propiedades de adsorción de RA-MMPAni-HM-CAS y no subestimar la técnica MSPE. El eluyente generalmente se limita a solventes que no lo afectan. Debido a las características REDOX de RA-MMPAni-HM-CAS, es posible evaluar diferentes solventes sin riesgo de limitar sus propiedades. Este estudio se realizó con metanol, acetonitrilo, etanol, hexano, acetonitrilo: ácido acético (7:3 v/v), acetonitrilo: ácido fórmico (9:1, v/v), metanol: ácido acético (9:1, v/v), metanol: ácido fórmico (9:1, v/v), metanol: ácido acético (7:3, v/v) y metanol: ácido fórmico (5:1, v/v) (Figura 14).



**Figura 14.** Efecto del tipo de solvente de elución. Solventes de elución: 1) etanol, 2) hexano, 3) metanol, 4) acetonitrilo, 5) metanol: ácido acético (9:1, v/v), 6) metanol: ácido acético (7:3, v/v), 7) metanol: ácido fórmico (9:1, v/v), 8) metanol: ácido fórmico (5:1, v/v), 9) acetonitrilo: ácido acético (7:3, v/v), 10) acetonitrilo: ácido fórmico (9:1, v/v)

Según los resultados (Figura 15), las recuperaciones del analito se producen satisfactoriamente con volúmenes superiores a 500  $\mu$ L de acetonitrilo: ácido acético (7: 3, v / v). Se evaluaron volúmenes de 700, 800 y 1000  $\mu$ L. Con 700  $\mu$ L, las recuperaciones de TMP y DOX alcanzaron 89,68% y 83%, respectivamente, pero en el caso de PCN, la recuperación fue de 69,09%. Con base a lo anterior, los analitos se eluyeron con 800  $\mu$ L, donde la recuperación de TMP y DOX alcanzó valores de recuperación superiores al 90%, la recuperación de OXY permaneció estable en 83% y aumentó significativamente la recuperación de PCN a 81,01%. Con 1000  $\mu$ L no hay un aumento significativo en la recuperación, ya que los valores son similares a los obtenidos con 800  $\mu$ L. Por lo tanto, se seleccionaron 800  $\mu$ L como el volumen de eluyente en experimentos posteriores.

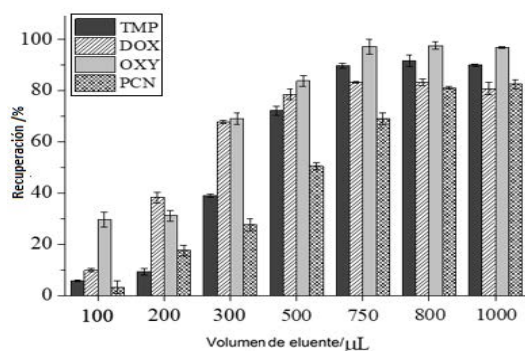


Figura 15. Efecto del volumen de solvente de elución

Se evaluaron algunas cantidades de RA-MMPAni-HM-CAS: 5, 10, 15, 20, 30, 40 y 50 mg en el proceso de adsorción. En la Figura 16, se puede ver que la cantidad de 40 mg y 50 mg fue buena para recuperar todos los analitos, con una recuperación de alrededor del 95%. Con la excepción de PCN, que mantiene su recuperación en 84,75%. Hay una mejora significativa en esta etapa de optimización de preparación de muestras. Por lo tanto, todos los análisis RA-MMPAni-HC-CAS se realizaron con 40 mg para la preparación de la muestra.

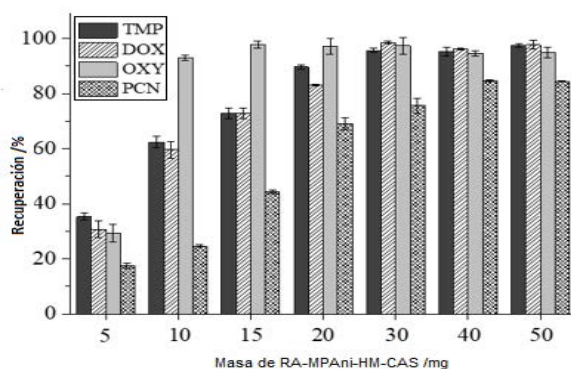


Figura 16. Efecto de la cantidad de adsorbente (RA-MMPAni-HM-CAS)

El efecto del volumen de la muestra se estudió cargando el tubo de ensayo conjuntamente con la RA-MMPAni-HM-CAS, 200, 500, 750 y 1000 μL de las muestras de leche fortificadas. Los resultados mostraron buenas recuperaciones usando 750 μL, mostrando una recuperación de 93,48% para TMP, 96,66% para OXY, 96,42% para DOX y 88,03% para PCN. Además, 1000 μL muestran una recuperación de 99,37% para TMP, 98,60% para OXY, 99,65% para DOX y 93,16% para PCN (Figura 17). Estos valores son muy cercanos, por lo que se seleccionó emplear alícuotas de 1,0 mL para todos los experimentos.

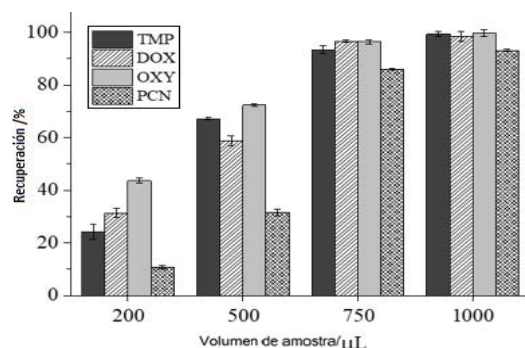


Figura 17. Efecto de la cantidad de adsorbente (RA-MMPAni-HM-CAS)

Los resultados indicaron que la recuperación de los analitos disminuyó con el menor tiempo de agitación en el vórtice, pero se mantuvo estable después de 60 s de agitación (Figura 18). En conclusión, un minuto fue el tiempo óptimo para lograr una recuperación de más del 90% de todos los analitos presentes en las muestras analizadas de RA-MMPAni-HC-CAS. Se estudió el efecto de la cinética sobre el tiempo de agitación del vortex en 15, 30, 60, 90 y 120 s.



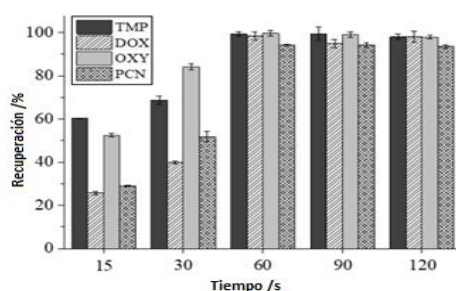


Figura 18. Efecto del tiempo de contacto

### 3.4 Aplicación en muestras reales

Las recolecciones de muestras para el desarrollo del estudio provienen de supermercados locales y distribuidores certificados de leche ubicados en la ciudad de Tunja, Boyacá, Colombia. Se recogieron muestras de leche después de la comercialización para consumo humano y se analizaron por triplicado ( $n = 3$ ). No se detectó TMP en ninguna de las muestras analizadas, y es posible afirmar que no se usa comúnmente de forma individual, sino en una mezcla con SM. DOX se detectó individualmente en una sola muestra (muestra 13) a una concentración permitida dentro del MRL establecido por las autoridades responsables. Además, se detectó una mezcla de DOX y OXY en dos muestras (muestra 1 y muestra 9), lo que nos permite afirmar que se realizó un tratamiento con CT. En doce muestras analizadas (Tabla 1), se detectó la presencia de OXY dentro de los límites máximos permitidos para proteger la salud humana. Ha sido posible cuantificar en bajas concentraciones ( $40.44 \pm 2.79 \text{ ng mL}^{-1}$  de valor promedio) en la leche, como se puede ver en la Tabla 1 y en la Figura 19 (línea negra, muestra 1).

Tabla 1. Actores participantes en la investigación

| Muestras | Concentración (ng mL <sup>-1</sup> ) |       |          |       |          |       |          |
|----------|--------------------------------------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|
|          | TMP                                  | DOX   | $\Sigma$ | OXY   | $\sigma$ | PCN   | $\sigma$ |
| 1        | n.d                                  | 30,57 | 2,24     | 58,88 | 2,14     | n.d   | n.d      |
| 2        | n.d                                  | n.d   | n.d      | n.d   | n.d      | 24,34 | 2,19     |
| 3        | n.d                                  | n.d   | n.d      | n.d   | n.d      | n.d   | n.d      |
| 4        | n.d                                  | n.d   | n.d      | 12,81 | 1,23     | n.d   | n.d      |
| 5        | n.d                                  | n.d   | n.d      | 27,25 | 1,67     | n.d   | n.d      |
| 6        | n.d                                  | n.d   | n.d      | 42,48 | 2,09     | n.d   | n.d      |
| 7        | n.d                                  | n.d   | n.d      | 64,08 | 2,88     | n.d   | n.d      |
| 8        | n.d                                  | n.d   | n.d      | 27,22 | 2,14     | n.d   | n.d      |
| 9        | n.d                                  | 77,84 | 2,39     | 40,86 | 1,41     | n.d   | n.d      |
| 10       | n.d                                  | n.d   | n.d      | 26,43 | 1,42     | n.d   | n.d      |
| 11       | n.d                                  | n.d   | n.d      | 27,45 | 3,99     | n.d   | n.d      |
| 12       | n.d                                  | n.d   | n.d      | 89,99 | 2,18     | n.d   | n.d      |
| 13       | n.d                                  | 87,44 | 1,62     | n.d   | n.d      | n.d   | n.d      |
| 14       | n.d                                  | n.d   | n.d      | 75,43 | 1,74     | n.d   | n.d      |
| 15       | n.d                                  | n.d   | n.d      | n.d   | n.d      | n.d   | n.d      |
| 16       | n.d                                  | n.d   | n.d      | n.d   | n.d      | n.d   | n.d      |
| 17       | n.d                                  | n.d   | n.d      | n.d   | n.d      | n.d   | n.d      |
| 18       | n.d                                  | n.d   | n.d      | n.d   | n.d      | n.d   | n.d      |
| 19       | n.d                                  | n.d   | n.d      | n.d   | n.d      | n.d   | n.d      |
| 20       | n.d                                  | n.d   | n.d      | 31,12 | 3,00     | n.d   | n.d      |

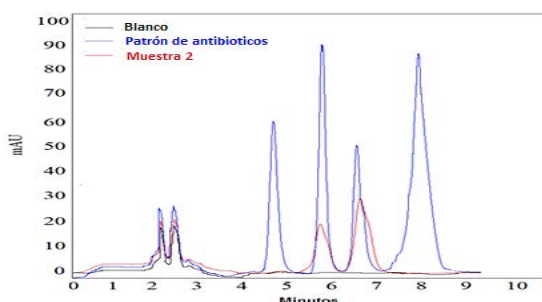


Figura 19. Cromatogramas obtenidos para el análisis de: Muestra real (línea roja); Muestra de leche sin ABs (blanco) (línea negra) y Muestra de leche fortificada con ABs (150.0 ng mL<sup>-1</sup>) (línea azul)

Estos valores son cercanos a los descritos en la literatura [40]. La muestra 2 mostró la presencia de PCN con una concentración de  $23.34 \pm 2.79$  ng mL<sup>-1</sup>, una concentración permitida basada en el MRL establecido. Finalmente, cinco muestras (muestras 15-19) no mostraron ningún AB a una concentración detectable para el método desarrollado.

#### 4. CONCLUSIONES

En este trabajo, se desarrolló un nuevo método de determinación múltiple de TMP, OXY, DOX y PCN en Muestras de leche utilizando RA-MMPAni-HM-CAS acoplado a HPLC. La preparación de Muestras demostró ser económica, rápida y fácil de operar.

Además, el MSPE es un procedimiento respetuoso con el medio ambiente, ya que se manejan cantidades mínimas de solvente orgánico ( $\mu$ L) para el proceso de optimización de la preparación de la muestra, sin una variabilidad significativa en los datos analíticos.

El RA-MMPAni-HM-CAS mostró una excelente eficiencia de extracción (alrededor del 90%) para todos los ABs estudiados. Su caracterización mostró la presencia de bandas y vibraciones características de los grupos funcionales, buena estabilidad térmica con degradación de la matriz polimérica alrededor de 500°C con partículas de tamaño homogéneo.

Finalmente, el rendimiento analítico mostró robustez, precisión, exactitud, linealidad, sensibilidad y estabilidad adecuadas a las pautas recomendadas. Además, esta metodología se puede aplicar al monitoreo de ABs en Muestras de leche con potencial para otras matrices, lo que se destaca en relación con las metodologías usuales que son solo con TCs.

#### REFERENCIAS

- [1] Asgharinezhad D. et al. (2014). Dispersive micro-solid-phase extraction of benzodiazepines from biological fluids based on polyaniline/magnetic nanoparticles composite. *Analytica Chimica Acta* 844, 80–89.
- [2] Kogawa A. y Nunes H. (2013). Quantification of Doxycycline Hyclate in Tablets by HPLC–UV Method. *Journal Of Cell Science* 51, 919–925.
- [3] Mehdinia A. et al. (2011). Rapid magnetic solid phase extraction with in situ derivatization of methylmercury in seawater by Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/polyaniline nanoparticle. *Journal of Chromatography A* 1218, 4269–4274.
- [4] Mehdinia A. et al. (2015). Fabrication of graphene/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@polythiophene nano composite and its application in the magnetic solid-phase extraction of polycyclic aromatic hydrocarbons from environmental water samples. *Analytica Chimica Acta* 868, 1–9.
- [5] Mohammadi A. et al. (2005). Dodecylsulfate-doped polypyrrole film prepared by electrochemical fiber coating technique for headspace solid-phase microextraction of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Journal of Chromatography A* 1063, 1–8.
- [6] Pereira A. y Cass Q. (2005). High-performance liquid chromatography method for the simultaneous determination of sulfamethoxazole and trimethoprim in bovine milk using an on-line clean-up column. *Journal of Chromatography B* 826, 139–146.
- [7] Brasil. (2016). Instrução Normativa No. 46 22/11/2016. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Defesa Agropecuária.
- [8] Giovannoli C. et al. (2013). Solid phase extraction of penicillins from milk by using sacrificial silica beads as a support for a molecular imprint. *Microchimica Acta* 180, 1371–1377.
- [9] Kukusamude C. et al. (2010). Mixed micelle-cloud point extraction for the analysis of penicillin residues in bovine milk by high performance liquid chromatography. *Talanta* 81, 486–492.
- [10] Kukusamude C. et al. (2012). High performance liquid chromatography for the simultaneous analysis of penicillin residues in beef and milk using ion-paired extraction and binary water–acetonitrile mixture. *Talanta* 92, 38–44.
- [11] Bohm D. et al. (2009). Multi-method for the determination of antibiotics of different substance groups in milk and validation in accordance with Commission Decision 2002/657/EC. *Journal of Chromatography A* 1216, 8217–8223.
- [12] Angulo D. et al. (2018). Pipette-tip solid-phase extraction using polypyrrole as efficient adsorbent for extraction of avermectins and milbemycins in milk. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 410, 3361–3377.
- [13] Patyra E. y Kowalczyk E. (2013). Development and validation method for the determination of selected tetracyclines in animal medicated feedingstuffs with the use of micellar liquid chromatography. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 405, 6799–6806.

- [14] Karageorgou E. et al. (2012). Ultrasound-assisted matrix solid phase dispersive extraction for the simultaneous analysis of  $\beta$ -lactams (four penicillins and eight cephalosporins) in milk by high performance liquid chromatography with photodiode array detection. *Journal of Separation Science* 35, 2599–2607.
- [15] Evaggelopoulos N. y Samanidou V. (2013). Development and validation of an HPLC method for the determination of six penicillin and three amphenicol antibiotics in gilthead seabream (*Sparus Aurata*) tissue according to the European Union Decision 2002/657/EC. *Food Chemistry* 136, 1322–1329
- [16] Farouk F. et al. (2015). Challenges in the determination of aminoglycoside antibiotics, a review. *Analytica Chimica Acta* 890, 21–43.
- [17] Lara F. et al. (2012), Advances in the determination of b-lactam antibiotics by liquid chromatography. *Trends in Analytical Chemistry* 38, 54–66.
- [18] Danezis G. et al. (2016). Multi-residue analysis of pesticides, plant hormones, veterinary drugs and mycotoxins using HILIC chromatography e MS/MS in various food matrices. *Analytica Chimica Acta* 942, 121–138.
- [19] Dipe H. et al. (2017). Direct extraction of tetracyclines from bovine milk using restricted access carbon nanotubes in a column switching liquid chromatography system. *Food Chemistry* 225, 98–106.
- [20] Wang H. et al. (2017). Antibiotic residues in meat, milk and aquatic products in Shanghai and human exposure assessment. *Food Control* 80, 217–225.
- [21] Zhao H. et al. (2016). Preparation of  $Fe_3O_4@PPy$  magnetic nanoparticles as solid-phase extraction sorbents for preconcentration and separation of phthalic acid esters in water by gas chromatography–mass spectrometry. *Journal of Chromatography B* 1011, 33–44.
- [22] Pérez I. et al. (2019) Determination of oxytetracycline in milk samples by polymer inclusion membrane separation coupled to high performance liquid chromatography. *Analytica Chimica Acta* 718, 42–46.
- [23] Kargin I. et al. (2016). HPLC Determination of Tetracycline Antibiotics in Milk with Post-Column Derivatization and Fluorescence Detection. *Inorganic Materials* 52, 5–9.
- [24] Ibarra I. et al. (2014), Magnetic solid phase extraction followed by high-performance liquid chromatography for the determination of sulphonamides in milk Samples. *Food Chemistry* 157, 511–517.
- [25] Ma J. et al. (2018). Magnetic solid-phase extraction of heterocyclic pesticides in environmental water samples using metal-organic framework coupled to high performance liquid chromatography determination. *Journal of Chromatography A* 1553, 57–66
- [26] Meng J. et al. (2011). Preparation of polypyrrole-coated magnetic particles for micro solid-phase extraction of phthalates in water by gas chromatography–mass spectrometry analysis. *Journal of Chroma. A* 1218, 1585–1591.
- [27] Menga J. et al. (2011). Preparation of  $Fe_3O_4@C@PANI$  magnetic microspheres for the extraction and analysis of phenolic compounds in water samples by gas chromatography–mass spectrometry. *Journal of Chromatography A* 1218, 2841–2847.
- [28] Wilson J. et al. (2003). Balancing food safety and risk: do Drug residue limits affect international trade in beef. *The Journal of International Trade & Economic Development* 12, 377–402.
- [29] Fritz J. y Zuo Y. (2007). Simultaneous determination of tetracycline, oxytetracycline, and 4-epitetracycline in milk by high-performance liquid chromatography. *Food Chemistry* 105, 1297–1301.
- [30] Liang L. et al. (2018). Magnetic solid-phase extraction of triazine herbicides from rice using metalorganic framework MIL-101(Cr) functionalized magnetic particles. *Talanta* 179, 512–519.
- [31] Xia L. et al. (2010). Conducting polymer nanostructures and their application in biosensors. *Journal of Colloid and Interface Science* 341, 1–11.
- [32] Yun L. et al. (2014). Molecularly imprinted solid-phase extraction of tetracyclines residue from milk using internal-surface reversed-phase hybrid composite packing materials. *Chemistry - An Asian Journal* 26, 3541–3544.
- [33] Yun L. et al. (2014). Adsorption-controlled preparation of molecularly imprinted hybrid composites for selective extraction of tetracycline residues from honey and milk. *New J. Chem.* 38, 802–806.
- [34] Andrade L. et al. (2009). A multidimensional high performance liquid chromatography method coupled with amperometric detection using a boron-doped diamond electrode for the simultaneous determination of sulfamethoxazole and trimethoprim in bovine milk. *Analytica Chimica Acta* 654, 127–132.
- [35] Cámara M. et al. (2013). An HPLC-DAD method for the simultaneous determination of nine b-lactam antibiotics in ewe milk. *Food Chemistry* 141, 829–834.
- [36] Ghanem M. y Abu-Lafi. S. (2015). Development and Validation of RP-HPLC Method for the Simultaneous Determination of Trimethoprim, Sulfadimidine Sodium and Tylosin Tartrate in injectable solution formulation. *Journal of Applied Pharmaceutical Science* 5, 94–98.
- [37] Jiping M. et al. (2018). Magnetic solid-phase extraction of heterocyclic pesticides in environmental water samples using metal-organic framework coupled to high performance liquid chromatography determination. *Journal of Chromatography A* 1553, 57–66.
- [38] Mamani M. et al. (2009). Multiresidue determination of tetracyclines, sulphonamides and chloramphenicol in bovine milk using HPLC-DAD. *Food Chemistry* 117, 545–552.
- [39] Castillo M. et al. (2017). Determination of veterinary penicillin antibiotics by fast high-resolution liquid chromatography and luminescence detection. *Talanta* 170, 343–349.

- [40] Abbasi M. et al. (2011). Simultaneous Determination of Tetracyclines Residues in Bovine Milk Samples by Solid Phase Extraction and HPLC-FL Method. *Analytical And Bioanalytical Chemistry* 1, 34-39.
- [41] Ainiyatul M. et al. (2019). Thiol-functionalized magnetic carbon nanotubes for magnetic micro-solid phase extraction of sulfonamide antibiotics from milks and commercial chicken meat products. *Food Chemistry* 276, 458-466.
- [42] Liang N. et al. (2016). Solid-phase extraction in combination with dispersive liquid-liquid microextraction and ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry analysis: The ultra-trace determination of 10 antibiotics in water samples. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 408, 1701-1713.
- [43] Attallah O. et al. (2018). Magnetic molecularly imprinted polymer nanoparticles for simultaneous extraction and determination of 6-mercaptopurine and its active metabolite thioguanine in human plasma. *Journal of Chromatography A* 1561, 28-38.
- [44] Han Q. et al. (2012). Facile and tunable fabrication of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/graphene oxide nanocomposites and their application in the magnetic solid-phase extraction of polycyclic aromatic hydrocarbons from environmental water samples. *Talanta* 101, 388-395.
- [45] Li Z. et al. (2018), Preparation of magnetic molecularly imprinted polymers with double functional monomers for the extraction and detection of chloramphenicol in food. *Journal of Chromatography A* 1100(1101), 113-121.

# Valorización de los frutos de mora de Castilla (*Rubus glaucus Benth*) afectados por hongos fitopatógenos en la cadena comercializadora a partir de la evaluación de su perfil volátil

Juan Pablo Arrubla Vélez<sup>1</sup>  
Valentina Santa Grajales<sup>2</sup>  
Gloria Edith Guerrero Álvarez<sup>3</sup>  
Nathalia Cardona Hurtado<sup>4</sup>  
*Universidad Tecnológica de Pereira*  
Colombia

La mora de castilla (*Rubus glaucus Benth*) es un cultivo frutícola clave en las cadenas de comercialización, no solo en Colombia, con una producción de 140.000 toneladas en 2020, sino en toda Latinoamérica. Sus frutos son apetecidos tanto por su sabor como por su aroma y potencial bioactivo; sin embargo, debido a condiciones de cosecha y características propias de la mora, como su alta humedad, se ven expuestos con frecuencia a daños por hongos fitopatógenos que se traducen en pérdidas (alrededor del 40% del cultivo). El propósito de este estudio fue evaluar y comparar el perfil volátil de moras sanas y afectadas, de diferentes localidades del departamento de Risaralda, Colombia, empleando micro extracción en fase sólida en modo espacio de cabeza HS-SPME y cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas GC/MS. De este modo se identificaron 45 compuestos orgánicos volátiles COVs entre las dos variedades de mora evaluadas (con espina y sin espina), teniendo que 37 de estos continúan presentes en las moras afectadas y que se asocian con las propiedades organolépticas del fruto. Además, muchos de estos compuestos han sido utilizados en la industria química, alimentaria, cosmética, de perfumería e incluso en el campo medicinal, representando una oportunidad para que los productores de mora puedan destinar el material en la obtención de nuevos productos con valor agregado, lo que significa nuevas oportunidades de comercialización para lo que hoy se considera un residuo. Con lo anterior se proporciona conocimiento necesario para motivar la innovación y creación de nuevos productos no *commodities*, fruto del trabajo transdisciplinar, a partir no solo de frutos sanos, sino también de moras de Castilla enfermas, aportando de manera significativa a una economía circular y a que los países de América Latina avancen hacia el desarrollo sin depender únicamente de un modelo extractivista, logrando así mayor posicionamiento en los sectores superiores de la economía, lo que al tiempo contribuye al reconocimiento de la ciencia y la tecnología como pilares fundamentales para el crecimiento económico y social de los países.

---

<sup>1</sup> Químico.

Contacto: [juanpablo77@utp.edu.co](mailto:juanpablo77@utp.edu.co)

<sup>2</sup> Química Industrial.

Contacto: [valentinasantag@utp.edu.co](mailto:valentinasantag@utp.edu.co)

<sup>3</sup> Química.

Contacto: [gguerrero@utp.edu.co](mailto:gguerrero@utp.edu.co)

<sup>4</sup> Química Industrial.

Contacto: [nathacardona@utp.edu.co](mailto:nathacardona@utp.edu.co)

## 1. INTRODUCCIÓN

La economía de los países latinoamericanos, como Colombia, depende en gran medida de las cadenas de comercialización de los productos agropecuarios, entre los cuales destacan las frutas y hortalizas como la mora, un fruto originario de Centroamérica, con producción en todo el trópico americano, entre los 1.600 y 2.600 msnm. Específicamente en Colombia, la variedad de Mora de Castilla (*Rubus glaucus Benth*) es la más cultivada, dada su adaptabilidad a las variaciones climáticas y de humedad, siendo producida en 18 de los 32 departamentos, en los que predominan pequeños productores de Cundinamarca (22%), Santander (20%), Nariño (9%), el Huila (8,8%), Boyacá (8,6%), Antioquia (7,2%) y Caldas con el 5% del área cultivada en el país [1].

Según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural entre 2015 y 2020 el área sembrada en cultivos de mora en Colombia aumentó en un 4%, alcanzando para el año 2020 las 15.800 hectáreas cultivadas, resultando en una producción de mora que superó las 140.000 toneladas [1]. Las altas cifras de producción se deben a que la mora ha ganado posicionamiento en la industria no solo por sus propiedades organolépticas, sino también debido a la presencia de compuestos bioactivos como los fenólicos, ácidos grasos, y tocoferoles, que según diferentes autores presentan propiedades funcionales y nutracéuticas [2], además, la mora de Castilla, también llamada mora Andina, es un fruto con bajo aporte calórico [3], rico en vitamina C y aporta hierro, calcio, fibra y potasio, por lo que su consumo, no solo en fresco, sino después de transformados en jugos, mermeladas, gelatina, jarabes, dulces, entre otros, la convierten en un producto potencial para el mercado nacional e internacional [4], teniendo múltiples opciones de industrialización.

Dentro de los compuestos importantes que presenta la mora están los compuestos orgánicos volátiles COVs, utilizados ampliamente como agentes aromatizantes de alimentos, de los cuales muchos son generalmente reconocidos como seguros, a diferencia de los aditivos químicos sintéticos que pueden generar residuos químicos en los productos [5]. Además, los COVs representan para la planta diversas utilidades ecológicas y productivas: anunciando que los frutos están maduros y listos para la dispersión de semillas, atrayendo insectos polinizadores y parecen aliviar el estrés abiótico [6]; así mismo son importantes para la percepción de la calidad sensorial (gusto y aroma) y para la resistencia a plagas y enfermedades adquiridas [7], sin embargo no se garantiza con ellos la inmunidad total a hongos fitopatógenos, lo que actualmente se ve traducido en pérdidas para los cultivadores.

Se resalta además que, según estudios realizados por varios autores, los compuestos volátiles de la fruta muestran gran variación en su contenido, dependiendo de las condiciones de cultivo, madurez y métodos analíticos [8-11]. Hasta ahora se han encontrado compuestos volátiles como el 2-heptanol, butanoato de etilo, acetato de benzoato y 4-hidroxi-2,5-dimetil-3(2H)-furanona [12]; otros estudios incluyen el ácido benzóico, 2-butanol, 1-hexanol, 2-hexen-1-ol, hexadecanol, 2-butil-1-octanol, hexadecanol, terpinen-4-ol, acetato y benzoato de metilo [13].

Pese a esto el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural también reporta que en el periodo de 2015-2019 el margen de aprovechamiento de los cultivos se redujo en un 35% y en el caso particular de Risaralda se identificó decrecimiento en la producción de mora en un -33% [1], generando así una crisis en la cadena comercializadora provocada por poco interés de procesadoras y almacenes de cadena por formalizar alianza de mercado, exceso de enfermedades, y baja calidad del fruto, que redundan en pérdidas significativas para los agricultores.

Lo anterior deja en evidencia lo que representa para América Latina y el Caribe LAC contar con un modelo rentista - extractivista, capaz de mantenerse, limitadamente, gracias a las riquezas naturales del territorio, basándose, en el caso de la agricultura y fruticultura, en la obtención de *commodities*, es decir, productos que no cuentan con ningún valor agregado [14], pero que fallando la producción del producto principal, todo se ve resumido en generación de residuos y pérdidas, sin lograr aprovechar nada del material. Adicionalmente, en LAC gran parte de la producción suele ser exportada a países desarrollados, para allí ser utilizada como materias primas en la elaboración de otros bienes, mientras los países productores se quedan únicamente en el sector primario de la actividad económica, lo que no permite avanzar hacia el desarrollo, al tiempo que se van generando problemáticas no solo económicas, sino también sociales y

ambientales; cayendo de este modo en las *paradojas latinoamericanas* en las que a pesar de ser países ricos en recursos naturales y por ende en materias primas, continúan atrapados en un bajo nivel de desarrollo al basar la economía en la exportación de productos sin valor agregado.

Adicional a las brechas de productividad con los países desarrollados a causa del modelo que rige actualmente, posterior al 2019 se sumaron los impactos generados por la pandemia de Covid-19, la cual significó para Latinoamérica y el mundo en general un golpe económico que ha dejado cicatrices y la necesidad de apuntar a un mundo rural realmente innovador, con ciencia y tecnología que le permita estar preparado para enfrentar los desafíos del siglo XXI, requiriéndose fortalecer alianzas para alcanzar un trabajo colaborativo con el sector privado, la sociedad civil y el mundo científico y académico [15].

Para hacer frente a estas dificultades y superar el extractivismo, la ciencia y tecnología son claves para aportar al desarrollo de los países latinoamericanos, ya que es por medio de la investigación científica y las aplicaciones tecnológicas que se crea conocimiento y los medios necesarios para diversificar la economía y la matriz productiva a través de productos con valor agregado, fruto del trabajo transdisciplinar, al tiempo que claramente se promueve una mejora en la educación y se supera el subdesarrollo, apuntando a que los países de la región puedan aproximarse o alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS definidos en la Agenda 2030 [16].

Surge así la necesidad de apostar por una economía circular en la que se pueda garantizar un aprovechamiento total, no solo de los productos agrícolas principales, sino también de los residuos, como es el caso de los frutos afectados por hongos fitopatógenos, se logre fortalecer el sector agroindustrial, ya que según lo expuesto, se considera que la problemática generada en la producción y comercialización de la mora de Castilla en la región no se debe propiamente a las pérdidas generadas debido a la cantidad de frutos afectados por fitopatógenos, sino por la falta de valor agregado que permita ver este material como un subproducto y no como un residuo.

De hecho, la revisión bibliográfica permite conocer que no se han reportado estudios que evidencian la diferencia en los perfiles volátiles de frutos maduros de *Rubus glaucus Benth* con y sin espina, de modo que el actual trabajo presenta como aporte el estudio de los perfiles de COVs mediante microextracción en fase sólida por espacio de cabeza HS-SPME y cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas, adicionalmente se presenta el estudio de los COVs cuando están o no afectados por fitopatógenos; conocimiento con el cual se podrían crear las bases para futuros proyectos, que podrían dar alternativas para el aprovechamiento de los frutos enfermos, que actualmente son desechados, cuando en realidad podrían utilizarse como materia prima fuente de COVs para usos alternativos, aportando a la economía circular y a minimizar el actual impacto ambiental que generan estos desechos agrícolas.

## 2. MARCO CONCEPTUAL

La mora de Castilla (*Rubus glaucus Benth*) es una planta herbácea perteneciente a la familia de las Rosáceas (Tabla 1); su fruto es agregado, formado por un conjunto de drupas con semillas en su interior; se trata de un fruto no climatérico que presenta maduración dispereja dada la posición en el racimo, inicialmente son frutos verdes, pero cuando se madura su color va de rojo intenso a morado oscuro (NTC 4106) [17].

**Tabla 1.** Clasificación taxonómica de la mora de Castilla (*Rubus glaucus Benth*)

|                   |                               |
|-------------------|-------------------------------|
| Orden             | Rosales                       |
| Familia           | Rosaceae                      |
| Género            | <i>Rubus</i>                  |
| Especie           | <i>Glaucus</i>                |
| Nombre científico | <i>Rubus glaucus Benth</i>    |
| Nombre común      | Mora de castilla, mora andina |

La mora de Castilla presenta dos variedades importantes: la primera es la mora con espina y la segunda corresponde a una mutación de semilla sexual de la primera, que da lugar a la variedad de mora sin espina, reconocida y de especial interés porque facilita la poda, recolección de los frutos y disminuye la probabilidad

de daño al momento de almacenarlos [5], adicionalmente, según lo reportado en estudios previos, algunas variedades de mora sin espina suelen ser más firmes y con mayor cantidad de sólidos solubles, dos características deseadas por el productor ya que recupera la inversión en menor tiempo, reduciendo las pérdidas durante la comercialización de la fruta y además presenta mayor aceptación por el consumidor y la agroindustria [18].

Como ya se ha indicado, la mora de castilla presenta alta demanda en Colombia, principalmente para consumo en fresco, así como en concentrados, mermeladas y jugos, gracias a que sus frutos contienen diferentes compuestos biológicamente activos que son deseados no solo en la industria alimentaria, sino también la industria farmacéutica y química [19]. Sin embargo, tienen también frecuentes limitantes fitosanitarios, debido entre varios factores, al alto contenido de humedad que presentan los frutos, razón por la que se crean condiciones propensas al ataque de fitopatógenos, especialmente hongos, que generan múltiples enfermedades en el cultivo, bien sea en campo o postcosecha, pudiendo ocasionar pérdidas de alrededor del 40% de la producción a causa de los frutos enfermos [20], ya que actualmente no cuentan con un aprovechamiento potencial.

Dentro de las enfermedades reportadas con más frecuencia están: Antracnosis, ocasionada por los hongos *Colletotrichum gloeosporioides* Penz, y *Gleospodium sp*, que generan deshidratación y podredumbre en frutos; *Mildeo vellosa*, por el hongo *Peronospora rubi P. sparsa*, que deforma los frutos, les genera pérdida de color y la maduración no es uniforme, cuando se afectan los frutos verdes estos detienen su crecimiento; otra enfermedad se conoce como Roya, desarrollada por los hongos *Spirechina loeseneriana* o *Gerwasia lagerheimii*, reconocidos porque generan pústulas de color naranja sobre las hojas y las drupas de los frutos son reemplazadas por grandes cantidades de esporas; finalmente el Moho gris, una enfermedad causada por el hongo *Botrytis cinérea Pers*, quien genera pudrición húmeda en los frutos ya formados, al punto de descomponerlos totalmente, y en los que inician su formación ocasiona necrosis y momificación [21].

Pese a que la mora sea tan propensa a verse afectada por hongos y que estas enfermedades descarten su consumo directo, sigue siendo un fruto con grandes compuestos de interés industrial, como es el caso de los COVs, un gran grupo de sustancias químicas producidas por plantas, que contribuyen a sus propiedades organolépticas (sabor y aroma), especialmente notorias en sus frutos o flores; que además le son de utilidad como medio de comunicación o incluso de defensa. Cabe aclarar que el tipo de COV, así como su concentración dependerá de la especie y la variedad, además, cambian conforme a la fase de maduración y el estado fisiológico del fruto [22]; razón por la cual es pertinente conocer las diferencias en los perfiles volátiles de las dos variedades de mora (con espina y sin espina) cuando están sanas y enfermas, para lograr evaluar la utilidad de los frutos enfermos como subproductos.

Hasta ahora se ha reportado que dentro de los principales grupos químicos de COVs a los que se le atribuye el sabor de las moras se encuentran los ésteres, alcoholes, cetonas, aldehídos, terpenoides, furanonas y compuestos de azufre. En cuanto al aroma, se han descrito en estudios anteriores que el furaneol, linalool, geraniol, hexanoato de etilo, trans-2- hexenol, y  $\beta$ -ionona son responsables de los aromas de frutas frescas, flores, fresas y frambuesas, mientras que el 1-octen-3-ol, el myrtenol, el eugenol y  $\alpha$ -terpineol explica los sabores vegetales, amaderados, mohosos y de frutas cocidas. Además, dentro de los volátiles más influyentes del sabor a mora, se tiene el heptanol y p-cimen-8-ol, contribuyendo con un sabor frutado-herbáceo y floral-especiado, respectivamente [23].

Experimentalmente la evaluación de perfiles volátiles con objeto de caracterizar el aroma de diferentes especies, como los que se han logrado reportar hasta la fecha, suelen representar un problema analítico principal, ya que se requieren grandes conjuntos de muestras para lograr cubrir la variabilidad biológica que presentan las especies. Tradicionalmente, la evaluación de las propiedades organolépticas, especialmente el sabor, se ha realizado mediante paneles sensoriales; sin embargo, este tipo de análisis implica una demanda alta de tiempo y dinero, de modo que, en contextos prácticos, se requieren técnicas de detección rápida y de alta resolución como soporte analítico para el análisis sensorial, que a su vez permitan garantizar una separación y cuantificación de los COVs, presentes por lo general en mezclas gaseosas complejas de concentraciones variables, desde ppb a ppm [24].



Dadas las limitaciones experimentales ya mencionadas, uno de los métodos más aplicados y el de referencia es la Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas GC-MS [25], empleada especialmente para la separación, identificación y cuantificación de sustancias volátiles y semivolátiles, ya que brinda un rápido análisis, resolución, fácil operación y excelentes resultados cuantitativos. Esta técnica se basa en la separación de compuestos de acuerdo a la interacción que presentan con la fase estacionaria (depositada al interior de la columna cromatográfica), quienes a su vez son arrastrados por un gas inerte (fase móvil), logrando así la elución sucesiva de los componentes individuales aislados que pasan inmediatamente al espectrómetro de masas, donde cada uno de los compuestos se registra en forma de pico cromatográfico y se identifica mediante su respectivo espectro de masas, logrado mediante ionización por bombardeo electrónico.

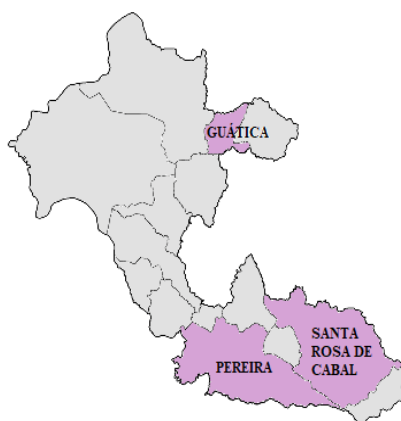
Por último, si se busca evaluar perfiles volátiles, previo a las corridas cromatográficas se realiza la extracción de los compuestos de interés, buscando reducir los límites de detección, para esto se suele emplear un método conocido como microextracción en fase sólida SPME [25], bastante utilizado por no involucrar disolventes, ser rápido, versátil y relativamente económico. Para su ejecución se hace uso de una fibra de sílice fundida, recubierta con una fase estacionaria polimérica que se selecciona acorde al tipo de compuestos que se desean analizar, dado que sobre esta misma se genera la adsorción de los compuestos y posterior desorción térmica dentro del cromatógrafo de gases.

Al trabajar con volátiles el método que mejor se adapta es la SPME en modo espacio de cabeza HS-SPME, diseñada para analitos de alta a mediana volatilidad, ampliamente utilizada para caracterizar volátiles de alimentos (incluidos jugos de frutas, productos lácteos, alimentos fermentados, aceites vegetales, entre otros), y para análisis químico, bioanálisis y análisis de ciencias ambientales [26, 27].

### 3. MÉTODO

#### 3.1 Muestreo

Los frutos maduros de *Rubus glaucus Benth* con y sin espinas en estado sano y enfermo (afectados por hongos fitopatógenos) se recolectaron de fincas productoras de mora de Castilla ubicadas en diferentes localidades del departamento de Risaralda: Guática, La Florida-Pereira y Santa Rosa de Cabal (Figura 1) con objeto de verificar la presencia de los volátiles independiente de la zona productiva.



**Figura 1.** Ubicación de los municipios de Guática, Pereira y Santa Rosa de Cabal, donde se realizaron los muestreos

La recolección se realizó cumpliendo con la NTC 756 en las áreas estipuladas por el productor. El material vegetal obtenido se almacenó en bolsas plásticas tipo Ziploc™ (Figura 2), garantizando hermeticidad y una temperatura máxima de -4°C hasta su posterior análisis.

Como se indicó, la fase de muestreo se dividió en tres, según los días y ubicaciones de los mismos: Muestreo 1, 2 y 3. El Muestreo 1 se realizó el 13 de julio de 2021 en el municipio de Guática, Finca Santa Teresita, Vereda La Unión (coordenadas: 5.318724103814569, -75.79159113370662). En la Figura 3 se recogen algunas imágenes del lugar y frutos recolectados.



**Figura 2.** Material vegetal dispuesto en nevera portátil, dentro de bolsas plásticas tipo Ziploc™



**Figura 3.** Frutos disponibles y recolectados en el muestreo 1

El Muestreo 2 se realizó el 25 de septiembre de 2021 en el predio *Añoranzas* (coordenadas: 4,7424960, -75,6161420), ubicado en el Corregimiento La Florida, a 20 minutos del municipio de Pereira. En la Figura 4 se visualizan algunos de los frutos en buen estado que fueron recolectados; durante este muestreo se logró evidenciar mayor daño por hongos fitopatógenos sobre los frutos, algunos de ellos colonizados totalmente (Figura 5) y otros al punto de no lograr un desarrollo completo.



**Figura 4.** Frutos sanos disponibles y recolectados en el muestreo 2



**Figura 5.** Frutos afectados por hongos fitopatógenos, recolectados en el muestreo 2

El muestreo 3 se realizó el 19 de mayo de 2022 en el predio *El rubí* (coordenadas: N 04° 53' 24.1 W 075° 33' 44.0), ubicado en la vereda Potreros del municipio Santa Rosa de Cabal, vía Termales de San Vicente.

### 3.2 Obtención de extractos enriquecidos en compuestos volátiles por HS-SPME

Los extractos fueron obtenidos por triplicado a partir de cada una de las cuatro variedades de moras (con y sin espina, en estado sano o afectado) que se tenían congeladas, estas fueron trituradas y homogeneizadas con agua (1 mL por cada 2 g de mora) haciendo uso de un molino de laboratorio (IKA™ Tube Mill control). De cada resultante se adicionaron 3 g en viales de 10 mL, sellados con un tapón de rosca provisto de un septum de goma de teflón. Terminado este proceso se refrigeraron nuevamente, buscando evitar posibles pérdidas de los COVs.

Previo a la microextracción en fase sólida en modo headspace HS-SPME de los COVs presentes en los frutos, se trabajó un tiempo de equilibrio de 5 min a 45°C, garantizando así que la muestra tuviese la temperatura deseada al posicionar la fibra en el espacio de cabeza; pasado este tiempo se inició la microextracción con un tiempo de adsorción de 15 min también a 45°C, empleando un holder manual de SPME equipado con una fibra de PDMS, previamente acondicionada según instrucciones del proveedor. El montaje de la microextracción se muestra en la Figura 6; para ello se empleó un termómetro, un cristalizador, una plancha de agitación magnética, el holder con la fibra SPME y los viales con los respectivos frutos.



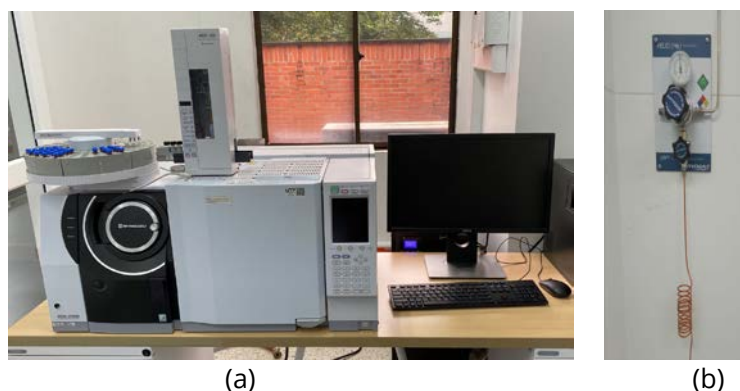
Figura 6. Montaje para la microextracción en fase sólida, en modo espacio de cabeza HS-SPME

### 3.3 Condiciones cromatográficas GC-MS

Los compuestos volátiles obtenidos a partir de los frutos sanos y afectados por fitopatógenos se analizaron empleando un cromatógrafo de gases (GC-MS/QP-2020 Plus, Figura 7) acoplado a un espectrómetro de masas (QP-2020), equipado con una columna capilar Shimadzu SH-Rxi-5MS de 30 m de longitud, 0.25 mm de diámetro interno y 0,25  $\mu\text{m}$  de espesor de película suministrada por Supelco. Modo de inyección: Manual, Splitless, temperatura del inyector 250°C; se utilizó helio (99,999% de pureza, Colombia) como gas portador. Temperatura del horno programada desde 40°C (2 min) hasta 250°C como temperatura final, alcanzada mediante rampas de temperatura adaptadas según estudios previos (Tabla 2) [28]. El espectrómetro de masas se operó en modo de impacto electrónico (EI) a 70 eV dentro del rango de masas  $m/z$  35–450. La línea de transferencia y la fuente de ionización a 280 y 230°C, respectivamente.

Tabla 2. Rampas de temperatura empleadas en las corridas cromatográficas

| Rampa de temperatura | Temperatura °C | Tiempo (min) |
|----------------------|----------------|--------------|
| Temperatura inicial  | 40             | 2            |
| 8°C min-1            | 40-200         | 20           |
| Temperatura media    | 200            | 5            |
| 10°C min-1           | 200-250        | 5            |
| Temperatura final    | 250            | 10           |



**Figura 7.** a) Cromatógrafo de gases GCMS-QP2020; b) Suministro del gas portador (Helio 99.999% de pureza)

La inyección de las muestras se realizó de forma manual, colocando la fibra en el puerto de inyección del cromatógrafo y dejándola posteriormente para asegurar la desorción completa.

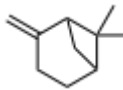
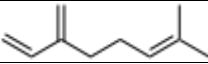
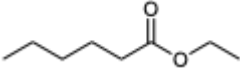

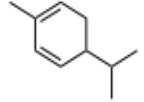
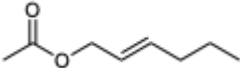
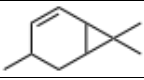
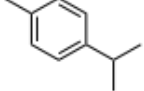
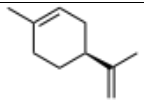
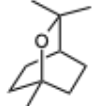
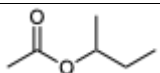
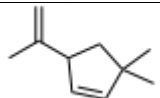
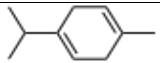
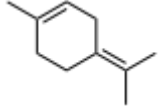
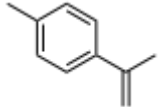
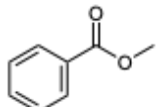
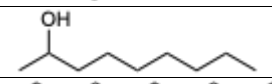
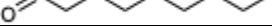
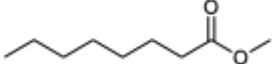
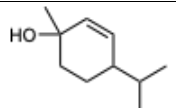
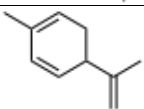
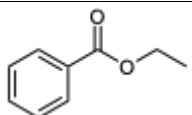
## 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

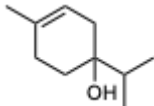
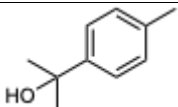
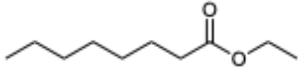

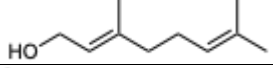
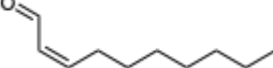
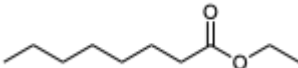
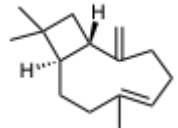
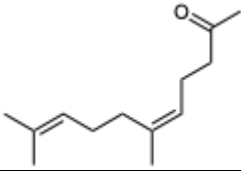
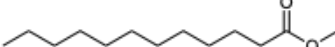
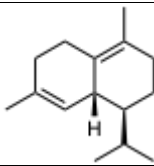
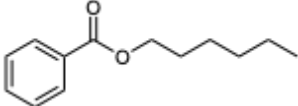
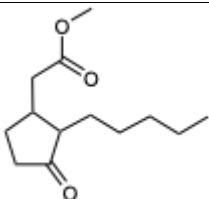
### 4.1 Comparación de los perfiles volátiles de las diferentes variedades de moras

La identificación de los compuestos separados se realizó por comparación con espectros de la biblioteca de espectros de masas de National Institute of Standards and Technology NIST, asegurando que los espectros de masas obtenidos para cada uno de estos tuvieran un grado de similitud con la librería de espectros suficientemente alta (>90%), teniendo especial cuidado con el pico de ion molecular que presentó cada compuesto, en los respectivos espectros de masas; lo anterior se realizó para garantizar reproducibilidad en los resultados. En la Tabla 3 se listan todos los compuestos identificados, con los debidos tiempos de retención, sin discriminar por tipo de variedad, estado del fruto, ni localidad.

**Tabla 3.** Listado de los compuestos identificados independientemente de la variedad y localidad

| Código | Tipo de compuesto | Nombre del compuesto | Estructura química               | tR (min) |
|--------|-------------------|----------------------|----------------------------------|----------|
| 01     | Éster             | Isobutirato de etilo | <chem>CC(C)C(=O)OCC</chem>       | 4,825    |
| 02     | Éster             | Butirato de etilo    | <chem>CCCC(=O)OCC</chem>         | 4,833    |
| 03     | Cetona            | 2-heptanona          | <chem>CCCCCC(=O)C</chem>         | 6,678    |
| 04     | Aromático         | Estireno             | <chem>C=Cc1ccccc1</chem>         | 6,722    |
| 05     | Alcohol           | 2-Heptanol           | <chem>CCCCCC(O)C</chem>          | 6,946    |
| 06     | Terpeno           | $\alpha$ -ocimeno    | <chem>CC(=C)CC=CC=C</chem>       | 7,375    |
| 07     | Terpeno           | Triciclono           | <chem>CC12CCC3C1C2C3</chem>      | 7,387    |
| 08     | Terpeno           | $\alpha$ -Tujeno     | <chem>CC12C=CC3C1C2C3</chem>     | 7,458    |
| 09     | Terpeno           | $\alpha$ -pineno     | <chem>CC12C=CC3C1C(C)C23</chem>  | 7,624    |
| 10     | Terpeno           | Canfeno              | <chem>CC12C=CC3C1C(C)C2C3</chem> | 7,981    |

|    |                   |   |  |        |
|----|-------------------|---|--|--------|
| 11 | Terpeno           | $\beta$ -pineno                         |    | 8,577  |
| 12 | Terpeno           | $\beta$ -mirceno                        |    | 8,789  |
| 13 | Éster             | Hexanoato de etilo                      |    | 8,968  |
| 14 | Aldehído          | Octanal                                 |    | 9,085  |
| 15 | Terpeno           | $\alpha$ -felandreno                    |    | 9,166  |
| 16 | Éster             | trans-2-Acetato de hexenilo             |    | 9,302  |
| 17 | Terpeno           | (+)-4-Careno                            |    | 9,390  |
| 18 | Terpeno           | p-Cimeno                                |    | 9,548  |
| 19 | Terpeno           | D-Limoneno                              |    | 9,649  |
| 20 | Terpeno           | Eucaliptol                              |   | 9,721  |
| 21 | Éster             | Acetato de sec-Butilo                   |  | 9,785  |
| 22 | hidrocarburo      | Ciclopenteno, 3-isopropenil-5,5-dimetil |  | 10,022 |
| 23 | Terpeno           | $\gamma$ -terpineno                     |  | 10,240 |
| 24 | Terpeno           | Terpinoleno                             |  | 10,812 |
| 25 | Terpeno           | p-cimeno                                |  | 10,890 |
| 26 | Éster             | Benzoato de metilo                      |  | 10,996 |
| 27 | Alcohol           | 2-Nonanol                               |  | 11,088 |
| 28 | Aldehído          | Nonanal                                 |  | 11,138 |
| 29 | Éster             | Octanoato de metilo                     |  | 11,490 |
| 30 | Alcohol terpénico | 4-Isopropil-1-metilciclohex-2-enol      |  | 11,601 |
| 31 | Terpeno           | p-Mentha-1,5,8-trieno                   |  | 11,796 |
| 32 | Éster             | Benzoato de etilo                       |  | 12,447 |

|    |                   |                       |  |        |
|----|-------------------|-----------------------|--|--------|
| 33 | Alcohol terpénico | Terpinen-4-ol         |    | 12,678 |
| 34 | Alcohol terpénico | p-Cimen-8-ol          |    | 12,792 |
| 35 | Éster             | Octanoato de etilo    |    | 12,868 |
| 36 | Aldehído          | Decanal               |    | 13,080 |
| 37 | Alcohol terpénico | Geraniol              |    | 13,926 |
| 38 | Aldehído          | 2-Decenal             |    | 14,112 |
| 39 | Éster             | Decanoato de etilo    |    | 16,340 |
| 40 | Terpeno           | Cariofileno           |    | 16,922 |
| 41 | Terpeno           | Acetato de geraniol   |   | 17,224 |
| 42 | Éster             | Dodecanoato de metilo |  | 18,377 |
| 43 | Terpeno           | $\delta$ -Cadineno    |  | 18,431 |
| 44 | Éster             | Benzoato de hexilo    |  | 19,301 |
| 45 | Éster             | Hediona               |  | 20,283 |

Se destaca que, de los cuarenta y cinco compuestos identificados, un alto número son terpenos, seguido de ésteres y alcoholes terpénicos; de estos, veintinueve (2, 3, 5, 8-15, 18, 19, 23-26, 28, 32-34, 36-39, 40, 42-44, codificados en la Tabla 3) ya han sido listados por otros autores [23, 28-30]. En el caso de los diecinueve compuestos restantes, si bien no han sido mencionados en otras investigaciones de *Rubus*, si se trata de compuestos encontrados en otras frutas o plantas que suelen tener aplicaciones industriales; por ejemplo, la mayoría de estos compuestos y en especial los terpenos [31], hacen parte, como ingredientes activos, de diferentes aceites esenciales, empleados como materia prima para la fabricación de artículos de aseo y limpieza, insecticidas, velas e incluso papelería, de hecho cuando se trata de aceites de muy buena calidad, se ocupan en la industria alimenticia, farmacéutica, cosmética y de perfumes [32].

De hecho, los COVs tienen aplicaciones tan relevantes que en estudios recientes sugieren que los extractos volátiles de moras pueden llegar a tener impacto sobre el cáncer de pulmón, ya que han hallado un efecto antiproliferativo en las células causantes a través de la apoptosis y posiblemente la detención del ciclo celular [33]. Además, en otros estudios de aceites esenciales y volátiles de moras u otras frutas que

contienen compuestos volátiles similares o iguales, se han demostrado propiedades antiinflamatorias, antitumorales y actividades antioxidantes [34, 35]. En adelante se emplearán los códigos de compuestos listados en la Tabla 3 y para la identificación de la variedad de mora, cuando sea procedente de una localidad específica, se emplearán los códigos de la Tabla 4.

**Tabla 4.** Código de grupo (según variedad de mora, estado y localidad)

| Código de grupo según localidad | Muestreo (lugar)           | Grupo              |
|---------------------------------|----------------------------|--------------------|
| M1_CE_E                         |                            | Con espina enferma |
| M1_CE_S                         | Muestreo 1<br>(Guática)    | Con espina sana    |
| M1_SE_E                         |                            | Sin espina enferma |
| M1_SE_S                         |                            | Sin espina sana    |
| M2_CE_E                         |                            | Con espina enferma |
| M2_CE_S                         | Muestreo 2<br>(La florida) | Con espina sana    |
| M2_SE_E                         |                            | Sin espina enferma |
| M2_SE_S                         |                            | Sin espina sana    |
| M3_CE_E                         |                            | Con espina enferma |
| M3_CE_S                         | Muestreo 3<br>(Santa Rosa) | Con espina sana    |
| M3_SE_E                         |                            | Sin espina enferma |
| M3_SE_S                         |                            | Sin espina sana    |

En la Tabla 5 se encuentran señalados (X) los compuestos identificados en cada una de las variedades de mora, separadas por estado del fruto y localidad de muestreo.

**Tabla 5.** Compuestos identificados en cada variedad de mora en estado enfermo y sano de las tres localidades

| Código de compuesto | M1_CE_E | M1_CE_S | M1_SE_E | M1_SE_S | M2_CE_E | M2_CE_S | M2_SE_E | M2_SE_S | M3_CE_E | M3_CE_S | M3_SE_E | M3_SE_S |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 01                  |         |         |         |         |         | X       |         | X       |         |         |         |         |
| 02                  |         | X       |         | X       |         |         |         |         |         |         |         |         |
| 03                  | X       | X       | X       | X       | X       |         |         |         |         |         |         |         |
| 04                  | X       | X       | X       | X       | X       |         |         |         |         |         |         |         |
| 05                  | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       |
| 06                  |         |         |         |         |         | X       |         | X       |         |         |         |         |
| 07                  |         | X       |         | X       |         |         |         |         |         |         |         |         |
| 08                  | X       | X       | X       | X       |         |         |         |         |         |         |         |         |
| 09                  | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       |
| 10                  | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       |
| 11                  |         | X       |         | X       |         | X       |         | X       |         |         |         |         |
| 12                  | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       |
| 13                  | X       | X       | X       | X       |         | X       |         | X       | X       | X       | X       | X       |
| 14                  | X       | X       | X       | X       |         |         |         |         |         |         |         |         |
| 15                  | X       | X       | X       | X       |         | X       |         | X       |         |         |         |         |
| 16                  | X       | X       | X       | X       |         | X       |         |         |         |         |         |         |
| 17                  | X       | X       | X       | X       |         | X       |         | X       | X       | X       | X       | X       |
| 18                  | X       | X       | X       | X       |         | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       |
| 19                  | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       |
| 20                  | X       |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| 21                  |         |         |         |         |         | X       |         | X       |         |         |         |         |
| 22                  |         | X       |         | X       |         |         |         |         |         |         |         |         |
| 23                  | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       |
| 24                  | X       | X       | X       |         | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       |
| 25                  | X       | X       | X       | X       |         | X       |         | X       | X       | X       | X       | X       |
| 26                  | X       | X       | X       | X       |         | X       |         | X       | X       | X       | X       | X       |
| 27                  | X       | X       | X       | X       |         | X       |         | X       | X       | X       | X       | X       |
| 28                  | X       | X       | X       | X       |         | X       |         | X       | X       | X       | X       | X       |
| 29                  | X       | X       | X       | X       |         |         |         |         |         |         |         |         |
| 30                  |         | X       | X       | X       |         |         |         |         | X       | X       | X       | X       |
| 31                  | X       | X       | X       | X       |         | X       |         | X       | X       |         |         | X       |
| 32                  | X       | X       | X       | X       |         | X       |         | X       | X       | X       | X       | X       |
| 33                  | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       | X       |
| 34                  | X       | X       | X       | X       |         | X       |         | X       | X       | X       | X       | X       |
| 35                  | X       | X       | X       | X       |         | X       |         | X       | X       | X       | X       | X       |
| 36                  | X       | X       | X       | X       |         |         |         |         | X       | X       | X       | X       |
| 37                  | X       | X       | X       | X       |         |         |         |         | X       | X       | X       | X       |

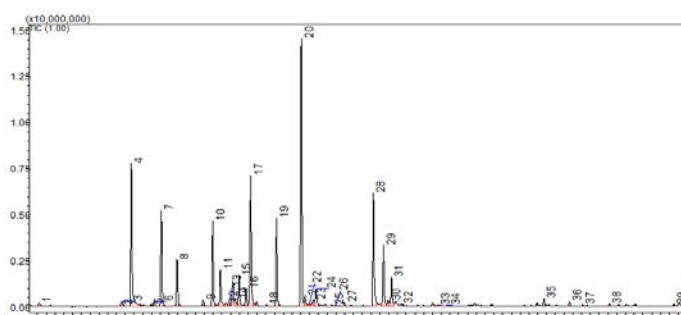
|                    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |
|--------------------|----|----|----|----|----|----|---|----|----|----|----|----|
| 38                 | X  | X  |    |    |    |    |   |    | X  | X  | X  | X  |
| 39                 | X  | X  | X  | X  |    |    | X |    |    |    |    | X  |
| 40                 | X  | X  | X  | X  |    |    |   |    | X  |    | X  | X  |
| 41                 | X  | X  | X  | X  |    |    |   |    | X  | X  | X  | X  |
| 42                 |    |    |    |    |    |    |   |    | X  | X  | X  | X  |
| 43                 | X  | X  | X  | X  |    |    |   |    | X  |    | X  | X  |
| 44                 | X  | X  | X  | X  |    |    | X |    |    |    |    |    |
| 45                 |    |    |    |    |    |    |   |    | X  | X  | X  | X  |
| Compuestos totales | 35 | 39 | 34 | 38 | 10 | 27 | 9 | 24 | 29 | 25 | 27 | 29 |

De acuerdo a la cantidad de compuestos obtenidos en cada uno de los tipos de moras analizados, se evidencia generalmente un mayor número en las variedades de mora sanas que en las enfermas, sin embargo la diferencia no es pronunciada, lo que indica que las moras afectadas por hongos fitopatógenos continúan contando con un perfil volátil muy completo y por ende siguen siendo buena fuente de COVs, por lo que tendría potenciales aplicaciones debido a la gran variedad de compuestos con aromas agradables.

La información contenida en la Tabla 5 muestra además que el 2-Heptanol,  $\alpha$ -Pino, Canfeno,  $\beta$ -Mirceno, D-Limoneno,  $\gamma$ -Terpineno y Terpinen-4-ol son compuestos que están presentes en todas las variedades de mora, de los cuales todos han demostrado tener utilidad en diferentes áreas; por ejemplo estudios previos sobre *Rubus glaucus* Benth encontraron el 2-Heptanol, terpinen-4-ol y el benzoato de metilo como compuestos de mayor abundancia y que podrían ser fuertes candidatos para mejorar el aroma y el sabor en el procesamiento de frutas a través de hidrólisis [29].

Por otro lado, los monoterpenos como  $\alpha$ -pino, D-limoneno y  $\beta$ -mirceno han sido ampliamente estudiados y se han encontrado evidencias en el campo de la salud para uso antiinflamatorio, antienvjecimiento y analgésico [36]; en el caso particular del  $\alpha$ -pino tiene acción en la modulación a la resistencia a los antibióticos, actividad gastroprotectora, anticonvulsivos y neuroprotectores [37]; inclusive el D-limoneno demostró tener alta actividad biológica contra el cáncer cuando se evaluó en estudios con animales [38]; por otra parte, el  $\beta$ -mirceno se emplea frecuentemente como aditivo para la comida. Los otros dos compuestos comunes entre todas las variedades de mora fueron el  $\gamma$ -Terpineno, conocido por su alta actividad antimicrobiana [39], y el canfeno que según estudios recientes cuenta con un potencial prometedor como insecticida botánico ecológico, y ha demostrado actividad frente a diferentes células cancerosas [40, 41].

Se resalta además que el análisis cromatográfico ha mostrado que el área de muestreo influye sobre los volátiles encontrados, evidenciándose que, independiente de la concentración, los frutos procedentes de la localidad de Guática fueron los que mayor número de COVs presentaron, identificando 39 y 38 en mora sana CE y SE, respectivamente (Figuras 8 y 10); incluso los frutos enfermos superaron la cantidad identificada en las otras dos localidades, encontrando 35 compuestos en las moras CE y 34 en las moras SE (Figuras 9 y 11). De este modo, continuando el análisis con las moras cultivadas en Guática, que fueron las que presentaron el perfil volátil más amplio, al comparar los cromatogramas de los extractos obtenidos de frutos con espina, además de encontrar mayor número de compuestos en la mora con espina sana (Figura 8), también se evidencian picos de mayor altura, lo que indica una mayor concentración en los compuestos identificados, en comparación con la mora enferma (Figura 9).



**Figura 8.** Cromatograma obtenido por GC/MS al evaluar el perfil volátil (COVs) del extracto de mora con espina sana procedente del municipio de Guática (M1\_CE\_SANA)



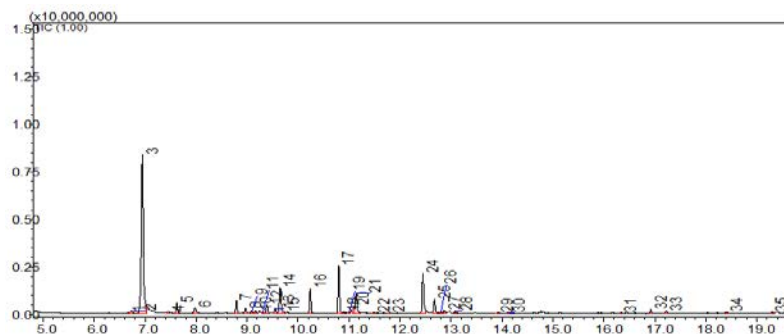


Figura 9. Cromatograma obtenido por GC/MS al evaluar el perfil volátil (COVs) del extracto de mora con espina enferma procedente del municipio de Guática (M1\_CE\_ENFERMA)

Así mismo, cuando se comparan los cromatogramas de los extractos obtenidos de frutos muestreados en la localidad 1, pero sin espina, también se encuentra mayor número de compuestos en la mora sana (Figura 10), que en su mayoría presentan picos más altos que los de moras enfermas, indicando, como ya se dijo, una concentración superior en los compuestos de la mora sana y menor en la mora enferma (Figura 11).

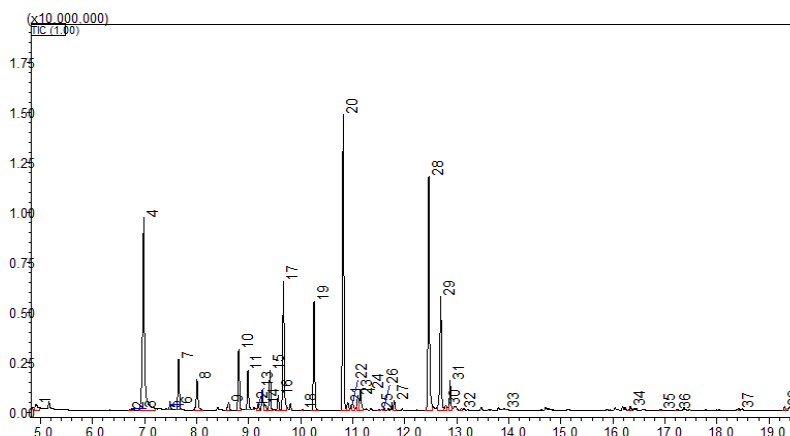


Figura 10. Cromatograma obtenido por GC/MS al evaluar el perfil volátil (COVs) del extracto de mora sin espina sana procedente del municipio de Guática (M1\_SE\_SANA).

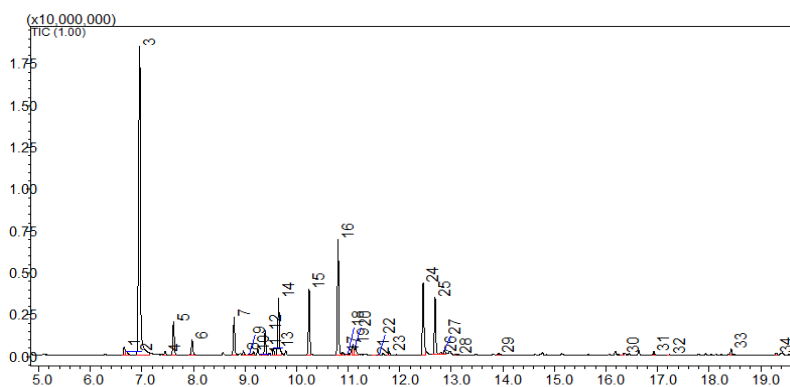


Figura 11. Cromatograma obtenido por GC/MS al evaluar el perfil volátil (COVs) del extracto de mora sin espina enferma procedente del municipio de Guática (M1\_SE\_ENFERMA).

Sin embargo, es de notar que sucede lo contrario con el compuesto 2-Heptanol (pico No. 4 en la mora sana y No. 3 en la mora enferma), el cual en la mora enferma casi duplica la altura generada en los extractos de frutos sanos; por su parte, este compuesto, como ya se ha indicado podría ser un fuerte candidato para mejorar el aroma y el sabor en el procesamiento de frutas a través de hidrólisis [29], además su enantiómero S es empleado como intermediario en la síntesis de fármacos anti-alzheimer, una enfermedad neurodegenerativa que afecta cerca de 35 millones de personas en el mundo [42] y que en Latinoamérica se estima que para el 2040 la tasa de incremento sobrepase la de cualquier otra región en el mundo [43].

En cuanto a los muestreos 2 y 3, según la Tabla 5, presentan similitud en la cantidad de compuestos encontrados, a excepción de las moras enfermas sin espina y con espina, recolectadas en la localidad 2, las

cuales solo tuvieron 9 y 10 compuestos, respectivamente; lo que era de esperarse, ya que como se evidenció en la Figura 5, se trataba de frutos muy colonizados por hongos, de hecho, algunos presentaban un desarrollo interrumpido y su humedad era escasa, de modo que una baja concentración de COVs, así como de cualquier otro tipo de componente presente en la mora no sería un caso extraño.

Por otra parte, mediante las áreas bajo la curva es posible analizar diferencias existentes en las abundancias relativas de compuestos cuando las moras están sanas o enfermas, bien sea de variedad con espina o sin espina. Para lo anterior se hará uso de los datos obtenidos al analizar las variedades de Guática, ya que como se indicó son los frutos que presentaron un perfil volátil mucho más completo. En la Tabla 6, representada gráficamente en las Figuras 12 a 15, se reportan las áreas obtenidas para cada uno de los 32 compuestos que tuvieron en común las variedades con espina y sin espina, en estado enfermo y sano de la localidad 1.

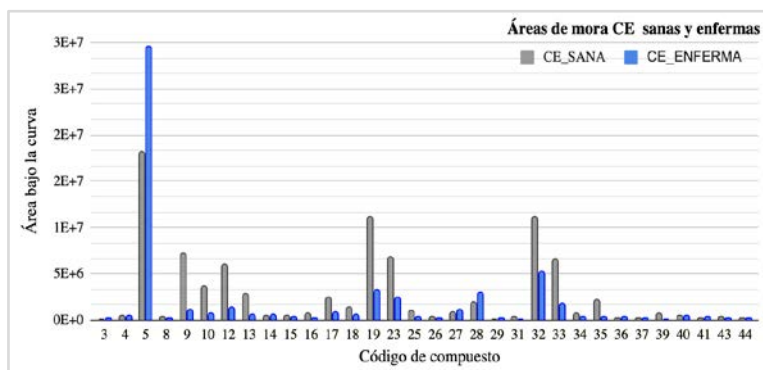
**Tabla 6.** Áreas de compuestos comunes entre las dos variedades de mora cultivadas en Guática

| Código | Compuesto                   | Áreas M1 (Guática) |            |          |            |
|--------|-----------------------------|--------------------|------------|----------|------------|
|        |                             | CE_Sana            | CE_Enferma | SE_Sana  | SE_Enferma |
| 3      | 2-heptanona                 | 62161              | 177643     | 48856    | 1222011    |
| 4      | Estireno                    | 459443             | 466434     | 188423   | 1943136    |
| 5      | 2-heptanol                  | 18117648           | 29551618   | 27756378 | 44767906   |
| 8      | $\alpha$ -Tujeno            | 386965             | 241793     | 573644   | 497513     |
| 9      | $\alpha$ -pineno            | 7236759            | 1109938    | 5544704  | 5528166    |
| 10     | Canfano                     | 3691633            | 729566     | 3381141  | 2392245    |
| 12     | $\beta$ -mirceño            | 5993086            | 1339580    | 5774104  | 5171792    |
| 13     | Hexanoato de etilo          | 2850761            | 633388     | 3382870  | 483216     |
| 14     | Octanal                     | 460179             | 560280     | 250750   | 127181     |
| 15     | $\alpha$ -felandreno        | 496855             | 347816     | 634239   | 450888     |
| 16     | trans-2-Acetato de hexenilo | 730729             | 162675     | 680252   | 59563      |
| 17     | (+)-4-Carene                | 2396255            | 898386     | 4260939  | 2974829    |
| 18     | p-Cimeno                    | 1383552            | 526575     | 1434643  | 1057684    |
| 19     | D-Limoneno                  | 11113158           | 3178278    | 13964035 | 7677890    |
| 23     | $\gamma$ -terpineno         | 6780103            | 2499684    | 10722563 | 8199508    |
| 25     | p-cimeno                    | 1023204            | 285151     | 1025754  | 483693     |
| 26     | Benzoato de metilo          | 293143             | 152341     | 839237   | 213396     |
| 27     | 2-Nonanol                   | 870504             | 1065324    | 1520062  | 1129648    |
| 28     | Nonanal                     | 1973190            | 2947299    | 2328106  | 926648     |
| 29     | Octanoato de metilo         | 91916              | 185843     | 97161    | 44992      |
| 31     | p-Mentha-1,5,8-trieno       | 317101             | 76947      | 987037   | 386293     |
| 32     | Benzoato de etilo           | 11126641           | 5265106    | 23554480 | 8054659    |
| 33     | Terpinen-4-ol               | 6572295            | 1816417    | 11722649 | 5838267    |
| 34     | p-Cimen-8-ol                | 761015             | 278849     | 690106   | 541792     |
| 35     | Octanoato de etilo          | 2212922            | 384626     | 2898908  | 570826     |
| 36     | Decanal                     | 249106             | 391642     | 138155   | 67788      |
| 37     | Geraniol                    | 202024             | 187263     | 170209   | 205292     |
| 39     | Decanoato de etilo          | 737245             | 123423     | 492311   | 164326     |
| 40     | Cariofileno                 | 436886             | 435415     | 156171   | 487671     |
| 41     | (Z)- Acetato de geraniol    | 140478             | 278985     | 96865    | 114148     |
| 43     | $\delta$ -Cadinene          | 266442             | 153768     | 156039   | 511217     |
| 44     | Benzoato de hexilo          | 157099             | 260770     | 352001   | 234737     |

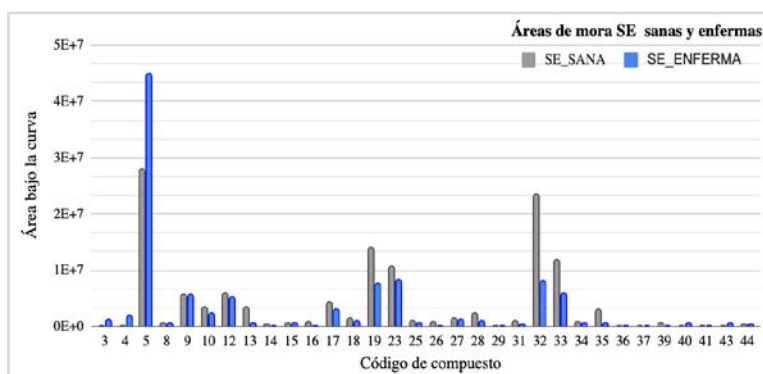
Las Figuras 12 y 13 permiten encontrar un patrón similar al comparar las moras sanas y enfermas en las dos variedades trabajadas, teniendo para la mayoría de compuestos una concentración superior en los frutos sanos, sin embargo es una diferencia menos marcada en la variedad de mora sin espina; además, en ambos casos se cuenta con notables concentraciones de los compuestos 5 (2-heptanol), 9 ( $\alpha$ -pineno), 12 ( $\beta$ -mirceño), 19 (D-Limoneno), 23 ( $\gamma$ -terpineno), 32 (benzoato de etilo) y 33 (Terpinen-4-ol), al compararlos con los demás compuestos.

La información registrada en la Tabla 6 permite también evaluar la concentración de volátiles entre moras afectadas cuando la variedad es la que cambia, por lo menos en el caso específico de Guática; evidenciando, mediante la Figura 14, que la mora sin espina presenta mayor concentración en los siete compuestos listados anteriormente como los más abundantes, para los cuales se han resaltado potenciales usos en diferentes industrias, por lo que esta variedad, que de por sí ya es preferida por el productor al exponer

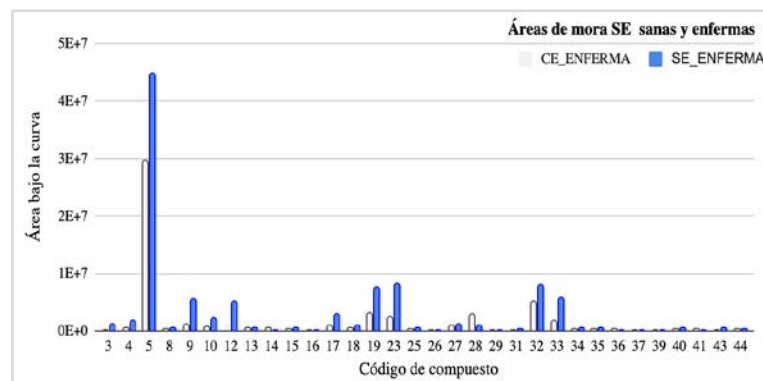
ventajas frente a la tradicional mora con espina al momento de ser cosechada, almacenada y de recuperar la inversión al presentar mayor aceptación por el consumidor y la agroindustria, muestra también, según la presente investigación, ventajas sobre la mora con espina en cuanto a su perfil volátil.



**Figura 12.** Áreas de compuestos comunes en los extractos de mora con espinas sanas y en estado enfermo, cultivadas en el municipio de Guática (M1\_CE\_Sanas y M1\_CE\_Enfermas)



**Figura 13.** Áreas generadas a partir de los extractos de mora sin espinas sanas y en estado enfermo, cultivadas en el municipio de Guática (M1\_SE\_Sanas y M1\_SE\_Enfermas)



**Figura 14.** Áreas cromatográficas generadas a partir de los extractos de mora en estado enfermo de las variedades con espina y sin espina, cultivadas en el municipio de Guática

De hecho, al graficar los datos en escala logarítmica (Figura 15) se puede visualizar mejor que la mora sin espina presenta mayor concentración no solo en los siete compuestos principales, sino en 36 de los 48 compuestos que tiene en común con el fruto con espina.

Adicionalmente, algunos de los compuestos agrupados en la Tabla 6, como el canfano,  $\alpha$ -felandreno, p-cimeno, D-limoneno, p-cimeno, benzoato de metilo, benzoato de etilo y geraniol han sido listados como componentes principales de materiales aromáticos con actividad antimicrobiana, incluyendo aceites esenciales y sus vapores, los cuales son empleados también en la industria del perfume y los cosméticos, así como para la elaboración de jabones, productos de baño y ambientadores. De hecho, realizando una clasificación mayor de los usos, se tiene que muchas sustancias aromatizantes encontradas se emplean como saborizantes y aromatizantes en la industria alimentaria, así como en bebidas aromáticas en la

industria licorera; se adicionan a productos de cuidado personal como cremas, desodorantes, champús, geles y pastas dentales en la industria cosmética y dental; en la industria fitosanitaria se emplean para el control de plagas y en la industria de los ambientadores hacen parte de la formulación de los artículos de limpieza [32].

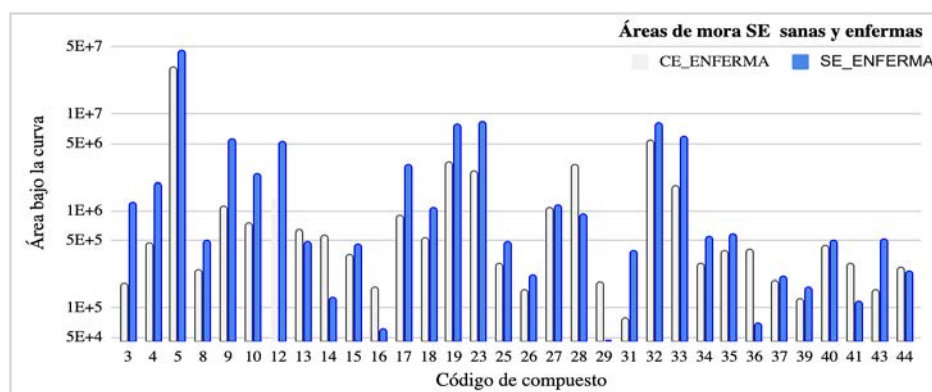


Figura 15. Áreas graficadas en la Figura 14, empleando escala logarítmica.

## 5. CONCLUSIONES

Se evaluó el perfil volátil de frutos de mora de castilla (*Rubus Glaucus Benth*) encontrando un total de hasta 39 COVs en la variedad con espina en estado sano y 35 cuando la fruta estaba afectada por hongos fitopatógenos; en la segunda variedad (mora sin espina) se encontraron hasta 38 compuestos en los frutos sanos y 34 en los enfermos, lo que demuestra la abundancia de COVs en ambas variedades en su estado sano y con afectación.

Se evidenció mediante las diferencias encontradas entre los perfiles volátiles de los frutos enfermos, que la mora sin espina es una variedad prometedora con ventajas sobre el fruto con espinas, no solo por las características que actualmente la posicionan como preferida para los agricultores, sino también porque después de verse afectada por fitopatógenos presenta un perfil volátil más completo que la mora con espina enferma, lo que se ve traducido en más oportunidades de obtener productos con valor agregado.

Se comprueba con los COVs encontrados en la mora de Castilla en estado enfermo que se trata de un fruto que continúa presentando un perfil volátil muy completo, que la posiciona como un subproducto potencial para ser utilizada en una variedad de nuevos productos basados en sus propiedades bioactivas y aromáticas, abriendo campo a nuevas investigaciones y revisiones tecnológicas que permitan incorporar la mora afectada por hongos fitopatógenos en la cadena comercializadora y el sector industrial.

Mediante este estudio, en unión con investigaciones previas, se logra dar valor no solo a los frutos enfermos sino también a la mora de Castilla en general, gracias a que la mayoría de los compuestos volátiles encontrados han destacado por presentar propiedades que los posicionan como materia prima para la fabricación de diversos productos en la industria cosmética, de perfumería, aseo, alimenticia e incluso farmacéutica.

Se demuestra mediante los compuestos encontrados en las dos variedades de mora, tanto enferma como sana, que Latinoamérica y el Caribe cuenta con recursos valiosos que mediante investigaciones de mercado podrían generar múltiples oportunidades de negocios que permitan ejecutar proyectos para el aprovechamiento sostenible y rentable, no solo de los productos principales, sino también de los subproductos, apuntando con ello a la superación del extractivismo en el que se ha sumergido la región.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, por la financiación del proyecto Código 9-21-6 a través de la convocatoria para financiar proyectos de grupos de Investigación año 2021; Al Grupo de investigación Oleoquímica por el apoyo logístico para el desarrollo del proyecto, y al analista QI. Hugo Fernando Arias.

## REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021). Cadena Productiva de la Mora. Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales.
- [2] Esparza I. et al. (2020). Fruit and vegetable waste management: Conventional and emerging approaches. *Journal of environmental management* 265, 110510.
- [3] Martínez A. et al. (2013). Ficha técnica de la variedad de mora sin espinas (*Rubus glaucus Benth*). INIAP ANDIMORA-2013.
- [4] Guichard E. (1982). Identification des constituants volatils aromatiques de la variété de framboises Lloyd George. *Sci. Aliment.* 173, 173-185.
- [5] Ayala J. et al. (2011). Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives. *Food Research International* 44(7), 1866-1874.
- [6] Rowan D. (2011). Volatile metabolites. *Metabolites* 1(1), 41-63.
- [7] Aprea E. et al. (2010). Characterization of 14 raspberry cultivars by solid-phase microextraction and relationship with gray mold susceptibility. *Journal of agricultural and food chemistry* 58(2), 1100-1105.
- [8] Honkanen E. et al. (1980). The aroma of Finnish wild raspberries, *Rubus idaeus*, L. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung* 171(3), 180-182.
- [9] Robertson G. et al. (1995). Changes in the chemical composition of volatiles released by the flowers and fruits of the red raspberry (*Rubus idaeus*) cultivar Glen Prosen. *Phytochemistry* 38(5), 1175-1179.
- [10] Jennings D. (1988). Raspberries and blackberries: Their breeding, diseases and growth. Academic press.
- [11] Fidelis M. et al. (2019). Fruit seeds as sources of bioactive compounds: Sustainable production of high value-added ingredients from by-products within circular economy. *Molecules* 24(21), 3854.
- [12] Aprea E. et al. (2015). Volatile compounds of raspberry fruit: from analytical methods to biological role and sensory impact. *Molecules* 20(2), 2445-2474.
- [13] Sinuco D. et al. (2013). Quantitation of the odour-active compounds in Andes berry (*Rubus glaucus Benth*) fruit using the molecular sensory approach. *European Food Research and Technology* 236(2), 373-378.
- [14] Riveros H. y Heinrichs W. (2014). Valor agregado en los productos de origen agropecuario: Aspectos conceptuales y operativos. Tiane.
- [15] CEPAL. (2017). Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: Una mirada hacia América Latina y el Caribe 2017-2018. CEPAL.
- [16] CEPAL. (2021). Agro 4.0. CEPAL.
- [17] ICONTEC. (1997). Frutas frescas. Mora de Castilla, especificaciones - NTC 4106. Norma Técnica Colombiana.
- [18] Iza M. et al. (2020). Diferenciación morfológica, fenológica y pomológica de cultivares comerciales de mora (*Rubus glaucus Benth*). *Enfoque UTE* 11(2), 47-57.
- [19] Dávila J. et al. (2017). A biorefinery for efficient processing and utilization of spent pulp of Colombian Andes Berry (*Rubus glaucus Benth*): Experimental, techno-economic and environmental assessment. *Bioresource Technology* 223, 227-236.
- [20] Díaz A. et al. (2018). Manejo fitosanitario del cultivo de la mora (*Rubus glaucus benth*): Medidas para la temporada invernal. ICA.
- [21] Garzón L. y Gómez C. (2015). Caracterización bromatológica y microbiológica de cultivos de la mora de castilla sin espinas (*Rubus glaucus Benth*) del corregimiento de la Bella y del municipio de Santa Rosa de Cabal (Risaralda, Colombia).
- [22] Rotili M. et al. (2022). Bioactive compounds, bromatological and mineral characterization of blackberries in a subtropical region. *Revista Ceres* 69, 13-21.
- [23] Jacques A. et al. (2014). Bioactive and volatile organic compounds in Southern Brazilian blackberry (*Rubus fruticosus*) fruit cv. Tupy. *Food Science and Technology* 34, 636-643.
- [24] Biasioli F. et al. (2011). Direct-injection mass spectrometry adds the time dimension to (B) VOC analysis. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 30(7), 1003-1017.
- [25] Dewulf J. et al. (2002). Analysis of volatile organic compounds using gas chromatography. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 21(9-10), 637-646.
- [26] Lee J. et al. (2007). Headspace-solid phase microextraction (HS-SPME) analysis of oxidized volatiles from free fatty acids (FFA) and application for measuring hydrogen donating antioxidant activity. *Food chemistry* 105(1), 414-420.
- [27] Ríos J. (2016). Nuevos desarrollos metodológicos en SPME. Comunes.
- [28] D'Agostino M. et al. (2015). Optimization of a solid-phase microextraction method for the gas chromatography-mass spectrometry analysis of blackberry (*Rubus ulmifolius Schott*) fruit volatiles. *Food chemistry* 178, 10-17.
- [29] Meret M. et al. (2011). Contribution to aroma potential of Andean blackberry (*Rubus glaucus Benth*). *Food Research International* 44(1), 54-60.
- [30] Padilla S. et al. (2019). Changes in the aroma of organic blackberries (*Rubus fruticosus*) during ripeness. *Analytical Chemistry Letters* 9(1), 64-73.

- [31] Brito M. et al. (2020). Avaliação da atividade antinociceptiva do monoterpeno terpinoleno. Brasil.
- [32] Montoya G. (2010). Aceites esenciales: Una alternativa de diversificación para el eje cafetero. UTP.
- [33] Gu I. et al. (2022). Chemical composition of volatile extracts from blackberries, black raspberries, and blueberries and their apoptotic effect on A549 non-small-cell lung cancer cells. *Current Developments in Nutrition* 6, 284-284.
- [34] Morin P. et al. (2021). Blackberry phenolic and volatile extracts inhibit cytokine secretion in LPS-inflamed RAW264.7 cells. *Journal of Food Bioactives* 16.
- [35] Gu I. et al. (2020). Berry phenolic and volatile extracts inhibit pro-inflammatory cytokine secretion in LPS-stimulated RAW264.7 cells through suppression of NF- $\kappa$ B signaling pathway. *Antioxidants* 9(9), 871.
- [36] Surendran S. et al. (2021). Myrcene—what are the potential health benefits of this flavouring and aroma agent? *Frontiers in Nutrition* 45, 400-412.
- [37] Salehi B. et al. (2019). Therapeutic potential of  $\alpha$ - and  $\beta$ -pinene: A miracle gift of nature. *Biomolecules* 9(11), 738.
- [38] Miller J. et al. (2011). d-Limonene: A bioactive food component from citrus and evidence for a potential role in breast cancer prevention and treatment. *Oncology Reviews* 5(1), 31-42.
- [39] Sato K. et al. (2007). Antimicrobial effect of vapours of geraniol, (R)-(-)-linalool, terpineol,  $\gamma$ -terpinene and 1, 8-cineole on airborne microbes using an airwasher. *Flavour and Fragrance Journal* 22(5), 435-437.
- [40] Benelli G. et al. (2018). Insecticidal activity of camphene, zerumbone and  $\alpha$ -humulene from *Cheilocostus speciosus* rhizome essential oil against the Old-World bollworm, *Helicoverpa armigera*. *Ecotoxicology and environmental safety* 148, 781-786.
- [41] Girola N. et al. (2015). Camphene isolated from essential oil of *Piper cernuum* (Piperaceae) induces intrinsic apoptosis in melanoma cells and displays antitumor activity in vivo. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 467(4), 928-934.
- [42] Candal C. (2019). Preparación del (S)-2-Heptanol, intermedio en la síntesis de fármacos anti-Alzheimer, mediante biocatalizadores basados en lipasa inmovilizada. Upala.
- [43] Llibre J. y Gutiérrez R. (2014). Demencias y enfermedad de Alzheimer en América Latina y el Caribe. *Revista Cubana de Salud Pública* 40(3), 378-387.

# Caracterización del porcentaje de humedad en productos orgánicos usando ondas de radio frecuencia en el rango de las microondas

José Roberto Reyes Ayona<sup>1</sup>

Andrés Toledo López<sup>2</sup>

Edgar Reyes Ayona<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> *Universidad de Guanajuato*

<sup>3</sup> *Instituto Politécnico Nacional*  
México

Las ondas electromagnéticas en el rango de las microondas se utilizan para analizar las características de tres diferentes productos orgánicos usados como alimentos: papa, miel y leche. Este análisis se enfoca hacia la determinación de la cantidad de agua que contienen cada uno; para esto se utiliza un sensor de permitividad dieléctrica basado en un resonador metamaterial de modo forzado. La frecuencia de resonancia del sensor dependerá de su tamaño y del tipo de material con el que esté en contacto o que se ponga en proximidad. Si el material de la muestra cambia ligeramente, este cambio se verá reflejado en su permitividad dieléctrica y, a su vez, en una diferente frecuencia de resonancia en la respuesta del sensor. Se detalla cómo se obtienen muestras con diferentes proporciones de agua en su contenido, la teoría base para usar a este tipo de resonador como sensor, el análisis matemático para la proporción de cantidad de agua en cada muestra usando la respuesta en frecuencia del sensor como referencia, y los resultados experimentales obtenidos. Para los resultados experimentales se usa un analizador de redes vectoriales para alimentar, mediante un cable coaxial y un conector versión A sub miniatura, un sensor fabricado en placa de circuito impreso; las muestras se colocan sobre el sensor y se obtienen diferentes frecuencias como respuestas. Los resultados están dentro de lo esperado y corresponden con la hipótesis establecida.

---

<sup>1</sup> Doctor en Ciencias con Especialidad en Electrónica.

Contacto: [jr.reyes@ugto.mx](mailto:jr.reyes@ugto.mx)

<sup>2</sup> Licenciado en Ingeniería Mecatrónica.

Contacto: [a.toledolopez@ugto.mx](mailto:a.toledolopez@ugto.mx)

<sup>3</sup> Doctor en Física.

Contacto: [eayona@gmail.com](mailto:eayona@gmail.com)

## 1. INTRODUCCIÓN

Una de las necesidades indispensables de la humanidad es el alimento, muchos recursos y tecnologías se dedican a la producción de alimentos buscando producir cada vez más y mejores alimentos. Sin embargo, lo que usualmente consumimos no siempre es lo más saludable. Alimentos dulces y grasosos suelen ser los de mejor sabor, pero poco saludables si se consumen en demasía.

De igual forma alimentos prácticamente idénticos a la vista pueden tener composiciones y propiedades muy diferentes, estas composiciones diferentes pueden resultar en diferentes niveles de calidad del alimento e incluso de originalidad.

Las compañías transnacionales de alimentos dedican mucho tiempo y esfuerzo para tener en el mercado alimentos de buen sabor y que a su vez sean de bajo contenido de azúcares o grasas. Entre los alimentos preferidos de la población están los fritos, ya sean derivados de harinas, animales o vegetales. Las papas fritas quizás sean el alimento que reina entre los grasosos a nivel mundial.

Se han hechos estudios para determinar cuál sería el menor contenido de grasa en papas fritas considerando el tiempo y temperatura de freído [1-4], grosor y tipo de corte [1], tipo de aceite [2], dos periodos de freído en diferentes aceites [3], producto fresco o almacenado [4], o tipos de papa [4].

Un factor importante y siempre presente en la cantidad de aceite absorbido por la papa es el porcentaje de humedad, porque es mayoritariamente agua: entre 63% y 83% [5]. Si el porcentaje de humedad de la papa no es suficiente, absorberá incluso más aceite para compensar esta falta de agua.

Por esto, es indispensable medir el porcentaje de humedad en las papas antes de freírlas para garantizar la menor absorción de aceite, esto no solo servirá para tener un producto más sano, sino que también para reducir costos de producción al requerir de menos aceite. Otras características asociadas a la cantidad de agua de los alimentos son:

- Calidad. El porcentaje de agua en leche no debe de ser más alto de lo establecido
- Frescura. En vegetales y frutas el nivel de frescura se puede determinar por sus porcentajes de agua
- Perecibilidad. Los alimentos secos deben de tener bajo porcentaje de agua.
- Densidad. La mayor parte del peso de los vegetales y frutas es agua.
- Congelamiento. El tiempo que tardará el alimento en ser congelado.

Al inicio la medición de la humedad era con dispositivos análogos/visuales, luego con el transcurso del tiempo esta se realizaba a través reacciones químicas. Los métodos convencionales y presentes en todos los lugares de estudios y freído de alimentos para determinar el porcentaje de humedad tarda 24 horas. Existen otros métodos que dependiendo del grosor de la rebanada pueden tardar de 120 a 300 minutos (Probador de humedad de Koister) de 210 a 510 minutos (deshidratador de comida), o de 3 a 10 minutos (horno de microondas de 1 100 W) [5]. Estos métodos no solo son tardados, sino que son destructivos y están limitados a muy pequeñas muestras poblacionales.

Cada material sólido, líquido o gaseoso tiene una permitividad eléctrica, la cual cambia ligeramente con la presencia de contaminantes, con el envejecimiento o madurez, con los niveles de humedad, etc. Estas características electromagnéticas son dependientes de la frecuencia y únicas para cada material. Para que exista una resonancia es necesaria la interacción constructiva de ondas, y esta resonancia es dependiente del tamaño de un resonador y de las propiedades electromagnéticas del entorno del resonador. Cuando se usa a una muestra para ser parte de ese entorno, esa muestra presentará una resonancia la cual será diferente a la que presente otra muestra casi idéntica.

De esta manera, si un resonador es lo suficientemente sensible, se pueden apreciar cambios en la frecuencia de un resonador y de esta forma caracterizar alimentos para obtener una relación que nos indique el porcentaje de humedad presente en diferentes tipos de alimentos ya que este tipo de resonadores podría detectar cambios que están en la estructura molecular de las muestras.



## 2. MARCO CONCEPTUAL

### 2.1 El resonador

Un resonador es un sistema que muestra un comportamiento que oscila entre frecuencias con una amplificación mayor que otras. Las oscilaciones en un resonador pueden ser tanto electromagnéticas como mecánicas, incluyendo las acústicas. Los resonadores pueden ser usados ya sea para generar ondas a una frecuencia determinada o para seleccionar ciertas frecuencias de una señal compuesta. Un circuito eléctrico que esté compuesto de ciertos componentes puede actuar como un resonador cuando un capacitor y un inductor son incluidos. Las oscilaciones son limitadas en amplitud por la presencia de un efecto resistivo por más pequeño que este sea, este efecto se debe a que sin importar que tan buenos conductores sean los metales usados para fabricar al inductor y al capacitor, estos metales siempre tienen una conductividad grande pero limitada.

La permitividad relativa es la que *miraran* las líneas de campo eléctrico aplicado cuando viajan de su punto de generación a su punto de sumidero, cuando se tiene un material uniforme, la permitividad resultante es la del material, cuando el material no es uniforme o está compuesto por más de un material, no podemos hablar de una permitividad relativa sino de permitividad efectiva. Es decir, las líneas de campo eléctrico tendrán diferentes intensidades en los diferentes materiales ya que dependen de la permitividad del material e igualmente dependen de que tanto sea la porción del material.

Así es que, la permitividad efectiva no será ni la de un material ni la del otro sino una combinación que es la que se conoce como permitividad efectiva. En una línea de microcinta simple las líneas de campo eléctrico viajan en parte en el material de la placa de substrato y en parte en el aire, mientras más ancha sea la microcinta mayor es el número de líneas de campo eléctrico que viajan por el material y viceversa.

La ecuación (1) presenta una forma simple de encontrar la permitividad efectiva al basarse en el promedio ponderado, con lo cual podemos expresar a la permitividad efectiva de una muestra de la siguiente manera

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_i A_i + \epsilon_m A_m + \epsilon_s A_s}{A_T} \quad (1)$$

Donde:

$\epsilon_i$  es la permitividad relativa del material que cubre a la muestra en su parte inferior.

$\epsilon_m$  es la permitividad relativa de la muestra.

$\epsilon_s$  es la permitividad relativa del material que cubre a la muestra en su parte superior.

$A_i$  es el grosor del material que cubre a la muestra en su parte inferior.

$A_m$  es el grosor de la muestra.

$A_s$  es el grosor del material que cubre a la muestra en su parte superior.

$A_T$  es el grosor total de materiales y muestra.

De igual forma se pueden agregar más materiales y ponderar su permitividad. Si bien es cierto que lo que nos interesa es tener la permitividad de un material en específico, algunos materiales por su consistencia no pueden colocarse directos sobre los sensores porque se desparramarían (muestras líquidas), o se adherirían a los sensores (muestras viscosas), por lo que se le puede agregar una envoltura o envase a la muestra.

Como ya se ha mencionado, la intensidad del campo eléctrico dentro de una muestra depende de la permitividad del material y del espesor del material, así como de la intensidad del campo eléctrico externo que se le aplica a una muestra.

El campo eléctrico se puede concentrar en ciertas direcciones dependiendo de la forma que se le proporcione al resonador por lo que la forma del resonador determina las regiones de mayor intensidad del campo eléctrico. Para este trabajo se usan dos formas de resonador: rectangular y circular. La Figura 1 muestra el *layout* para sensores rectangulares de 2 tamaños diferentes.



Figura 1. Layout de sensores rectangulares: a) 44 mm, b) 12 mm

La forma rectangular es mejor para formas largas y delgadas como popotes o papas con corte para estilo papa francesa, la forma rectangular es mejor para formas circulares como frascos, recipientes o cortes circulares. La Figura 2 muestra una placa de circuito impreso con diferentes sensores que se usaron en el proceso de medición y caracterización.

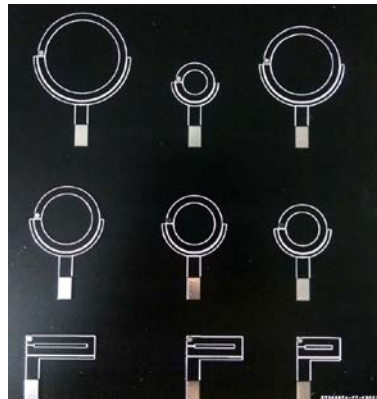


Figura 2. Placa de circuitos impresos para los sensores rectangulares y circulares

## 2.2 Humedad en papas

Entre los alimentos preferidos de la población están los fritos, ya sean derivados de harinas, animales o vegetales. Las papas fritas quizás sean el alimento más consumido entre los alimentos fritos a nivel mundial. El porcentaje de grasa que una porción de papa absorberá al ser freída tiene una relación directa con el porcentaje de humedad de la papa, razón por la cual es indispensable tener un conocimiento preciso del porcentaje de humedad en la papa para garantizar que su porcentaje de grasa es el menor posible.

Esto no solo tendría beneficios en salud general, sino que también proporcionaría beneficios económicos a los vendedores masivos de papas fritas ya que consumirían menor cantidad de aceite. Sin embargo, las técnicas usadas actualmente para determinar este porcentaje de humedad o son demasiado tardadas, destructivas, demasiado caras o que solo pueden aplicarse a pequeñas muestras poblacionales, o solo funcionan para dimensiones específicas de las muestras [12].

Se han hechos estudios para determinar cuál sería el menor contenido de grasa en papas fritas considerando el tiempo y temperatura de freído, grosor y tipo de corte, tipo de aceite, dos periodos de freído en diferentes aceites, producto fresco o almacenado, o tipos de papa. Un factor importante y que está siempre presente en la cantidad de aceite absorbido por la papa, es el porcentaje de humedad [13].

Para las pruebas en la papa se requiere primeramente trozos de esta ya sea en rebanadas o tiras para después aplicar calor para llevar a cabo un secado/deshidratación, de esta manera podremos realizar mediciones de pérdidas de agua en la papa, así como también monitorear el peso de esta ya que como se sabe, el agua tiene una masa la cual tendera a disminuir con el calor aplicado. En la inicialización con el proceso se requiere cortar la papa, esto se realiza con un rallador o similar para tener muestras lo más proporcionales posible y tener una buena comparación entre muestras, también se requiere una pistola de aire caliente con objetivo de proceder a la deshidratación.

Diez muestras de papa que fueron cortadas y pesadas fueron caracterizadas, en primera instancia no se aplica calor y la medición se realizó a temperatura ambiente, para la segunda medición a las mismas muestras se aplica aire caliente que está a una temperatura de 40°C por un tiempo a la exposición del aire

caliente de 15 segundos, y para la tercera medición de igual manera una temperatura de 40°C con un tiempo a la exposición del calor de 15 segundos dando un total acumulado de 30 segundos. La Tabla 1 muestra la relación de las 10 muestras entre su peso y el tiempo de exposición a aire caliente.

**Tabla 1.** Peso de las muestras de papa a diferentes tiempos de secado.

| Muestra | 0 segundos | 15 segundos | 30 segundos |
|---------|------------|-------------|-------------|
| 1       | 1,7 g      | 1,48 g      | 1,35 g      |
| 2       | 1,76 g     | 1,56 g      | 1,43 g      |
| 3       | 1,66 g     | 1,48 g      | 1,33 g      |
| 4       | 1,39 g     | 1,23 g      | 1,13 g      |
| 5       | 1,43 g     | 1,27 g      | 1,17 g      |
| 6       | 1,87 g     | 1,64 g      | 1,51 g      |
| 7       | 1,89 g     | 1,69 g      | 1,56 g      |
| 8       | 1,83 g     | 1,63 g      | 1,50 g      |
| 9       | 1,75 g     | 1,57 g      | 1,44 g      |
| 10      | 1,75 g     | 1,35 g      | 1,22 g      |

### 2.3 Humedad en miel

La medida de humedad para la miel ha sido estudiada usando este tipo de resonador [14]. La cantidad de humedad en miel es uno de los problemas que tienen los apicultores a la hora de hacer la mezcla de las mieles, o de verificar la calidad de una miel, ya que la misma es muy higroscópica. Si el ambiente está por encima de un 60% en humedad la miel absorbe humedad, si la humedad del ambiente está por debajo de este valor la miel pierde humedad. Una situación primordial en lo referente a la miel es que la miel tiende a fermentar y esto produce la degradación de su calidad y su destrucción [15].

El valor para la humedad de una miel está entre 14% y 21% dando un promedio de un 17%. El porcentaje de agua va a depender del origen botánico de la recolección del néctar, condiciones de clima, temporadas de producción, la manipulación y condición en la que se almacena por lo tanto influye en la calidad de miel. Para valores de humedad menores a 17,1% desaparece el peligro de fermentación más sin embargo con valores superiores a este valor la posibilidad de fermentación incrementa considerablemente en función de la carga microbiana.

Las muestras de miel se colocaron dentro de pajillas las cuales fueron selladas o se colocaron dentro de recipientes de vidrio tal como se muestran en la Figura 3.



**Figura 3.** Muestras de miel dentro de pajillas y dentro de recipientes de vidrio

Para todas las pruebas con miel se usaron muestras de 26 mL, la muestra número 1 es miel pura, ese decir, 26 mL de miel pura. Para la muestra número 2 se usaron 25,5 mL de miel pura y 0,5 mL de agua destilada, para la muestra número 3 25 mL de miel y 1 mL de agua, y así sucesivamente. La Tabla 2 muestra la proporción de cada muestra de 26 mL así como su respectivo peso.

**Tabla 2.** Peso y proporciones de miel y agua de las diferentes muestras.

| Muestra | mL de miel | mL de agua | Peso muestra |
|---------|------------|------------|--------------|
| 1       | 26         | 0          | 34,85 g      |
| 2       | 25,5       | 0,5        | 34,35 g      |
| 3       | 25         | 1          | 34,17 g      |
| 4       | 24,5       | 1,5        | 34,05 g      |

|   |      |     |         |
|---|------|-----|---------|
| 5 | 24   | 2   | 33,87 g |
| 6 | 23,5 | 2,5 | 33,75 g |
| 7 | 23   | 3   | 33,67 g |
| 8 | 22,5 | 3,5 | 33,34 g |
| 9 | 22   | 4   | 33,23 g |

## 2.4 Humedad en leche

La leche es un producto destinado (en la mayoría de las ocasiones) para consumo humano, la cual proviene de la secreción natural de las glándulas mamarias de especies domésticas.

La determinación de humedad en la leche es de vital importancia para la elaboración de los derivados de esta, así mismo la leche posee un 87,27% aproximadamente, los yogures entre el 80% y 90%. Los componentes de la leche que menos varían son los minerales y la lactosa por lo que la adición de agua hace que se diluyan. Otras causas que pueden modificar la concentración de las sustancias disueltas son principalmente enfermedades de las ubres o tuberculosis del ganado lechero [16].

Para las muestras de leche es un proceso similar al de la miel, se usa el mismo tipo de recipiente de 26 mL con el cual se va graduando de igual manera con porciones de 0,5 mL iniciando con 0 mL de agua. En estas muestras en particular se hicieron pruebas con dos distintos recipientes de dos diferentes materiales, los cuales son: popote/pajilla de plástico, vaso de plástico, y con un envase farmacéutico de vidrio. El proceso de la hidratación para la leche se lleva a cabo con una jeringa. La Figura 4 muestra a diferentes muestras las cuales están contenidas dentro de los tres diferentes recipientes. La Tabla 3 muestra las proporciones de leche y agua que tiene cada muestra.



**Figura 4.** Muestras de leche dentro de pajillas de plástico, dentro de recipientes cilíndricos de plástico, y dentro de recipientes cilíndricos de vidrio.

**Tabla 3.** Proporciones de leche y agua de las diferentes muestras.

| Muestra | mL de leche | mL de agua |
|---------|-------------|------------|
| 1       | 26          | 0          |
| 2       | 25,5        | 0,5        |
| 3       | 25          | 1          |
| 4       | 24,5        | 1,5        |
| 5       | 24          | 2          |
| 6       | 23,5        | 2,5        |
| 7       | 23          | 3          |
| 8       | 22,5        | 3,5        |
| 9       | 22          | 4          |
| 10      | 21,5        | 4,5        |
| 11      | 21          | 4          |

## 3. MÉTODO

Las mediciones de las propiedades dieléctricas han ganado gran importancia en los últimos años, debido a que pueden ser utilizados para poder supervisar las características específicas de materiales (porcentaje de humedad, densidad, concentración, existencia de posibles agentes externos) en las áreas de industria, agricultura y medicina [6-7]. Existen dos métodos para medir las propiedades dieléctricas de un material: resonantes y no resonantes. La elección de un método depende de una serie de factores:

1. El margen de frecuencias en el que se desea caracterizar el material.
2. Frescura. El valor esperado de la permitividad (si el material presenta grandes pérdidas de energía o no).

3. La precisión de medición.
4. Las propiedades del material (es decir, homogéneo, heterogéneo, isotrópico o anisótropo).
5. La forma del material (líquido, sólido, granular, en forma de polvo o lámina).
6. Restricciones en el tamaño de la muestra.
7. Medidas destructivas o no destructivas.

Los métodos resonantes tienen mayor exactitud y sensibilidad que los métodos no resonantes y son ampliamente usados para muestras de bajas pérdidas. Los métodos resonantes se dividen en método de resonador dieléctrico y método de perturbación. En el método de resonador dieléctrico no solo se mide la permitividad de los materiales dieléctricos, sino que también se mide la impedancia superficial de materiales conductores [8].

En este trabajo se usa el método de perturbación el cual está basado en la teoría de perturbación-resonancia donde el factor de calidad y la frecuencia de resonancia de una cavidad resonante cambian al ser introducida una muestra en la cavidad resonante y a partir de estos cambios las propiedades electromagnéticas de la muestra pueden ser derivadas. Existen tres tipos de perturbaciones resonantes: perturbación por forma de cavidad la cual es usada para ajustar la frecuencia de resonancia de la cavidad, perturbación por pérdidas en pared donde parte de la pared de la cavidad es reemplazada por las muestras y que sirve para medir la impedancia superficial de conductores, y la perturbación por material donde la introducción del material en la cavidad causa cambios en la frecuencia de resonancia y el factor de calidad de la cavidad [8].

Al aplicar un campo eléctrico externo a un material, dicho campo actúa ejerciendo una fuerza sobre cada carga individual y está la desplaza ligeramente del punto de equilibrio anterior, haciendo que el material adquiera una polarización como se aprecia en la figura (3.1). La polarización adquirida compensa en parte al campo eléctrico del exterior, haciendo que aparezca un campo eléctrico en el interior del material [9]. Las propiedades dieléctricas pueden determinar de forma macroscópica, la interacción de la energía electromagnética con los materiales [10]. La propiedad más utilizada es la permitividad del material. Esto describe la propagación de las ondas electromagnéticas a través de él, la reflexión de las ondas desde la superficie del material y la atenuación de la energía al atravesarlo [11].

El símbolo de la permitividad es  $\epsilon$  y tiene unidades de F/m (Faradio/metro). Generalmente, se utiliza su valor absoluto dividido por el de la permitividad del vacío, que es  $\epsilon_0 = 8,8542 \times 10^{12}$  F/m, convirtiéndose en una cantidad adimensional, que se denomina permitividad compleja o relativa y se expresa como  $\epsilon_r$ . La permitividad relativa  $\epsilon_r$  es una medida de la capacidad de polarización del material bajo la acción de un campo eléctrico externo, es decir, si el material será fácilmente polarizado o no. La polarización descrita, es la provocada por la alineación de los dipolos del material, fenómeno que predomina en el rango de las microondas, La permitividad relativa es una variable compleja, que se puede describir como la ecuación (2).

$$\epsilon_r = \epsilon' - j\epsilon'' = \epsilon'(1 - j \tan \delta) \quad (2)$$

Donde:  $\tan \delta = \epsilon''/\epsilon'$  se denomina tangente de pérdidas y representa la relación entre la parte imaginaria y la parte real de la permitividad relativa.

Por otra parte, la permitividad  $\epsilon''$ , es una medida del grado de disipación por parte del medio, es decir, da una idea de la atenuación que sufrirá la onda que se propague por él. Representa las pérdidas o la absorción de la potencia que tiene el material. La pérdida de potencia de la señal se produce porque, a medida que el campo se va propagando por el material, la fricción producida por las cargas internas que se desplazan al ser polarizadas hace que la energía electromagnética se vaya convirtiendo gradualmente en calor.

El mínimo valor de  $\epsilon''$  es 0, que corresponde a un medio sin pérdidas. Las pérdidas del material incluyen dos efectos: el efecto de pérdidas debidas a la rotación dipolar y el efecto de pérdidas provocado por el movimiento de los iones libres (conductividad iónica). En la ecuación (3) ambos términos se agrupan para expresar a  $\epsilon''$ .

$$\varepsilon'' = \varepsilon_d'' + \frac{\sigma}{\omega\varepsilon_0} \quad (3)$$

$\varepsilon_d''$  representa las pérdidas dipolares y  $\sigma/\omega\varepsilon_0$ , las pérdidas por conductividad iónica del material.  $\sigma$  es la conductividad del material, y  $\omega$  es la frecuencia angular en rad/s.

La constante dieléctrica o parte real de la permitividad  $\varepsilon'$ , es la parte reactiva de la permitividad, es decir, representa una medida relativa de la densidad de energía de las microondas en el interior del material. En materiales convencionales el valor mínimo que puede tomar  $\varepsilon'$  es 1, que corresponde al vacío, el aire posee una permitividad de 1,0006 aproximadamente en tanto que los sólidos y líquidos poseen una permitividad mayor que 1. Este valor depende de muchos factores como lo son, densidad, humedad, temperatura, composición, microestructura, etc. Además, es fuertemente dependiente de la frecuencia a la que se producen las variaciones del campo eléctrico al que se esté sometiendo el material y disminuye gradualmente en su valor al ir aumentando la frecuencia.

Cuando una onda electromagnética pasa de un material a otro diferente material, el cambio de permitividad de los materiales provoca que una parte de la onda se refleje en la interfaz de los materiales y que la otra parte atraviese dicha superficie de separación propagándose a través del nuevo material. Sin embargo, la permitividad no solo causa este efecto, también provoca otros fenómenos. En primer lugar, una mayor  $\varepsilon'$  provoca que la velocidad de la onda disminuya y en consecuencia que la longitud de la onda también disminuya como se puede comprobar en las expresiones de la velocidad de propagación expresada en la ecuación (4) (suponiendo que los materiales son no magnéticos) y de la longitud de onda expresada en la ecuación (5) (también suponiendo que los materiales son no magnéticos).

$$c = \frac{c_0}{\sqrt{\varepsilon'}} \quad (4)$$

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\varepsilon'}} \quad (5)$$

Donde  $c_0$  es la velocidad de la onda electromagnética en el vacío y  $\lambda_0$  es la longitud de la onda electromagnética en el vacío y que se puede expresar como en la ecuación (6) donde está dada por la relación que tienen la velocidad de la onda con su frecuencia  $f$ .

$$\lambda_0 = \frac{c_0}{f} \quad (6)$$

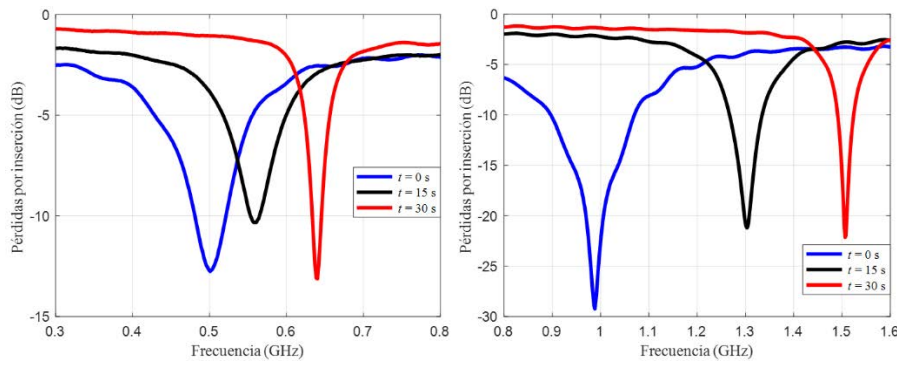
## 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 4.1 Papas

Como ya se ha mencionado, gran parte de la composición de la papa es agua, al cambiar el porcentaje de agua que tiene una papa también cambia su permitividad relativa y en consecuencia cambiará la frecuencia de resonancia de nuestros sensores. La Figura 5 muestra las respuestas en frecuencia para dos sensores a los que denominamos Largo (L) y Corto (C) en referencia a sus longitudes, 45 mm y 25 mm respectivamente. Como se puede apreciar en la figura, se tienen diferentes valores en la frecuencia de resonancia para la misma muestra cuando es expuesta a 3 diferentes tiempos de secado que consisten en exposición a aire calentado a 40°C por periodos de 0, 15 y 30 segundos. La muestra va perdiendo agua conforme se expone a aire caliente y al perder agua pierde permitividad relativa y al perder permitividad relativa el valor de la frecuencia de resonancia aumenta.

Expresaremos el comportamiento del sensor y los resultados de una manera simple, aunque aproximada. Con ayuda de las Ecuaciones (4), (5) y (6) podemos obtener la ecuación (7), donde se escribe a la frecuencia resultante del sensor en función de la velocidad de la luz  $c$ , la longitud de onda guiada  $\lambda_g$ , es decir, la longitud de la onda formada dentro del resonador en el primer modo de resonancia, y la permitividad efectiva  $\varepsilon_{eff}$

$$f = \frac{c}{\lambda_g \sqrt{\varepsilon_{eff}}} \quad (7)$$



**Figura 5.** Respuesta en frecuencia de dos sensores diferentes para la misma muestra de papa para tres diferentes tiempos de secado. Largo (L) del lado izquierdo y Corto (C) del lado derecho.

Además, nuestro sensor está fabricado sobre una placa de sustrato con permitividad relativa de 4,4, pero como parte del campo eléctrico viaja en el aire la permitividad efectiva es menor a eso. La fórmula empírica para encontrar la permitividad efectiva de una línea de microcinta está expresada en la ecuación (8) que está en función de la permitividad relativa del sustrato  $\epsilon_{rs} = 4,4$ , la permitividad relativa del aire  $\epsilon_{ra} = 1$ , el ancho de la microcinta  $W = 1,8$  mm, y la altura o espesor del sustrato  $h = 1,6$  mm y que resolviendo la ecuación nos da un valor de 3,1988, pero como en nuestro caso usamos un anillo de modo forzado usaremos el valor obtenido por simulación de onda completa [17] el cual también hace consideraciones de los cambios en la frecuencia y que nos da un valor que va de 3,236 a 3,2419 para el rango comprendido entre 0,5 GHz y 1,5 GHz.

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_{rs} + \epsilon_{ra}}{2} + \frac{\epsilon_{rs} - \epsilon_{ra}}{2} \left\{ \left( 1 + 12 \frac{h}{W} \right)^{-0.5} + 0.04 \left( 1 - \frac{W}{h} \right)^2 \right\} \quad (8)$$

Usando los valores experimentales de la respuesta en frecuencia y de la permitividad efectiva podemos encontrar el valor de la longitud de onda guiada expresada en la ecuación (7). En la Tabla 4 se muestran los valores de frecuencia para las diferentes resonancias y dos sensores diferentes, para el sensor Largo y sin muestra se tiene un valor de frecuencia de resonancia de 661 MHz, por lo que su la longitud de onda guiada de ese sensor es 252,3 milímetros.

Con ese valor de longitud de onda guiada podemos usar la ecuación (7) para obtener los valores de permitividad efectiva usando como variable independiente a los diferentes valores de frecuencias de resonancias experimentales, estos valores de permitividad efectiva son: 5,701, 4,5247, y 3,4735. El mismo procedimiento se realiza para el sensor Corto y los valores de permitividad efectiva resultantes para ambos sensores se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Peso y proporciones de miel y agua de las diferentes muestras

| Sensor | Sin muestra | $t = 0$ s | $t = 15$ s | $t = 30$ s | $\epsilon_{eff} a 0$ s | $\epsilon_{eff} a 15$ s | $\epsilon_{eff} a 30$ s |
|--------|-------------|-----------|------------|------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| L      | 0,661 GHz   | 0,498 GHz | 0,559 GHz  | 0,638 GHz  | 5,701                  | 4,5247                  | 3,4735                  |
| C      | 1,581 GHz   | 0,988 GHz | 1,303 GHz  | 1,506 GHz  | 8,3103                 | 4,778                   | 3,5767                  |

Las respuestas están dentro de lo esperado, ahora bien, aunque las permitividades efectivas para la misma muestra parecen ser demasiado diferentes, especialmente para los valores de 5,701 comparado con 8,3103, en realidad son valores muy similares de permitividad relativa de la muestra. Debemos recordar que la permitividad efectiva es la *vista* por el sensor no la permitividad relativa de la muestra, a este valor efectivo falta realizar una última operación para ahora si obtener la permitividad relativa de la muestra. El sensor da la permitividad que mira en todo su entorno, su entorno está compuesto por el material en el que es colocado y el espacio arriba de este material. Un cierto volumen es el que forma su entorno, este volumen cambia con el tamaño del sensor por lo que dos sensores de diferente tamaño tienen dos volúmenes diferentes como su entorno.

Las muestras colocadas dentro del volumen de este entorno se vuelven parte de él, pero en diferente proporción. En este caso  $t = 0$  s que la muestra es la misma y por lo tanto tiene el mismo volumen, al colocarla sobre los sensores de dos tamaños diferentes esta misma muestra será una parte mayor del entorno del

sensor Corto de lo que es del sensor Largo. Recordando a la Ecuación (6) y reescribiéndola para nuestro caso de medición de permitividad efectiva en papa rebanada como la Ecuación (9) la cual está en función de las permitividades relativas tenemos que

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_s \cdot V_s + \epsilon_m \cdot V_m + \epsilon_a \cdot V_a}{V_T} \quad (9)$$

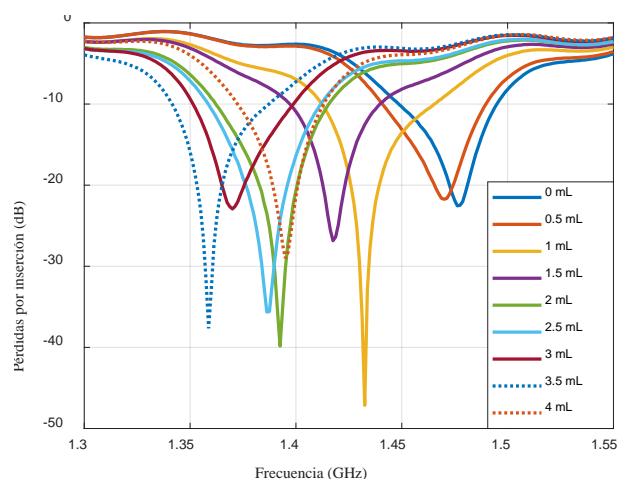
donde  $\epsilon_s$  es la permitividad relativa del sustrato donde se fabricó el sensor y  $V_s$  es su volumen,  $\epsilon_m$  es la permitividad relativa de la muestra y  $V_m$  es su volumen,  $\epsilon_a$  es la permitividad relativa del aire y  $V_a$  es el volumen de aire que forma parte del entorno del sensor, y finalmente  $V_T$  es el volumen del entorno del sensor. Apliquemos la Ecuación (9) al caso donde no hay muestra y el entorno está compuesto solo por aire y por el material donde está colocado el sensor, es decir, el sustrato o placa dieléctrica. Hacemos que  $p$  sea el proporcional del volumen del entorno del sustrato por lo que el proporcional del volumen del aire será  $(1 - p)$ , tal que  $\epsilon_{eff} = \epsilon_s \cdot p - \epsilon_a \cdot (1 - p)$ . Resolviendo para  $p$  tenemos que  $p = (\epsilon_{eff} - \epsilon_a) / (\epsilon_s - \epsilon_a)$ , que para nuestro caso con  $\epsilon_a = 1$ ,  $\epsilon_s = 4.4$ , y  $\epsilon_{eff} = 3,236$  tenemos que  $p = 0,65764$  lo que indica que el volumen del sustrato es 65,76% del volumen del entorno.

Lo que resta es sacar el proporcional del volumen de la muestra y por supuesto este dependerá del tamaño de la muestra. Una forma de evitar este paso es hacer el tamaño de la muestra tan grande que abarque todo el volumen del entorno que está sobre el sensor. Sin embargo, se debe de tener cuidado de no afectar el acoplamiento externo del sensor lo cual podría resultar en modos de resonancia no definidos o no lo suficientemente definidos.

En el caso de la papa que naturalmente tiene un porcentaje de agua de 63% al 83%, para conocer la permitividad relativa de la materia de la papa que no es agua, esta se debe de secar por completo, y así después de medir la permitividad relativa de esta papa completamente seca se puede obtener el porcentaje de humedad de la papa al usar promedios ponderados y el valor de la resonancia resultante. Lamentablemente en el momento de hacer nuestras pruebas no contábamos con el equipo especializado para realizar el secado completo de la papa.

## 4.2 Miel

En lo referente a la miel, la Figura 6 muestra a las pérdidas por inserción en función de la frecuencia para diferentes muestras, a cada muestra se le agregó 0,5 mL de agua y en total cada muestra tiene un volumen de 26 mL. Se puede apreciar de la Figura 6 que la frecuencia de resonancia disminuye conforme aumenta la cantidad de agua de la muestra, esto se debe a que mientras mayor cantidad de agua tenga la muestra mayor será el valor de su permitividad dieléctrica relativa. Si la permitividad dieléctrica efectiva del resonador aumenta, como consecuencia la longitud de onda efectiva aumenta y a su vez la frecuencia de resonancia disminuye.

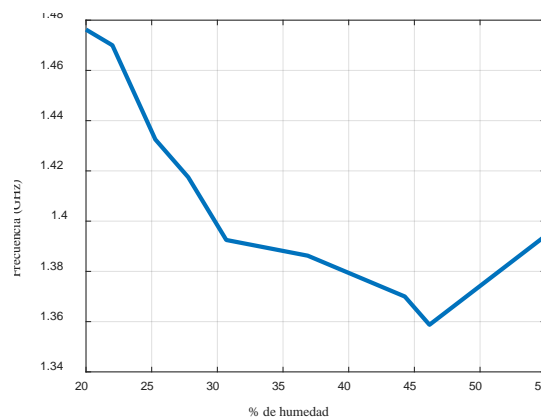


**Figura 6.** Respuesta en frecuencia de dos sensores para diferentes muestras del mismo tipo de miel donde cada muestra de 26 mL tiene una diferente proporción de miel-agua



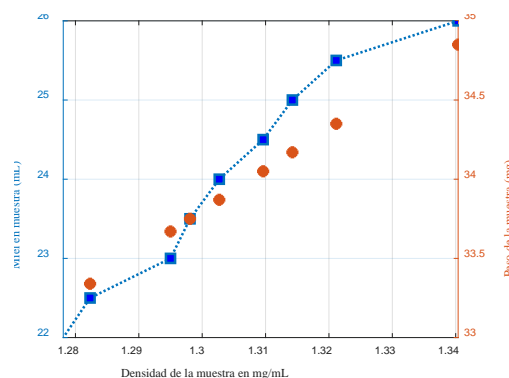
Este comportamiento se puede apreciar en las respuestas del resonador para diferentes cantidades de agua en las muestras con la excepción de la muestra con 4 mL de agua para la cual la frecuencia de resonancia aumentará como si hubiera disminuido la permitividad efectiva lo que indicaría una disminución de la cantidad de agua, aunque sabemos que esto en realidad no ocurrió. Esta discrepancia tiene que ver con la peculiaridad de los modos del resonador, los cuales pueden cruzarse, es decir, que el primer modo se convierte en el segundo y el segundo en el primero. Se ha reportado que el segundo modo de este resonador metamaterial de modo forzado tiene un comportamiento inverso a los resonadores convencionales, y donde su pendiente de respuesta es negativa [18].

La relación de porcentaje de humedad en función de la respuesta de resonancia del sensor se muestra en la Figura 7. Se puede apreciar que la frecuencia disminuye conforme aumenta la humedad y es hasta después del 45% donde la frecuencia empieza a aumentar. Es poco probable encontrar miel no alterada que tenga un porcentaje tan alto de humedad ya que a la miel cosechada se le resguarda con al menos algunos cuidados. De igual forma, la Figura 7 muestra cambios no graduales en la curva de respuesta, estas pequeñas inconsistencias se deben principalmente a que las muestras no tienen las cantidades exactas que deberían de tener, ya que no contamos con el equipo necesario para separar 0,5 mL exactos de miel o agua y solo pudimos hacerlo con cantidades aproximadas. La Tabla 2 muestra como hay un cambio de 500 mg entre la muestra 1 y 2, pero de solo 180 mg entre la muestra 2 y 3.



**Figura 7.** Respuesta en frecuencia en función del porcentaje de humedad de la muestra de miel

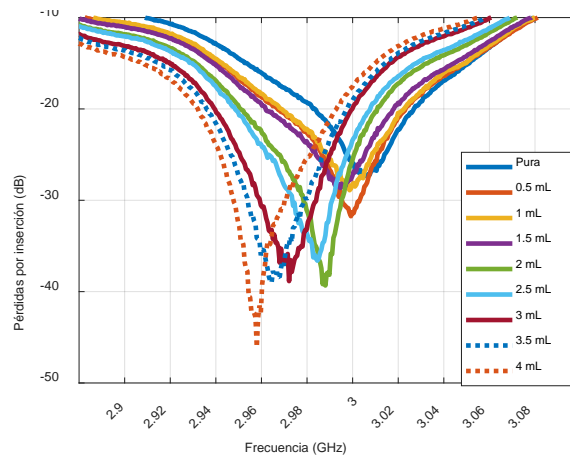
Para visualizar mejor que existen inconsistencias en las proporciones de las muestras, la Figura 8 muestra la densidad de las muestras como función de la cantidad de miel en cada muestra y del peso de cada muestra. Se puede apreciar que para los puntos rojos que indican la densidad de la muestra en función del peso de la muestra, las mayores inconsistencias en las separaciones entre estos puntos ocurren para el primero con el segundo, y el penúltimo con el último. A la par, los rectángulos azules que indican la densidad de la muestra en función de la proporción de miel en las muestras muestran que la pendiente cambia abruptamente entre cada punto, pero especialmente entre la pendiente del primero con el segundo y del último con el penúltimo. Con un mejor control en las proporciones de las muestras, la curva de la Figura 7 tendría un comportamiento mucho mejor definido.



**Figura 8.** Densidad de las muestras en función de la cantidad de miel por muestra (lado izquierdo, curva azul) y en función del peso de la muestra (lado derecho, puntos rojos)

### 4.3 Leche

Para la leche se procedió de manera similar. La leche al ser mayoritariamente agua permite una variación mínima en la frecuencia de resonancia. Sin embargo, esta variación es suficiente para detectar los cambios. La Figura 9 muestra que las pérdidas por inserción tienen una diferente frecuencia de resonancia para las diversas muestras de leche, empezando con 3,0093 GHz para la leche pura y disminuyendo conforme aumenta la cantidad de agua en la muestra hasta llegar a 2,957 GHz.



**Figura 9.** Respuesta en frecuencia de las pérdidas de inserción para nueve muestras del mismo tipo de leche donde cada muestra de 26 mL tiene una diferente proporción de leche-agua y esta proporción aumenta 0,5 mL de agua a partir de leche pura

Una ventaja de este tipo de sensor para determinar el contenido de agua en leche es que una vez habiendo caracterizado al tipo de leche esta determinación se puede realizar sin necesidad de abrir los empaques de leche. Si bien, algunas consideraciones se requieren para los empaques que por dentro tienen una película metálica, en envases de plástico este no es el caso. Por lo que la leche que se pone a la venta en envases de plástico o vidrio puede ser analizada para determinar su contenido de agua sin necesidad de abrir su contenedor y hacer inviable al producto para la venta.

De esta manera, no se requiere de escoger unas muestras aleatorias entre los productos y considerar que el resto del producto tiene características similares, sino que se podría analizar a cada uno de los productos y que estos sigan siendo intactos. Si el tamaño de la muestra es mayor, la frecuencia de trabajo puede disminuir lo que facilitaría las cosas para instrumentar un dispositivo específico para analizar leche en su empaque.

## 5. CONCLUSIONES

El método de análisis de materiales basado en usar las propiedades dieléctricas del material es no invasivo, no destructivo y además que es compatible con una gran cantidad de productos orgánicos esto es benéfico, ya que solo se requiere de una forma y tamaño adecuados del sensor para poder realizar las mediciones.

El tipo de sensor usado, por sus características específicas se puede adaptar a diferentes tamaños y formas, por lo que se puede usar para analizar y en su caso caracterizar y evaluar la calidad de diferentes materiales orgánicos.

Se analizaron diferentes muestras orgánicas usando un sensor de permitividad donde el sensor funciona en base a un resonador metamaterial de modo forzado. El sensor es multimodal y dependiendo del modo y del material la respuesta puede ser convencional, es decir, que la frecuencia de resonancia aumente al disminuir la permitividad del material, o puede tener el comportamiento opuesto.

Los resultados obtenidos para los 3 alimentos corresponden con lo esperado, la frecuencia de respuesta disminuye al aumentar la cantidad de agua de la muestra, la variación es mucho más evidente en papa que en leche, y la densidad y composición de miel podría ser determinada utilizando microondas.

Pudimos observar que aparentemente para los sólidos se tiene una mejor respuesta en frecuencia, esto no significa que el sensor sea malo para los líquidos, puesto que detecta una variación significativa de agua y el productos orgánicos líquidos que se analizó en este documento está mayoritariamente compuesto de agua, sales, néctares, azúcares etc., mientras que para los sólidos el cambio en frecuencia es mucho más notable debido a que su cuerpo se compone de almidones, fructuosa etc. por lo que la cantidad de agua que contiene es menos notable que en los líquidos y la variación de esta es mucho más apreciable.

No solo es el porcentaje de agua en la papa, miel y leche lo que hace los cambios en frecuencia entre las muestras sean menores, sino que también es el alto valor de la permitividad del agua que a frecuencias de microondas es de  $\approx 80$  que es bastante alto comparado con otros compuestos presentes en las muestras los cuales son de  $\approx 2$  a  $8$ .

Para poder realizar una medición de la permitividad de los materiales se utiliza normalmente un analizador de redes vectoriales cuyo precio es muy elevado, sin embargo, a frecuencias no mayores a 2 GHz ya existen comercialmente analizadores de muy bajo costo por lo que los sensores presentados anteriormente pueden funcionar por debajo de esa frecuencia y así minimizar costos.

## REFERENCIAS

- [1] Pedreschi et al. (2008). Oil distribution in potato slices during frying. *Journal of Food Engineering* 87(2), 200–212.
- [2] Parikh A. y Nelson D. C. (2013). Fat absorption in commercial french fries depending on oil type and coating. *Hospitality Review* 30(2), 1–13.
- [3] Aguilera J. y Gloria H. (2000). Oil absorption during frying of frozen parfried potatoes. *Food Engineering and Physical Properties Oil* 65(3), 476–479.
- [4] Galoburda et al. (2013). The amount of fat absorbed by non-stored and stored potatoes after frying and roasting. *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics* 3(4), 345–348.
- [5] Norell et al. (2016). Measuring potato dry matter content on the farm. *University of Idaho Extension* 2, 1–3.
- [6] Agilent. (2013). *Impedance Measurement Handbook*. Agilent Technologies, Inc. USA.
- [7] Beatriz G. (2011). Estudio y optimización de sensores de microondas para la caracterización y monitorización en procesos industriales. Universidad Politécnica de Valencia.
- [8] Saed et al. (2012). Applied measurement systems: Planar microwave sensor for complex permittivity characterization of materials and their applications. *InTech*.
- [9] Agustín N. y Oscar Q. (2010). Diseño de un medidor de permitividades de materiales dieléctricos. Universidad Carlos III de Madrid.
- [10] Metaxas A. y Meredith R. (1983). *Industrial Microwave Heating*. Peter Peregrinus Ltd.
- [11] Nelson S. (1999). Dielectric properties measurement techniques and applications. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 42(2), 523-529.
- [12] Lucas J. Evaluation of quality parameters during frying of yellow potato slices. *Press*.
- [13] Losada J. (2011). Incidencia en la cantidad de grasa en la papa (*solanum tuberosum*) a la francesa freída en profundidad por el uso de aceite de mezclas vegetales reutilizado. Pontificia Universidad Javeriana.
- [14] Toledo A. et al. (2020). Measurement of humidity percentage in honey using a composite resonator in the microwave regime. *En Metamaterials, Metadevices, and Metasystems 2020 International Society for Optics and Photonics* (pp. 116-120).
- [15] Chataway H. (2011). Determination of moisture honey. *Canadian Journal of Research* 6, 532-547.
- [16] Klam E. (1997). Determination of the moisture (water) content in milk products. *EU publications*.
- [17] Sonnet EM Full-Wave Simulator. V Free 15.53-Lite. Sonnet Software Inc. NY, USA. Recuperado: <http://www.sonnetsoftware.com/products/lite/>
- [18] Reyes J. et al. (2019). Sensitivity variation as a function of frequency of a permittivity composite-sensor used to measure the moisture content of organic products. *En Metamaterials, Metadevices, and Metasystems 2019 International Society for Optics and Photonics* (pp. 73-77).

# Tendencias en investigación sobre factores agronómicos y usos potenciales de *Cannabis sativa* L.: Un estudio bibliométrico

Andrés Felipe Giraldo Escobar<sup>1</sup>  
Sara Emilia Giraldo Quintero<sup>2</sup>  
Yenny Yolanda Lozano Jiménez<sup>3</sup>  
*Universidad de La Salle*  
Colombia

En este capítulo se describe la producción científica y las tendencias que en investigación han generado interés, alrededor de los factores agronómicos y los usos potenciales de *Cannabis sativa*, cubriendo su legalización hasta 2020. Se realizó una revisión sistemática de la literatura apoyada en indicadores bibliométricos en las bases de datos ScienceDirect, Web of Science y Scopus. Se observó un patrón de crecimiento en la publicación de artículos científicos relacionados con factores agronómicos o usos potenciales en el cultivo de *Cannabis sativa*. 28 países participaron en la publicación de los artículos seleccionados, siendo Italia, Canadá y Estados Unidos los países con mayor producción. De estos países proceden las instituciones con mayor producción científica de las 80 participantes, las cuales fueron las universidades de McGill, Pisa, Udine y Kentucky, con una producción máxima de 4 artículos científicos por institución. Las publicaciones se realizaron en 56 revistas, de las cuales Industrial Crops and Products, Frontiers in Plant Science y Agronomy fueron las revistas con mayor publicación. El total de autores que participaron en la publicación de los artículos seleccionados fueron 95, la producción máxima por autor fue de 2 artículos y solo 6 autores tuvieron esta tasa de producción científica. Los artículos científicos seleccionados para la construcción de la revisión sistemática estuvieron enfocados en: 1) el cáñamo industrial, especialmente en sus tallos, para la extracción de fibra en relación con usos industriales; 2) las inflorescencias, para el estudio de metabolitos secundarios en relación con usos medicinales, nutracéuticos e insecticidas; y 3) las semillas para la extracción de aceite con fines alimenticios.

---

<sup>1</sup> Ingeniero Ambiental y Biólogo.

Contacto: [agiraldo52@unisalle.edu.co](mailto:agiraldo52@unisalle.edu.co)

<sup>2</sup> Química Farmacéutica y Doctora en Ciencias Farmacéuticas.

Contacto: [sgiraldo@unisalle.edu.co](mailto:sgiraldo@unisalle.edu.co)

<sup>3</sup> Química y Doctora en Ciencias Farmacéuticas.

Contacto: [jylozano@unisalle.edu.co](mailto:jylozano@unisalle.edu.co)

## 1. INTRODUCCIÓN

*Cannabis sativa* L. (*C. sativa*) es una planta herbácea de floración dioica anual, que pertenece a la familia cannabaceae [1], a partir de ella se han identificado y aislado más de 480 compuestos químicos diferentes como aminoácidos, ácidos grasos, esteroides, carbohidratos, cannabinoides, terpenoides, flavonoides, estilbenoides, alcaloides, lignanos, entre otros [2-5], que poco se han estudiado y que podrían tener también diferentes usos, entre ellos medicinales e industriales.

Los compuestos de mayor interés y más estudiados son los cannabinoides, teóricamente ausentes en semillas y tallos, pero que se encuentran en las hojas y se concentran en las brácteas y la resina, resaltándose cannabinoil CBN, cannabidiol CBD y tetrahidrocannabinol THC. Mientras el CBD está presente en altas concentraciones en el cáñamo de tipo no psicoactivo, el THC le confiere propiedades psicoactivas a la planta [2, 6-7]. Gracias al THC *Cannabis* es la droga de abuso más consumida a nivel mundial, en un rango de edad que varía desde los 15 a 64 años [8, 9].

En el continente americano, Uruguay fue el primer país en legalizar el uso de *Cannabis* en 2013, seguido por Canadá en 2018 y de ahí en adelante varios países han seguido esta iniciativa; Estados Unidos (más de la mitad de los estados), México, Jamaica, Costa Rica, Perú, Bolivia, Brasil, Chile y Argentina, donde se ha aprobado el uso de *Cannabis* al menos con fines medicinales y otros tantos países están en proceso de avanzar hacia la liberalización de sus regímenes de control [10-18].

Colombia se unió a la lista de países que han legalizado el uso medicinal y científico de *C. sativa* desde el año 2017, por medio del Decreto 613 y la Resolución 2892 del mismo año, ambas expedidas por el Ministerio de Salud y Protección Social [19]. Para reglamentar su uso según la legislación colombiana, *Cannabis* se clasifica como *Cannabis* psicoactivo, con una concentración igual o mayor a 1% de THC en peso seco, y *Cannabis* no psicoactivo, con una concentración menor a 1% de THC en peso seco. La Ley 2204 junto con la Resolución 227 de 2022 reglamentaron el uso industrial de la fibra y el grano del cáñamo y derivados no psicoactivos de *Cannabis* para diferentes usos, tales como alimentos, suplementos dietarios, bebidas alcohólicas y cosméticos, entre otros [20-22]. Mientras se va reglamentando el cultivo con sus diferentes enfoques de aplicación, Colombia enfrenta el cultivo ilegal de la *marihuana*.

Según Sharapin [23], la composición química de las plantas (metabolitos secundarios) varía de acuerdo con factores ambientales (clima, condiciones nutricionales, enfermedades, plagas), genéticos (genes y su expresión), ontogénicos (edad y nivel de desarrollo) y técnicas de cultivo (condiciones del suelo, época del año, lugar de cosecha y procesamiento) y es precisamente la variación de esta composición la que determina sus usos.

Gracias a la condición legal de *Cannabis* en Colombia, el cultivo de esta planta ha cobrado gran interés económico y científico en los últimos años [24], sin embargo, por sus componentes psicoactivos y efectos como droga de abuso, sigue presentándose estigmatización en torno a su uso. *Cannabis sativa* presenta además de cannabinoides otros grupos de metabolitos que pueden tener interés tanto terapéutico como industrial y su presencia y abundancia en la planta está directamente relacionado con los factores agronómicos de su cultivo.

A la fecha no existen en Colombia estudios orientados hacia la medición de la producción científica en el mundo, sobre los factores agronómicos del cultivo de *Cannabis* y cómo éstos determinan su uso potencial. En el presente capítulo se describe el estudio bibliométrico 2015-2020, como punto de partida para describir las tendencias que en investigación han generado interés, alrededor de los factores agronómicos y los usos potenciales de *Cannabis sativa* desde su legalización.

## 2. MÉTODO

Se realizó una revisión sistemática de información, definiendo fórmulas de búsqueda creadas con palabras clave relacionadas con las temáticas de interés, aplicando además criterios de inclusión, de exclusión y algunos indicadores bibliométricos [25-27].

La búsqueda bibliográfica se realizó en tres bases de datos especializadas: ScienceDirect, Web of Science y Scopus. Para la estrategia de búsqueda se definieron palabras claves (Tabla 1) consultadas en los tesauros DeCS, MeSH, UNESCO, AIMS, CAB Thesaurus y USDA, que se emplearon para construir ecuaciones de búsqueda. La revisión inicial contempló el tipo de documento, el título y el resumen de los artículos.

**Tabla 1.** Palabras clave

| Enfoque              | Palabras Claves  |
|----------------------|--|
| Cannabis sativa      | Cannabis; Marijuana; grass; Hemp; Hashish; Bhang; Resin; hash; Sativex; THC; Dronabinol; D9-THC; Δ9-tetrahydrocannabinol; 9-ene-Tetrahydrocannabinol; Marinol; Tetrahydrocannabinol; delta (9)-THC; delta (1)-THC; delta (1)-Tetrahydrocannabinol; cannabidiol; cannabinol; cannabigerol; cannabichromene                                    |
| Factores agronómicos | industrial; cultivation; industry; cultivars; crop; planting; harvesting; breeding; diversity; plantation; agronomic factors; domestication; environmental factors; biodiversity; agronomic characteristics; integrated agronomic practice; agronomic traits; agronomic practices; growing conditions; environments; agricultural production |
| Usos potenciales     | uses; use value; therapeutic use; potential use; medical; applications; products; extracts; medical; metabolites; food; pharmaceutical; plant extracts; traditional uses; preparations; ethnobotany; phytotherapy  |

A los artículos obtenidos se les aplicaron los siguientes criterios de inclusión y exclusión para su selección:

#### *Criterios de inclusión*

- Artículos científicos publicados entre 2015 y 2020.
- Artículos científicos en el idioma inglés o español.
- Para la selección de artículos relevantes, se evaluó el título y el resumen de cada artículo para determinar su pertinencia para el trabajo.
- Artículos publicados en revistas indexadas o de alto impacto.

#### *Criterios de exclusión*

- Artículos que tengan como tema principal el uso recreativo o mágico-religioso de Cannabis o algún enfoque social.
- Artículos de revisión o de opinión.
- Libros o capítulos de libro.

Los siguientes indicadores bibliométricos fueron analizados al grupo de artículos resultante, luego de la aplicación de las fórmulas de búsqueda y del cumplimiento de los criterios de inclusión:

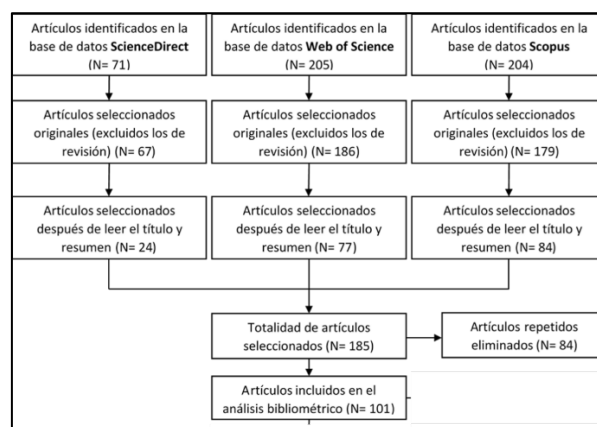
- Producción científica anual y acumulada.
- Producción científica por país.
- Publicación de artículos científicos en revistas.
- Producción científica por institución (afiliación).
- Producción científica por autor.
- Participación de autores vs producción científica.

Con la revisión sistemática y la aplicación de los criterios de inclusión y de exclusión, junto con los indicadores bibliométricos se obtuvo un panorama de la investigación en los tópicos de interés, reconociendo la tendencia de investigación por país, revista, afiliación, autor y colaboración.

### **3. RESULTADOS**

#### **3.1 Revisión sistemática y selección de artículos científicos**

En la Figura 1 se observa el diagrama de flujo del proceso de aplicación de los criterios de inclusión y de exclusión a los artículos resultantes, producto de las estrategias de búsqueda empleadas en este trabajo para identificar artículos relevantes en los temas planteados. En total se identificaron 480 artículos: Web of Science 205, Scopus 204 y por ScienceDirect 71. De estos 480 artículos se descartaron 295, los cuales no cumplían con los criterios establecidos, dejando 185 artículos; después de verificar y retirar los artículos repetidos quedó un resultado final de 101, con los cuales se trabajó para realizar el análisis bibliométrico.



**Figura 1.** Diagrama de flujo de la revisión sistemática para la selección de artículos científicos

La primera pesquisa de bibliografía se realizó en la base de datos *ScienceDirect*, la cual presenta una particularidad y es que tiene un límite en el campo de búsqueda y no se pueden agregar campos nuevos para incluir otros parámetros de indagación; por lo cual, toda la fórmula de búsqueda tuvo que ser dividida en dos partes, una para factores agronómicos y la otra para usos potenciales. En este sentido, las fórmulas de búsqueda utilizadas en esta base de datos fueron diferentes a la utilizada en *Web of Science* y *Scopus*, para las cuales, si se aplicó la misma ecuación de búsqueda bajo la terminología de cada una. En la Tabla 2 se presentan estos resultados.

**Tabla 2.** Fórmulas de búsqueda aplicadas en las bases de datos.

| Base de datos  | Tema                                    | Formula de búsqueda   |     |
|----------------|---|---|-----|
| ScienceDirect  | Factores agronómicos                    | (Cannabis OR Hemp) AND ("agronomic factors" OR "environmental factors" OR "agronomic characteristics" OR "growing conditions" OR cultivar OR crop)  | 14  |
|                | Usos potenciales                        | (Cannabis OR Hemp) AND ("use value" OR "agroecological uses" OR "potential use" OR "traditional uses" OR applications OR products OR "plant extracts")  | 57  |
| Web of Science | Factores agronómicos y Usos potenciales | TI=(("Cannabis" OR "Marihuana" OR "Marijuana" OR "Hemp")) AND (TI=(("breeding" OR "planting" OR "agronomic factor*" OR "environmental factor*" OR "agronomic trait*" OR "integrated agronomic practice*" OR "agronomic characteristic*" OR "agronomic practice*" OR "cultivar*" OR "growing condition*" OR "environment*")) OR AB=(("breeding" OR "planting" OR "agronomic factor*" OR "environmental factor*" OR "agronomic trait*" OR "integrated agronomic practice*" OR "agronomic characteristic*" OR "agronomic practice*" OR "cultivar*" OR "growing condition*" OR "environment*")))) OR AND (TI=(("use* value" OR "therapeutic use*" OR "potential use*" OR "traditional use*" OR "agroecological use*" OR "engineer* use*" OR "application*" OR "product*" OR "plant* extract*" OR "medic* plant*" OR "preparation*" OR "food*" OR "pharmaceutical" OR "plant extract*" OR "ethnobotany" OR "phytotherapy")) OR AB=(("use* value" OR "therapeutic use*" OR "potential use*" OR "traditional use*" OR "agroecological use*" OR "engineer* use*" OR "application*" OR "product*" OR "plant* extract*" OR "medic* plant*" OR "preparation*" OR "food*" OR "pharmaceutical" OR "plant extract*" OR "ethnobotany" OR "phytotherapy"))) NOT SU=(Social Sciences OR Arts & Humanities) | 205 |
| Scopus         | Factores agronómicos y Usos potenciales | (TITLE("Cannabis" OR "Marihuana" OR "Marijuana" OR "Hemp")) AND TITLE-ABS(("breeding" OR "planting" OR "agronomic factor*" OR "environmental factor*" OR "agronomic trait*" OR "integrated agronomic practice*" OR "agronomic characteristic*" OR "agronomic practice*" OR "cultivar*" OR "growing condition*" OR "environment*")) AND TITLE-ABS(("use* value" OR "therapeutic use*" OR "potential use*" OR "traditional use*" OR "agroecological use*" OR "engineer* use*" OR "application*" OR "product*" OR "plant* extract*" OR "medic* plant*" OR "preparation*" OR "food*" OR "pharmaceutical" OR "plant extract*" OR "ethnobotany" OR "phytotherapy")) AND LANGUAGE(English OR Spanish) AND DOCTYPE(ar) AND PUBYEAR > 2014 AND NOT(SUBJAREA(ARTS OR BUSI OR DECI OR ECON OR PSYC OR SOCI))   | 204 |

## 3.2 Indicadores bibliométricos

### 3.2.1 Producción científica anual y acumulada

Dentro de la investigación se identificó que la publicación de artículos referente a los factores agronómicos y a los usos potenciales del *Cannabis* sigue un notable patrón de crecimiento año tras año; en 2015 se

publicó el 5,77% de la producción total, en el 2016 esta producción aumentó a 9,62%, el 2017 disminuyó a 7,69% (fuera de la tendencia, ya que aportó menos que el año anterior) pero en el 2018 volvió a aumentar a 17,31%, el 2019 y el año 2020 aumentaron a 24,04%, y 35,58% respectivamente.

En promedio el crecimiento de publicación de artículos aumenta cada año en un 16,67% y al verificar el número de artículos publicados acumulados se observa un patrón de crecimiento exponencial. Estos patrones de comportamiento en la publicación de artículos científicos relacionados con los temas de investigación demuestran que existe un interés creciente en el tema de *Cannabis Sativa*. En la Figura 2 se puede observar los comportamientos anteriormente mencionados.

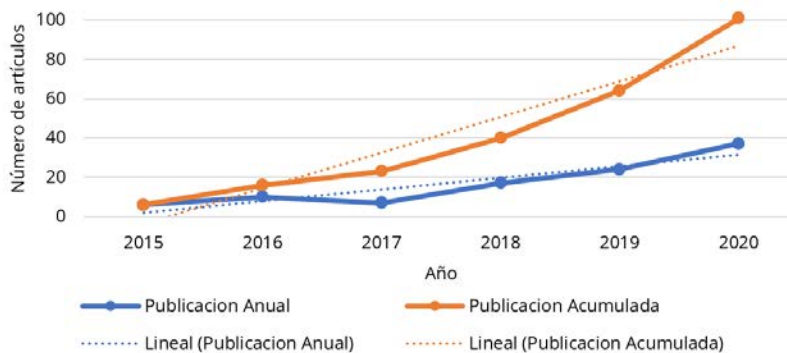


Figura 1. Publicaciones por año relacionadas con factores agronómicos y usos potenciales de Cannabis sativa

### 3.2.2 Producción científica por país

Veintiocho países (país de procedencia de las instituciones que desarrollaron las investigaciones) participaron en la publicación de los 101 artículos encontrados en esta investigación; Italia fue el país de mayor producción, con 27 publicaciones; seguido de Canadá, con 13; Estados Unidos fue el tercer país con mayor participación (9 publicaciones), seguido de Francia e Irán que ocuparon el cuarto lugar (6 publicaciones cada uno) y España el quinto puesto con 5 publicaciones científicas (Figura 3). Este orden cambia cuando usamos como criterio las citas en promedio por artículos publicados.

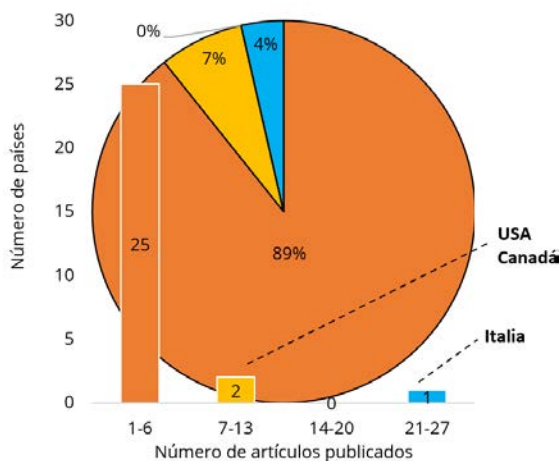


Figura 2. Países con mayor producción científica

Los países más citados fueron Países Bajos (34), Finlandia (28), Lituania (16), Italia (14), de los 24 países restantes, siete fueron citados entre 7 y 13 veces, dentro de este grupo de países se encuentra Canadá (segundo país con mayor número de artículos publicados) y diecisiete países fueron citados entre 0 y 6 veces, de los cuales seis no fueron citados (Figura 4).

### 3.2.3 Publicación de artículos científicos en revistas

Entre 2015-2020 el número de revistas que publicaron artículos sobre el tema de investigación fueron 56. En la Figura 5 se observa que la revista con mayor participación en la publicación de artículos con referencia a los temas de interés sobre Cannabis sativa fue Industrial Crops and Products con 21 artículos



correspondientes al 20,79% del total de artículos seleccionados; en la segunda posición con mayor participación fueron las revistas *Frontiers in Plant Science* y *Agronomy* con 6 artículos publicados en cada una, que equivale al 5,94%; seguida de las revistas *Molecules* y *Journal of Natural Fibers* con 5 (4,95%) y 3 (2,97%) artículos publicados respectivamente. Si lo analizamos desde la perspectiva del número de revistas, solo el 2% ha publicado 21 artículos (*Industrial Crops and Products*) y el restante 98% ha publicado entre 1 y 6 artículos.

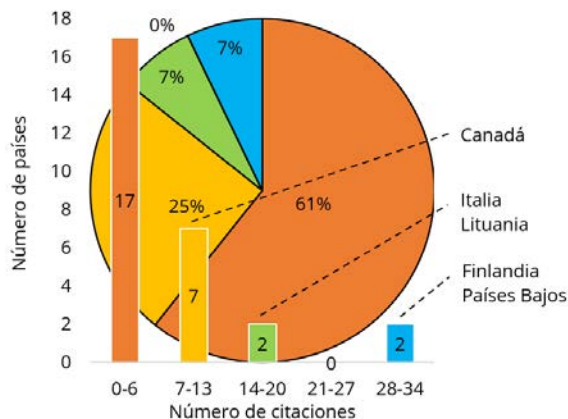


Figura 3. Países con mayor citación por artículo científico

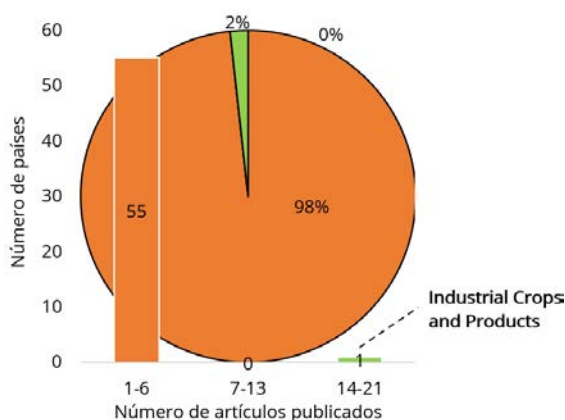


Figura 4. Revistas con mayor publicación de artículos

Las revistas con mayor número de publicaciones no son necesariamente las más citadas, en la Figura 6 se observa las citas el promedio de cada revista. Las 5 revistas con mayor número de citas promedio fueron: *Journal of Food Composition and Analysis*, *Food and Chemical Toxicology*, *Cannabis and Cannabinoid Research*, *Crop, Forage and Turfgrass Management* y *Bioresource Technology* con 44, 28, 26, 20 y 19 citas respectivamente. Las 51 revistas restantes no obtuvieron más de 18 citas promedio, de las cuales quince fueron citadas entre 18 y 9 veces, dentro de este grupo de revistas se encuentra *Industrial Crops and Products* (la revista con mayor número de artículos publicados); el 64% de las revistas fueron citadas en promedio entre 0 y 8 veces, dentro de las cuales quince revistas no fueron citadas.

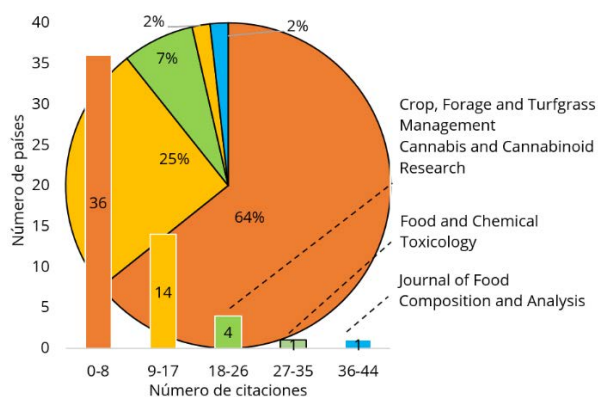


Figura 5. Revistas con mayor citación por artículo científico

### 3.2.4 Producción científica por institución

En la publicación de los 101 artículos utilizados para el análisis de los indicadores bibliométricos participaron 80 instituciones (afiliación), de las cuales las universidades de McGill, Pisa, Udine y Kentucky fueron las de mayor producción científica con 4, 4, 4 y 3 artículos respectivamente. Lo que representa que solamente el 4% de las instituciones publicaron 4 artículos y el 1% publicaron 3 artículos. Diez instituciones (12%) produjeron 2 artículos cada una y las restantes 66 (83%) produjeron un solo artículo cada una (Figura 7).

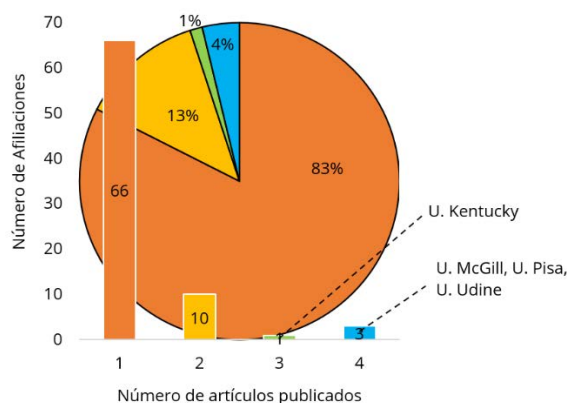


Figura 6. Instituciones con mayor producción de artículos

Con respecto a las afiliaciones con más citas promedio, la Figura 8 enseña que la empresa Bedrocan BV encabezó el primer lugar con 52 citas, seguido del Instituto de Biología Agrícola y Biotecnología (IBBA) con 32 citas, la U. *G. d'Annunzio* de Chieti-Pescara y la U. de Finlandia Oriental ocuparon el tercer lugar con 28 citas y el cuarto puesto lo ocupó la U. de Wageningen con 26 citas. El 73% de las instituciones que participaron en la publicación de los artículos de interés de este trabajo, fueron citados entre 0 y 10 veces (de las cuales veinte no fueron citadas ninguna vez); diecisiete instituciones (21%) fueron citados entre 11 y 24 veces, dentro de este grupo de instituciones se encuentra la Universidad McGill y Pisa de Canadá e Italia (las instituciones con mayor número de artículos publicados).

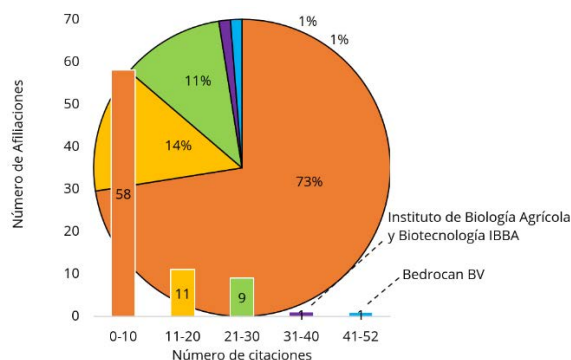


Figura 7. Instituciones con mayor citación por artículo científico

### 3.2.5 Producción científica por autor

95 autores principales participaron en la publicación de los 101 artículos, de los cuales la producción máxima por autor principal fue de dos artículos. Marie Pier Aubin, Lalitendu Das, Roberta Ascrizzi, Iván García-Tejero, Dariusz Zielonka y Mahnaz Abdollahi fueron los 6 autores (6%) principales con dos artículos publicados cada uno; los 89 autores restantes (94%) publicaron de a un solo artículo (Figura 9).

La Figura 10 revela que los cinco autores con más citas promedio fueron Giovanni Benelli, Arno Hazekamp, K. Tang, Eliana Vonapartis y Stefania Frassinetti con 63, 52, 49, 44 y 34 citas respectivamente. Este grupo de 5 autores representan en su conjunto que el 5% de los autores tuvieron como mínimo 34 citas en promedio por artículo. Los 90 autores restantes (95%) no obtuvieron más de 30 citas; nueve autores fueron citados entre 30 y 21 veces; catorce autores fueron citados entre 20 y 11 veces, y sesenta y siete autores fueron citados entre 10 y 0 veces, dentro de este grupo de autores se

encuentran tres autores con mayor producción de artículos (Roberta Ascrizzi, Iván García-Tejero, Dariusz Zielonka y Mahnaz Abdollahi).

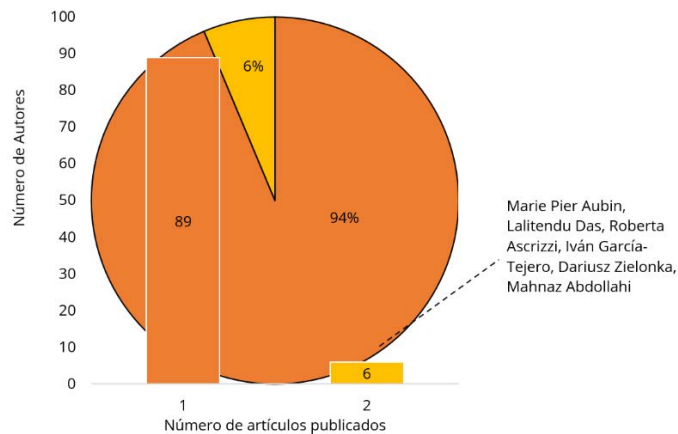


Figura 8. Autores con mayor producción de artículos

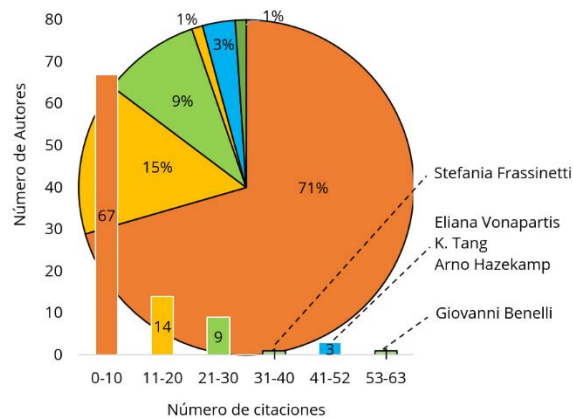


Figura 9. Autores con mayor citación por artículo científico

### 3.2.6 Participación de autores vs producción científica

Solo un artículo (1%) tuvo la participación máxima de 22 autores en su publicación, al igual que el grupo de autores de 14 participantes que publicaron un único artículo. veinte y nueve artículos (29%) fueron publicados con la participación de 7 a 11 autores, y setenta artículos (70%) fueron publicados con la participación de 1 a 6 autores (Figura 11).

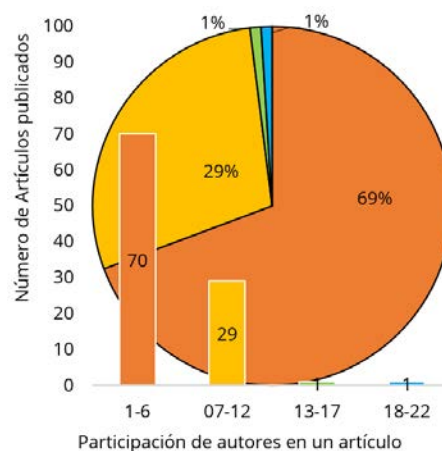


Figura 10. Número de autores por artículo científico publicado

La cooperación de autores en la publicación de un artículo con mayor número de citas promedio fue el grupo de entre 13 y 17 participantes, con 28 citas en promedio por un artículo publicado. 13 citas en promedio reciben un artículo cuando en su elaboración participaron entre 7 y 12 autores. En

el grupo de cooperación de entre 1 y 6 autores recibieron 6 citaciones en promedio y por último el grupo que menos citaciones recibió (3 citaciones) fue la participación de entre 18 y 22 autores, con un único artículo publicado (Figura 12).

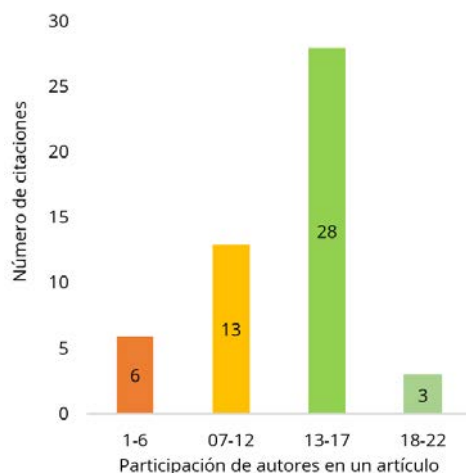


Figura 11. Número de autores por artículos por número de citaciones

A partir de la lectura preliminar (título y resumen) de los artículos científicos seleccionados para la construcción de la revisión sistemática y posterior bibliometría, se encontró que por lo general se orientan al estudio del cáñamo industrial, especialmente sus tallos, para la extracción de fibra en relación con usos industriales; inflorescencias, para el estudio de metabolitos secundarios en relación con usos medicinales, nutracéuticos e insecticidas y semillas para la extracción de aceite con fines alimenticios.

#### 4. DISCUSIÓN

En el intervalo de analizado (2015-2020) se evidencia un incremento por parte de la comunidad científica en el cáñamo industrial, esto debido a su fácil adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales. A pesar de que hay un gran interés en el cáñamo con respecto a su reacción ante las variables ambientales, genéticas y fenológicas; como las técnicas de cosecha y tratamiento de subproductos; los investigadores aparentemente no continúan con esta línea de investigación o apenas están empezando sus incursiones en este campo, ya que la máxima publicación por autor principal fue de 2 artículos científicos. Observando los artículos resultantes, es evidente que, en su mayoría, el interés de la comunidad científica se centra en el área de alimentación (el mayor número de citaciones se observan en las revistas de *Journal of Food Composition and Analysis*, *Food and Chemical Toxicology*), que es el gran enfoque que se le está dando ahora a los cultivos de cáñamo industrial.

En la Figura 13 se observa la relación entre el número de autores que participaron en una publicación, el número de publicaciones de estos junto con el número de citaciones promedio de cada publicación. Entre más autores participan en la elaboración de un artículo más son citados, pero menor cantidad de artículos producen y, por el contrario; entre menos autores participan en la publicación de un artículo, menor cantidad de citaciones del artículo y mayor número de publicaciones.

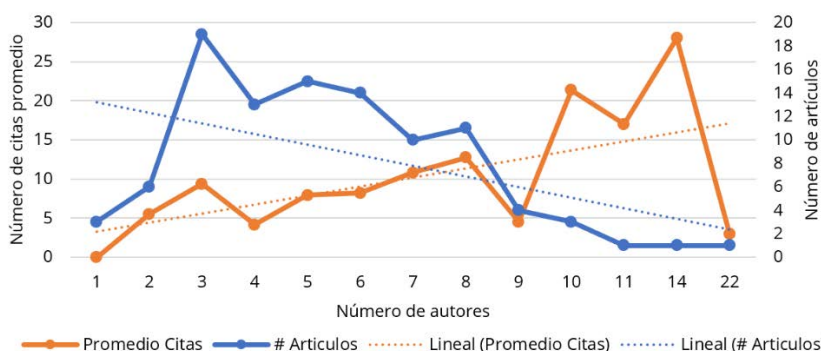


Figura 12. Relación de número de autores con producción y citación de artículos

## 5. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, se evidencia que hay un creciente interés científico en el conocimiento de los factores agronómicos en el cultivo de *Cannabis*, más que en el uso de la planta, en especial en el cáñamo.

La mayor producción de artículos científicos proviene de países donde el uso de *Cannabis sativa* es legal; Italia, Canadá, Estados Unidos, Francia, Irán y España fueron los países de mayor publicación. Los artículos científicos mostraron un mayor interés en los tallos e inflorescencias de la planta de *Cannabis*.

El país con mayor producción científica relacionada a los factores agronómicos y los usos potenciales de *Cannabis sativa* fué Italia y sus dos universidades (Udine y Pisa). La revista con mayor publicación científica es *Industrial Crops and Products*. La producción máxima por autor principal fue de dos artículos científicos (6 autores tuvieron esta producción).

### Limitaciones de la investigación

El presente trabajo investigativo ofrece un panorama en cuanto al interés de la comunidad científica en la producción de artículos enfocados al conocimiento de los factores agronómicos y usos del cultivo de *Cannabis sativa* L., dando así un acercamiento tanto a cultivadores como a fabricantes sobre la influencia de diferentes factores agronómicos en el desarrollo del cultivo y cuales usos potenciales pueden ser otorgados a los tallos, inflorescencias y semillas, abriendo la posibilidad a la exploración de otras partes como las hojas.

La producción científica en Colombia, relacionada con el cultivo de *Cannabis sativa* y cómo los factores agronómicos influyen y determinan la presencia y abundancia de metabolitos y a partir de estos sus usos potenciales es aún escasa, siendo una línea de investigación con amplias posibilidades para ser explorada, de forma que permita definir los usos tanto medicinales como industriales de interés de diferentes partes de la planta, cultivada de forma sostenible bajo las condiciones climáticas y agronómicas que ofrece el país a la luz de la normatividad vigente. A partir de este estudio bibliométrico y de la producción científica analizada, se espera realizar una revisión narrativa como complemento a este trabajo.

## REFERENCIAS

- [1] Clarke R. (2022). *Marijuana Botany: An Advanced Study: The Propagation and Breeding*. Ronin Publishing 1981.
- [2] Appendino G. et al. (2011). Cannabinoids: Occurrence and Medicinal Chemistry. *Current Medicinal Chemistry* 18, 1085–1099.
- [3] Ross S. y ElSohly M. (1996). The Volatile Oil Composition of Fresh and Air-Dried Buds of *Cannabis sativa*. *Journal of Natural Products* 59, 49–51.
- [4] Namdar D. (2018). Variation in the compositions of cannabinoid and terpenoids in *Cannabis sativa* derived from inflorescence position along the stem and extraction methods. *Industrial Crops and Products* 113, 376–382.
- [5] Vanhoenacker G. (2002). Chemotaxonomic Features Associated with Flavonoids of Cannabinoid-Free *Cannabis* (*Cannabis sativa* subsp. *sativa* L.) in Relation to hops (*Humulus Lupulus* L.). *Natural Product Letters* 16, 57–63.
- [6] Flores I. y Verpoorte R. (2008). Secondary metabolism in cannabis. *Phytochemistry Reviews* 7, 615–639.
- [7] Brenneisen R. (2007). Chemistry and Analysis of Phytocannabinoids and Other Cannabis Constituents. *Marijuana and the Cannabinoids* 17–49.
- [8] UN. (2018). *World Drug Report*. United Nations publication
- [9] ODC. (2017). *Reporte de drogas de Colombia*.
- [10] Lipnik M. et al. (2020). A regulatory take on cannabis and cannabinoids for medicinal use in the European Union. *Archives of Industrial Hygiene and Toxicology* 71, 12–18.
- [11] Decorte T. (2020). *Legalizing Cannabis: Experiences, Lessons and Scenarios*.
- [12] Cáceres P. et al. (2019). Medicinal cannabis in Latin America: History, current state of regulation, and the role of the pharmacist in a new clinical experience with cannabidiol oil. *Journal of the American Pharmacists Association* 60, 212–215.
- [13] Rodríguez J. y Barrón M. (2019). Aspectos relevantes en la regulación del Cannabis: Países seleccionados.
- [14] Belackova V. et al. (2019). Overview of “home” cultivation policies and the case for community-based cannabis supply. *International Journal of Drug Policy* 71, 36–46.

- [15] Elhamdaoui O. et al. (2019). Medicinal cannabis and challenges of legislation in Morocco. *International Journal of Pharmacognosy* 6, 323–328.
- [16] Aguilar S. et al. (2018). Medicinal cannabis policies and practices around the world.
- [17] Emanuel M. et al. (2018). Policy analysis and implications of establishing the Caribbean Cannabis Economy (CCE): lessons from Jamaica. *Drugs and Alcohol Today* 18, 99–107.
- [18] Forti M. (2020). To legalize or not to legalize cannabis, that is the question! *World Psychiatry* 19, 188–189.
- [19] Ministerio de Salud y Protección Social. (2017). Resolución 002892 de 2017. Recuperado: <https://www.invima.gov.co/cannabis-medicinal#normatividad>
- [20] Ministerio de Salud y Protección Social. (2021). Decreto 811 de 2021.
- [21] Ministerio de Salud y Protección Social. (2022). Ley 2204 de 2022.
- [22] Ministerios de Justicia y del Derecho, Agricultura y Desarrollo rural y Salud y Protección Social. (2022). Resolución 227 de 2022.
- [23] Sharapin N. (2000). *Fundamentos de tecnología de productos fitoterapéuticos*. CAB.
- [24] González L. et al. (2022). Future contribution of artificial vision in methodologies for the development of applications that allow for identifying optimal harvest times of medicinal cannabis inflorescences in Colombia. Springer.
- [25] Lozano J. (2005). De patos, gansos y cisnes. Revisiones narrativas, revisiones sistemáticas y meta-análisis de la literatura. *Acta Médica Colombiana* 30(1), 1-4.
- [26] Pérez N. (2002). La bibliografía, bibliometría y las ciencias afines. *Acimed* 10(3), 1-2.
- [27] Gómez C. et al. (2005). Indicadores bibliométricos: origen, aplicación, contradicción y nuevas propuestas. *MedUNAB* 8(1), 29-36.

# Relaciones entre el dominio afectivo y la modelización matemática: Una revisión de la literatura

Milton Cesar Campeón-Becerra<sup>1</sup>

Jhony Alexander Villa-Ochoa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Universidad Tecnológica de Pereira*

<sup>2</sup> *Universidad de Antioquia*

Colombia

En este capítulo se presenta el resultado de una revisión de la literatura cuyo objetivo es determinar las relaciones existentes entre el dominio afectivo con la modelización matemática. Para estructurar la revisión y construir un punto de vista de la información previamente publicada, se desarrollaron las fases propuestas por John Creswell. En las investigaciones donde se aborda la modelización matemática junto con el dominio afectivo, no se encontró una comprensión homogénea sobre la misma, ya que las concepciones dependen de los enfoques, propósitos, intereses y condiciones curriculares que subyacen a su integración con las matemáticas escolares. De igual forma, se observa un marcado interés por reconocer el dominio afectivo, no como un subconjunto de la cognición, como tradicionalmente se ha hecho, sino como un constituyente de igual importancia y complejidad. En cuanto a la información recopilada se realizó un análisis sistemático de la investigación producida en la conjunción modelización y dominio afectivo desde un enfoque crítico analítico. Los resultados muestran principalmente dos tipos de relaciones: reciprocidad y direccionadas. En los trabajos donde se establecen relaciones de reciprocidad el dominio afectivo influye en la modelización matemática y viceversa. Mientras que en los trabajos donde se establecen relaciones direccionadas, el incorporar situaciones de modelización en las clases influye positiva o negativamente en el dominio afectivo. Se concluye que existen diversas relaciones que emergen entre estos dos campos de investigación, que aún deben ser exploradas en profundidad. Asumir la modelización como un ambiente de aprendizaje y estudiar su relación con los componentes del dominio afectivo es una de ellas.

---

<sup>1</sup> Licenciado en Matemáticas, Especialista en Informática educativa y Magíster en Enseñanza de la matemática.

Contacto: [m.campeon@utp.edu.co](mailto:m.campeon@utp.edu.co)

<sup>2</sup> Licenciado en Matemáticas y física, Especialista en Enseñanza de la matemática, Magíster y Doctor en Educación.

Contacto: [jhony.villa@udea.edu.co](mailto:jhony.villa@udea.edu.co)

## 1. INTRODUCCIÓN

El estudio del afecto en educación matemática es un área de investigación que ha venido cobrando importancia desde la década de los 80, especialmente en la resolución de problemas [1]. Estudios realizados en esta área han mostrado que el afecto y las emociones tienen una alta influencia en la motivación y desempeño escolar de los estudiantes [2-3]. A pesar de la relación existente entre las emociones y los procesos cognitivos inmersos en la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas, la investigación en el tema es escasa, en parte, esto se debe a la falta de instrumentos para realizar un diagnóstico y la dificultad para ubicarlo en un marco teórico [1, 3].

Los documentos consultados, destacan que los estados emocionales positivos de los estudiantes favorecen el aprendizaje de las ciencias, mientras que los estados emocionales negativos dificultan o limitan la capacidad de aprender [4]. Estas relaciones se deben a que sentimientos y emociones juegan un papel clave en el desarrollo del aprendizaje, ya que cada persona da sentido al lugar que ocupa en el entorno que le rodea a partir del mundo *subjetivo* y emocional que desarrolla [4]. Esto significa que las concepciones que los individuos construyen a partir de su experiencia con el mundo físico están condicionadas por los componentes afectivos y emocionales asociados a tales experiencias [4].

La investigación internacional reporta que una de las principales razones del bajo rendimiento escolar en matemáticas, está relacionado con la escasa motivación, la cual se debe, en buena parte, a la desconexión existente entre lo que se enseña en las aulas y el contexto real de los estudiantes [5]. Esta enseñanza descontextualizada conlleva a que el estudiante encuentre dificultades para comprender los contenidos, presentando frustración, hastío e indisposición hacia esta área [4, 6]. Al respecto, diferentes investigadores han encontrado que existe una relación entre la emocionalidad y el desempeño en matemáticas de los estudiantes al trabajar situaciones de aprendizaje orientadas a la resolución de problemas [1, 7].

En el ámbito educativo, la modelización matemática puede comprenderse desde diferentes perspectivas. En [8], se concibe como una estrategia que posibilita la producción de significados matemáticos a partir de los contextos reales. Para [9], se entiende como un entorno de aprendizaje centrado en un acontecimiento o una serie de acontecimientos de su cotidianidad a los que los estudiantes intentan dar sentido identificando, observando, midiendo y manipulando, mediante el uso de las matemáticas.

La cantidad de investigaciones sobre modelización, son evidencia de que se ha consolidado como un dominio de investigación al interior de la educación matemática [10]. Por lo tanto, se presentan argumentos formativos, críticos, prácticos, culturales e instrumentales que apoyan la pertinencia del uso de modelos y aplicaciones en la formación de los estudiantes [11]. En particular, la literatura sugiere que las aplicaciones deben formar parte del currículo de matemáticas, pues permite el desarrollo de competencias, la comprensión conceptual y otros aspectos cognitivos [12]. Sin embargo, también sugiere que, a través de la modelización se pueden fomentar aspectos no cognitivos como la motivación, actitudes, y aspectos que promueven la creatividad y resolución de problemas [12].

A pesar de la diversidad de tareas y perspectivas, se sigue requiriendo de investigaciones que documenten las condiciones, obstáculos y posibilidades que ofrecen las tareas y nuevos marcos que permitan interpretar los resultados tanto en el ámbito cognitivo como no cognitivo, en particular, con el dominio afectivo [13]. A partir de lo planteado hasta aquí, esta revisión se propone identificar las relaciones se han documentado entre la modelización matemática y el afecto. Por tanto, se ofrece una respuesta a la pregunta: ¿Qué relaciones se han establecido en la literatura de investigación educativa entre las emociones, sentimientos, afectos y la modelización matemática?

## 2. MÉTODO

Para estructurar la revisión y construir un punto de vista de la información previamente publicada se siguieron las orientaciones de [14]. En este trabajo, se incluyó una búsqueda y análisis sistemático de la investigación producida en la conjunción modelización y afecto, por tanto, incluyó las siguientes fases:



## 2.1 Delimitación de la problemática

El estudio de las emociones y sentimientos en matemáticas es un campo de investigación que ha venido cobrando importancia en las últimas décadas. Por su parte, la modelización matemática puede ser vista desde diversas ópticas según sea la necesidad de aprendizaje o investigativa. Con este estudio se pretende analizar la relación que existe entre el dominio afectivo con los procesos de modelización matemática en la investigación en Educación Matemática.

## 2.2 Identificación de conceptos y palabras clave

Para esta revisión de la literatura el equipo decidió enfocar la búsqueda en la base de datos Scopus, la cual es ampliamente aceptada dentro de la comunidad académica, ya que indexa con rigurosos criterios de evaluación además de su gran cobertura idiomática y geográfica [15]. Una vez definida la base de datos, se utilizó la ecuación de búsqueda: *affect or affectivity or emotions and mathematical modelling*. Se utilizó esta ecuación porque relaciona los términos que son claves para nuestro estudio. También se utilizaron los operadores Booleanos *or*, *and* con el fin de hallar convergencias entre estos términos.

La búsqueda se realizó entre los meses de agosto y septiembre del 2021, y arrojó un total de 2223 artículos para un primer análisis. Se revisaron títulos, *abstracts* y palabras clave para identificar si se ajustaban a los intereses de esta revisión, luego definieron y aplicaron los criterios de inclusión y exclusión que se presentan en la Tabla 1. Este proceso arrojó como resultado un total de 16 artículos.

Posteriormente, se aplicó *backward search* [16] con el fin de identificar otra información relevante fue así como se incluyó ICME-13 Modeling students mathematical modeling competencias [17] y *Affect in Mathematical Modeling* [18]. Asimismo, se incluyó una búsqueda en la serie *International Perspectives on the Teaching and Learning of Mathematical Modelling* la cual se considera una fuente bibliográfica importante en la modelización matemática como dominio de investigación [19].

Estas búsquedas permitieron incluir 12 documentos más al cuerpo de textos a analizar. Para incluir investigación relevante en un idioma diferente al inglés, se amplió la búsqueda a la base de datos Redalyc. Se aplicaron los mismos criterios de búsqueda tanto en inglés como en español y portugués, no obstante, luego de aplicar los criterios de inclusión y exclusión, no se encontró ningún artículo para su análisis.

## 2.3 Delimitación de los criterios de inclusión y exclusión

Según [14], la revisión de la literatura de una investigación debe contener criterios de inclusión y exclusión que posibiliten analizar los resultados arrojados por la ecuación de búsqueda y limitarlos solo a los documentos, ya sean libros, capítulos de libros o artículos relacionados con el tema del estudio. En la Tabla 1 se enuncian los criterios de inclusión y exclusión establecidos para filtrar los documentos obtenidos en la primera búsqueda.

**Tabla 1.** Criterios de inclusión y criterios de exclusión.

| Criterios de Inclusión   | Criterios de exclusión   |
|--|--|
| Artículos, capítulos de libro y libros evaluados por pares académicos.   | Memorias de eventos, literatura gris,  |
| Artículos que analicen con datos empíricos la relación entre la modelización matemática con los sentimientos y emociones de los estudiantes. | Documentos que presenten desarrollos teóricos sobre modelización matemática o emociones.<br>Artículos o investigaciones de carácter psiquiátrico, estudios sobre casos médicos y estudios con grupos poblacionales no pertenecientes a un nivel educativo. |
| Idioma español, portugués e inglés   | Idiomas diferentes al español, portugués e inglés.   |

Definición de los objetivos de búsqueda en los documentos seleccionados: para analizar las relaciones que pueden identificarse entre los campos de investigación mencionados, cada documento obtenido en la primera búsqueda se revisó dos veces. En la primera revisión se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión, con lo cual se delimitó el número de documentos pertinentes para esta investigación (n=28), luego cada documento se leyó en profundidad con el fin de responder las siguientes preguntas:

1. ¿Cuáles son las comprensiones de modelización matemática y del afectivo que circulan en el corpus de investigación?
2. ¿Qué relaciones se describen entre el dominio afectivo y la modelización matemática?
3. ¿Cuál es la población, teoría e instrumentos utilizados en la investigación sobre afecto y modelización matemática?

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Se presentan las diferentes formas de entender o asumir la modelización matemática y el dominio afectivo en los trabajos revisados. De igual forma se reportan las relaciones encontradas en la literatura revisada, así como las poblaciones con las que se ha investigado y los instrumentos de recolección de información utilizados.

#### 3.1 Modelización matemática

La modelización y el estudio de las emociones representan dos áreas en la investigación internacional en Educación Matemática [7,13,20]. Como se mencionó anteriormente, existen diversas comprensiones y aproximaciones. En las investigaciones donde se aborda la modelización matemática junto con el dominio afectivo, no se encontró unicidad de criterios al momento de definirla, los autores la definen en función de los propósitos e intereses que subyacen a su integración en el currículo escolar.

Los trabajos revisados dan cuenta de tres comprensiones. Para la mayoría de los autores que investigan el dominio afectivo y la modelización matemática, esta última es asumida como un proceso que se puede describir a través de ciclos compuestos por una serie de fases [2, 7, 13, 20-22]. En dicho proceso, los estudiantes crean explicaciones en forma de modelos utilizando herramientas matemáticas y estadísticas para analizar situaciones del mundo real, comprenderlas y tomar decisiones sobre ellas [23-26]. Los investigadores coinciden en que, para crear un modelo, el solucionador de problemas debe desarrollar un proceso de matematización. Dicho proceso implica analizar la información disponible, la cual puede no ser aparentemente matemática, para luego adaptarla y considerarla desde el ámbito de las matemáticas [13].

Desde esta mirada, la modelización tiene varios objetivos relacionados con el dominio afectivo. Uno es que el estudiante se sienta seguro (autoeficacia) de que será capaz de resolver el problema, debido a que generalmente no aparecen términos matemáticos o fórmulas complejas en la descripción del problema. Incluso los estudiantes de bajo rendimiento pueden pensar que van a resolverlo si entienden bien la descripción de la situación [27]. Otro objetivo apunta a que la tarea propuesta al estar relacionado con el contexto del estudiante, despierte cierto interés y, por tanto, se sienta motivado a resolverlo [24-26]. En conjunto, estas investigaciones aportan elementos para entender la modelización como un proceso, que si se desarrolla correctamente puede posibilitar el entendimiento de objetos matemáticos a partir de su relación con la realidad. Sin embargo, existen otras miradas de la modelización que se valoran por sus aportes tanto a la comprensión matemática y de su rol en la sociedad (por ejemplo, la perspectiva socio-crítica).

Esta revisión mostró que algunos autores entienden la modelización como una forma de describir el mundo aplicando las matemáticas en la resolución de problemas de situaciones de la vida real que no tienen una estructura regular [1, 9, 27-30]. Para estos autores, modelar es construir un modelo matemático, físico o abstracto que capture parte de las características de una realidad para poder describirla, comprenderla, manipularla, darle sentido, interpretarla, estudiarla, modificarla o evaluarla; asimismo, ese modelo permite buscar soluciones, aplicarlas a otras realidades (objetos, fenómenos, situaciones etc.), estimar, comparar impactos y representar relaciones.

Desde esta comprensión, la modelización está relacionada con el dominio afectivo, debido a que los afectos desempeñan un papel importante en el desarrollo del pensamiento creativo y crítico, los cuales son fundamentales al momento de construir modelos [14]. La finalidad es que los estudiantes aprenden a usar variadas formas para representar datos, y a seleccionar y aplicar los métodos matemáticos apropiados y

las herramientas adecuadas para resolver problemas; de tal modo que las ecuaciones, las funciones y la geometría cobren un sentido significativo para ellos [1].

Por su parte, algunos investigadores [22, 31-33] estudian la modelización matemática desde la perspectiva del profesor. Estos autores la asumen como una estrategia de enseñanza que incorpora el tema matemático, los estudiantes y el profesor, además de las interacciones que pueden darse entre estos [32]. Para los autores mencionados, asumirla desde esta perspectiva, persigue el objetivo de ayudar a despertar en los estudiantes un sentido crítico y creativo, el cual posibilita el entendimiento de los conceptos matemáticos.

Según [33] entenderla como una estrategia de enseñanza influye en el desarrollo de la confianza de los profesores, ya que potencializa su capacidad de generar, explorar y analizar nuevas ideas, al tiempo que se fomenta la persistencia, la independencia y el uso creativo del conocimiento matemático. Lo anterior conecta con el dominio afectivo, ya que desde la perspectiva de [33], los profesores que desarrollan un fuerte sentido de eficacia, están más abiertos a nuevas ideas y están más dispuestos a experimentar con nuevos métodos para satisfacer mejor las necesidades de los estudiantes.

Con respecto a la forma en que los autores definen la modelización matemática, esta revisión mostró que, aunque las concepciones no son homogéneas en cada una de ellas se destaca la relación existente entre el mundo real y las matemáticas. También se observa, que en cada comprensión emergen relaciones con el dominio afectivo, lo que habla de la importancia, de comprenderlas mejor. Por tal razón, a continuación, se presentan las diferentes concepciones del dominio afectivo en la literatura revisada.

### 3.2 Dominio afectivo y sus componentes

Como ya se ha mencionado, son diversos los investigadores que dan cuenta de la importancia que tiene el estudio del dominio afectivo en la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas; particularmente sobre la resolución de problemas [1, 3, 7, 20, 25, 34]. Dicho reconocimiento se ha visto reflejado en investigaciones, lo que a su vez ha desembocado en el establecimiento de un área de investigación conocida como el dominio afectivo en Educación Matemática [35].

Con respecto a la concepción de dominio afectivo, pudimos observar dos tendencias principales, dominio afectivo asociado al contenido y dominio afectivo asociado a la actividad. Con respecto a la tendencia de asumir el dominio afectivo desde su asociación a los contenidos, se encontró que la comprensión más usada corresponde a la propuesta por McLeod [1, 6, 7, 13, 24, 29, 36, 37]. Para [38], el dominio afectivo se entiende como *un extenso rango de sentimientos y humores o estados de ánimo que son generalmente, considerados como algo diferente de la pura cognición e incluye como componentes específicos de este dominio las actitudes, creencias y emociones*. En algunos de los trabajos revisados (n=14), los componentes propuestos por [38] son utilizados para estudiar las interacciones entre la cognición, el dominio afectivo y el proceso de modelización, entendiendo este último como un proceso que a través de una serie de fases permite al estudiante dar solución a una problemática del contexto a partir de un concepto matemático determinado.

Aunque algunos investigadores ampliaron el espectro de los componentes del dominio afectivo propuesto por [38]. Al respecto [39] desarrollaron un modelo tetraédrico en el que se sugiere que el dominio afectivo está compuesto por cuatro componentes intrincadamente entrelazados. El componente que [39] añadieron fue el de los valores, que engloba la ética y la moral, y se suma a los tres componentes propuestos de [38]. No obstante, esta revisión de la literatura mostró que en los trabajos donde se investiga el dominio afectivo y la modelización matemática al mismo tiempo, no se utilizó el modelo propuesto por [39]. Aunque si se menciona de forma recurrente en los apartados donde se conceptualiza el dominio afectivo.

La comprensión anterior corresponde a una mirada clásica del dominio afectivo [40], es decir, una subdivisión del dominio afectivo en componentes como las emociones, actitudes y creencias. Sin embargo, existen posturas más recientes que definen el dominio afectivo mediante otros componentes, por ejemplo, el compromiso y la motivación. En su investigación [20] conceptualizaron el dominio afectivo desde su

asociación con la actividad y no en la matemática como campo conceptual; desde esta perspectiva, los autores mencionados estudiaron el afecto de los estudiantes cuando realizan una actividad como lanzar un objeto, grabarlo, y con la ayuda de un software de seguimiento en computadoras portátiles transformar el movimiento en medidas, aproximar el movimiento con un modelo matemático y luego presentar sus hallazgos en un póster. Entender el dominio afectivo basados en la actividad de los estudiantes, les permitió por un lado relacionarlo con las actividades y no con las matemáticas como entidad holística, por otro lado, permitió distinguir entre diferentes tipos de actividades dentro de los distintos contextos de la educación matemática. Desde esta perspectiva, la modelización matemática es asumida como una herramienta que permite acercar al estudiante a diversidad de conceptos, partiendo de la relación que estos puedan tener con el contexto real y las actividades que puedan desencadenarse de dicha relación.

Así como existen diferentes maneras de conceptualizar el dominio afectivo, también se encontró que sus componentes más reconocidos (actitudes, creencias y emociones), también han sido conceptualizados de diversas maneras. A continuación, se realiza una descripción de estas concepciones.

- *Emociones.* Al realizar la revisión de la literatura sobre cómo son conceptualizadas las emociones en los trabajos revisados, se encontraron dos enfoques, el conductual y el analítico. En el enfoque conductual las emociones son entendidas como respuestas afectivas ante una actividad de modelización matemática, las cuales facilitan o dificultan el aprendizaje dependiendo si dichas emociones son positivas o negativas [1,30,34].

En su estudio [1] investigaron las manifestaciones emocionales de los estudiantes en el proceso de aprender a modelar funciones lineales. Para estos autores, las emociones son asumidas a partir de lo propuesto por [38], quien a su vez las definió como respuestas afectivas caracterizadas por una alta intensidad y activación fisiológica que experimentan los estudiantes, y que surgen en respuesta a una tarea matemática que tiene una carga de significado positiva o negativa para ellos. Los datos obtenidos en esta investigación, concluyen que existe una relación entre la emocionalidad y el rendimiento en matemática de los estudiantes al trabajar en una situación de aprendizaje orientada a la resolución de un problema [1].

A su vez [34] investigó los posicionamientos discursivos y las emociones de un grupo de cuatro estudiantes de grado séptimo durante las fases de una actividad de modelización utilizando el marco del análisis discursivo. En este estudio las emociones se describen como un factor poderoso, que fomenta o inhibe el aprendizaje efectivo y los enfoques de estudio. Como resultado de este trabajo, se concluyó que los diferentes posicionamientos de los miembros del grupo en las distintas fases de modelado fueron acompañados por diferentes emociones experimentadas por ellos, donde ser un colaborador activo resultó en emociones positivas, mientras que ser un estudiante menos participativo resultó en emociones negativas.

Por su parte, [30] investigaron si los estudiantes manifiestan mayor interés y sienten mayor placer y menos aburrimiento al momento al resolver problemas del mundo real dentro o fuera del aula. Los autores definen las emociones a partir de lo propuesto por [41], quien a su vez las describe como un constructo complejo y multidimensional que comprende partes motivacionales, expresivas, fisiológicas y cognitivas. Los investigadores [30] centraron su atención en el estudio de las emociones de disfrute y aburrimiento, ya que, para ellos, estas son las emociones más frecuentes en el contexto del aprendizaje. Los resultados mostraron que la ubicación de los estudiantes (dentro o fuera del aula) no influye en el interés y desarrollo de las emociones. Por lo tanto, no es el entorno de aprendizaje dentro o fuera del aula, lo que es importante para desarrollar el interés.

En el enfoque analítico, las emociones son entendidas como fenómenos complejos que surgen durante el proceso de aprender e incluyen parte cognitiva y afectiva. Desde esta perspectiva, en esta revisión se encontraron los trabajos dos trabajos [24, 42]. En su estudio [42] exploraron el papel de la estrategia de dibujo como mediador entre las emociones disfrute y ansiedad con la actividad de modelización en un grupo de 220 estudiantes. Los autores definen las emociones como fenómenos complejos que incluyen partes afectivas, cognitivas, fisiológicas, motivacionales y expresivas. Entre los resultados de este trabajo

se encontró que el uso de la estrategia de dibujo es beneficioso para la resolución de problemas en el ámbito de las matemáticas y más específicamente para los problemas de modelización geométrica. Sin embargo, existen factores emocionales y cognitivos que afectan al uso de la estrategia de dibujo al resolver problemas matemáticos. Tales factores están relacionados con el disfrute o la ansiedad, ya que estos fomentan o dificultan el uso de la estrategia de dibujo en situaciones de modelización [42].

Por su parte, [24] describieron la acción de un profesor (toma de decisiones y acciones) en función de su epistemología personal. Estos autores conceptualizaron las emociones como uno de los componentes de la epistemología personal del profesor junto con el razonamiento epistémico y las creencias epistémicas. Estos componentes actúan como condicionantes cognitivos y emocionales en las tareas que se proponen a los estudiantes [24]. En este trabajo, las emociones epistémicas se conciben como emociones que surgen cuando el objeto es el conocimiento y los procesos que implican el conocer son causados por las cualidades cognitivas de la información de la tarea y el procesamiento de esa información. Como resultado se evidenció que el profesor con quién se realizó el estudio, en base a su epistemología personal, prioriza la estrategia de la analogía para fomentar el compromiso y la motivación de los estudiantes en las transiciones entre los mundos real y matemático [24].

A partir de la literatura revisada, se aprecia que las emociones están relacionadas tanto con el actuar del estudiante, como con el accionar del profesor. Por tal razón, estudiarlas y reconocerlas es un campo importante de investigación al interior de la matemática educativa, en aras de fomentar prácticas de aprendizaje y enseñanza exitosas.

- *Actitudes.* Con respecto al estudio de las actitudes y la forma como esta es conceptualizada, en los trabajos revisados se encontraron dos enfoques. Uno orientado al cambio y otro enfoque orientado a la medición. El enfoque orientado al cambio, utiliza situaciones reales como promotor de la motivación de los estudiantes, con lo cual se espera que los estudiantes asuman actitudes positivas o cambien actitudes negativas generadas por experiencias de aprendizaje que desconocen la utilidad percibida de las matemáticas [2, 29].

En [29], se investigó el potencial de la enseñanza de problemas del entorno para cambiar la actitud de los estudiantes hacia las matemáticas. Para tal fin examinaron la actitud y compromiso de los estudiantes hacia las matemáticas mientras resuelven los problemas propuestos, esto comparado con el compromiso de los estudiantes que resuelven problemas de palabras e intra matemáticos. En su trabajo, la actitud de los estudiantes hacia las matemáticas, se refiere a cómo les gusta aprender las matemáticas.

Así mismo, la actitud está asociada con la utilidad que puede tener el aprendizaje de las matemáticas en la vida cotidiana (utilidad de las matemáticas). Los resultados de esta investigación mostraron que familiarizar a los estudiantes con los problemas de modelización tuvo efectos positivos en su actitud hacia las matemáticas. También encontraron que, aunque la actitud hacia las matemáticas es resistente al cambio, puede mejorarse utilizando métodos de aprendizaje cooperativo [29].

A su vez [2] estudió el impacto de promover situaciones de modelización con auténticos problemas reales, en la actitud de los estudiantes hacia las matemáticas. En este trabajo, se abordó la actitud hacia las matemáticas desde un enfoque narrativo con el fin de investigar las dimensiones que los estudiantes utilizan para describir su relación con las matemáticas. Como resultado de su trabajo encontraron que, dentro de las narrativas de los participantes, la utilidad percibida de las matemáticas es uno de los aspectos más recurrentes, por lo tanto, constituye uno de los principales componentes al momento de conformar la visión matemática de los estudiantes.

También encontraron que la relación entre la modelización matemática y la actitud hacia las matemáticas es más compleja de lo que parece. Lo anterior se estableció a partir de lo expresado por los estudiantes en sus narrativas, ya que para la mayoría de los estudiantes es muy difícil modelar cualquier situación real (incluso simple) utilizando conocimientos matemáticos básicos desarrollados en la educación matemática escolar.

El enfoque orientado a la medición, se apoya en la modelización matemática para determinar escalas que permitan identificar las actitudes de los estudiantes hacia el planteamiento de problemas matemáticos [43]. Estos autores desarrollaron una escala para determinar las actitudes de los estudiantes de secundaria hacia el planteamiento de problemas matemáticos. En este estudio se tuvieron en cuenta tres componentes de la actitud: cognitivo, afectivo y conductual. Los componentes cognitivos se componen de la creencia y la información basada en hechos, los componentes afectivos se componen de estados positivos o negativos como si nos gusta algo o no y los componentes conductuales se componen de acciones o palabras.

Cabe destacar que, al momento de referirse a las actitudes de los estudiantes, los autores no las enmarcan en actitudes positivas y negativas, sino que emplean los términos actitudes altas y actitudes bajas. Como resultado de su trabajo encontraron que los estudiantes de secundaria tienen altas actitudes de planteamiento de problemas matemáticos, altas actitudes de resolución de problemas matemáticos y altas actitudes hacia las matemáticas, y que existen altas relaciones positivas entre estas actitudes. No obstante, a medida que aumenta el grado de escolaridad de los estudiantes, disminuyen las actitudes hacia el planteamiento de problemas, a su resolución y hacia las matemáticas en general.

Las actitudes son componentes fundamentales en los procesos de enseñanza y aprendizaje desde una perspectiva de modelización matemática [2, 29, 43]. Respecto al concepto de actitud, autores como [44] critican que no existe un consenso general para definirla por parte de los principales investigadores. A menudo dichas definiciones dependen del instrumento con el cual se está trabajando. Por lo tanto, es importante seguir profundizando en su investigación, no solo para unificar una definición, sino para entenderlas mejor, ya que, si se logra entender el proceso que da lugar al establecimiento de las actitudes en los estudiantes, y la forma como estas favorecen o dificultan el proceso de modelización, se estará aportando a mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje de las matemáticas.

- *Creencias.* En la literatura revisada se identificaron diversas comprensiones, las cuales pueden agruparse en una categoría principal enfocada al estudio de las creencias sobre uno mismo; esta categoría puede dividirse en dos subcategorías, creencias del estudiante [6, 23, 27, 36, 45] y creencias del profesor [22, 31]. En las investigaciones enfocadas al estudio de las creencias sobre uno mismo y la capacidad para resolver problemas matemáticos, los investigadores coinciden en llamar a este tipo de creencias autoeficacia, auto concepto, creencias de valor, eficacia y creencias positivas y negativas.

Al analizar los trabajos revisados y profundizando en el análisis de las investigaciones centradas en las creencias sobre sí mismo de los estudiantes, se encontraron dos puntos de encuentro. De un lado están los estudios enfocados en el estudio del impacto que tienen diversos tipos de creencias como el auto concepto y autoeficacia en el desarrollo de situaciones de modelización matemática [23, 26, 36] y los trabajos enfocados en identificar creencias positivas y negativas derivadas de las actividades de modelización [6]. En estos trabajos se pueden apreciar diversas formas de conceptualizar las creencias.

Para [23], autoeficacia y auto concepto son tipos de creencias que poseen un importante potencial predictivo motivacional del rendimiento de los estudiantes en la resolución de problemas. En su investigación, [26] asumen la autoeficacia desde una perspectiva según la cual, la autoeficacia está dada a partir de las creencias en las propias capacidades para organizar y ejecutar los cursos de acción necesarios para producir determinados logros. Mientras que en [36], las creencias de los estudiantes sobre las matemáticas y su aprendizaje están relacionadas con su motivación en el aprendizaje de las matemáticas y contribuyen de forma importante al desarrollo de sus respuestas emocionales a las situaciones matemáticas.

Entre las principales conclusiones de estos trabajos, se encontró que la autoeficacia y auto concepto en la modelización matemática tienen impacto en las calificaciones, independientemente del nivel cognitivo de los estudiantes o del aula [23]. También existen puntos de encuentro entre los trabajos del equipo de investigación de [26] y [36] cuando mencionan que para que los estudiantes desarrollen creencias positivas de autoeficacia y autoconcepto hacia las matemáticas, es necesario que los profesores

desarrollen métodos de enseñanza que resalten el valor de estos problemas y a la vez proporcionen a los estudiantes oportunidades de resolver problemas de modelización en clase.

Por su parte, [6] realizó una investigación que se concentró en determinar las creencias positivas y negativas de los estudiantes sobre las matemáticas y la resolución de problemas matemáticos. En este estudio usaron cinco escalas para medir las creencias de los estudiantes. Como resultado del estudio, los investigadores encontraron que creencias positivas como que el esfuerzo puede aumentar la propia capacidad matemática y que las matemáticas son útiles. También se encontraron con creencias negativas como que todos los problemas pueden resolverse mediante un procedimiento rutinario y la creencia de que los problemas de palabras no son importantes en matemáticas.

Respecto a las creencias de los profesores sobre sí mismos, se encontraron los trabajos de [22] y [31]. Para estos investigadores, las creencias de los profesores son un foco de investigación vigente en educación matemática. Como resultado de estos estudios, los investigadores coinciden en concluir que las creencias de los profesores tienen una gran influencia en las creencias de los estudiantes acerca de las mismas. Otra conclusión importante de ambos estudios, es que para el profesor las actividades de aplicación realistas (tareas de modelización) son *per se* necesarias en el proceso de enseñanza, sin embargo, esta creencia no siempre es compartida por los estudiantes, ya que ellos requieren un componente adicional, el cual es la motivación, y esto no es algo que el profesor garantice siempre que se abordan este tipo de actividades.

Otra conclusión importante del trabajo de [31] tiene que ver con que los profesores estudiados desarrollaron estas situaciones con sus estudiantes durante su etapa práctica (prácticum) de la universidad, porque los instructores los animaban a enseñar aplicaciones a través de la modelización. No obstante, cuando este periodo de prácticas termina, los profesores dejan de trabajarlas ya que lo consideran algo propio de profesores nobeles y sumamente diletante.

Como se puede apreciar, esta revisión de la literatura permitió encontrar diversidad de enfoques de modelización, así como diversidad de conceptualizaciones en lo que respecta a los componentes del dominio afectivo. Esta diversidad, a su vez, da lugar a diferentes relaciones entre ambos. A continuación, se analizan las relaciones encontradas.

### **3.3 Relaciones entre la modelización matemática y el dominio afectivo**

Al momento de definir las relaciones existentes, se observaron principalmente dos tipos. Por un lado, están las relaciones de reciprocidad, según las cuales el dominio afectivo influye en la modelización matemática y viceversa [1, 7, 25, 26]. Otro tipo son las direccionadas o de influencia, en este tipo de relaciones, el incorporar situaciones de modelización en las clases influye positiva o negativamente en el dominio afectivo [6, 13, 23, 27, 28, 30, 32, 34, 36, 37, 43, 45, 46], pero la relación recíproca no se informa.

#### **3.3.1 Relaciones de reciprocidad**

Respecto a las relaciones de reciprocidad, la revisión de la literatura encontró que varios investigadores (n=6) reconocen que entre la modelización matemática y el dominio afectivo estas son recíprocas [1, 7, 25, 26, 36]. En [7], se plantea que un tercer elemento de conexión es la cognición. El autor presenta un esquema en el que los tres componentes están interconectados y desafían la idea del afecto como causa primaria. Para el autor, todas las influencias se basan en la retroalimentación y se pueden establecer tanto de manera consciente como inconsciente. Si se analiza esta relación poniendo en primer lugar el afecto, se tiene que las actitudes, creencias, emociones y demás componentes del dominio afectivo de la persona que está modelando, pueden influir en el tipo de modelo creado.

Para el análisis de esta relación, algunos autores agregan un sub constituto llamado persistencia, el cual, si bien es cierto, no es reconocido como un componente del dominio afectivo por los psicólogos matemáticos, es un requisito esencial para que los solucionadores de problemas modelen con éxito una situación [7, 36].

La razón de incluir la persistencia como un elemento importante en la relación estudiada, radica en que cuando se desarrollan actividades de modelización, los modelos no se obtienen de forma inmediata, a diferencia de las actividades intra matemáticas o los problemas de palabras *disfrazados*.

### 3.3.2 Relaciones direccionadas

Respecto a las relaciones direccionadas, se encontró que en la mayoría de trabajos revisados (n=19), los autores asumen que utilizar la modelización matemática permite condicionar de diversas maneras las percepciones afectivas de los estudiantes. De igual forma, cuando se integran elementos del dominio afectivo, como la autoeficacia y el disfrute, se afecta el desempeño de los estudiantes en modelización [42].

Resultado de esta caracterización se obtienen relaciones positivas y negativas. Para algunos autores, el uso de actividades de aplicación realistas motiva positivamente a los estudiantes, debido a la conexión de estos problemas con el mundo real [1, 25, 32, 37, 43, 46]. Otros autores sostienen que, contrario a lo que se ha planteado, el utilizar actividades de este tipo puede generar emociones negativas, debido a que los estudiantes se enfrentan a niveles de dificultad a los que no están habituados [6, 13, 23, 26, 28, 34, 46]. A continuación, se analiza con más detalle estas relaciones.

- *Relaciones positivas.* La modelización matemática está relacionada con situaciones del mundo real [47]. Diversas investigaciones han argumentado que los profesores pueden motivar a los estudiantes asignándoles tareas de aprendizaje que perciban como significativas para su vida cotidiana [23]. Al respecto, se encontraron dos estudios [30,46] que plantean que los problemas con una fuerte conexión con la realidad, persiguen el objetivo psicológico de fomentar el interés de los estudiantes al permitirles experimentar las matemáticas como algo significativo. En [23] se señala que, la enseñanza de las matemáticas mediante tareas desafiantes (como los problemas de modelización), invitan a los estudiantes a permanecer en la ambigüedad, en una zona de confusión, y esto establece oportunidades para el razonamiento matemático. Al emplear problemas de este tipo, se espera que estos sean fácilmente relacionados con la vida de los estudiantes y, por lo tanto, le motiven a realizar la tarea [6].

Según [23], una de las principales razones por la que los problemas de modelización matemática motivan positivamente a los estudiantes, es debido a la creencia de autoeficacia. Para los autores, la autoeficacia es la creencia en la propia capacidad para influir en los eventos actuales y futuros. En una investigación realizada con 279 estudiantes suizos, la autoeficacia tuvo un impacto positivo en las calificaciones escolares, independientemente del nivel cognitivo de los estudiantes o del aula. Entre los resultados indicaron que, un entorno de aprendizaje que combina la instrucción directiva y el trabajo en grupo influye positivamente en la autorregulación, la autoeficacia y las actitudes de los estudiantes. Para [26], dicha motivación no es fortuita, ya que, utilizando los contextos en los problemas, se despliega una serie de oportunidades para facilitar el surgimiento de significados, al hacer coincidir el contexto con los antecedentes y preferencias personales de los estudiantes.

De acuerdo con lo anterior, lograr que el estudiante se sienta motivado hacia la resolución de un problema, es fundamental para su resolución, ya que así se puede esperar que se sienta más interesado en resolverlo y persista durante más tiempo que otro compañero que se muestre desinteresado [26]. Otro aspecto que puede contribuir a mejorar los niveles de interés, es que, en los problemas de modelización, generalmente no aparecen términos matemáticos ni fórmulas en la descripción del problema, lo cual incrementa el nivel de percepción de autoeficacia del estudiante. Incluso los estudiantes de bajo rendimiento pueden pensar que pueden dominar desarrollar la actividad si entienden bien la descripción de la situación [26].

A pesar que las ideas anteriores son ampliamente aceptadas por la comunidad académica, existen otras visiones, como la de [37], según la cual son pocas las investigaciones que han verificado empíricamente, que efectivamente los procesos de modelización tienen un impacto positivo en el interés y motivación de los estudiantes. Así mismo, existen otros autores, quienes plantean que estos problemas fueron defendidos en su mayoría por su potencial más que por evidencia clara de su capacidad para motivar e involucrar a los estudiantes [30, 42].



Por lo visto aquí, diversos autores defienden la idea que la modelización matemática influye en el dominio afectivo y viceversa de forma positiva; las principales razones que dan lugar a esta afirmación, se basan principalmente en dos argumentos, la influencia del contexto como *agente potenciador* de la motivación y el *sentimiento de autoeficacia* que origina en los estudiantes realizar actividades matemáticas expresadas en un lenguaje natural carente de fórmulas. Dicha teoría ha generado múltiples investigaciones en el campo de la matemática educativa. No obstante, esta revisión permitió encontrar que para algunos autores dicha teoría no siempre se cumple. A continuación, se describen otras formas de ver la relación entre la modelización y el dominio afectivo.

- *Relaciones negativas.* Como se informó anteriormente, en la literatura se reconoce la idea de que las actividades con una fuerte conexión con la realidad son importantes para el aprendizaje de los estudiantes, tanto en su etapa formativa, como vida futura. A pesar de esto, estudios como los de [26] indican que los estudiantes no parecen compartir tal creencia. Una de las razones, radica en que los problemas de modelización matemática requieren procesos de *traducción* más exigentes en comparación con problemas de palabras disfrazados, o actividades intra matemáticas [26, 30, 45].

En otro estudio, [42] la describen como un proceso que va desde la lectura de un problema para reconocer la estructura matemática, (construcción de un modelo) y el trabajo matemático para obtener unos resultados, los cuales deberán ser interpretados y validados posteriormente. El desarrollo de las fases representa un esfuerzo adicional, si se compara con lo que los estudiantes realizan en otras tareas, lo cual podría influir negativamente en el grado en que los estudiantes valoran dichos problemas [26]. Lo anterior se puede traducir en expectativas de autoeficacia más bajas para la resolución de problemas.

De acuerdo con [23], en el desarrollo de una tarea de modelización los estudiantes se enfrentan a una complejidad a la que no están acostumbrados. Sin embargo, el profesor, buscando que el estudiante sea quien construya el modelo, le presiona para que *haga lo que crea*, desconociendo en cierta medida la dificultad que representa para un estudiante, especialmente aquellos de bajo rendimiento, desarrollar estrategias meta cognitivas que le permitan transformar un contexto real en un contexto matemático.

Las relaciones establecidas apoyan la idea de que el estudio de la modelización y el dominio afectivo es un campo de investigación fértil con amplios temas y preguntas abiertas, especialmente, en lo referente a la influencia de las relaciones emergentes entre conocimiento, profesor y estudiante en el desarrollo de emociones actitudes y creencias; asimismo, las preguntas por la influencia de los materiales y recursos utilizados en las actividades de modelización también están abiertas. Por eso es importante desarrollar investigaciones que permitan conocerlas con más detalle. También reconocer que las relaciones que se establecen dependen de las poblaciones objeto de investigación. A continuación, se describen las poblaciones estudiadas en los trabajos revisados y los resultados obtenidos con ellas.

### **3.4 Poblaciones, teorías e instrumentos utilizados en la investigación sobre afecto y modelización matemática**

#### **3.4.1 Poblaciones estudiadas**

En los documentos revisados, se pudo observar una gran variedad de grupos poblacionales en los que se ha investigado la modelización matemática y el dominio afectivo. De igual forma, existe gran variedad en la procedencia de dichos estudios. En la revisión de la literatura, llama la atención que la mayoría de estudios se enfoquen en el nivel de básica secundaria (11 a 15 años), mientras que en básica primaria se encontraron pocos estudios. En la Tabla 2 se muestran los grupos poblacionales con los que más se ha estudiado la modelización matemática y el dominio afectivo, así como los principales resultados.

La conjunción entre la modelización matemática y el dominio afectivo ha generado investigaciones en diferentes niveles educativos. Esta revisión permitió apreciar que la mayoría de investigadores enfocan sus trabajos en el nivel de básica secundaria (n=13). Esto se debe principalmente a que, en este nivel, los estudiantes vivencian la transición de una matemática concreta, como la que se aprende en la escuela, a una matemática más formal y abstracta [20,27]. Este hecho da cuenta de la importancia no solo conocer la

forma como se desarrolla el dominio afectivo en la transición de las matemáticas concretas de la primaria a las matemáticas formales y abstractas de la secundaria. Sino también de incorporar metodologías que permitan relacionar lo concreto con lo abstracto como la modelización matemática. No obstante, dicho conocimiento precisa de instrumentos válidos que permitan establecer tal relación.

**Tabla 2.** Poblaciones estudiadas

| Población                 | Resultados  | Ejemplos  |
|---------------------------|---|---|
| Básica Primaria           | En el nivel de básica primaria, se encontró que cuando los estudiantes se involucran en ambientes que promueven su participación, como las tareas de modelización, se comprometen en alto grado con la descripción e interpretación de las situaciones a estudiar, la matematización de relaciones propias de la situación, la interpretación y el análisis de las soluciones propuestas. Sin embargo, esto es algo que no ocurre en todos los casos, particularmente para aquellos estudiantes con un bajo nivel de motivación inicial para el aprendizaje de las matemáticas. Si bien sus creencias sobre los modelos mejoraron, esto no tuvo impacto en el rendimiento de los estudiantes en la resolución de problemas  | [8, 36, 37]                                       |
| Básica Secundaria y Media | En el nivel educativo comprendido entre los 11 y 18 años, se pudo observar que las emociones de los estudiantes varían a medida que la actividad de modelización avanza. Los resultados apuntan a 4 factores principales que afectan las emociones de los estudiantes durante una actividad de modelización: las características propias del estudiante, las experiencias previas con la matemática, las características propias de la actividad [especialmente el nivel de dificultad] y las fases del proceso de modelización. En este nivel es en el que más se hace evidente la dicotomía relaciones positivas y negativas entre la modelización matemática y el dominio afectivo. Si bien un importante número de investigaciones que reportan que la modelización favorece aspectos del dominio afectivo como la autoeficacia; también es cierto que se ha encontrado especialmente en los estudiantes con bajo rendimiento, que las actividades de modelización según el nivel de dificultad, generan emociones negativas que a la larga se concretan en actitudes hacia las matemáticas en general, las cuales si no se intervienen a tiempo, se verán reflejadas en creencias sobre sí mismos y sobre las matemáticas. | [1, 3, 9, 12, 13, 23, 25, 28, 29, 34, 36, 42, 46] |
| Universidad               | Los resultados de las investigaciones en cuanto a las creencias positivas y negativas sobre las matemáticas y la resolución de problemas matemáticos revelaron que los estudiantes universitarios creen que el esfuerzo puede aumentar la propia capacidad matemática. También se encontró que un significativo número de estudiantes universitarios considera que no todos los problemas de palabras extraídos de la realidad pueden resolverse desarrollando las fases de un proceso de modelización.   | [6, 20, 22, 28, 32, 47]                           |

A continuación, se presenta una descripción de los instrumentos más utilizados por los investigadores en los trabajos revisados.

### 3.4.2 Instrumentos utilizados

Los resultados de la revisión muestran que existe gran variedad de instrumentos con los cuales se puede recoger información sobre el dominio afectivo y la modelización matemática con los estudiantes. Esta variedad se debe a que cada investigador emplea los instrumentos que considere pertinentes según su contexto y las características propias de su estudio. En la Tabla 3 se organizan los instrumentos utilizados junto con una breve descripción.

**Tabla 3.** Estrategias e instrumentos utilizados

| Estrategia o instrumento   | Descripción  | Ejemplos                |
|--|--|-------------------------|
| Situaciones de aprendizaje con tareas de modelización<br>Metodología cualitativa | Son actividades con las que se busca que el estudiante desarrolle las fases del proceso de modelización matemática a partir de la solución de una situación problematizadora, preferiblemente extraída de su contexto próximo.   | [1, 23, 25, 28, 45, 46] |
| Encuestas y entrevistas semiestructuradas<br>Metodología cualitativa.            | La entrevista semiestructurada es una entrevista exploratoria que, si bien generalmente sigue una guía o protocolo que se elabora antes de la entrevista y se centra en un tema central para proporcionar una estructura general, la entrevista semiestructurada también permite el descubrimiento, con espacio para seguir trayectorias temáticas a medida que se desarrolla la conversación. | [32, 34, 47]            |
| Escala de Likert<br>Metodología cuantitativa (Cuasiexperimental)                 | La Escala de Likert es una herramienta de medición que sirve para evaluar la opinión de una persona sobre un tema, producto o servicio. Esta evaluación se realiza a través de un cuestionario con un rango de preguntas cerradas y emplea, la escala más utilizada generalmente es la de 5 niveles.   | [29, 36, 46]            |
| Cuestionarios<br>Metodología cualitativa.  | El cuestionario es un documento formado por un conjunto de preguntas que deben estar redactadas de forma coherente, y organizadas, secuenciadas y estructuradas, de acuerdo con una determinada planificación, con el fin de que sus respuestas nos puedan ofrecer toda la información necesaria.  | [25, 36, 46]            |

|  |   |      |
|--|---|------|
| Cuestionario de motivación y creencias (Cuasiexperimental) | El cuestionario de motivación y creencias se utiliza para comprender qué situaciones podrían aumentar o disminuir la motivación de un determinado grupo de sujetos. Como sucede con el cuestionario de personalidad, no hay respuestas correctas o incorrectas. | [36] |
|--|---|------|

Pese a la diversidad de herramientas utilizadas por los investigadores al momento de estudiar la relación objeto de esta revisión, algunos autores plantean que es necesario consolidar instrumentos validados que permitan realizar un diagnóstico del estado emocional de los estudiantes [1-3]. Según los autores, esta falta de instrumentos es una de las razones por las cuales el estudio del dominio afectivo y su relación con las matemáticas, presenta menos investigaciones en comparación con otros campos.

Lo anterior pone sobre la mesa la necesidad de realizar más estudios en el campo de la modelización y el dominio afectivo, los cuales desarrollen y validen nuevos instrumentos para estudiar las relaciones emergentes entre estos campos de investigación.

#### 4. CONCLUSIONES

El estudio de las relaciones existentes entre el dominio afectivo con la enseñanza de la matemática, ha mostrado un importante crecimiento en los últimos años. Estas investigaciones en su mayoría se han enfocado en las relaciones del estudiante con la clase de matemáticas y la resolución de problemas, pero son pocos los estudios que se han enfocado en las relaciones que existen entre el dominio afectivo y la modelización. La literatura especializada reporta que están fuertemente relacionados [26, 42, 46]. Sin embargo, aún no se conoce a profundidad los diferentes tipos de relación ni las condiciones que las activan o promueven.

Conocer a profundidad estos aspectos ofrece oportunidades para comprender la influencia que tiene el profesor (por ejemplo, el discurso y las metáforas) así como el ambiente en el que se desarrolla la modelización; ya que, como lo plantean algunos autores, ni el profesor ni los ambientes y recursos, son neutros en la producción de significados, en el desarrollo profesional, ni en las emociones y otros componentes del dominio afectivo [48]. Una mirada a la modelización como ambiente de aprendizaje incluye los materiales, estrategias llevadas al aula. Lo anterior dialoga con lo propuesto por [49], quienes proponen que asumirla como ambiente de aprendizaje que permite el desarrollo de reflexiones críticas sobre los aspectos matemáticos implicados en los temas que los estudiantes eligen estudiar.

Para varios autores, los problemas con una conexión con la realidad, principalmente los problemas de modelización, persiguen el objetivo psicológico de fomentar el interés de los estudiantes al permitirles experimentar las matemáticas como algo significativo [48]. Esta postura que si bien es cierto ha sido ampliamente difundida y aceptada, también ha sido cuestionada por autores como [46], quienes plantean que faltan pruebas que respalden la expectativa de que los problemas con una conexión con la realidad son más interesantes para los estudiantes que los problemas intra matemáticos.

Esto dialoga con lo propuesto por [45] cuando sugieren que los estudiantes no valoraron más los problemas de modelización que otros tipos de problemas. Esta situación, se debe principalmente a que los estudiantes en un alto porcentaje, no tienen conciencia del valor de utilidad de estos problemas para su vida cotidiana presente y futura. Sino que se enfocan en los problemas inmediatos de su vida escolar, como aprobar exámenes, tener buenas calificaciones y obtener la aprobación de sus compañeros.

Si bien existe una amplia literatura sobre los beneficios de utilizar la modelización para promover la conceptualización matemática, esta revisión mostró que se han realizado pocas investigaciones sobre las razones por las que resulta difícil de alcanzar, especialmente para los estudiantes que presentan bajo rendimiento [28]. De igual forma, es poco lo que se ha estudiado sobre los factores asociados a dichas dificultades.

Al respecto, existe un importante número de autores, quienes, a partir de los resultados de sus investigaciones, muestran los aportes de abordar los conceptos matemáticos a partir de la modelización

matemática [1, 23, 28]. Estos aportes se deben especialmente a que este tipo de actividades despiertan el interés de los estudiantes, debido a que perciben las actividades como significativas por estar relacionadas con su vida cotidiana [23, 46]. Frente a esto, autores como [23] sostienen que una de las principales razones por la que los problemas de modelización matemática motivan positivamente a los estudiantes, es debido a la autoeficacia y el contexto.

La autoeficacia contribuye decisivamente a mejorar el desempeño de los estudiantes independientemente de su nivel cognitivo, mientras que el contexto permite a los estudiantes reconocer los significados derivados de la realidad para asociarlos con los significados matemáticos, además provee una sensación de aplicabilidad, lo cual aporta a una visión de matemática útil.

A pesar de que las ideas expuestas son aceptadas por la comunidad académica, esta revisión encontró que hay otras miradas acerca de las relaciones que pueden establecerse, las cuales no siempre son positivas. Este hecho refuerza la idea de realizar investigaciones que permitan comprenderlas, así como incluir nuevas visiones. Al respecto, varias investigaciones han mostrado que los estudiantes no necesariamente valoran más los problemas relacionados con su contexto que de otros tipos [26, 45].

Esto cuestiona lo que tradicionalmente se ha defendido sobre las razones para abordar las matemáticas desde la modelización [27], ya que se esperaba garantizar la motivación de los estudiantes. Sin embargo, esto no siempre se puede garantizar, especialmente con aquellos estudiantes que presentan bajo rendimiento, o han desarrollado creencias negativas sobre las matemáticas y sobre sí mismos.

A partir de la literatura revisada y los resultados obtenidos, queda claro, que no es recomendable asumir o dar por hecho relaciones positivas o negativas. Si bien, un importante número de investigaciones siguen dando cuenta de los beneficios de asumir el aprendizaje de las matemáticas a través de la modelización, es necesario tener presente que ello depende de múltiples condiciones donde quizás, el utilizar situaciones propias del contexto de los estudiantes, no sean suficientes para garantizar su motivación e interés en el proceso aprendizaje.

El estudio del dominio afectivo y la modelización matemática son temas que, a pesar de haber ganado gran reconocimiento en los debates académicos, aún falta mucho por aprender sobre las relaciones emergentes entre sus componentes y comprensiones. Por tal razón, se requieren investigaciones y estudios de diversa índole que nos ayuden a comprender mejor las relaciones entre estos dos grandes campos de investigación, los cuales, si bien se han estudiado ampliamente de forma separada, es poco lo que se conoce de la relación existente entre ellos.

Finalmente, esta revisión da cuenta que existen múltiples concepciones desde las cuales puede abordarse la modelización matemática, ya sea como un proceso, una estrategia de enseñanza o una forma de ver el mundo en términos matemáticos. En los trabajos revisados, las relaciones que se establecen con el dominio afectivo están dadas a partir de la influencia que tienen las situaciones del contexto en las actitudes, creencias y emociones de los estudiantes y viceversa. No obstante, es necesario estudiar otras visiones, como la propuesta por [50], quien la concibe como un ambiente de aprendizaje en el que los estudiantes son invitados a plantear y resolver problemas de su cotidianidad con el uso de la matemática.

En este ambiente se invita a los estudiantes a indagar, a través de las matemáticas, situaciones que surgen de otros ámbitos de la realidad, como tal involucra no solo el diseño de tareas, sino también las estrategias del profesor, las formas de interacción y colaboración entre estudiantes, profesores, contenido y los recursos disponibles [8, 50]. Finalmente, el equipo que llevo a cabo esta revisión, concluyó que estudiar otros elementos involucrados en el proceso de modelización, como los que contiene un ambiente de modelización, abre la puerta a nuevas líneas de investigación y por lo tanto otras comprensiones de las relaciones existentes.

### **Agradecimientos**

El equipo realizador de esta revisión de la literatura agradece a la universidad Tecnológica de Pereira y al programa de Doctorado en Didáctica, por facilitar el acceso a las bases de datos, así como la asesoría recibida a través de los seminarios y encuentros de línea.

## REFERENCIAS

- [1] Poblete Á. et al. (2018). Emotional manifestation and modeling of a mathematical function. *Bolema-Boletín de educación de Matemática* 32(62), 1198–1218.
- [2] Di Martino. P. (2019). The complex relationship between mathematical modeling and attitude towards mathematics. En Chamberlin A. y Sriraman S. (eds.), *Affect in mathematical modeling*. Springer
- [3] Martínez G. y García M. (2017). Students' emotions in the high school mathematical class: Appraisals in terms of a structure of goals. *International Journal of Science and Mathematics Education* 15(2) 349–369.
- [4] Mellado V. et al. (2014). Emotions in science teaching. *Enseñanza de las ciencias* 32(3), 11–36.
- [5] Trigueros M. (2009). El uso de la modelización en la enseñanza de las matemáticas. *Innovación Educativa* 9(46), 75-87.
- [6] Sangcap P. (2010). Mathematics-related beliefs of filipino college students: Factors affecting mathematics and problem solving performance. *Procedia Social and Behavioral Sciences* 8, 465–475.
- [7] Chamberlin S. (2019). The construct of affect in mathematical modeling. En Chamberlin A y Sriraman S. (eds.), *Affect in Mathematical Modeling*. Springer.
- [8] Villa-Ochoa J. y Parra-Zapata M. (2016). Interacciones y contribuciones. Forma de participación de estudiantes de quinto grado en ambientes de modelización matemática. *Actualidades investigativas en educa.* 16(3), 1-27.
- [9] Schorr R. et al. (2009). Don't disrespect Me: Affect in an urban math class. En Lesh R. et al. (eds.), *Modeling Students' Mathematical Modeling Competencies*. Springer.
- [10] Niss M. et al (2007). Introduction. En Blum W. et al. (eds.), *Modelling and applications in mathematics education: The 14th ICMI study*. Springer.
- [11] Lingefjärd T. (2006). Faces of Mathematical Modeling. *ZDM* 38(2), 96–112.
- [12] Niss M. (2003). Mathematical competencies and the learning of mathematics: The Danish kom project. En 3rd Mediterranean conference on mathematical education. Atenas, Grece.
- [13] Chamberlin S. y Parks. K. (2020). Comparison of student affect after engaging in a mathematical modeling activity. *International journal of education in mathamtics, science and tecnologia* 8(3), 177–189.
- [14] Creswell J. (2013). *Research design. Qualitative, Quantitative, and mixed methods approaches*. Sage.
- [15] Scimago G. (2006). Análisis de la cobertura de la base de datos Scopus. *Profesional de la informacion* 15(2), 144–145.
- [16] Xiao Y. y Watson M. (2019). Guidance on conducting a systematic literature review. *Journal of Planning Education and Research* 39(1), 93–112.
- [17] Lesh R. et al. (2010). Introduction to part I modeling: What is it? Why do it? En Lesh R. et al (eds.), *Modeling Students' Mathematical Modeling Competencies*. Springer.
- [18] Chamberlin S. y Sriraman B. (2019). *Affect in Mathematical Modeling*. Springer.
- [19] Frejd P. (2013). Modes of modelling assessment-a literature review. *Educat. Stu. in Mathematics* 84(3), 413–438.
- [20] Gjesteland T. y Vos. P. (2019). Affect and mathematical modeling assessment: A case study on engineering students' experience of challenge and flow during a compulsory mathematical modeling task. En Chamberlin A. y Sriraman S. (eds.), *Affect in Mathematical Modeling*. Springer
- [21] Girnat B. y Eichler A. (2011). Secondary teachers' beliefs about modeling in geometry and stochastics. En Kaiser G. et al. (eds.), *Trends in teaching and learning of mathematical modelling. International Perspectives on the Teaching and Learning of Mathematical Modelling*. Springer.
- [22] Durandt R. y Jacobs. G. (2014). Mathematical modelling strategies and attitudes of third year pre-service teachers. En *Mathematical Modelling and Applications*. Springer.
- [23] Holenstein M. et al (2021). How do self-efficacy and self-concept impact mathematical achievement? The case of mathematical modelling. *British Journal of Educational Psychology* 92(1), 155-174.
- [24] Gómez I. y De la Fuente O. (2019). Exploring teacher's epistemic beliefs and emotions in inquiry-based teaching of mathematics. En Chamberlin A y Sriraman S. (eds.), *Affect in Mathematical Modeling*. Springer
- [25] Krawitz J. et al. (2022). The role of reading comprehension in mathematical modelling: Improving the Construction of a Real-World Model and Interest in Germany and Taiwan. *Educational Studies in Mathematics* 109(2), 337-359
- [26] Schukajlow S. et al. (2017). Emotions and motivation in mathematics education: Theoretical considerations and empirical contributions. *ZDM* 49(3), 307-322.
- [27] Maass K. (2010). Modeling in class and the development of beliefs about the usefulness of mathematics. En Lesh R. et al. (eds.) *Modeling Students' Mathematical Modeling Competencies*. ICTMA 13.
- [28] Hidayat R. et al. (2020). Meta-cognitive behaviour and mathematical modelling competency: Mediating effect of performance goals. *Heliyon* 6(4), 57-60.
- [29] Parhizgar Z. y Liljedahl P. (2019). Teaching modelling problems and its effects on students' engagement and attitude toward mathematics. En Chamberlin A. y Sriraman S. (eds.), *Affect in Mathematical Modeling*. Springer
- [30] Hartmann L. y Schukajlow S. (2021). Interest and emotions while solving real-world problems inside and outside the classroom. En Leung F. et al. (eds.), *Mathematical Modelling Education in East and West. International Perspectives on the Teaching and Learning of Mathematical Modelling*. Springer.

- [31] Förster F. (2011). Secondary teachers' beliefs about teaching applications – Design and selected results of a qualitative case study. En Kaiser G. et al. (eds.), *Trends in Teaching and Learning of Mathematical Modelling. International Perspectives on the Teaching and Learning of Mathematical Modelling*. Springer.
- [32] Galligan L. et al. (2019). It's part of my life and the modelling process. *Journal of Mathematics Teacher Education* 22(4), 355-378
- [33] Barbosa J. (2019). Commentary on affect, cognition and metacognition in mathematical modelling. En Chamberlin A y Sriraman S. (eds.), *Affect in Mathematical Modeling*. Springer.
- [34] Daher W. (2015). Discursive positionings and emotions in modelling activities. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology* 46(8), 1149-1164.
- [35] Nava C. et al (2021). El afecto y el razonamiento covariacional: Una reflexión sobre la importancia de su estudio. *Revista Educacion* 45(2), 1–12.
- [36] Pongsakdi N. et al. (2019). The role of beliefs and motivational variables in enhancing word problem solving. *Scandinavian Journal of Educational Research* 63(2), 179–197.
- [37] Daher W. (2021). Middle school students' motivation in solving modelling activities with technology. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education* 17(9), 1-13.
- [38] McLeod D. (1992). Research on affect in mathematics education: A reconceptualization. *Handbook of research on mathematics teaching and learning*. Mcmillan.
- [39] Zan R. et al. (2006). Affect in mathematics education: An introduction. *Educational Studies in Mathematics* 63(2), 113-121.
- [40] Holm L. et al. (2017). Mathematics-related emotions among Finnish adolescents across different performance levels. *Educational Psychology* 37(2), 205-218.
- [41] Pekrun R. (2006). The control-value theory of achievement emotions: Assumptions, corollaries, and implications for educational research and practice. *Educational Psychology Review* 18(4), 315–341.
- [42] Schukajlow S. et al (2021). Do emotions and prior performance facilitate the use of the learner-generated drawing strategy? Effects of enjoyment, anxiety, and intramathematical performance on the use of the drawing strategy and modelling performance. *Contemporary Educational Psychology* 65, 1-11.
- [43] Katrancı Y. y Şengül S. (2019). The relationship between middle school students' attitudes towards mathematical problem-posing, attitudes towards mathematical problem-solving, and attitudes towards mathematics. *Education and science* 44(197), 1–24.
- [44] Hannula M. (2012). Exploring new dimensions of mathematics-related affect: Embodied and social theories. *Research in Mathematics Education* 14(2), 137–161.
- [45] Krawitz J. y Schukajlow S. (2017). Do students value modelling problems, and are they confident they can solve such problems? Value and self-efficacy for modelling, word, and intra-mathematical problems. *ZDM* 50, 143–157.
- [46] Rellensmann J. y Schukajlow S. (2017). Does students' interest in a mathematical problem depend on the problem's connection to reality? An analysis of students' interest and pre-service teachers' judgments of students' interest in problems with and without a connection to reality. *ZDM* 49(3), 367–378.
- [47] Rogovchenko Y. et al. (2020). Joy of mathematical modelling: A forgotten perspective?. En Stillman G. et al (eds.), *Mathematical Modelling Education and Sense-making*. Springer.
- [48] Carmona-Mesa J. et al. (2020). Estudio de fenómenos físicos en la formación inicial de profesores de matemáticas. Una experiencia con enfoque STEM. *Uni-pluriversidad* 20(1), 18-38.
- [49] Rosa M. y Orey D. (2019). Mathematical modelling as a virtual learning environment for teacher education programs. *Uni-pluriversidad* 19(2), 80–102.
- [50] Barbosa J. (2001). Modelagem na educação matemática: Contribuições para o debate teórico. En *Reunião anual da ANPED 24*. Brasília, Brasil.

# Desenlace de enfermedad invasiva por Salmonella en población con VIH

Violeta Vallejo Mena<sup>1</sup>  
Jenny Noralma Marcillo Gaviláñez<sup>2</sup>  
*Universidad de Guayaquil*  
Ecuador

La enfermedad por VIH representa un factor de riesgo para desarrollar una enfermedad invasiva por Salmonella que puede desencadenar desde cuadros graves hasta la muerte. El objetivo de este estudio fue determinar el desenlace de los casos de salmonelosis invasiva en población con VIH (2017-2021), en una serie de pacientes con aislamiento en hemocultivos de *Salmonella spp.* (n=41). La mayor frecuencia de casos ocurrió en población masculina 80,5%, mientras que en la femenina fue 19,5%, con una edad promedio de 41 años: hallazgo de Salmonella spp. con producción de betalactamasa de espectro extendido (12%), promedio de conteo de linfocitos TCD4 (85,6 células) y como fallecidos 34%. Concluimos que la enfermedad invasiva por salmonella fue más frecuente en población masculina y que la mortalidad se asocia a un conteo bajo de linfocitos TCD4.

---

<sup>1</sup> Especialista en Medicina Interna.  
Contacto: [violeta.vallejom@ug.edu.ec](mailto:violeta.vallejom@ug.edu.ec)

<sup>2</sup> Especialista en Medicina Interna.  
Contacto: [jenny.marcillo@ug.edu.ec](mailto:jenny.marcillo@ug.edu.ec)

## 1. INTRODUCCIÓN

La bacteria del género *Salmonella* es un bacilo, gramnegativo, anaerobio facultativo que pertenece a la familia Enterobacteriaceae, caracterizado por antígenos O, H, Vi y flagelo. Las infecciones producidas en seres humanos y animales por esta bacteria, que la conforman una gran cantidad de serotipos pueden llevar a dos tipos de cuadro clínico como son la fiebre entérica o tifoidea producida habitualmente por *S. typhi* y *S. paratyphi* o la salmonelosis, también denominada como gastroenteritis debida a serotipos no tifoideos [1].

La salmonelosis es considerada una zoonosis y supone una de las cuatro principales causas de diarrea a nivel mundial, así cada año enferman 550 millones de personas, de las cuales 220 millones son niños menores de 5 años [2] y el mecanismo de transmisión es fecal-oral por agua y alimentos contaminados, siendo esta transmisión muy prevalente en países con recursos limitados. En Ecuador durante el 2019, las enfermedades transmitidas por agua y alimentos alcanzaron 19487 casos y en el 2020 se reportaron 1099 casos de infecciones debidas a *Salmonella*, demostrando un decrecimiento del 32 % en comparación del 2019 que se registró 1614 casos. [3]

Actualmente, la resistencia a los antimicrobianos se ha convertido en un problema de salud pública a nivel mundial por el uso irracional de antibióticos en todos los ámbitos de la salud y sobre todo *Salmonella* es uno de los microorganismos entre los que han aparecido algunos serotipos resistentes a los antimicrobianos principalmente a las fluoroquinolonas y betaláctamicos, lo que genera un verdadero problema en el manejo clínico e incremento de la mortalidad. [4]

El riesgo de complicaciones y la gravedad en las enfermedades infecciones depende de la interacción entre el patógeno, su virulencia y el grado de deterioro de los mecanismos de defensa del huésped. Por lo que en pacientes inmunosuprimidos como son pacientes con enfermedades inmunológicas, diabetes mal controlada, uso de corticoides, enfermedad por VIH y otras, las infecciones son una de las causas principales de sepsis, mortalidad, tanto así que las bacteriemias ocupan el primer lugar en cuanto a complicaciones. [5]

La bacteriemia recurrente por *Salmonella* constituye un cuadro definitorio de sida, llegando a ser de 20 a 100 veces más frecuente y mortalidad de hasta 7 veces en comparación con las personas que no están infectados por el VIH [6]. Particularmente está asociada a la disminución en el recuento de linfocitos TCD4, existiendo mayor riesgo de enfermedad metastásica y mortalidad. Por lo tanto ante la presentación de gastroenteritis y fiebre en esta población debe orientarnos a la sospecha de enfermedad por *Salmonella* y obtener cultivos necesarios para descartar la infección [6].

El tratamiento de la salmonelosis en pacientes infectados por el VIH, no varía en relación a lo población general, pero si debe estar basada a la epidemiología local o susceptibilidad a los antibióticos, sin embargo, se sugiere como tratamiento inicial de elección a las fluoroquinolonas y otras alternativas son el trimetropim – sulfametoxazol o cefalosporinas de espectro expandido como ceftriaxona o cefotaxima. Existe el riesgo de recurrencias en el paciente con VIH que haya presentado bacteriemia y puede manifestarse como afectación a órganos y sistemas que incluyen a nivel intraabdominal, endotelial, del tracto urinario, focos de tejidos blandos, huesos, articulaciones, pulmones o meninges. En estos casos se debe considerar la profilaxis en aquellos con recuentos de CD4 <200 células/mm<sup>3</sup>.

El objetivo de este estudio fue determinar el desenlace en pacientes con bacteriemia por salmonella y enfermedad por VIH y se reconoció que la mayoría eran de sexo masculino 33 (80.5%) de los 41 casos confirmados por hemocultivos en el periodo de cinco años, fallecieron 14 pacientes (34,1%) y el hallazgo de *Salmonella* spp. productora de betalactamasas de espectro extendido BLEE, en 5 (12,2%), con un conteo de linfocitos TCD4 en promedio de 85,6 células/mm<sup>3</sup>. Además, llama la atención en estos pacientes la falta de tratamiento antirretroviral por diferentes situaciones lo que se refleja en la alta mortalidad de casos [7].

## 2. MÉTODO

La presente investigación tiene un diseño de tipo observacional, transversal, retrospectivo, mediante la recopilación de datos de pacientes mayores de 18 años, con infección por VIH que de forma coincidente



nunca habían recibido tratamiento antirretroviral o habían abandonado su tratamiento y tuvieron aislamiento en hemocultivos de *Salmonella* spp. que ameritaron ingreso hospitalario por signos de sepsis en el Hospital de Infectología José Daniel Rodríguez Maridueña durante el periodo del año 2017 a 2021.

Se consideraron las siguientes variables: edad, sexo, año de ocurrencia, muestra de aislamiento, resultado microbiológico, el nivel de recuento de linfocitos TCD4 y el desenlace del caso en fallecido o vivo. Las variables cuantitativas se midieron con media, mediana, desviación estándar (SD), se compararon mediante T-student y pruebas Shapiro – Wilk, además intervalo de confianza del 95%. Mientras que las variables categóricas se describieron como conteos y proporciones. Los datos fueron digitados en una hoja electrónica y luego importados para el análisis estadístico en Jamovi 2.2.5. Para la significancia estadística se establecerá con  $p < 0.05$ . En las siguientes Tablas y Figuras se muestran los resultados del estudio.

**Tabla 1.** Frecuencia de sexo

| Característica | Cantidad | % del total | Acumulado % |
|----------------|----------|-------------|-------------|
| Femenino       | 8        | 19.5 %      | 19.5 %      |
| Masculino      | 33       | 80.5 %      | 100.0 %     |

**Tabla 2.** Descriptiva edad

|      | N  | Media | Mediana | SD   | Mínimo | Máximo |
|------|----|-------|---------|------|--------|--------|
| Edad | 41 | 41,0  | 41,0    | 11,2 | 23,0   | 76,0   |

**Tabla 3.** Descriptiva LTCD4

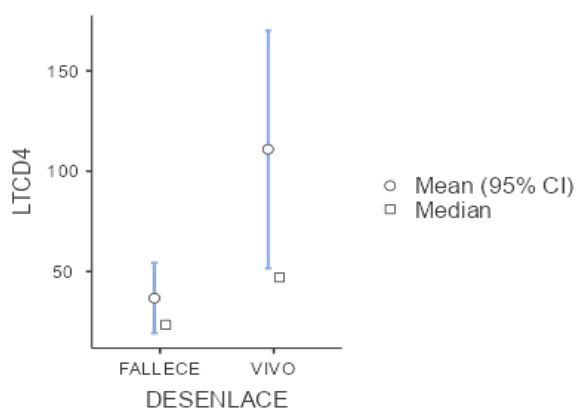
|       | N  | Media | Mediana | SD  | Mínimo | Máximo |
|-------|----|-------|---------|-----|--------|--------|
| LTCD4 | 41 | 85,6  | 32,0    | 133 | 4,00   | 620    |

**Tabla 4.** Frecuencia de Desenlace

| Parámetro | Cantidad | % del total | Acumulado % |
|-----------|----------|-------------|-------------|
| FALLECE   | 14       | 34,1 %      | 34,1 %      |
| VIVO      | 27       | 65,9 %      | 100,0 %     |

**Tabla 5.** Descriptiva relación LTCD4 y desenlace

|       | Desenlace | N  | 95% Intervalo de confianza |        |        |         |       | Shapiro-Wilk |       |
|-------|-----------|----|----------------------------|--------|--------|---------|-------|--------------|-------|
|       |           |    | Media                      | Mínimo | Máximo | Mediana | SD    | W            | p     |
| LTCD4 | FALLECE   | 14 | 36,7                       | 19,3   | 54,1   | 23,5    | 33,3  | 0,743        | 0,001 |
|       | VIVO      | 27 | 110,9                      | 51,7   | 170,1  | 47,0    | 156,9 | 0,661        | <,001 |



**Figura 1.** Relación desenlace y nivel de recuento LTCD4

**Tabla 6.** Descriptiva relación edad y desenlace

|      | Desenlace | N  | 95% Intervalo de confianza |        |        |         |      | Shapiro-Wilk |       |
|------|-----------|----|----------------------------|--------|--------|---------|------|--------------|-------|
|      |           |    | Media                      | Mínimo | Máximo | Mediana | SD   | W            | p     |
| EDAD | FALLECE   | 14 | 44,9                       | 39,5   | 50,2   | 45,5    | 10,3 | 0,931        | 0,312 |
|      | VIVO      | 27 | 39,1                       | 34,8   | 43,4   | 39,0    | 11,3 | 0,910        | 0,023 |

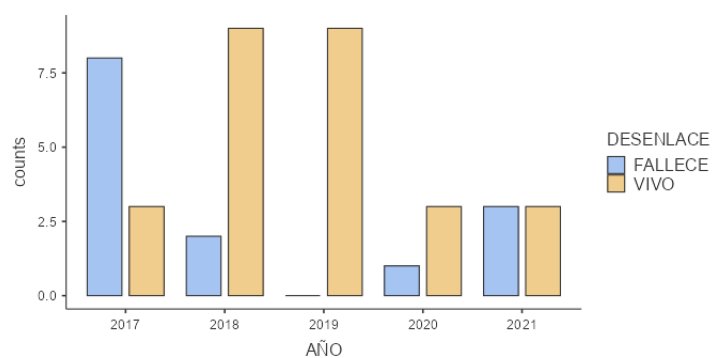


Figura 2. Desenlace por año

Tabla 6. Frecuencia de Salmonella BLEE

| Parámetro | Cantidad | % del Total | Acumulado % |
|-----------|----------|-------------|-------------|
| SI        | 5        | 12,2 %      | 12,2 %      |
| NO        | 36       | 87,8 %      | 100,0 %     |

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Desde el mes enero del 2017 a diciembre del 2021, identificamos 41 casos de personas con VIH, que presentaron hemocultivos positivos para Salmonella spp, de los cuáles, los pacientes 33 (80,5%) eran sexo masculino, femenino 8 (19,5%) y las edades, con una mediana de 41 años, desviación estándar de 11,2, edad mínima 23 años y máxima 76 años.

El recuento de linfocitos TCD4 se evidencia con una media de 85,6 células por mm<sup>3</sup>, mediana de 32 células por mm<sup>3</sup>, mínimo de 4 células y máximo 620 células. Así la relación del nivel LTCD4 con el desenlace de fallecido o vivo con la prueba de T-student fue de una media de 36,7 células y 111 células respectivamente. Un valor de p significativo menor a 0,05 con prueba Shapiro Wilk.

Microbiológicamente, no se logró identificar el serotipo de Salmonella, mientras que si se encontró la presencia de BLEE en 5 casos de Salmonella (12,2%).

La relación entre la edad de los pacientes con el desenlace de fallecido o vivo con la prueba Shapiro - Wilk fue de un valor de p mayor a 0,05, resultando una asociación no significativa.

Se evidencia que la mayoría de casos se presentaron en el año 2017 con 11 pacientes (26,8%), con una disminución de su frecuencia entre los años 2020, 4 (9,7%) y 2021, 6 (14,6%).

### 4. CONCLUSIONES

La Salmonella es una bacteria que puede infectar al ser humano a través de bebidas o alimentos contaminados y en población con VIH con compromiso inmunológico severo, el riesgo de bacteriemia, sepsis, compromiso orgánica y muerte es muy frecuente [8].

Mientras mayor sea la inmunosupresión, evidenciado por la cantidad de linfocitos TCD4, mayor son las posibilidades de fallecer [9] siendo en nuestro estudio 14 los pacientes fallecidos cuyos TCD4 tuvieron un conteo inferior a 200 células.

En pacientes con VIH la infección por salmonella no es considerada como una de las más frecuentes, siendo considerada en tercer o cuarta opción, y en ocasiones es diagnosticada de manera incidental, debido a los cultivos de diferentes muestras en busca de otros patógenos oportunistas con afectación entérica [10].

Debido a que la muestra es pequeña probablemente no se pudo encontrar una asociación entre la edad y mortalidad, además hay que tener en cuenta que la mayor prevalencia de personas con VIH son adultos jóvenes y de sexo masculino [11].

Entre 2022 y 2021 se evidencia un descenso de casos con salmonelosis, se cree que esto sea debido al inicio de la pandemia por Covid-19 donde, existió múltiples problemas sanitarios con una disminución de la incidencia de esta enfermedad, por falta de personal en laboratorio, falta de insumos, etc.

Es importante tener en cuenta que los factores de pronóstico desfavorable es una identificación la etiología tardía, uso de antimicrobianos en forma inadecuada, bacteriemia prolongada [12].

## REFERENCIAS

- [1] Leiva J. (2018). Infecciones por Salmonella y Yersinia. *Med.* 12(50), 2941–2951.
- [2] OMS. (2016). Salmonella-(Non-Typhoidal) @ Www.Who.Int. Recuperado: [http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/salmonella-\(non-typhoidal\)](http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/salmonella-(non-typhoidal))
- [3] Epidemiol N. (2021). Infecciones debidas a Tema Central. *Vigilancia epidemiológica.*
- [4] Keddy K. et al. (2017). Clinical and microbiological features of invasive nontyphoidal Salmonella associated with HIV-infected patients, Gauteng Province, South Africa. *Med.* 96(13), 1–7.
- [5] Abad R. (2022). Infecciones en el paciente inmunocomprometido (I). Paciente con tratamiento esteroideo y otros inmunosupresores. Paciente neutropénico. *Med.* 13(56), 3277–3287.
- [6] Department of Health and Human Services. (2020). Guidelines for the Prevention and Treatment of Opportunistic Infections in Adults and Adolescents with HIV. Recuperado: [http://aidsinfo.nih.gov/contentfiles/lvguidelines/adult\\_oi.pdf](http://aidsinfo.nih.gov/contentfiles/lvguidelines/adult_oi.pdf)
- [7] Stanaway J. et al. (2019). The global burden of non-typhoidal salmonella invasive disease: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *Lancet Infect. Dis.* 19(12), 1312–1324.
- [8] Parra V. et al. (2019). Invasive salmonellosis in a hospital in Lima, Peru. *Rev. Peru. Med. Exp. Salud Publica* 36(3), 464–468.
- [9] Mitiku H. et al. (2019). Nontyphoidal salmonella bacteremia in antiretroviral therapy-naive HIV-infected individuals at three public hospitals in eastern Ethiopia: Prevalence, antimicrobial susceptibility patterns, and associated factors. *Res. Palliat. Care* 11, 23–29.
- [10] Ayele A. et al. (2020). Prevalence of enteric bacteria and enteroparasites in human immunodeficiency virus-infected individuals with diarrhoea attending antiretroviral treatment clinic, Arba Minch General Hospital, southern Ethiopia. *New Microbes New Infect.* 38, 100789.
- [11] ONUSIDA. (2021). Actualización mundial sobre el sida. Recuperado: [https://www.unaids.org/sites/default/files/media\\_asset/2021-global-aids-update\\_es.pdf](https://www.unaids.org/sites/default/files/media_asset/2021-global-aids-update_es.pdf)
- [12] Serrano A. et al. (2022). Tratamiento empírico de las diarreas inflamatorias de probable origen infeccioso. *Med.* 13(51), 3002–3005.

# Detección de antibióticos aminoglucósidos en plantas de tratamiento de aguas residuales mediante *Dot blot*

Norma Angélica Chávez Vela<sup>1</sup>  
Juan Jáuregui Rincón<sup>2</sup>  
Javier Araiza Arvilla<sup>3</sup>  
Angelina Lizbeth Montañez Flores<sup>4</sup>  
*Universidad Autónoma de Aguascalientes*  
México

Los contaminantes emergentes CE son una amplia variedad de compuestos químicos presentes en el ambiente que alteran las funciones de los seres vivos. Una de las principales fuentes de contaminantes emergentes son las aguas residuales, en las que no se trata este tipo de sustancias y su disposición no está reglamentada en la mayoría de países. Entre los CE están los antibióticos, que son liberados en el ambiente acuático, representando un potencial riesgo para el ecosistema y para la salud pública. Entre los antibióticos de gran uso están los aminoglucósidos, de los que se reporta que causan problemas de ototoxicidad y nefrotoxicidad, entre otros, en los humanos. Debido a la nula o escasa eliminación de ellos en las plantas tratadoras de agua, existe un peligro latente de generar cepas bacterianas resistentes a los antibióticos. Se requiere un método de detección de este tipo de CE para tener un control y regulación sobre ellos. En este trabajo se desarrolló un inmunoensayo, el *Dot blot*, para detectar antibióticos aminoglucósidos en aguas residuales, el cual es específico para detectar antibióticos aminoglucósidos.

---

<sup>1</sup>Ingeniera Bioquímica, Magíster en Ciencias área de Biotecnología Vegetal y Doctora en Ciencias Biológicas.

Contacto: [nachavez@correo.uaa.mx](mailto:nachavez@correo.uaa.mx)

<sup>2</sup>Ingeniero Bioquímico, Magíster en Ciencias área de Biotecnología Vegetal y Doctor en Ciencias Bioquímicas

Contacto: [jjarez@correo.uaa.mx](mailto:jjarez@correo.uaa.mx)

<sup>3</sup>Ingeniero Químico y Magíster en Ciencias área de Toxicología.

Contacto: [gjaraiza@correo.uaa.mx](mailto:gjaraiza@correo.uaa.mx)

<sup>4</sup>Licenciada en Biotecnología.

Contacto: [lhiz1893@hotmail.com](mailto:lhiz1893@hotmail.com)

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, existe un creciente interés por los contaminantes emergentes CE, los cuales son compuestos químicos, de distinto origen y naturaleza química, que no se controlan o regulan en el medio ambiente pero que tiene el potencial de causar efectos adversos para la salud humana o ecológica. Estos compuestos se han detectado en fuentes de abastecimiento de agua, aguas subterráneas e incluso en agua potable. Como los CE no se consideraban contaminantes como tal, los sistemas de tratamientos de aguas residuales no están diseñados para eliminarlos [1].

En muchos casos, los compuestos emergentes son contaminantes no regulados. Ellos podrían en el futuro ser regulados una vez se evalúe el riesgo potencial para la salud y su prevalencia en las aguas es necesario conocer su presencia a través de monitoreo. Los principales compuestos emergentes hacen referencia a sustancias de cuidado personal y medicamentos, surfactantes, drogas ilícitas, agentes diagnósticos, nutracéuticos, protectores solares, fragancias, excipientes, disruptores endocrinos, entre otros [2].

Está demostrada la presencia de restos de productos farmacológicamente activos en las aguas residuales, así como su baja eliminación en los procesos de depuración convencionales. Así mismo se han detectado muchos de estos compuestos en las aguas superficiales y subterráneas, existiendo estudios sobre los efectos acumulativos y tóxicos en los peces. Además, se cree que a medio o largo plazo podrían llegar a producir efectos perjudiciales sobre la fauna acuática y sobre la salud humana [3].

Entre los contaminantes emergentes se encuentran los antibióticos, de los cuales, varios se utilizan para terapia en humanos y animales, pero otros, además se usan como plaguicidas o como promotores del crecimiento en pollos de engorda, cerdos, cabras, ovejas, bovinos y peces. Un ejemplo de esto es la estreptomycin, ya que esta se utiliza para prevenir o controlar cualquier especie de planta o animal indeseable, durante la producción, almacenaje, transporte, comercialización o procesado de alimentos para el hombre o los animales.

Estos fármacos se liberan al ambiente acuático y representan un riesgo potencial para el ecosistema y para la salud pública ya que las cepas bacterianas que se encuentran en la naturaleza entran en contacto con este tipo de medicamentos y se adaptan a ellos, y pueden generar resistencia [4], por lo que, en un futuro, estos fármacos no serán capaces de hacerles frente y se tendrán que aumentar las dosis, como ya se está haciendo o se tendrán que desarrollar antibióticos nuevos [1-4]. La presencia de este tipo de contaminantes en el ambiente tiene su origen en que muchos de los medicamentos ingeridos son excretados vía urinaria o por las heces; ellos son no metabolizados, principalmente porque los excipientes son no solubilizados y además muchos de sus metabolitos son bioactivos. Una ruta de origen también la constituyen los sistemas de almacenamiento de residuos municipales, los laboratorios etc.

Los antibióticos y otros compuestos farmacéuticos son transportados al ciclo del agua por diferentes rutas: Las plantas de tratamiento de aguas residuales actúan como una puerta de entrada de los farmacéuticos a los cuerpos de agua, porque muchos de estos compuestos no son realmente retenidos en sus procesos y además porque muchos residuos farmacéuticos veterinarios son descargados directamente al ecosistema. Sus efectos adversos en la vida acuática y humana han sido reportados en diversas investigaciones, es por eso que el impacto sobre la salud y medio ambiente ha promovido el estudio de estos contaminantes [3,4]

Los antibióticos se encuentran en bajas concentraciones (generalmente en partes por millón o partes por trillón), sin embargo, hay una introducción continua de ellos en el ambiente y la mayoría siguen sin estar regulados. Los investigadores nunca pensaron que estos productos químicos podrían aparecer en el ambiente, porque siempre se han utilizado en pequeñas cantidades. La toma de conciencia del riesgo que ocasiona su presencia en el medio ambiente es relativamente reciente [4]. En algunos casos, aún en pequeñas dosis, los residuos de antibióticos pueden ser carcinogénicos, teratogénicos, mutagénicos, causar inhibición o inducción enzimática e interactuar con otros compuestos presentes en el ambiente [5, 6].

Tras el tratamiento en las estaciones depuradoras, los efluentes, y con ellos los residuos de antibióticos, alcanzan directamente los ríos y demás masas de aguas superficiales, así como sus sedimentos. De la misma

manera, los lodos generados durante el tratamiento también pueden contener estos residuos, que pueden alcanzar el compartimento terrestre mediante las prácticas actuales de reutilización de lodos en suelo agrario.

Antibióticos ampliamente utilizados son los aminoglucósidos (estreptomicina, neomicina, kanamicina, etc.), de los cuales cual se tiene reportado que causan problemas de ototoxicidad, nefrotoxicidad entre otros, en el humano [4, 8-10]. Los antibióticos de esta familia son los que más se utilizan para infecciones de bacilos aerobios gram negativos, a pesar de sus efectos tóxicos sobre oído y riñón. Su exitoso y continuo uso se atribuye a factores tales como: rápido efecto bactericida, sinergismo con  $\beta$ -lactámicos, baja resistencia y bajo costo [9, 10].

Todos los aminoglucósidos pueden dañar de forma irreversible el oído interno y el riñón, si los niveles sanguíneos aumentan demasiado y persisten durante un largo periodo de tiempo. Otra desventaja es la elevada frecuencia con la que surgen cepas resistentes a estas drogas. La resistencia estos, fármacos, se desarrolla con tanta frecuencia que la droga debe utilizarse siempre en combinación con otro agente antimicrobiano [9, 11].

Por todo esto es importante que se implemente diseños adecuados para remover o eliminar antibióticos de las aguas residuales. Esto solo se puede llevar a cabo si se dispone de técnicas analíticas lo suficientemente sensibles y selectivas para detectarlos y cuantificarlos, que originen datos fiables como es el caso de los inmunoensayos, los cuales también son sencillos y más baratos que los métodos que se han estado utilizando hasta ahora.

Las técnicas que más se utilizan hoy en día para la determinación de fármacos en matrices ambientales son cromatografía líquida de alta resolución (HPLC por sus siglas en inglés) y HPLC acoplado a masas (HPLC-MS). Estos métodos requieren mucho trabajo, el equipo es complejo, además, los reactivos y el equipo son costosos. En algunos casos son difíciles de aplicar, se requiere de un tiempo prolongado pues en la mayoría de los casos se necesita purificar el analito de las muestras. Recientemente se han comenzado a utilizar métodos inmunoquímicos, aunque se han enfocado principalmente a la detección de hormonas [12, 13].

Los métodos inmunoquímicos comprenden a todas aquellas herramientas analíticas que utilizan como principio básico de medida la interacción antígeno-anticuerpo. La ventaja que tienen estos métodos que utilizan la propiedad de la interacción específica entre un anticuerpo y un antígeno determinado, es que se puede utilizar la capacidad del anticuerpo para unir sus elementos sin perder su afinidad y utilizarlos en diversas técnicas: con enzimas como son los ensayos inmunoabsorbentes ligados a enzimas o ELISA, con fluorocromos (ensayos inmunofluorométricos), con elementos radiactivos (ensayos inmunoradioactivos), con sustancias quimioluminiscentes (LIA o luminoinmunoensayo [14].

En este trabajo se desarrolló un inmunoensayo, el *Dot blot*, para monitorear y detectar rápidamente y con alta sensibilidad la presencia de antibióticos aminoglucósidos en agua residual antes y después de su tratamiento en plantas tratadoras de Aguas residuales PTAR.

## 2. MÉTODO

### 2.1 Caracterización de los anticuerpos para el *Dot blot*

A partir de anticuerpos policlonales de conejo contra la estreptomicina (anticuerpos anti-STR), obtenidos previamente en el laboratorio de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, México, se realizó una caracterización de estos, es decir, se comprobó su pureza, que fueran reactivos frente a los antibióticos aminoglucósidos y se realizaron pruebas de especificidad. Las muestras de anticuerpos que se tenían se analizaron por electroforesis en gel de poliacrilamida (10%) con dodecilsulfato de sodio SDS-PAGE [15]. Para la electroforesis se usó un equipo Mini Protean III (Bio-Rad) a 80 volts durante 1.5 h, para posterior tinción de los geles con plata. Se espera obtener bandas proteicas de 25 y 50 kDa que son las que corresponden a las cadenas ligeras y pesadas de los anticuerpos inmunoglobulinas isotipo G IgG.

Las muestras cargadas para analizar por electroforesis fueron de 10-20 µg de proteína, la cual se analizó por el método de Bradford [16]. Para la tinción con plata:

- Se fijó el gel una hora, o bien, toda la noche con en solución de metanol-ácido acético-agua (45:20:45), en agitación.
- Posteriormente el gel se colocó en una solución de etanol 10% - ácido acético 5%, en agitación durante 30 minutos.
- Se lavó con agua destilada 30 minutos en agitación.
- Se agregó ditiotritol al 0,0002% DTT al gel, y se dejó en agitación por 30 minutos.
- Se enjuagó el gel suavemente con agua destilada.
- Se tiñó el gel con una solución de nitrato de plata recién preparada al 0.2% en agua desionizada y se dejó 30 minutos en agitación.
- Se lavó el gel suavemente con agua desionizada.
- Se lavó el gel suavemente con una solución de carbonato de sodio al 3% en formaldehído (0.5 ml/L), utilizando un poco de esta solución y sustituyéndola por fresca durante 5-10 minutos.
- El revelado se detuvo con ácido acético al 1%.

La *reactividad* de los anticuerpos anti-STR frente a antibióticos aminoglucósidos se demostró mediante la prueba de Dot blot, utilizando como anticuerpo primario los anticuerpos anti-estreptomicina. Para desarrollar la técnica se emplearon membranas de nitrocelulosa (Whatman™, PROTRAN BA 85 Nitrocellulose) (Sigma-Aldrich, Steinheim, Alemania). El Dot blot se realizó de la siguiente manera:

- En el centro de membranas de nitrocelulosa de 1 x 1 cm, se colocaron 2 µl de antibiótico aminoglucósido (600 µg/µl). Los antibióticos probados fueron estreptomicina, kanamicina, neomicina y paromomicina.
- Se dejaron secar completamente a temperatura y protegidas de la luz.
- Se colocaron las membranas en una solución de leche al 5% en T-TBS (Solución tampón Tris-salino (20mM Tris-HCl, 150mM NaCl, pH 7,5) con 0,05% Tween), con la finalidad de bloquear los sitios de unión no específicos en la membrana. Se incubó por 1 hora en agitación a temperatura ambiente.
- Se colocó la solución de primer anticuerpo o suero policlonal anti-STR (La cual se preparó en dilución 1:100 en leche en polvo al 5% en T-TBS), en agitación por una hora a temperatura ambiente.
- Se lavó tres veces con T-TBS (0,05%) por 5 minutos
- Se colocó la solución de segundo anticuerpo, la cual era una dilución 1:5,000 para ambos anticuerpos secundarios: anti-IgG de conejo (molécula completa) unido a fosfatasa alcalina (sigma Aldrich) o anti-IgG de conejo unido a peroxidada de rábano picante (HRP) en una solución de leche en polvo al 5% en T-TBS, se dejó en incubación con agitación a temperatura ambiente por 1 hora.
- Se lavó con T-TBS una vez por 15 minutos
- Se lavó con T-TBS 2 veces por 5 minutos cada lavado
- Se lavó una vez con TBS por 5 minutos.
- El revelado de las membranas se realizó usando substrato de la fosfatasa alcalina, 5-bromo-4-cloro-3-indol fosfato/nitro azul tetrazolio BCIP/NBT (Sigma- Aldrich, Steinheim, Alemania), tomando una pastilla (atemperada previamente) y disolviéndola en 10 ml de agua destilada (cubrir de la luz), en esta solución se colocaron las membranas.
- Se detuvo la reacción con agua destilada, cuando se observó una coloración morada en el lugar donde se colocó la muestra.

Es importante mencionar que estas condiciones para el Dot blot son el resultado de diversos ensayos que se hicieron, en los que se probaron diferentes concentraciones de anticuerpos y de antibióticos, así como diferentes tiempos de incubación.

En cuanto a la especificidad, el Dot blot se realizó utilizando antibióticos no aminoglucósidos y fármacos de otros tipos (claritromicina, metisoprinol, clindamicina y ciprofloxacina). Como control positivo del Dot blot, se utilizó agua destilada con STR (600 µg/µl). y como control negativo se utilizó agua residual sin antibióticos aminoglucósidos. Para obtener esta, a una muestra de agua residual se le ajustó pH = 2 con HCl 4 N y se calentó 15 min a ebullición y posterior neutralización a pH=7,0 con NaOH [17].

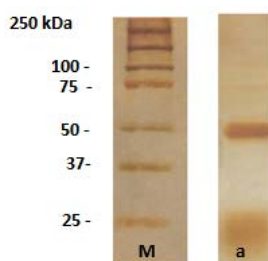
## 2.2 Detección de antibióticos aminoglucósidos en agua residual por Dot blot

Mediante el Dot blot desarrollado se analizaron muestras de aguas residuales tratadas (efluente) y sin tratar (influyente) tomadas de diferentes plantas tratadoras de Aguascalientes. Como control positivo se utilizó STR en agua destilada: 1,200 µg (600 µg/µl) y como control negativo agua residual tratada con HCl 4N y ebullición.

## 3. RESULTADOS

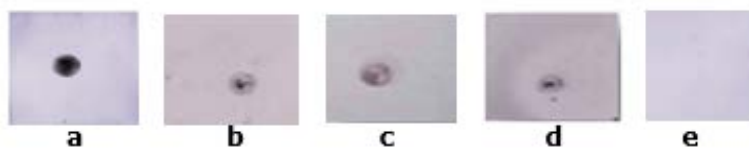
### 3.1 Caracterización de los anticuerpos policlonales anti-STR

Para la pureza, en el análisis electroforético de los anticuerpos anti-STR se observó la presencia de únicamente 2 bandas proteicas de interés, con pesos moleculares aproximados de 50 y 25 kDa, lo que se aprecia en la Figura 1. Estas bandas corresponden a las cadenas ligeras de los anticuerpos cuyo peso molecular es entre 20 a 25 kDa y a las cadenas pesada de las IgG, cuyo PM es de 50-55 kDa.



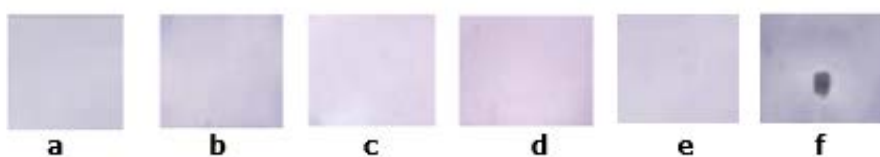
**Figura 1.** Análisis electroforético para comprobar pureza de anticuerpos policlonales anti-STR. a) muestras de anticuerpos anti-STR; M) marcador de peso molecular

En la reactividad y especificidad los anticuerpos anti-STR reconocieron no solo a la estreptomina, sino también a otros antibióticos de la misma familia a la que pertenecen como fue el caso de la neomicina, kanamicina y paramomicina, esto se observa en la Figura 2.



**Figura 2:** Dot blot para comprobar reactividad de anticuerpos policlonales anti-STR frente a diferentes antibióticos aminoglucósidos: a) estreptomina, b) kanamicina, c) neomicina, d) paramomicina. Dilución del primer anticuerpo (IgG anti-STR) 1:1,000, Dilución del segundo anticuerpo (anti-IgG de conejo) 1: 5,000.

Los anticuerpos policlonales no reaccionaron con ninguno de los fármacos que pertenecen a la familia de los aminoglucósidos, lo que se puede apreciar en la Figura 3. Con esto queda demostrada la especificidad de los anticuerpos policlonales hacia un grupo de antibióticos que son los aminoglucósidos.

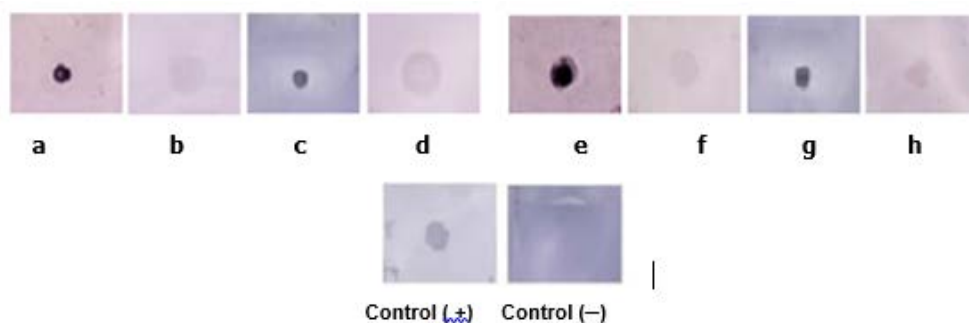


**Figura 3.** Dot blot para probar la especificidad de anticuerpos policlonales anti-STR. Se usaron fármacos no pertenecientes a la familia de aminoglucósidos: a) ciprofloxacina, b) clindamicina, c) metisoprinol, d) claritromicina, e) agua residual sin Strp (control negativo), f) estreptomina. Dilución del primer anticuerpo (IgG anti-STR) 1:1,000, Dilución del segundo anticuerpo (anti-IgG de conejo) 1: 5,000.



### 3.2 Detección de antibióticos aminoglucósidos en agua residual por Dot blot

Al analizar por Dot blot muestras de agua de PTAR, tanto influentes (agua sin tratar) como efluentes (agua tratada), ambas dieron reacción positiva con los anticuerpos anti-STR, lo que indica presencia de antibióticos aminoglucósidos. Con esto se demuestra que las condiciones de las aguas residuales (pH, temperatura, contaminantes, etc.) no afecta la reactividad de los anticuerpos anti-STR. En el caso de los influentes, la intensidad de color obtenida en los Dot blot fue mayor, lo cual se observa en la Figura 4; esto indica que hay mayor concentración de antibióticos aminoglucósidos.



**Figura 4.** Dot blot de estreptomicina de muestras de agua residual. a) influente de PTAR 1, b) efluente de PTAR 2, c) efluente de PTAR 2 y d) efluente de PTAR, e) influente de PTAR 3, f) efluente de PTAR 3 g) influente de PTAR 4 y h) efluente de PTAR 4. *Control (+)*: 1,200 µg en agua destilada; *control (-)*: agua destilada. Se empleó una dilución 1:10,000 del anticuerpo IgG anti-STR y una dilución del segundo anticuerpo (anti-IgG de conejo) 1: 5,000.

## 4. DISCUSIÓN

Para la determinación de la *pureza* de las muestras de anticuerpos policlonales anti-STR, se realizó análisis electroforético. Este procedimiento se realizó en condiciones desnaturizantes (utilizando SDS) con la finalidad romper los enlaces disulfuro que unen a los principales componentes de las moléculas que se encontraban en la muestra de anticuerpos purificados (cadenas pesadas y ligeras. Solo se observaron dos bandas proteicas con pesos moleculares de 25 y 50 kDa. Estas fracciones proteicas, se consideró pertenecían a las cadenas tanto pesadas como ligeras de las IgG's, ya que [18] afirma que la estructura de la inmunoglobulina G, consiste en dos cadenas pesadas de 50 kDa y dos cadenas ligeras de 25 kDa.

El ensayo seleccionado para detectar antibióticos aminoglucósido fue el Dot blot, que es un procedimiento simplificado en el que las muestras no están separadas por electroforesis y son vistas directamente sobre la membrana, es una técnica simple y sencilla, que puede ser empleada para la determinación de si los anticuerpos, así como el sistema de detección en el que son empleados son efectivos. Esta técnica puede ser utilizada ya sea como un método cualitativo para la detección rápida de un gran número de muestras o como una técnica semicuantitativa.

En las pruebas de *reactividad* de los anticuerpos anti-STR los anticuerpos reaccionaron con los antibióticos de la familia de los aminoglucósidos que fueron probados. Esto se debe a que se trata de moléculas similares entre sí, debido a que su estructura consiste en un anillo aminociclitol al cual se unen dos o más azúcares, con o sin grupo amino, por medio de enlaces glucosídicos u oxídicos. Los aminoazúcares proporcionan las diferencias en actividad, farmacocinéticas y tóxicas de los aminoglucósidos [18].

Al estar trabajando con anticuerpos policlonales, deben de existir anticuerpos que se generaron contra regiones de las moléculas que son similares en todos los antibióticos probados. Pese a ello, la reacción que se observa para el caso de la STR, es mucho más intensa que para los demás antibióticos, al ser estructuralmente diferente a los demás antibióticos de esta familia. Es de esperarse que los anticuerpos que se generaron contra ella sean poco reactivos a los demás antibióticos de la familia.

El que los antibióticos aminoglucósidos, posean estructuras muy similares, significa que comparten epítomos, los cuales pueden ser detectados por los anticuerpos policlonales [19]. Lo anterior no resulta ser una desventaja puesto que los anticuerpos no podrían detectar únicamente estreptomicina sino también

otros antibióticos (aminoglucósidos) como neomicina, kanamicina y paromomicina; convirtiéndolos en una excelente herramienta para la detección de esos, no menos importantes, contaminantes emergentes.

El hecho de utilizar anticuerpos policlonales en este trabajo y no anticuerpos monoclonales, los cuales son más específicos debido a que todas las clonas producidas son dirigidas hacia la misma región del antígeno, se debe que los primeros anticuerpos presentan la ventaja de que son capaces de detectar diferentes regiones funcionales de un antígeno o molécula [19, 20] por lo cual si ha sufrido alguna modificación estructural, aún es posible que sea detectada alguna región de la misma que no se haya alterado [21, 22]. Así mismo, su producción y purificación es más simple, presenta menor costo y el tiempo requerido es menor [15, 21, 22].

En la prueba de *especificidad* de los anticuerpos anti-STR, al realizar la prueba Dot blot, los anticuerpos no reaccionaron al emplear fármacos que no forman parte de los aminoglucósidos, obteniendo una reacción negativa. Con esto queda demostrado que los anticuerpos policlonales anti-STR son específicos solo para la familia de antibióticos aminoglucósidos, lo que significa que al analizar una muestra de agua residual por dot blot, utilizando los anticuerpos anti-STR, si se tiene una reacción positiva, esta indicará la presencia únicamente de antibióticos aminoglucósidos.

Al *analizar muestras de aguas residuales* de PTAR se observó reacción de los anticuerpos policlonales anti-STR frente a las distintas muestras PTAR tanto influentes como efluentes. Se observó que la cantidad de aminoglucósido detectado fue menor en los efluentes que en los influentes, sin embargo es importante mencionar que no se puede afirmar que esto sea porque hubo una degradación o remoción del fármaco por el tratamiento de aguas, puesto que la toma de muestras de influente y efluente de cada PTAR se tomaron el mismo día, es decir fueron muestras puntuales, y en la PTAR para poder remover los contaminantes del agua hay un tiempo de residencia de varios días, que depende de cada PTAR, de manera que el efluente analizado no corresponde al mismo influente monitoreado.

Sin embargo, el análisis permite comprobar que hay presencia de antibióticos aminoglucósidos en efluentes de PTAR lo que sugiere que probablemente no hay una degradación o remoción total de estos por sistemas biológicos y quizá sea conveniente algún otro tipo de tratamiento como es el caso de los tratamientos de oxidación avanzada, ya que de lo contrario, la presencia de antibióticos puede provocar que los microorganismos adquieran resistencia a estos, afectando con ello al sector salud en el tratamiento de enfermedades [16, 19, 20].

En los Dot blot realizados a los influentes, se obtuvieron mayores intensidades en las coloraciones obtenidas, las cuales se relacionan con la concentración de antibióticos. Las aguas influentes son el flujo de entrada y los efluentes de salida. Es importante mencionar que no se puede afirmar que esto sea porque hubo una degradación o remoción del fármaco por el tratamiento de aguas, porque la toma de muestras de influente y efluente de cada PTAR se tomaron el mismo día, y en las PTARs para poder remover los contaminantes del agua debe de haber un tiempo de residencia de varios días, que depende de cada PTAR, de manera que el efluente analizado no corresponde al mismo influente monitoreado.

Mediante el inmunoensayo Dot blot se puede tener un control en la eficiencia de remoción de antibióticos aminoglucósidos en el tratamiento de aguas residuales, sin embargo, este ensayo solo indica presencia o ausencia de este tipo de fármaco y en base a la intensidad de color obtenida en la prueba, se tiene una idea de que muestra de agua podría tener más de este tipo de CE.

Sin embargo, para tener un mejor control de la remoción de estos antibióticos, es necesario poder cuantificar, para lo cual, con los anticuerpos policlonales anti-STR, se podría desarrollar un ensayo por inmunoabsorción ligado a enzimas ELISA.

Debido al impacto de los contaminantes emergentes sobre el medio ambiente es necesario continuar con investigaciones enfocadas en la detección y regulación para la búsqueda de tratamientos que permitan su remoción total de aguas residuales.

## 5. CONCLUSIONES

Mediante el inmunoensayo Dot blot se pudo detectar antibióticos aminoglucósidos en agua residual previo y posterior a su tratamiento. El ensayo es específico para antibióticos aminoglucósidos.

Las condiciones físicas y químicas no controladas en las que se encuentra el agua no afectan la reactividad de los anticuerpos que se utilizaron para el Dot blot.

Con el Dot blot se puede tener un control en la eficiencia de remoción de CE como es el caso de antibióticos aminoglucósidos en el tratamiento de aguas residuales y con esto se podrían buscar regulaciones a futuro la búsqueda de tratamientos que permitan su remoción total de aguas residuales.

## REFERENCIAS

- [1] Rosenfeld P. y Feng L. (2011). 16 - Emerging Contaminants, Risks of Hazardous Wastes. William Andrew Publishing.
- [2] Massima E. et al. (2021). Removal of pharmaceutical residues from water and wastewater using dielectric barrier discharge methods — A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18, 1-42.
- [3] Cortacans J. et al. (2014). Presencia de fármacos en aguas residuales y eficacia de los procesos convencionales en su eliminación. Catedra de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Universidad Politécnica de Madrid.
- [4] García I. (2012) La contaminación de las aguas residuales con antibióticos puede aumentar la resistencia de las bacterias al mismo. Recuperado: <http://www.dicyt.com/noticias/investigadores-leoneses-analizan-la-presencia-de-antibioticos-en-las-aguas-residuales>
- [5] Shaykhi Z. y Zinatizadeh A. (2014). Statistical modeling of photocatalytic degradation of synthetic amoxicillin wastewater (SAW) in an immobilized TiO<sub>2</sub> photocatalytic reactor using response surface methodology (RSM). *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 45(4), 1717-1726.
- [6] Elizalde A. et al. (2016). Amoxicillin in the Aquatic Environment, Its Fate and Environmental Risk. InTech.
- [7] García C. et al. (2011). Contaminantes emergentes: Efectos y tratamientos de remoción. *Química Viva* 10, 96-105, 2011.
- [8] Ramírez D. et al. (2019). Detección de antibióticos betalactámicos, tetraciclinas y sulfamidas como contaminantes emergentes en los ríos San Pedro y Pita del cantón Rumiñahui. *La Granja* 30(2), 88-102.
- [9] López T. (2012). Estreptomina: Informe técnico. Recuperado: <http://www.info-farmacia.com/medico-farmaceuticos/informes-tecnicos/estreptomina-informe-tecnico>
- [10] Lustig L. (2021). Ototoxicidad inducida por fármacos. Manual MSD Versión para profesionales. Recuperado: <https://www.msdmanuals.com/es-mx/professional/trastornos-otorrinolaringol%C3%B3gicos/trastornos-del-o%C3%ADdo-interno/ototoxicidad-inducida-por-f%C3%A1rmacos>
- [11] García J. (2012). Manejo de los efectos adversos del tratamiento antituberculoso. Recuperado: [www.meiga.info/guias/EATB.asp](http://www.meiga.info/guias/EATB.asp)
- [12] Petrovic D. et al. (2005). Liquid chromatography-tandem mass spectrometry for the analysis of pharmaceutical residues in environmental samples: A Review. *Journal of Chromatography A* 1067, 1-14.
- [13] Roberts K. y Thomas V. (2006). The occurrence of selected pharmaceuticals in wastewater effluent and surface waters of the lower Tyne catchment. *Science of The Total Environment* 356,143-153
- [14] Chávez N. et al. (2012). A highly sensitive sandwich ELISA for the determination of glycomacropeptide to detect liquid whey in raw milk, *Dairy Science and Technology* 92, 121-132
- [15] Gallagher S. (2006). One-dimensional SDS gel electrophoresis of proteins. *Curr. Protoc. Immunol.* Chapter 8.
- [16] Bradford M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry* 72, 248-254.
- [17] Rodríguez L. et al. (2012). Treatment of emerging contaminants in wastewater treatment plants (WWTP) effluents by solar photocatalysis using low TiO<sub>2</sub> concentrations. *J. Hazard. Mater.* 211-212, 131-137.
- [18] Lorholary O. et al. (1995). Aminoglucósido. Tratamiento antimicrobiano. *Journal of Clinical Medicine.* Parte II 4, 745-770.
- [19] Wick M. y Siegal G. (1988). Monoclonal antibodies in diagnostic immunohistochemistry. CRC Press.
- [20] Peña O. et al. (2005). Producción de anticuerpos policlonales IgG contra la proteína iduronato-2-sulfato sulfatasa y desarrollo de un sistema de detección para IDS humana recombinante. *Biomedica* 25, 181-188.
- [21] Ritter M. (2000). Polyclonal and monoclonal antibodies. *Methods in molecular medicine* 40(2), 23-33.
- [22] Tomas T. et al. (2002). Preparative electrophoresis: A general method for the purification of polyclonal antibody. *Journal of chromatography A* 944(1), 161-163.
- [23] Kundan S. et al. (2022). Pharmaceutical wastewater as Emerging Contaminants (EC): Treatment technologies, impact on environment and human health. *Energy Nexus* 6(16), 1-18.

# Determinación de la actividad antioxidante de desechos agrícolas de poda de cultivos de mora de castilla *Rubus glaucus benth* con y sin espina

Juan Pablo Arrubla Vélez<sup>1</sup>  
Camila Correa Henao<sup>2</sup>  
Nathalia Cardona Hurtado<sup>3</sup>  
Gloria Edith Guerrero Álvarez<sup>4</sup>  
*Universidad Tecnológica de Pereira*  
Colombia

Latinoamérica y el Caribe LAC es una de las principales regiones productoras y exportadoras de alimentos del mundo. Posee una enorme riqueza natural, una industria agrícola floreciente y un sector agrícola fundamental para la seguridad alimentaria de su población, que beneficia no solo a la región sino a todo el planeta; además, la agricultura es importante para muchas de las economías regionales, ya que representa entre el 5 y el 18% del PIB en 20 países. En este contexto, cultivos como la mora vienen tomando relevancia, y se cultiva en todo el trópico americano. La variedad de Mora de Castilla es la más cultivada en Colombia, por su adaptabilidad a las variaciones climáticas y a diferentes niveles de humedad; su producción superó a las 140.000 toneladas en 2020, y su cultivo se extiende en el territorio nacional y la cordillera de los Andes, desde el Putumayo hasta el Magdalena Medio, sembrándose entre los 1.600 y 2.600 metros sobre el nivel del mar. La poda es una de las prácticas agrícolas más importantes y necesarias del cultivo de la mora, siendo fundamental para el exitoso desarrollo del cultivo y generando una cantidad muy importante de la biomasa, que generalmente se quema o incorpora como materia orgánica en el suelo. Según la ONU la perspectiva de la gestión de residuos en LAC propone un conjunto de acciones para lograr una gestión eficiente, que permita transitar hacia un modelo de economía circular, clave para su desarrollo sostenible. De acuerdo a la realidad colombiana, donde los residuos de poda no son aprovechados, esta investigación presenta una novedosa caracterización del perfil antioxidante de los extractos etanólicos, obtenidos de residuos de cosecha de *Rubus glaucus* Benth (mora de castilla) con y sin espina generados en cultivos de Risaralda, Colombia, donde se determinó la capacidad antioxidante mediante los métodos de DPPH y FRAP, además del contenido de fenoles totales por el método de Foli-Ciocalteu. Se pudo determinar que el extracto etanólico para variedades con espina o sin ella posee compuestos fenólicos hasta en  $19,888 \pm 4,636$  mg/g, una muestra comparable con los compuestos fenólicos de frutos y hojas de arándano, y una capacidad antioxidante evaluada por el método DPPH de hasta  $(21,074 \pm 0,201)$  mmol Trolox/100 g muestra, comparada con la capacidad antioxidante de residuos de mora en el departamento del Tolima. Esto demuestra que los extractos de poda de *Rubus Glaucus benth* son una rica fuente de antioxidantes naturales, que se utilizan industrialmente para detener el proceso de oxidación en alimentos, cosméticos y fármacos, y en sistemas biológicos, representando una nueva fuente de materia prima susceptible de valorizar. La presente investigación es base de conocimiento para el aprovechamiento de subproductos agrícolas dentro de las cadenas de producción de mora en LAC.

---

<sup>1</sup>Químico.

Contacto: [juanpablo77@utp.edu.co](mailto:juanpablo77@utp.edu.co)

<sup>2</sup>Química.

Contacto: [c.correa1@utp.edu.co](mailto:c.correa1@utp.edu.co)

<sup>3</sup>Química.

Contacto: [nathacardona@utp.edu.co](mailto:nathacardona@utp.edu.co)

<sup>4</sup>Química.

Contacto: [gguerrero@utp.edu.co](mailto:gguerrero@utp.edu.co)

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde tiempos inmemorables, el hombre ha consumido todo tipo de bayas cultivadas o silvestres; entre ellas están las moras que se constituyen en especies muy difundidas en países europeos como Francia, Hungría, Yugoslavia y Alemania, entre otros, en Norteamérica y en Centro y Sudamérica [1]. Dicha especie es originaria de Centroamérica, aunque Europa y Asia son las dos zonas que actualmente constituyen el centro y origen de las zarzamoras, ya que gran parte de su territorio posee las condiciones naturales ideales para el desarrollo silvestre de esta especie. En la Grecia clásica las moras silvestres eran conocidas junto con otros frutos del bosque como *sangre de titanes*, en referencia a sus intensos colores rojos, morados, violáceos y negros [2].

La variedad mora de Castilla (*Rubus Glaucus Benth*) se cultiva en mayor cantidad en las regiones templadas y, en menor cantidad, en las frías. Así mismo, es una planta de porte arbustivo, semirrecta y de naturaleza trepadora, perteneciente a la familia de las rosáceas; los tallos son redondeados y espinosos; hojas trifoliadas con bordes aserrados, de color verde oscuro el haz y blanquecino el envés. Es la especie más vendida porque es la más duradera, por lo cual tiene gran aceptación para el consumo. Esta variedad es apetecida en la gastronomía (postres). En Colombia existen aproximadamente 44 especies de la familia de las rosáceas, de las cuales sólo 9 son comestibles y el resto se consideran malezas. Se incluyen la zarzamora, frambuesa, ciertas especies ornamentales y plantas silvestres. Actualmente, en el país se cultivan cuatro especies de mora: castilla, brazo, gato y criolla [3].

El alemán Karl Theodor Hartweg, botánico y explorador realizó varias expediciones de colecta de especies, entre 1836 y 1847, en Colombia, Ecuador, Guatemala, México y California (Estados Unidos), dentro de las cuales estaba la mora de Castilla. Esta fruta es oriunda de la zona Andina y de algunos países de la América intertropical, donde en muchos casos se encuentra en estado silvestre [4]. Se cultiva comercialmente en Colombia, Ecuador, Panamá, Guatemala, Honduras, México y Salvador.

En Colombia el *Rubus glaucus* Benth sobresale entre las especies cultivadas por la variabilidad en tamaño, color y calidad del fruto, y se considera como una selección antigua derivada de plantas silvestres [1]; además, se acepta como un híbrido, pues combina características de los subgéneros *Idaobatus* y *Rubus*, y es además un anfidiplóide fértil [1]. Así mismo, es una especie representativa, se cultiva en diecinueve departamentos y es considerada como una fruta competitiva. Para 2016, se produjeron 110.453 toneladas [5] esta cifra es un indicador de la importancia económica en el mercado nacional e internacional, su alta demanda es atribuida a su color, sabor y propiedades terapéuticas por su alto contenido de compuestos químicos [6].

Las frutas como la mora, poseen una variedad de compuestos químicos que actúan como agentes antioxidantes, sustancias que pueden neutralizar, prevenir o retrasar gran parte del proceso de oxidación [7, 8]. Dicha especie, tiene excelentes características organolépticas e importancia económica en el mercado nacional e internacional, además, posee un alto contenido de compuestos como carbohidratos, fenoles, fibra dietaria, vitaminas, minerales y compuestos volátiles [6]. Dentro de los compuestos fenólicos se destaca la presencia de ácidos fenólicos como ácido gálico y sus derivados, ácido caféico, ácido cumárico, derivados del ácido ferúlico, epicatequina y derivados del ácido elágico [9], flavonoles como derivados de la quercetina, glucósidos y glucurónidos de quercetina y antocianinas como cianidina-3-glucósido, cianidina-3-rutinósido, cianidina-3-xilositisinosido, pelargonidina-3- glucósido y pelargonidina-3-rutinósido [10].

Así mismo, se ha reportado con utilidad en la prevención de enfermedades respiratorias, carcinogénicas, neurológicas, cardiovasculares y la disminución del envejecimiento, consecuencia del atrapamiento de los radicales libres y las especies reactivas de oxígeno ROS por parte de los compuestos fenólicos [8, 11, 12]. Por otra parte, los antioxidantes de los alimentos aumentan la estabilidad frente al deterioro por la acción de los ROS y aportan antioxidantes esenciales al organismo, complementando los niveles que el cuerpo humano produce y previniendo algunos de los procesos de oxidación celular [13]. Investigaciones científicas han demostrado un interés creciente en la industria alimentaria y en la investigación científica de fuentes de antioxidantes naturales, que protejan la salud de manera [13, 14].

Para los cultivos de mora es fundamental realizar poda de los cultivos, para así mantener en condiciones óptimas el cultivo; se deben efectuar las podas de formación y renovación permanentemente para facilitar la aireación dentro del cultivo y así crear un ambiente menos favorable para el desarrollo de las enfermedades. Normalmente se deben recoger todos los residuos en bolsas de plástico llevarlos fuera del lote y enterrarlos o quemarlos para evitar que se produzcan y sobrevivan los microorganismos que puedan ocasionar enfermedades y es allí donde radica el problema, puesto que al ser portadoras de microorganismos, los agricultores ven este tipo de residuos como un problema, sin tener conocimiento alguno sobre la utilización de las podas como un recurso rico en compuestos con actividad antioxidante del aprovechamiento que les pueden dar.

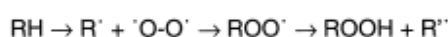
Los antioxidantes naturales derivados de residuos de poda, se han convertido recientemente en un área importante de investigación. Muchos téis o decocciones de hierbas actúan como una fuente valiosa de antioxidantes dietéticos, pero es un campo amplio de investigación para muchas especies, también falta información sobre el contenido de polifenoles y la actividad antioxidante de diferentes extractos [15].

Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios, fuente natural de antioxidantes, que se derivan de las vías de pentosa fosfato, shikimato y fenilpropanoide en las plantas [16], y son importantes en el crecimiento y la reproducción, brindando protección contra patógenos y depredadores [17]; además, exhiben una amplia gama de propiedades fisiológicas, como efectos antialérgicos, antiarterogénicos, antiinflamatorios, antimicrobianos, antioxidantes, antitrombóticos, cardioprotectores y vasodilatadores [18-20].

Para entender mejor el término antioxidante, es necesario conocer la oxidación; según [21] el oxígeno como es el principal agente responsable del deterioro de los materiales orgánicos expuestos al aire. El oxígeno desempeña un doble papel, como elemento necesario para muchas formas de vida y también un agente destructivo, tóxico, en determinadas circunstancias, para las células. De forma similar, la luz es esencial para las plantas, ya que los pigmentos fotosintéticos absorben energía de los fotones de longitud de onda visible y emplean esta energía en la fijación del carbono. Pero la luz solar tiene fotones energéticos de longitudes de onda más corta, que el ultravioleta. Estos fotones son potencialmente perjudiciales a causa de sus interacciones destructivas con muchas moléculas celulares, como aminoácidos de proteínas, bases de ácidos nucleicos y lípidos de membranas.

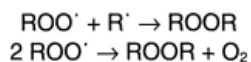
Los daños fotoquímicos en las células empiezan por la captación de la energía electrónica de un fotón por una molécula capaz de absorber energía UV. Normalmente, la energía absorbida pasa a la molécula que ha servido de blanco de su estado normal a otro excitado electrónicamente. El exceso de energía se manifiesta en una configuración electrónica diferente, un singulete, que a menudo es inestable. También puede reaccionar con una molécula vecina, aunque esto no es fácil, ya que el singulete tiene una vida demasiado corta para que pueda desplazarse hasta una molécula vecina. También puede haber un reagrupamiento interno y alcanzar un estado excitado de triplete, que tiene una vida más larga y es más fácil que reaccione con una molécula vecina. Un camino para la formación de una especie dañina a partir de un triplete es la transferencia de energía a una molécula de oxígeno, resultando un oxígeno singulete:  $^1O_2$ . Los ácidos grasos poliinsaturados pueden reaccionar también, aunque a velocidades menores, que aumentan con el número de dobles enlaces de la molécula para formar hidroperóxidos de lípidos.

Estos peróxidos contribuyen mucho a los daños y disfunciones en las células y en los orgánulos de las membranas. Hay otra ruta no fotoquímica de daños celulares en las plantas, que tiene lugar por interacción del oxígeno con radicales libres que se forman en el metabolismo anaerobio normal, para producir otros radicales libres nuevos conteniendo oxígeno, potencialmente nocivos. El oxígeno en esta forma tiene dos electrones desapareados: es un triplete con un marcado carácter de dirradical. Esto le permite entrar en una reacción en cadena con dos radicales libres orgánicos:



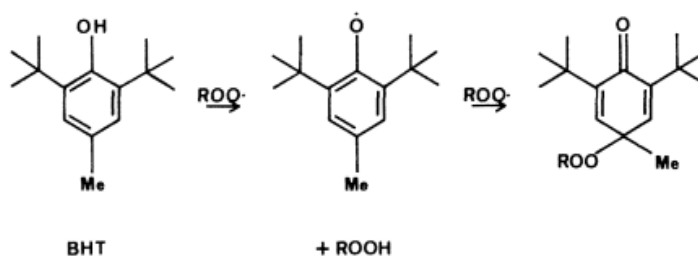
La formación de radicales libres orgánicos  $R^\bullet$  a partir de precursores no radicales se llama fase inicial de la autooxidación. Este proceso suele ser bastante lento. En la fase de propagación se forman radicales peróxido

ROO", que posteriormente reaccionan con compuestos con hidrógeno reactivo (R'H). Los nuevos radicales R " continúan la reacción con oxígeno molecular. Finalmente, cuando todo el oxígeno o las moléculas con hidrógeno han reaccionado, empieza la fase de terminación. En ésta, los radicales se combinan entre sí para dar productos no radicales, inactivos:



Para entender el fenómeno de antioxidante, en principio, las reacciones en cadena de radicales libres pueden ser inhibidas añadiendo productos que retardan la formación de radicales libres, o introduciendo sustancias que reaccionan con los radicales libres ya existentes, retirándolos de la reacción. En este caso las moléculas de la familia de los compuestos fenólicos tienen una alta capacidad para disminuir el efecto oxidante.

Un inhibidor de este tipo es el butil hidroxi tolueno BHT (Figura 1), que reacciona con dos moléculas de radicales peróxido, convirtiéndolas en sustancias menos activas. Existe un gran interés en el estudio de los radicales libres con oxígeno en sistemas biológicos y su intervención como causantes de daños en la etiología de varios desórdenes crónicos, como oxidación de lipoproteínas de baja densidad [22].



**Figura 1.** Mecanismo de destrucción del radical peroxi por el antioxidante sintético BHT [21]

Algunas aplicaciones de los antioxidantes naturales, se encuentran en la industria cosmética, incluyen varias sustancias y extractos derivados de una amplia gama de plantas, granos y frutas, y son capaces de reducir el estrés oxidativo en la piel o proteger los productos de la degradación oxidativa [23].

El efecto de los antioxidantes naturales (extractos de manzanilla e hinojo) sobre alimentos, se encuentran por ejemplo en la conservación del yogur [24], se garantiza una mayor actividad antioxidante con la adición de los antioxidantes naturales, especialmente con la decocción de manzanilla. Además, la incorporación de extractos de hinojo y manzanilla en galletas mostró que la actividad antioxidante y los valores organolépticos y nutricionales eran similares a los sintéticos [25]. Algunos extractos de plantas similares utilizados como antioxidantes, como la semilla de uva, el té verde, la corteza de pino, el romero, la granada y la canela, también han mostrado mejores propiedades en comparación con los antioxidantes sintéticos [26].

Los aceites esenciales de salvia y romero exhibieron propiedades antioxidantes similares al BHT en paté de hígado de cerdo refrigerado [27]. Esta tendencia de reemplazar los antioxidantes sintéticos ha ido aumentando el interés de los investigadores por nuevas materias primas con poder antioxidante (como los subproductos de la industria agroalimentaria), sin afectar la percepción de los consumidores y la calidad de los productos finales, y al mismo tiempo, producir un alimento funcional con valor agregado [28].

Actualmente, desde la perspectiva de la *economía circular* existe un interés creciente por utilizar los recursos de desecho agrícola para producir compuestos de alto valor. Las hojas de *Vaccinium myrtillus L.*, *Ribes nigrum L.*, *Rubus fruticosus L.*, *Fragaria vesca L.* Se consideran esencialmente residuos agrícolas de la industria de las bayas. Muchas investigaciones muestran que los frutos de estas plantas son una rica fuente de compuestos bioactivos y tienen propiedades beneficiosas para la salud, por lo que, desde un punto de vista económico y ecológico, vale la pena considerar los subproductos como compuestos que podrían ser ampliamente utilizados. En la farmacia y la industria cosmética [48].

La presente investigación aporta al conocimiento, presentando el estudio de la capacidad antioxidante de extractos etanólicos de poda de *Rubus Glaucus Benth* con espina y sin espina, por dos metodologías ampliamente conocidas, la del 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH), y el ensayo del poder antioxidante reductor del hierro (FRAP) [14]. El método DPPH se considera como una metodología de determinación indirecta de la capacidad antioxidante, al estudiar la inhibición o disminución del radical 2,2-difenil-1-picrilhidracilo al reaccionar con sustancias donadoras de  $H^+$  [6]. Por otra parte, la generación del radical DPPH es rápida y sin previas preparaciones [10].

## 2. MÉTODO

### 2.1 Muestreo

Los muestreos se realizaron en julio de 2021 en el municipio de Guática, Finca Santa Teresita, Vereda La Unión (coordenadas: 5.318724103814569, -75.79159113370662) que se muestra en la figura 2; el segundo muestreo que se muestra en la Figura 3 se realizó el 25 de septiembre de 2021 en el predio Añoranzas (coordenadas: 4.7424960, -75.6161420) ubicado en el corregimiento La Florida, a 20 minutos del municipio de Pereira, en el departamento de Risaralda (Colombia), haciendo un recorrido por los cultivos de *Rubus glaucus* Benth (mora de castilla) tomando la poda de interés como mora con espina (Figura 4) y poda sin espina (Figura 5), posteriormente siendo depositada en bolsas plásticas completamente herméticas; las muestras fueron guardadas en neveras portátiles para conservar la cadena de frío a 4°C y así mantener la muestra en estado óptimo, para ser transportadas al laboratorio de Oleoquímica de la Universidad Tecnológica de Pereira, para su posterior tratamiento y análisis.



Figura 2. Finca Santa Teresita, municipio de Guática



Figura 3. Corregimiento la florida, municipio de Pereira



Figura 4. Residuos de mora con espina



Figura 5. Residuos de mora sin mora



## 2.2 Extracción de compuestos polares a partir de hojas y tallos

Las hojas y tallos recolectados se procesaron en un molino operado por corte e impacto. La extracción se llevó a cabo por hidrólisis ácida empleando etanol al 80% ajustando el pH a 2.6 con adición de ácido cítrico de acuerdo con la metodología reportada por [29]. Se empleó una relación muestra: solvente (1:8) con agitación mecánica orbital a 250 rpm durante 2 horas a temperatura ambiente [30]. El extracto obtenido se filtró con el fin de eliminar partículas sólidas del fruto y se aforo con etanol a 10 mL, finalmente se procede a realizar los posteriores análisis con el extracto crudo-solvente [31] como se muestra en la Figura 6.

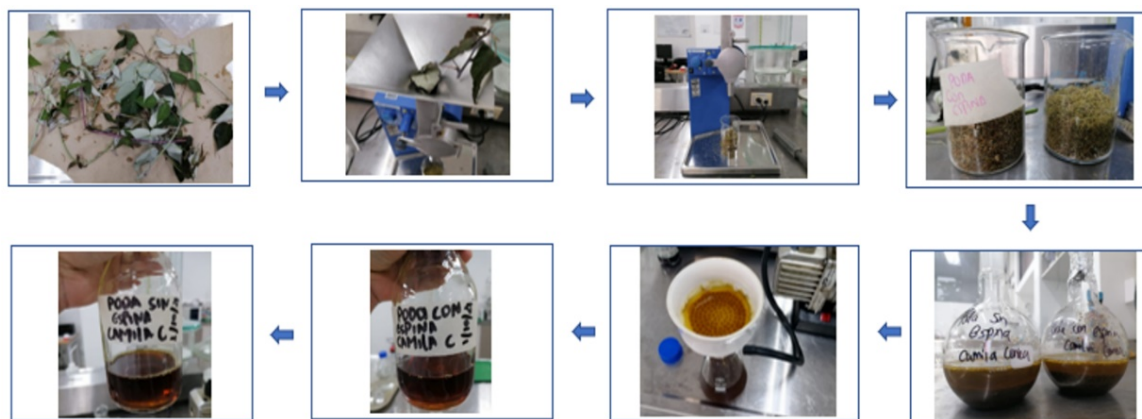


Figura 6. Extracción de compuestos

## 2.3 Evaluación del contenido de fenoles totales

Se analizó el contenido de fenoles totales de los extractos obtenidos a partir de las hojas y tallos de *Rubus glaucus* Benth, empleando el método de Folin-Ciocalteu:

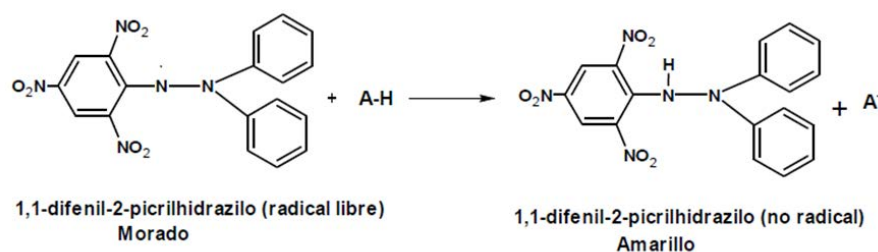
1. En un matraz de 5 mL, se adicionaron 50  $\mu$ L del extracto crudo: solvente de la muestra a evaluar, 750  $\mu$ L de la solución carbonato de sodio previamente preparada y aforando con agua destilada, la medición de la absorbancia se realizó a una longitud de onda de 760 nm (Absorbancia blanco muestra).
2. Posteriormente, en un matraz de 5 mL se añadieron 200  $\mu$ L de agua destilada y 50  $\mu$ L del extracto crudo: solvente a evaluar, 250  $\mu$ L de la solución de trabajo de Folin-Ciocalteu preparada previamente; pasado 1 minuto se adiciono 750  $\mu$ L de la solución de carbonato de sodio, se incubó la mezcla anterior durante 30 minutos a temperatura ambiente para hacer la medición de la absorbancia a una longitud de onda de 760 nm. (Absorbancia muestra). Se empleó una curva de calibración utilizando ácido gálico como estándar de referencia [32].

## 2.4 Evaluación de la capacidad antioxidante

La actividad antioxidante de los extractos obtenidos a partir de tallos de *Rubus glaucus* Benth se evaluó mediante tres métodos en un espectrofotómetro para celdas de 1 cm GENESYS 10S UV-VIS:

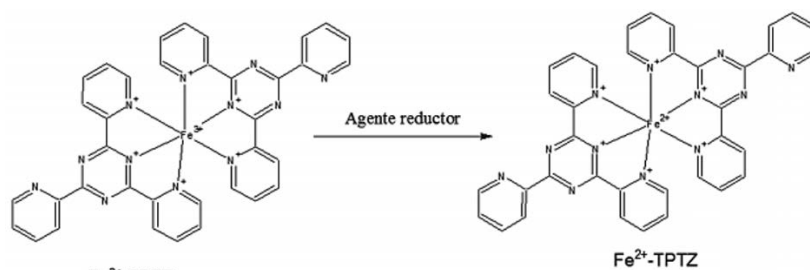
- **DPPH.** Se empleó el método espectrofotométrico de DPPH (Figura 7) (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) según la metodología descrita por [33]. En el cual se lleva a cabo el siguiente procedimiento:
  1. Se adicionan 2 mL de la solución DPPH a 20 mg/L y midiendo la absorbancia a una longitud de onda de 517 nm (Absorbancia de DPPH inicial).
  2. Se adicionan 30  $\mu$ L del extracto crudo: solvente a evaluar + 2 mL de etanol y medir la absorbancia a una longitud de onda de 517 nm (Blanco de la muestra).
  3. Se adicionan 30  $\mu$ L del extracto crudo: solvente a evaluar + 2 mL de la solución etanólica de DPPH a 20 mg/L; incubando la mezcla anterior durante 30 minutos a temperatura ambiente y realizando la medición de la absorbancia a una longitud de onda de 517 nm.

Se empleó una curva de calibración utilizando Trolox como estándar de referencia.



**Figura 7.** Estructura del DPPH antes y después de la reacción con el antioxidante

- **FRAP:** Se realizó siguiendo la metodología descrita por [34]. El reactivo Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) se preparó mezclando una solución de buffer acetato 300 mM (pH 3.6), una solución de 2,4,6-Tripiridil-s-Triazina (TPTZ) 10 mM en HCl 40 mM y una solución de FeCl<sub>3</sub> 20 mM (10:1:1) (Figura 8). Se mezclaron 20 µL del extracto con 150 µL del reactivo FRAP; la mezcla se incubó a 37 °C durante 30 minutos, la medición de la absorbancia se realizó a 593 nm y se empleó una curva de calibración utilizando Trolox como estándar de referencia. Los resultados se expresaron en milimoles de equivalentes Trolox por gramo de muestra.



**Figura 8.** Reducción de 2,4,6-Tripiridil-Triazina-Férrica TPTZ

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

#### 3.1 Contenido de fenoles totales

Es conocido que la mayoría de los componentes naturales bioactivos en las plantas son los compuestos fenólicos los cuales son metabolitos secundarios derivados de las rutas metabólicas de la pentosa fosfato, del ácido shikímico y fenilpropanoide en plantas y poseen importancia fisiológica y morfológica; desempeñan un papel importante en el crecimiento y la reproducción, proporcionan protección contra patógenos y depredadores, además contribuyen al color, estabilidad oxidativa y a las características organoléptica de las frutas [35]. El contenido de fenoles y flavonoides en propóleos es un parámetro importante que establece tanto la calidad del material como su potencial biológico, en especial para la actividad antioxidante [36]. En el presente trabajo el contenido fenólico del extracto etanólico fue evaluado y los resultados son presentados en la Tabla 1.

**Tabla 4.** Evaluación del contenido de fenoles totales

| Muestreo | Tipo de poda de mora | Contenido de Fenoles totales (mg/ g de muestra) | Desviación estándar |
|----------|----------------------|---|---------------------|
| 1        | Sin espina           | 19,888  | ± 4,636             |
| 2        | Sin espina           | 7,741   | ± 0,470             |
| 2        | Con espina           | 6,646   | ± 0,666             |

1municipio de Guática, 2 Corregimiento la Florida

De acuerdo a los resultados obtenidos (Tabla 1) muestra el contenido de fenoles totales para ambos tipos de poda de mora, se puede observar que para el muestreo 1 en residuos de mora sin espina se tiene un valor de 19,888 ± 4,636 mg/ g muestra, lo cual refleja una concentración mayor que los desechos de mora sin espina recolectados en el corregimiento de la Florida con un valor de 7,741 ± 0,470 mg/ g muestra. Para los residuos de mora con espina se obtiene un valor de 6,646 ± 0,666, con un contenido menor de fenoles totales comparado con los residuos de mora sin espina, dichos resultados reflejan la presencia de flavonoides tales como la quercetina, catequina, epicatequina y proantocianidinas [49], presentes en las

hojas del cultivo de mora [50, 51]. Así mismo, se demuestra que la actividad antioxidante debida a los compuestos fenólicos es una de las principales características del género *Rubus* gracias a su capacidad para eliminar radicales libres, donar átomos de hidrógeno o electrones o quelar cationes metálicos, donde es fundamental la relación estructura-actividad [38].

Es importante resaltar que existen varios factores internos y externos que afectan la calidad o cantidad de los compuestos fenólicos en las plantas, como la diversidad genética (variedad y origen de la muestra), etapa de madurez, variables ambientales (intensidad de la luz, clima, temperatura, uso de fertilizantes, heridas), método de extracción, procesamiento y almacenamiento [37].

En la Tabla 2 se reportan valores del contenido fenólico de diferentes plantas de consumo o uso habitual. Comparando con otras plantas cuyas hojas, semillas o frutos poseen propiedades antioxidantes, como por ejemplo *Lens culinaris* (lenteja) o *Vaccinium corymbosum* (arándano), evidencia que los extractos etanólicos de poda de mora sin espina poseen mayor contenido de fenoles. Esto coincide con lo reportado en otros trabajos [52] donde los polifenoles evidenciaron mayor concentración en las hojas, confirmando que su biosíntesis es acelerada por la exposición a la luz ya que sirven como mecanismo de filtración de radiaciones UV-B.

**Tabla 2.** Contenido fenólico de algunas plantas

| Especie  | Parte de la planta | Contenido de Fenoles totales (mg/g de muestra) | Referencia |
|--|--------------------|--|------------|
| <i>Lens culinaris</i> (lenteja)<br>(Etanol 70%)      | semilla            | 2,44   | [53]       |
| <i>Vaccinium corymbosum</i><br>(arándano)            | fruto              | 0,20 a 1,99                                    | [54]       |
| <i>Rubus Glaucus</i> Benth)<br>Mora de Castilla      | Tallos y hojas     | 19,888   |            |
| <i>Vaccinium corymbosum</i><br>cv. Sierra (arándano) | fruto              | 4,12   | [55]       |

### 3.2 Actividad antioxidante

La actividad antioxidante de los extractos fue evaluada por diferentes métodos como DPPH y FRAP, pues se sabe que los antioxidantes pueden actuar por múltiples mecanismos, dependiendo del sistema de reacción o la fuente radical y oxidante [39]. Los resultados obtenidos de capacidad antioxidante fueron expresados en mmol Trolox/ 100 g muestra fresca. Los valores obtenidos comparan la capacidad captadora de radicales DPPH• el cual se basa en una reacción de transferencia de electrones o la abstracción del átomo de hidrógeno es una vía de reacción marginal [60]; por otro lado, el método FRAP mide la capacidad de los compuestos para reducir la 2, 4,6-tripiridil-s-triazina férrica TPTZ, y su mecanismo es por transferencia de electrones.

De esta manera, altos valores representan una actividad antioxidante superior; indicando respectivamente, mayor capacidad para captar radicales libres mediante transferencia de hidrógeno, o para reducir Fe<sup>+3</sup> a Fe<sup>+2</sup> (Tabla 3). La extracción con solventes es un método común para aislar compuestos fenólicos de diferentes matrices, por lo que se utilizó etanol como disolvente polar [40].

**Tabla 3.** Capacidad antioxidante del extracto etanólico evaluado mediante los métodos espectrofotométricos DPPH y FRAP

| Muestreo | Tipo de poda de mora | DPPH (mmol Trolox/<br>100 g muestra) | Desviación<br>estándar | FRAP (mmol Trolox/<br>100 g muestra) | Desviación<br>Estándar |
|----------|----------------------|--------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| 1        | Sin espina           | 21,074                               | ± 0,201                | 19,243                               | ± 0,927                |
| 2        | Sin espina           | 18,837                               | ± 0,674                | 13,854                               | ± 0,270                |
| 2        | Con espina           | 18,73                                | ± 0,585                | 16,669                               | ± 2,859                |

1 municipio de Guática; 2 Corregimiento la Florida

La capacidad antioxidante de residuos de *Rubus glaucus* Benth cultivados en los municipios Guática y corregimiento la Florida del departamento de Risaralda, fueron evaluados por los métodos DPPH y FRAP. Para el muestreo 1 (residuos de mora sin espina) se obtuvo un valor de 21,074± 0,201 mmol Trolox/100 g

muestra por el método DPPH, mientras que para el muestreo 2 (residuos de mora sin espina) se obtuvo un valor de  $18,897 \pm 0,674$  mmol Trolox/100 g muestra; así mismo, para el método FRAP para el muestreo 1 se obtiene un valor de  $19,243 \pm 0,927$  mmol Trolox/100 g muestra y para el muestreo 2 un valor de  $13,854 \pm 0,270$  mmol Trolox/100 g muestra.

Para los residuos de mora con espina solo se obtienen valores de resultados en el muestreo 2 de  $18,730 \pm 0,585$  mmol Trolox/100 g muestra para el método DPPH y de  $16,669 \pm 2,859$  para el método FRAP; por lo cual al realizar una comparación entre los tipos de residuos de mora se evidencia una gran similitud en los valores; sin embargo, se observa que los resultados obtenidos por el método DPPH de residuo de mora sin espina contiene una mayor actividad antioxidante que la poda con espina por el método FRAP.

Lo anterior puede estar asociado a que, al considerar la relación sólido-solvente, se tiene una mayor relación, permitiendo un aumento en la eficiencia de la extracción de los compuestos fenólicos; por lo cual, durante el tratamiento con etanol se extrajeron compuestos fenólicos de alta polaridad, obteniendo una extracción óptima para la determinación de compuestos antioxidantes. Por lo tanto, el ensayo DPPH tiene mayor capacidad para captar radicales libres mediante transferencia de hidrógeno, mientras que la reducción del radical FRAP presentó una débil actividad captadora de radicales [41].

De acuerdo a los resultados obtenidos (Tabla 4) de la capacidad antioxidante y al realizar la comparación de la actividad antioxidante por el método DPPH en el departamento del Tolima [42] se evidenció que se tienen valores muy cercanos en cuanto a sus resultados, así mismo, en el estudio mencionado se realizan estudios a residuos de maracuyá y tomate de árbol, siendo la mora como el material que posee mayor poder antioxidante.

**Tabla 4.** Comparación entre departamentos de la capacidad antioxidante del extracto etanólico evaluado mediante el método espectrofotométricos DPPH

| Ubicación poda | DPPH (mmol Trolox/ 100 g muestra) | Desviación estándar |
|----------------|-----------------------------------|---------------------|
| Risaralda      | 18,73                             | $\pm 0,585$         |
| Tolima         | 18,23                             | $\pm 0,45$          |

Resulta destacable los resultados obtenidos en ambos estudios, si se le compara al del ácido ascórbico ( $10.24 \pm 0.98 \mu\text{g}/\text{mL}$ ), un antioxidante natural ampliamente reconocido y aplicado en la industria.

El contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante de residuos de mora que se encuentran estrechamente relacionados se puede evidenciar que los extractos de dichos residuos al presentar actividad antioxidante son de interés en la industria [43-45]. Estas sustancias presentan la capacidad de neutralizar los radicales libres e inhibir la síntesis acelerada de metaloproteinasas, degradadoras de colágeno, inducida por la radiación UV 8. Su acción se centra en evitar, en la medida de lo posible, que las células de la epidermis se degraden por el sol, así como reducir el número de queratinocitos que sufrirían un proceso de apoptosis, inducida bajo la exposición solar.

Generalmente los sistemas agroalimentarios y agro productivos generan una cantidad de desechos de los cuales la mayoría pueden ser aprovechados, generando nuevas fuentes de ingresos. Sin embargo los esfuerzos deben estar direccionados desde los gobiernos para impulsar reformas para aumentar la productividad, competencia, mejorar la participación de la educación, promoviendo la creación de productos de alto valor agregado, a partir de una estrategia a largo plazo que permita fortalecer las cadenas agroindustriales por medio de investigaciones que posibiliten convertir los productos primarios o los desechos en productos que se desarrollen dentro de una economía circular invirtiendo así en más tecnología y educación.

La ONU, plantea que un primer paso para generar las tecnologías que permitan avances sustanciales en el sector agroalimentarios es brindar un papel activo a las cadenas productivas y sus empresas implementando plataformas colaborativas más eficaces, basado en alianzas entre Universidades, actores públicos, empresas y comunidades locales, pues los productores y el personal técnico no tienen las habilidades necesarias por sí solos.

## 4. CONCLUSIONES

Los extractos etanólicos de poda de Rubus se destacan por la presencia de fenoles hasta en  $19,888 \pm 4,636$  mg /g muestra, comparables con extractos de arándanos, lenteja y entre otros residuos, lo cual demuestra la relación con respecto a su capacidad antioxidante y su alto contenido respecto a otras especies.

Los extractos obtenidos de poda de mora con espina y sin espina, tienen actividad antioxidante evaluada con el método DPPH, con un valor promedio entre 18,73 y 19,95 mmol Trolox/ 100 g muestra, que son comparables con la actividad antioxidante de extractos de té, manzanilla, BTH y desechos de frutas de diferentes especies; demostrando su posible utilización en la industria como la cosmetológica, farmacéutica, alimenticia y pesticidas. Así mismo, el aprovechamiento de podas es una propuesta alternativa para dar un manejo ambiental más amigable a este tipo de materiales residuales, lo cual destaca el valor agregado que se le puede dar a estos como fuentes de compuestos bioactivos de interés industrial

Se demuestra que el conocimiento y la investigación son fundamentales para aportar al cambio de paradigma en la economía de LAC, donde actualmente los residuos de poda son desechados y podrían ser aprovechados para incorporarlos a la agroindustria y transformarlos en productos de mayor valor agregado y que a su vez se encuentren dentro de una economía circular.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, por la financiación del proyecto Código 9-21-6 a través de la convocatoria para financiar proyectos de grupos de Investigación año 2021, y al Grupo de investigación Oleoquímica por el apoyo logístico para el desarrollo del proyecto.

### REFERENCIAS

- [1] Bernal J. et al. (2020). Tecnología para el cultivo de mora. Recuperado: [https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/36639/Ver\\_Documento\\_36639.pdf?sequence=1](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/36639/Ver_Documento_36639.pdf?sequence=1)
- [2] Alija J. (2015). La mora. Recuperado: <https://www.joseanalija.com/mora/>
- [3] El comercio. (2011). Cuatro tipos de mora tiene el país. Recuperado: <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/cuatro-tipos-de-moras-pais.html>
- [4] Bernal J. et al. (2006). Materiales locales y mejorados de tomate de árbol, mora y lulo sembrados por los agricultores y cultivares disponibles para su evaluación en Colombia. Corpoica.
- [5] Agronet. (2017). Estadísticas. Recuperado: <http://www.agronet.gov.co/estadistica/%0APaginas/default.aspx>
- [6] Cerón I. et al. (2012). Design and analysis of antioxidant compounds from andes berry fruits (*Rubus glaucus* Benth) using an enhanced-fluidity liquid extraction process with CO<sub>2</sub> and Ethanol. *The Journal of Supercritical Fluids* 62.
- [7] Cheok C. et al. (2018). Current trends of tropical fruit waste utilization. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 58(3), 335-36.
- [8] Mosquera O. et al. (2016). Caracterización fitoquímica, determinación del contenido de lignina y la actividad antioxidante de los culmos de *Guadua angustifolia* Kunth. *Revista Facultad de Ciencias Básicas* 11(2), 124-135.
- [9] Mertz C. et al. (2007). Analysis of phenolic compounds in two blackberry species (*Rubus glaucus* and *Rubus adenotrichus*) by high-performance liquid chromatography with diode array detection and electrospray ion trap mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55(21), 8616-24.
- [10] Lee J. et al. (2012). Rubus fruit phenolic research: The good, the bad, and the confusing. *Food Chemistry* 130(4), 785-96.
- [11] Osorio C. et al. (2012). Chemical characterization of anthocyanins in tamarillo (*Solanum betaceum* Cav) and andes berry (*Rubus glaucus* Benth) Fruits. *Food Chemistry* 132(4), 1915-21.
- [12] Samaniego I. et al. (2020). Influence of the Maturity Stage on the Phytochemical Composition and the Antioxidant Activity of Four Andean Blackberry Cultivars (*Rubus glaucus* Benth) from Ecuador. *Plants* 9(8), 1027.
- [13] Kuskoski E. et al. (2005). Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Ciênc. Tecnol. Aliment* 25(4), 726-732.
- [14] Nair S. et al. (2007). Natural dietary anti-cancer chemopreventive compounds: redox-mediated differential signaling mechanisms in cytoprotection of normal cells versus cytotoxicity in tumor cells 1. *Acta Pharmacologica Sinica* 28(4), 459-472.
- [15] Dall'Acqua S. et al. (2008). Evaluation of in vitro antioxidant properties of some traditional Sardinian medicinal plants: Investigation of the high antioxidant capacity of *Rubus ulmifolius*. *Food Chemistry* 106(2), 745-749.

- [16] Randhir R. et al. (2004). Phenolics, their antioxidant and antimicrobial activity in dark germinated fenugreek sprouts in response to peptide and phytochemical elicitors. *Asia Pacific journal of clinical nutrition* 13(3).
- [17] Bravo L. (1998). Polyphenols: Chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutrition reviews* 56(11), 317-333.
- [18] Manach C. et al. (2005). Polyphenols and prevention of cardiovascular diseases. *Current opinion in lipidology* 16(1), 77-84.
- [19] Middleton E. et al. (2000). The effects of plant flavonoids on mammalian cells: implications for inflammation, heart disease, and cancer. *Pharmacological reviews* 52(4), 673-751.
- [20] Parr A. y Bolwell G. (2000). Phenols in the plant and in man. The potential for possible nutritional enhancement of the diet by modifying the phenols content or profile. *J. of the Science of Food and Agriculture* 80(7), 985-1012.
- [21] Duran R. y Padilla R. (1993). Actividad antioxidante de los compuestos fenólicos. *Grasas y Aceites* 44(2), 101-106.
- [22] Sparrow C. et al. (1988). Enzymatic modification of low density lipoprotein by purified lipoxigenase plus phospholipase Aa mimics cell-mediated oxidative modification. *J. Lipid Research* 29, 745-753.
- [23] Cheok C. et al. (2018). Current trends of tropical fruit waste utilization. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 58(3), 335-36.
- [24] Caleja C. et al. (2016) Fortificación de yogures con diferentes conservantes antioxidantes: un estudio comparativo entre aditivos naturales y sintéticos. *Química alimentaria* 210, 262-268.
- [25] Caleja C. et al. (2017). Ferreira IC Un estudio comparativo entre antioxidantes naturales y sintéticos: evaluación de su desempeño después de la incorporación en galletas. *Química alimentaria* 216, 342-346.
- [26] Shah M. et al. (2014) Extractos de plantas como antioxidantes naturales en carne y productos cárnicos. *Ciencia de la carne* 98, 21-33.
- [27] Estévez M. et al. (2006). Efecto de los antioxidantes naturales y sintéticos sobre la oxidación de proteínas y cambios de color y textura en paté de hígado porcino almacenado refrigerado. *Meat. Sci.* 74, 396-403.
- [28] Peschel W. et al. (2006). An industrial approach in the search of natural antioxidants from desechos de frutas y verduras. *Química alimentaria* 2006 97, 137-150.
- [29] López J. et al. (2013). Caracterización de la resistencia a la antracnosis causada por *Glomerella cingulata* y productividad de cinco genotipos de mora (*Rubus glaucus* Benth). *Acta Agronómica* 62(2), 174-185.
- [30] Alasalvar C. et al. (2001). Comparison of Volatiles, Phenolics, Sugars, Antioxidant Vitamins, and Sensory Quality of Different Colored Carrot Varieties. *J. Agric. Food Chem.* 49, 1410-1416.
- [31] Guzmán C. (2011). Proceso de obtención de un extracto de compuestos fenólicos a partir de orujo de uva tinta *Vitis vinifera* a bajas temperaturas para aplicación en alimentos y bebidas destinados a consumo humano y animal. Patente WO2011062468A2.
- [32] Velićanski A. et al. (2012). Screening of antibacterial activity of raspberry (*Rubus idaeus* L.) fruit and pomace extracts. *Acta Periodica Technologica (APTEFF)* 43(43), 305-313.
- [33] Guerrero G. et al. (2004). Derivados hidroxicinámicos para la discriminación de genotipos de café. *Cenicafé* 54(3), 234-241.
- [34] Vilaplana T. y Montse G. (2007). Antioxidantes presentes en los alimentos. *Vitaminas, minerales y suplementos.* Elsevier 26(10), 11-41.
- [35] Cardona N. et al. (2019). Identificación de *Peronospora sparsa* y evaluación del contenido de fenoles en frutos de mora de castilla afectados por este microorganismo. *Revista Ceres* 66(1), 11-17.
- [36] Ortiz J. et al. (2013). Phenolics, and antioxidant activity of blackberry (*Rubus glaucus* Benth.), Blueberry (*Vaccinium floribundum* Kunth.), and Apple Wines from Ecuador. *Journal of Food Science* 78(7), C985-C993.
- [37] Vasco C. et al. (2008). Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits from Ecuador. *Food Chem* 2008, 111, 816-23.
- [38] Vallejo F. et al. (2003). Effect of climatic and sulphur fertilization conditions, on phenolic compounds and vitamin C, in the inflorescences of eight broccoli cultivars. *Eur Food Res Tech.* 216, 395-401.
- [39] Balasundaram N. et al. (2006). Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chem. England* 99, 191-203.
- [40] Lima M. et al. (2019). A review of the current evidence of fruit phenolic compounds as potential antimicrobials against pathogenic bacteria. *Microbial Pathogenesis* 130, 259-270.
- [41] Sharma O. y Bhat T. (2008). DPPH antioxidant assay revisited. *Food Chemistry* 113 (4), 1202-1205.
- [42] Méndez J. et al. (2010). Antioxidant potential of agroindustrial residues from three high consumption fruits in Tolima. *Scientia et Technica* 46.
- [43] Parawira W. et al. (2008). Energy production from agricultural residues: High methane yields in pilot-scale two-stage anaerobic digestion. *Biomass and bioenergy* 32, 44-50.
- [44] Rivas B. et al. (2009). Vainillin bioproduction from alkaline hydrolyzate of corn cob by *Escherichia coli* JM109/pBB1," *Enzyme and microbial Technology* 44, 154-158.
- [45] Cayuela M. et al. (2007). Production of biovanillin from wheat bran. *Enzyme and Microbial* 41, 498-505.
- [46] Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2014). Valor agregado en los productos de origen agropecuarios. Recuperado: <http://repiica.iica.int/docs/B3327e/B3327e.pdf>

- [47] Fernández G. et al. (2008) Generación de subproductos de la industria agroalimentaria: situación y alternativas para su aprovechamiento y revalorización. *Especial Alimentaria* 45, 39-42.
- [48] Gozzi M. (2011). Variabilidad de la capacidad antioxidante de extractos foliares de arándano *vaccinium ashei* obtenidos en diferentes condiciones de extracción. Tesis de maestría. Universidad Nacional de San Martín.
- [49] Martineau L. et al. (2006). Anti-diabetic properties of the Canadian lowbush blueberry *Vaccinium angustifolium* Ait. (Clinical Report). *International Journal of Phytotherapy and Phytopharmacology* 13, 612-623.
- [50] Kim J. et al. (2007). Design of optimal solvent for extraction of bio-active ingredients from mulberry leaves. *Biochemical Engineering Journal* 37, 271-278.
- [51] Savova M. et al. (2007). The use of group contribution method for predicting the solubility of seed polyphenols of *Vitis Vinifera* L. within a wide polarity range in solvent mixtures. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy* 42, 295-300.
- [52] Silva E. et al. (2007). Antioxidant activities and polyphenolic contents of fifteen selected plant species from the Amazonian region. *Food Chemistry* 101, 1012-1018.
- [53] Xu B. y Chang S. (2007). A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by extraction solvents. *Journal of Food Science* 72, S159-S166.
- [54] Ehlenfeldt M. y Prior R. (2001). Oxygen radical absorbance capacity (ORAC) and phenolic and anthocyanin concentration in fruit and leaf tissues of highbush blueberry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49, 2222-2227.
- [55] Wang L. y Weller C. (2006). Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. *Trends in Food Science and Technology* 17, 300-312.
- [56] FAO. (2022). Seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe. Recuperado: <https://www.fao.org/americas/prioridades/seguridad-alimentaria/es/>
- [57] World Bank. (2020). Los sistemas agropecuarios y alimentarios de América Latina y el Caribe están listos para una profunda transformación. Recuperado: <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2020/11/12/agriculture-food-systems-latin-america-caribbean-changes>
- [58] Minagricultura. (2021). Cadena productiva de la mora. Recuperado: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Mora/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- [59] Franco G. y Giraldo M. (2017). El cultivo de la mora. Corpoica.
- [60] ONU. (2018). Perspectiva de la Gestión de Residuos en América Latina y el Caribe. Recuperado: <https://www.unep.org/es/resources/informe/perspectiva-de-la-gestion-de-residuos-en-america-latina-y-el-caribe>

# Microesferas radiantes para braquiterapia de tumores hepáticos: Obtención y cálculo de dosis desde simulaciones Monte Carlo

Edison Rivera Figueroa<sup>1</sup>

Pablo Alejandro Cappagli<sup>2</sup>

Miguel Oscar Prado<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Fundación Universitaria de Popayán, Universidad del Valle*  
Colombia

<sup>2</sup> *Centro Integral de Radioterapia y Medicina Nuclear*  
Argentina

<sup>3</sup> *Comisión Nacional de Energía Atómica*  
Argentina

Se obtuvieron microesferas vítreas idóneas para tratamientos de radioterapia interna de tumores hepáticos mediante la técnica de esferoidización por llama, usando polvos vítreos con tres composiciones diferentes en % peso, una equivalente a la composición disponible comercialmente  $45\text{Y}_2\text{O}_3\text{-}20\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}35\text{SiO}_2$ , y dos composiciones propuestas en este trabajo:  $45\text{Sm}_2\text{O}_3\text{-}20\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}35\text{SiO}_2$  y  $44.91\text{Y}_2\text{O}_3\text{-}19.96\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}34.93\text{SiO}_2\text{-}0.2\text{Lu}_2\text{O}_3$ . Las microesferas obtenidas presentaron características físicas similares a los productos comerciales, alto grado de esfericidad, ausencia de fases cristalinas, tamaños de 20 a 42  $\mu\text{m}$ , y densidades entre 3,38 y 3,66  $\text{g/cm}^3$ . Mediante la herramienta EGSnrc se realizaron simulaciones Monte Carlo para calcular las tasas de dosis en agua y en tejido que pueden entregar dichas partículas, conteniendo los isótopos:  $^{90}\text{Y}$ ,  $^{153}\text{Sm}$  y  $^{177}\text{Lu}$ . Previo a esto se desarrollaron los núcleos de dosis puntual DPK de fuentes puntuales, emitiendo isotrópicamente electrones con una energía definida o siguiendo un espectro energético. Los resultados se expresaron en términos del DPK escalado y de las tasas de dosis en función del radio, para ser comparados con los datos reportados en la literatura. Finalmente, teniendo en cuenta la caracterización de las microesferas y las determinaciones de la tasa de dosis en agua, se genera un protocolo para la activación nuclear de dichas partículas, que permita alcanzar las actividades en Becquerel (Bq)/esfera, adecuadas para un tratamiento de radioembolización hepática.

---

<sup>1</sup> Ingeniero físico, Magíster en Ingeniería, Magíster en Física Médica y Estudiante de Doctorado en Ciencias – Física.

Contacto: [edison.rivera@docente.fup.edu.co](mailto:edison.rivera@docente.fup.edu.co)

<sup>2</sup> Físico y Magíster en Física Médica.

Contacto: [pablocappagli@gmail.com](mailto:pablocappagli@gmail.com)

<sup>3</sup> Físico y Doctor en Física.

Contacto: [pradom@cnea.gov.ar](mailto:pradom@cnea.gov.ar)



## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el carcinoma hepatocelular CHC es la tercera causa más común de muerte por cáncer en el mundo, detrás de los tumores de pulmón y colorrectales, se estima que fue el responsable de cerca de 830.000 muertes en el año 2020 [1]. La principal opción de tratamiento de esta patología es la resección quirúrgica parcial, desgraciadamente un gran porcentaje de los pacientes diagnosticados no son elegibles para este procedimiento [2, 3]. Por su lado, la quimioterapia sistémica y la radioterapia convencional no han mostrado ser eficaces en el tratamiento de esta afección, debido a la resistencia de las células neoplásicas del hígado a los agentes anticancerígenos y a la baja tolerancia del parénquima hepático a la radiación [2, 4]. Siendo que, el hígado sano puede tolerar una dosis fraccionada en todo el órgano de aproximadamente 35 Gy (1,8 – 2 Gy/día), y para destruir el tumor, se recomienda entregar una dosis mayor a 70 Gy [5, 6].

No obstante, en los últimos años se ha dado un gran avance en el desarrollo de terapias alternativas que permiten tratar en forma selectiva y eficaz el tejido tumoral. De ellas, la radioembolización hepática RE se destaca como modalidad terapéutica para el CHC primario y metastásico no resecables. Dicha técnica consiste en depositar vía intra-arterial, microesferas radiactivas con itrio-90 ( $^{90}\text{Y}$ -ME) lo más cercano posible a la zona afectada por el tumor [7, 8], permitiendo entregar dosis localizadas muy altas, de entre 100 y 1000 Gy, con toxicidad relativamente baja para el tejido sano circundante, y sirviendo además, como terapia coadyuvante a otros tratamientos [9, 10].

Comercialmente existen dos tipos de microesferas con itrio-90 ( $^{90}\text{Y}$ ) para tratamientos de radioembolización hepática: TheraSphere (MDS Nordion Inc., Canadá) fabricadas en vidrio y SIR-Sphere (Sirtex, Medical Ltda, Australia) hechas en resina [11]. En las primeras, el  $^{90}\text{Y}$  hace parte integral de la matriz vítrea y se encuentra distribuido uniformemente en todo el volumen de las partículas. En las SIR-Sphere, el radioisótopo es adherido a la superficie de las esferas a través de un proceso de intercambio iónico. El  $^{90}\text{Y}$  es un emisor de electrones que decae principalmente al estado fundamental del zirconio-90 ( $^{90}\text{Zr}$ ), con un período de semidesintegración de 64,2 horas. Los electrones emitidos presentan un espectro energético que tiene energías promedio y máxima de 0,936 y 2,28 MeV, respectivamente. El rango máximo de penetración de las partículas en agua, principal componente de los tejidos biológicos, es de aproximadamente 11 mm [7].

Debido a las diferencias de fabricación, las microesferas vítreas (TheraSphere) permiten alcanzar actividades específicas altas, del orden de 2500 Bq/esfera, por lo que se necesita un número relativamente pequeño de esferas en la práctica clínica. Por el contrario, con el producto SIR-Sphere se tiene una actividad específica baja (50 Bq/esfera), lo que incrementa la cantidad de microesferas necesarias para el tratamiento. En la Tabla 1, se resumen algunas características comparativas de ambas microesferas [7].

**Tabla 1.** Características generales de las microesferas de  $^{90}\text{Y}$  vítreas y de resina.

| Microesferas de $^{90}\text{Y}$     | TheraSphere  | SIR-Sphere       |
|-------------------------------------|--------------|------------------|
| Material                            | Vidrio       | Resina           |
| Diámetro ( $\mu\text{m}$ )          | 20 – 30      | 20 – 60          |
| Actividad por esfera (Bq)           | 2500         | 50               |
| Densidad ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) | 3,6          | 1,6              |
| Número de microesferas / 3 GBq      | 1,2 millones | 40 – 80 millones |

Para evitar efectos adversos y permitir el éxito terapéutico, es imprescindible una planificación correcta del tratamiento. La actividad de  $^{90}\text{Y}$  a ser administrada es escogida dependiendo de cuál de los dos tipos de microesfera se va a utilizar. Por ejemplo, para las vítreas se recomienda el modelo Medical Internal Radiation Dosimetry MIRD, el cual supone que la actividad de  $^{90}\text{Y}$  administrada se distribuye uniformemente en todo el volumen hepático a tratar [12, 13]. Aunque en realidad dicha distribución no es uniforme y, de hecho, presenta grandes variaciones [14]. Post-tratamiento, la determinación de la dosis entregada al tumor, se realiza en forma aproximada, utilizando imágenes SPECT/CT generadas por la radiación de frenado del  $^{90}\text{Y}$ , o con imágenes PET/CT obtenidas a través de los escasos positrones que este isótopo emite [8].

Una alternativa para el cálculo de dosis con buena precisión es posible mediante simulaciones realizadas en Monte Carlo MC. Aunque, las determinaciones de dosis absorbida utilizando características específicas

de cada paciente, demandan mucho tiempo y recursos computacionales, lo cual lo hace inviable en forma directa en la práctica clínica. Sin embargo, un enfoque viable es el cálculo de los núcleos de dosis puntual DPK, los cuales contienen la dosis absorbida que es depositada a una distancia determinada desde una fuente puntual, en un medio homogéneo infinito. La combinación del DPK con los datos anatómicos del paciente obtenidos desde una tomografía computacional, pueden proporcionar un cálculo rápido de la dosis absorbida [15].

Debido a lo anterior, existe un creciente interés en el desarrollo de microesferas para terapia por irradiación interna selectiva, que utilicen radionucleídos que permitan tratar terapéuticamente el tumor, y a su vez, sean fácilmente detectables por las diferentes técnicas de diagnóstico en medicina nuclear, como el Renio-186 ( $^{186}\text{Re}$ ), Renio-188 ( $^{188}\text{Re}$ ) y Holmio-166 ( $^{166}\text{Ho}$ ), entre otros [16, 17]. Por tanto, este trabajo se enfocó en investigar la formulación de microesferas vítreas con características físicas y químicas adecuadas para su uso en radioembolización hepática. En este sentido, el Renio y el Holmio han mostrado no ser candidatos adecuados en la obtención de matrices vítreas, orientado la investigación hacia la producción de microesferas de vidrio cargadas con los radioisótopos: Lutecio-177 ( $^{177}\text{Lu}$ ) y Samario-153 ( $^{153}\text{Sm}$ ). En forma paralela, se realizaron simulaciones Monte Carlo para determinar los núcleos de convolución, que permitan utilizar el método de convolución/superposición, para calcular la dosis que puede ser entregada al tejido tumoral hepático, desde las partículas esféricas desarrolladas en este trabajo.

## 2. MÉTODO

### 2.1 Microesferas para radioembolización hepática

En este trabajo se obtuvieron vía esferoidización por llama, tres tipos de microesferas vítreas de composiciones (%peso):  $45\text{Y}_2\text{O}_3\text{-}20\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}35\text{SiO}_2$ ,  $45\text{Sm}_2\text{O}_3\text{-}20\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}35\text{SiO}_2$  y  $44.91\text{Y}_2\text{O}_3\text{-}19.96\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}34.93\text{SiO}_2\text{-}0.2\text{Lu}_2\text{O}_3$ , denominadas en adelante, YAS, SmAS y YAS-Lu, respectivamente. Las primeras, YAS, fueron desarrolladas con características físicas y químicas similares a las producidas por la empresa Therasphere. Mientras que, las esferas YAS-Lu y SmAS, son propuestas implementadas en esta investigación, como modelos alternativos para la terapia radiante de tumores hepáticos. Las microesferas YAS-Lu buscan complementar el tratamiento convencional con  $^{90}\text{Y}$ , aportando las emisiones gamma del lutecio-177 ( $^{177}\text{Lu}$ ), fotones de 112,95 y 208,37 KeV, que permiten determinar mediante imágenes SPECT/CT, la distribución de las esferas en el organismo y estimar con mayor precisión la dosis administrada al paciente.

Basados en el mismo principio, con las partículas SmAS se propone utilizar el samario-153 ( $^{153}\text{Sm}$ ) en vez de  $^{90}\text{Y}$ , debido al aporte beta y de fotones que este radioisótopo presenta. El  $^{153}\text{Sm}$  decae principalmente al estado fundamental del europio-153 ( $^{153}\text{Eu}$ ), con un periodo de semidesintegración de 46,3 horas, emitiendo betas con energías promedio y máxima de 0,233 y 0,810 MeV, respectivamente. Entre los fotones emitidos, los gammas de 103 keV permitirían determinar la biodistribución de las esferas y dosis administradas al tumor.

En todos los casos, las microesferas fueron analizadas utilizando: 1) Microscopia óptica MO para evaluar el grado esfericidad y el tamaño promedio de las partículas, 2) Difracción de rayos X DRX para determinar la presencia de fases cristalinas, y 3) picnometría de helio PH para medir la densidad de estas.

### 2.2 Simulaciones Monte Carlo: EGSnrc

Múltiples simulaciones en Monte Carlo fueron realizadas utilizando el código de usuario EDKnc desarrollado por Mainegra y colaboradores [18]. Esta aplicación hace parte de un paquete de propósito general llamado EGSnrc, el cual permite simular el transporte acoplado del electrón-fotón para partículas con energías que van desde 1 keV hasta 10 GeV [19]. El formalismo seguido por este sistema para el transporte de electrones, se basa en la técnica de historias condensadas HC planteada por Berger [20]. En este método un gran número de procesos consecutivos de transporte y colisión son condensados en un solo paso. El efecto acumulativo de las interacciones individuales es contabilizado muestreando el cambio

en la energía de la partícula, la dirección de movimiento, y la posición al final del paso, a partir de una distribución de dispersión múltiple apropiada [21]. De acuerdo con Berger, existen dos tipos de HC; la clase I, en la cual se utiliza una tabla de energías precalculadas para todas las secciones eficaces, siendo necesario interpolar cuando las partículas no se ajustan a los valores de las energías tabuladas. La clase II, usada por el código EGSnrc, tiene en cuenta explícitamente el transporte de partículas secundarias con energías mayores a un umbral definido [20].

La utilidad EDKnrc, permite calcular los núcleos de deposición de energía EDK para fuentes puntuales emitiendo isotrópicamente fotones o electrones en fantomas con geometría esférica [21]. En este trabajo, se obtuvieron los núcleos de dosis puntual DPK en fantomas de agua e hígado (dependiendo el caso) para: (i) fuentes puntuales de electrones monoenergéticos, (ii) fuentes puntuales de los isotopos: itrio-90 ( $^{90}\text{Y}$ ), samario-153 ( $^{153}\text{Sm}$ ), lutecio-177 ( $^{177}\text{Lu}$ ) y fosforo-32 ( $^{32}\text{P}$ ) y (iii) microesferas vítreas con los isotopos:  $^{90}\text{Y}$ ,  $^{153}\text{Sm}$  y  $^{177}\text{Lu}$ . Las simulaciones con  $^{32}\text{P}$  se realizaron con fines netamente comparativos, debido a su viabilidad para producir microesferas de interés en radioembolización hepática [22].

En general, algunas características del EDKnrc fueron mantenidas constantes en todos los cálculos realizados. A saber, se realizaron simulaciones con  $1 \times 10^6$  historias, se utilizó el algoritmo PRESTA-II considerando los efectos de spin, el parámetro *boundary crossing algorithm* se configuró como EXACT y la variable skin depth fue BCA=3. Asimismo, se establecieron los siguientes valores: ESTEPE=0,1, ECUT=0,521 y PCUT=0,010.

### 2.2.1 DPK de electrones monoenergéticos

El núcleo de dosis puntual o de convolución DPK, representa la distribución radial de dosis absorbida alrededor de una fuente puntual emitiendo isotrópicamente en un medio infinito. De acuerdo con lo sugerido por Cross [23], el DPK puede ser convertido en una cantidad adimensional que varía lentamente con la energía, denominado núcleo de dosis puntual escalado sDPK. Para electrones monoenergéticos, el DPK escalado puede definirse de acuerdo a la ecuación (1).

$$j(r/r_{CSDA}, E) = 4\pi\rho r^2 D(r, E) r_{CSDA}/E \quad (1)$$

Donde,  $E$  es la energía cinética de los electrones,  $r$  es la distancia radial al centro de la capa esférica,  $r_{CSDA}$  es el rango de los electrones bajo la aproximación de frenado continuo CSDA,  $\rho$  la densidad del medio y  $D(r, E)$  es la dosis por partícula incidente a la distancia  $r$ . Por tanto, la cantidad  $j(r/r_{CSDA}, E)$  representa la fracción de energía emitida, que es depositada en una capa esférica de radio escalado  $r/r_{CSDA}$  a  $r/r_{CSDA} + d(r/r_{CSDA})$ . El DPK escalado también puede ser expresado mediante la ecuación (2) [24]. Siendo  $\delta r$  el espesor de la capa esférica y  $\delta E(r)$  la energía liberada entre la capa  $r$  y  $\delta r$ .

$$j(r/r_{CSDA}) = \frac{\delta E(r)/E}{\delta r/r_{CSDA}} \quad (2)$$

En este estudio se calcularon los núcleos de dosis puntual para electrones de 50 keV, 100 keV, 1 MeV, 2 MeV y 4 MeV, utilizando un fantoma de agua de densidad  $1 \text{ g/cm}^3$ . En las determinaciones del DPK, el fantoma fue dividido en 24 capas esféricas concéntricas de espesor  $\delta r \approx 0,05 r_{CSDA}$ , y 48 conos separados por un ángulo polar de  $3,75^\circ$  (Figura 1). Las intersecciones cono-esfera, definen los volúmenes (o *voxels*) sobre los cuales fueron acumuladas las energías depositadas por partícula ( $\delta E$ ). Los valores de los rangos  $r_{CSDA}$  utilizados, fueron tomados de la base de datos ESTAR del Instituto Nacional de Normas y Tecnología (NIST) y son indicados en la Tabla 2 [25].

Para los electrones de 50 y 100 keV, fue necesario crear un nuevo PEGS4 que contuviera las secciones eficaces y poderes de frenado colisional adaptados para estas energías. Además, en el código de usuario fue necesario establecer el valor de energía de corte para electrones ECUT en 1 keV. Las curvas del sDPK fueron representadas en función del radio escalado ( $r/r_{CSDA}$ ) y confrontadas con los resultados publicados por Mainegra y colaboradores en EGSnrc. Asimismo, los resultados fueron comparados con simulaciones MC realizadas en las plataformas MCPN-4C, GATE y PENELOPE publicadas por otros autores [26-28].

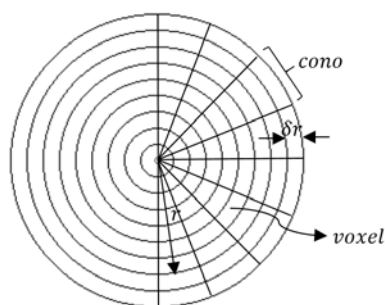


Figura 1. Geometría utilizada en las simulaciones MC para las fuentes puntuales

Tabla 2. Rangos CSDA en agua para electrones con diferentes energías

| Energía del electrón MeV | Rango CSDA (g/cm <sup>2</sup> ) |
|--------------------------|---------------------------------|
| 0,05                     | $4,320 \times 10^{-3}$          |
| 0,1                      | $1,431 \times 10^{-2}$          |
| 1                        | $4,367 \times 10^{-1}$          |
| 2                        | $9,785 \times 10^{-1}$          |
| 4                        | 2,037                           |

### 2.2.2 sDPK y distribución de la tasa de dosis de fuentes beta polienergéticas

Se calcularon los núcleos de convolución escalados para cuatro fuentes puntuales beta; <sup>90</sup>Y, <sup>153</sup>Sm, <sup>177</sup>Lu y <sup>32</sup>P, ubicadas en el centro de fantasmas esféricos de agua o hígado. Para las simulaciones se tomaron los espectros energéticos de la base de datos RADAR [29], y se utilizaron capas radiales con espesores de 10 μm para el itrio y lutecio, mientras que para el samario y fosforo, de 3 y 7,5 μm, respectivamente. Las curvas sDPK fueron expresadas en función del radio escalado ( $r/X_{90}$ ), siendo  $X_{90}$  el radio de la esfera en la cual el 90% de la energía emitida es absorbida.

En radioterapia la cantidad de interés para fuentes beta es la distribución de la tasa de dosis,  $r^2\dot{D}(r)$ , donde  $\dot{D}(r)$  es la tasa de dosis ( $nGy \cdot h^{-1}$ ) en una capa esférica a una distancia  $r(cm)$  de una fuente puntual isotrópica de 1 Bq en un medio de agua infinito. Por tanto, se decidió mostrar los resultados en términos de esta variable, comparar con la información reportada en la literatura y además analizar la viabilidad de las dos composiciones propuestas en nuestro trabajo.

### 2.2.3 Microesferas vítreas conteniendo <sup>90</sup>Y, <sup>153</sup>Sm y <sup>177</sup>Lu

Una primera aproximación de cálculo de los núcleos de dosis desde microesferas conteniendo los isótopos <sup>90</sup>Y, <sup>153</sup>Sm y <sup>177</sup>Lu, se realizó colocando una fuente puntal de dichos nucleídos, en el centro de una microesfera con las composiciones YAS, SmAS y YAS-Lu, respectivamente. La microesfera a su vez se dispuso en el centro de un fantoma esférico de agua o hígado. En forma similar al caso de las fuentes puntuales, se registró la energía depositada en capas de 10 μm de espesor de agua o tejido hepático para las microesferas YAS y YAS-Lu, y de 3 μm para las SmAS. Tomando en cuenta los tamaños de las microesferas comerciales (ver tabla 1) y los valores del diámetro promedio que fueron medidos para los tres tipos de esferas obtenidos en este trabajo, se realizaron los cálculos utilizando fuentes con tamaños de 20, 30, 50 y 100 μm, considerando las más grandes solo de interés académico.

Las composiciones y las densidades de los tres tipos de microesferas vítreas, fueron simuladas teniendo en cuenta los valores medidos en este trabajo para las partículas YAS, YAS-Lu y SmAS. Los resultados fueron expresados en términos del sDPK y de la distribución de la tasa de dosis, y se compararon con las determinaciones obtenidas para las fuentes puntuales donde no se simuló el material de la microesfera.

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 3.1 Características físicas de las microesferas fabricadas

Las imágenes de microscopía óptica, Figura 2, muestran las microesferas vítreas YAS, SmAS y YAS-Lu producidas en este trabajo. Es apreciable que existe un alto grado de esfericidad y se encuentran libres de

partículas de polvo. El diámetro promedio de estas microesferas (Tabla 3) es similar al referenciado por TheraSphere, de 20 a 30  $\mu\text{m}$ . Asimismo, las densidades medidas experimentalmente por picnometría de helio, se asemejan a las encontradas para las microesferas de vidrio con  $^{90}\text{Y}$  comerciales ( $3,60 \text{ g/cm}^3$ ). Por su parte, los difractogramas de rayos X (no mostrados en este trabajo), sugieren la ausencia de fases cristalinas en las microesferas. En todos los casos se verificó mediante espectroscopia de energía dispersiva (EDS) que las mismas no presentan heterogeneidades en su composición, dentro de los límites experimentales de la técnica.

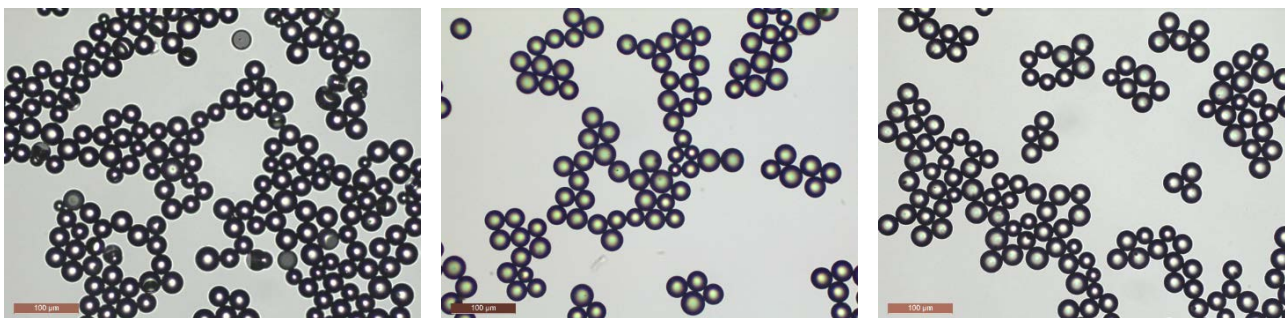


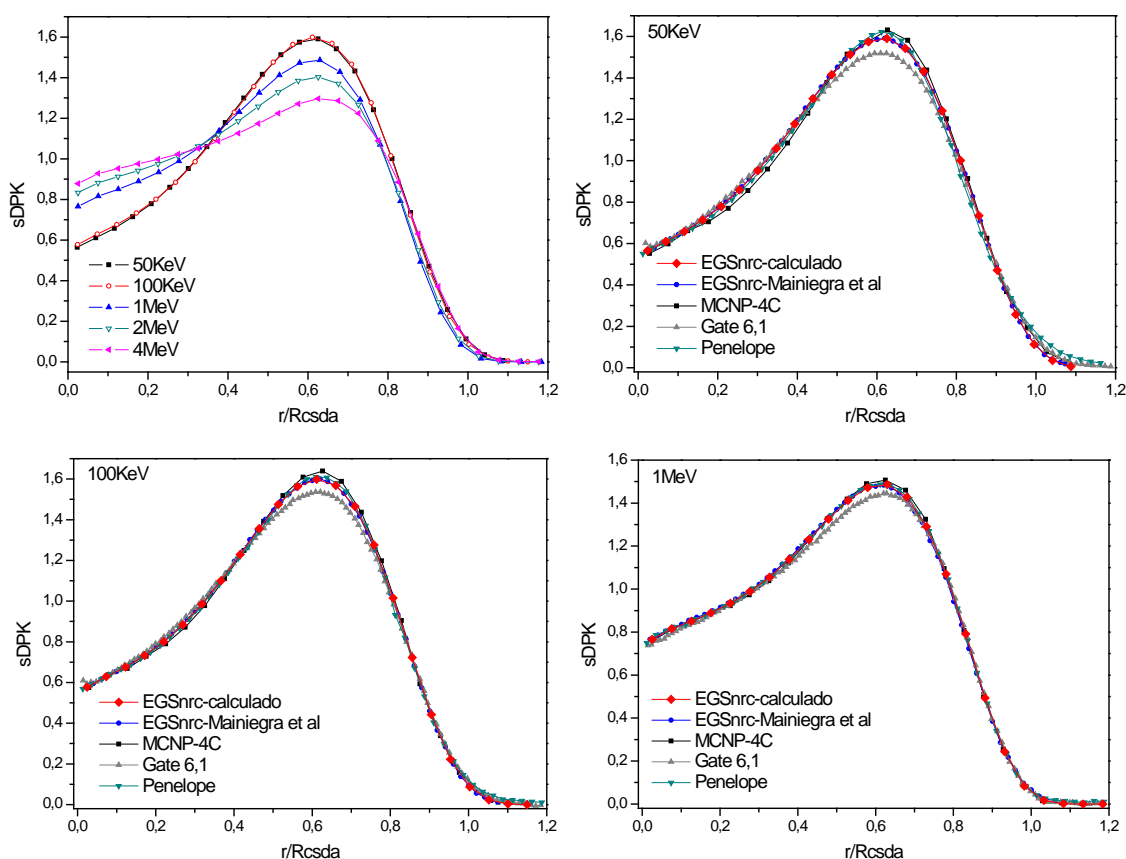
Figura 2. Fotografías de microscopía óptica tomadas a las microesferas: YAS (izquierda), YAS-Lu (centro) y SmAS (derecha). La escala representa 100 micrones.

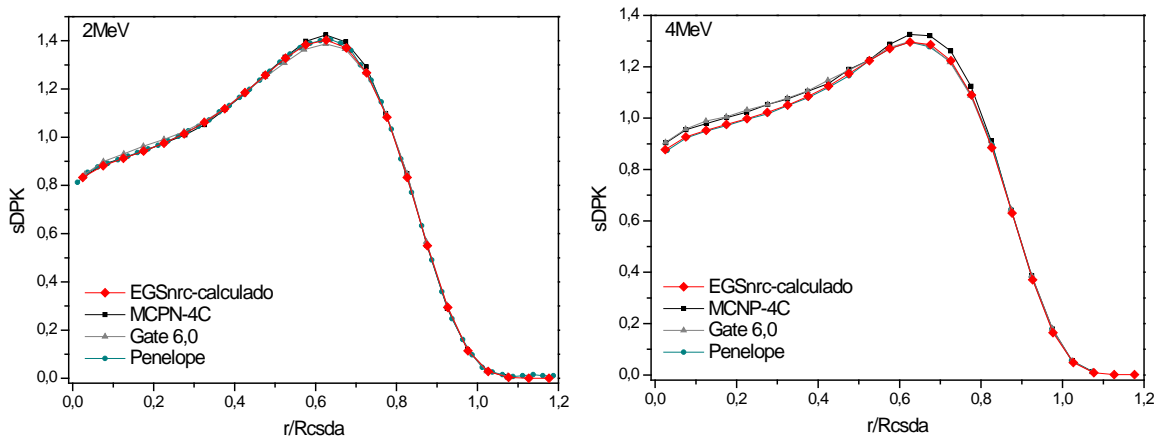
Tabla 3. Diámetros promedio y densidades de las microesferas YAS, YAS-Lu y SmAS

| Tipo de microesfera | Diámetro promedio ( $\mu\text{m}$ ) | Densidad $\pm$ error ( $\text{g/cm}^3$ ) |
|---------------------|-------------------------------------|--|
| YAS                 | $33 \pm 1$                          | $3,44 \pm 0,07$                          |
| YAS-Lu              | $32 \pm 1$                          | $3,38 \pm 0,03$                          |
| SmAS                | $32 \pm 1$                          | $3,66 \pm 0,03$                          |

### 3.2 DPK escalado de electrones monoenergéticos

La Figura 3 contiene las curvas de los sDPK calculados utilizando el código EGSnrc y su respectiva comparación con los datos reportados en la literatura para fuentes puntuales en agua, con electrones de energías entre 50 keV y 4 MeV.



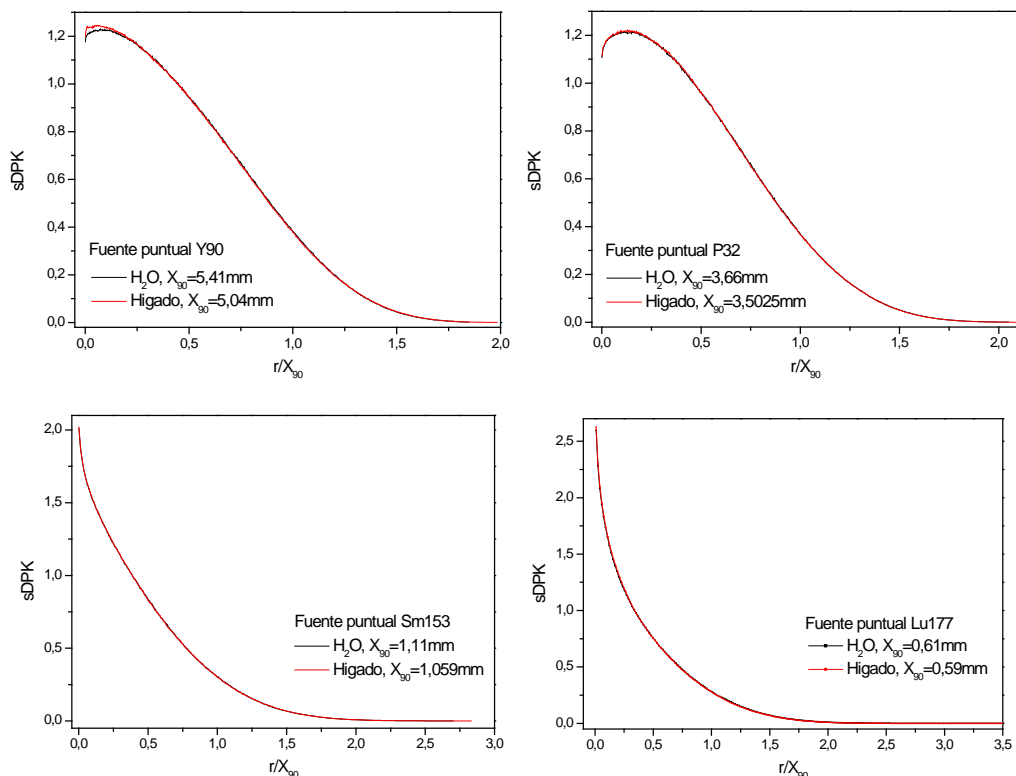


**Figura 3.** Curvas del sDPK de fuentes puntuales de electrones en agua, con energías iniciales de 50 keV, 100 keV, 1 MeV, 2 MeV y 4 MeV. Los gráficos se comparan con resultados obtenidos por otros autores usando EGSnrc y otros códigos Monte Carlo

Se aprecia que existe una muy buena correlación entre los datos obtenidos en este trabajo y los determinados tanto por Mainegra y colaboradores [18], utilizando el mismo sistema de cálculo, como los entregados por las simulaciones hechas en la plataforma PENELOPE. Sin embargo, se observan discrepancias para las curvas generadas con los códigos GATE y MCPN-4C. En el primero, se observa que para energías entre 50 keV y 2 MeV, la semejanza entre estas curvas y las obtenidas en este trabajo aumenta a medida que la energía de los electrones es mayor. No obstante, en 4 MeV la similitud entre los gráficos vuelve a disminuir. Por su parte, los reportes entregados por el sistema MCPN-4C presentan diferencias sutiles con respecto los obtenidos en este trabajo en todas las energías. Estas variaciones pueden ser atribuidas al modelo físico que utiliza cada plataforma de simulación, incluyendo los valores configurados para las diferentes variables, entre ellas, ECUT y ESTEPE.

### 3.3 sDPK y distribución radial de la tasa de dosis para fuentes beta

Los sDPK calculados desde fuentes puntuales de  $^{90}\text{Y}$ ,  $^{32}\text{P}$ ,  $^{153}\text{Sm}$  y  $^{177}\text{Lu}$ , en fantomas de agua e hígado, son mostrados en la Figura 4.



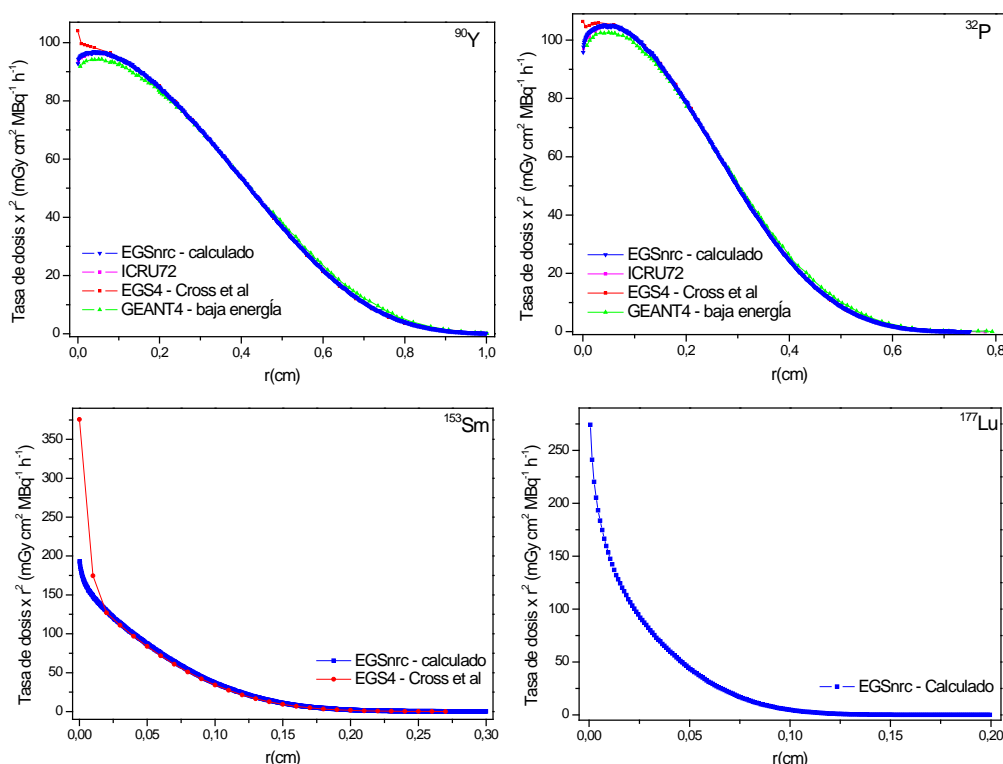
**Figura 4.** Núcleos de dosis puntual escalados para partículas beta emitidos por las fuentes puntuales de  $^{90}\text{Y}$ ,  $^{32}\text{P}$ ,  $^{153}\text{Sm}$  y  $^{177}\text{Lu}$ , determinados utilizando el código EGSnrc en fantomas esféricos de agua e hígado

De éstas se obtuvieron los valores de  $X_{90}$  que son resumidos en la Tabla 3 y comparados con los datos disponibles en la literatura. De ellos, es importante remarcar la similitud con los resultados mostrados en los trabajos de Maignegra y Papadimitroulas, para los isotopos de itrio, fosforo y lutecio [18, 26]. Sin embargo, y de acuerdo con Maignegra, los valores dados por Simpkin [30] utilizando el código EGS4, son menores a los que se obtienen con el EGSnrc, posiblemente porque el EGS4 no considera los efectos de spin, los cuales tienden a aumentar el rango efectivo de los electrones en medios de bajo número atómico. Por otro lado, no fue posible comparar con otros autores los  $X_{90}$  obtenidos en hígado, ya que no existe bibliografía al respecto, salvo para el  $^{90}\text{Y}$ , en donde los cálculos realizados en EGSnrc por Paxton et al. [21] sugieren un valor  $X_{90}$  de 5,16 mm en dicho medio, cercano a los 5,04 mm calculado en este trabajo. Finalmente, se observa que en las curvas no existen diferencias marcadas entre las simulaciones realizadas en agua o hígado, posiblemente porque los cálculos tienen en cuenta la densidad del medio y no la composición. Las densidades corresponden a 1,00 y 1,06 g/cm<sup>3</sup> para el agua y el hígado, respectivamente.

**Tabla 3.** Valores de  $X_{90}$  en agua e hígado para diversas fuentes puntuales beta (calculados y referenciados por distintos autores)

| Fuente            | Medio  | $X_{90}$ (mm) Calculado | $X_{90}$ (mm) [18] | $X_{90}$ (mm) [26] | $X_{90}$ (mm) [30] |
|-------------------|--------|-------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| $^{90}\text{Y}$   | Agua   | 5,41                    | 5,43               | 5,40               | 5,34               |
|                   | Hígado | 5,04                    | -                  | -                  | -                  |
| $^{32}\text{P}$   | Agua   | 3,66                    | 3,66               | 3,66               | 3,61               |
|                   | Hígado | 3,503                   | -                  | -                  | -                  |
| $^{153}\text{Sm}$ | Agua   | 1,11                    | -                  | -                  | 1,01               |
|                   | Hígado | 1,059                   | -                  | -                  | -                  |
| $^{177}\text{Lu}$ | Agua   | 0,61                    | -                  | 0,62               | -                  |
|                   | Hígado | 0,59                    | -                  | -                  | -                  |

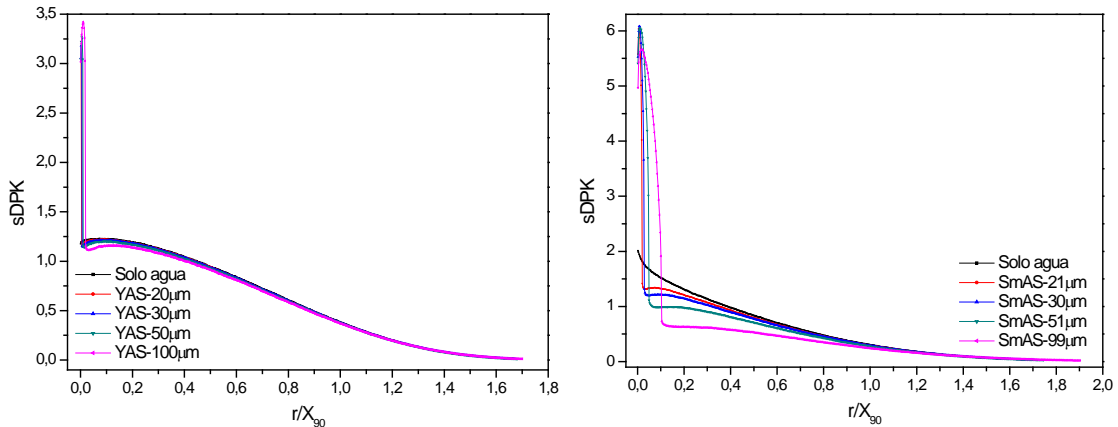
Las distribuciones radiales de las tasas de dosis para las cuatro fuentes puntuales en agua se indican en la Figura 5. Se puede observar un adecuado comportamiento de las curvas calculadas con respecto a las simulaciones obtenidas en el ICRU72 y en GEANT4 de baja energía, como referencia [22], tanto para el itrio como en el fósforo. Mientras que, con respecto al EGS4, existen discrepancias significativas cerca del origen, principalmente debido a que Cross et al., utilizan la aproximación del poder de frenado colisional no restringido, para determinar la dosis en el radio  $r = 0$  cm, en ausencia de una definición de un radio efectivo consistente para las capas más internas. Para la fuente de  $^{177}\text{Lu}$  no se encontró referencia para comparar.



**Figura 5.** Distribución radial de la tasa de dosis en agua para fuentes puntuales de  $^{90}\text{Y}$ ,  $^{32}\text{P}$ ,  $^{153}\text{Sm}$  y  $^{177}\text{Lu}$ . Se muestran comparaciones de nuestros cálculos (EGSnrc-calculado) con resultados publicados [22, 23]

### 3.4 sDPK y distribución de la tasa de dosis desde microesferas vítreas

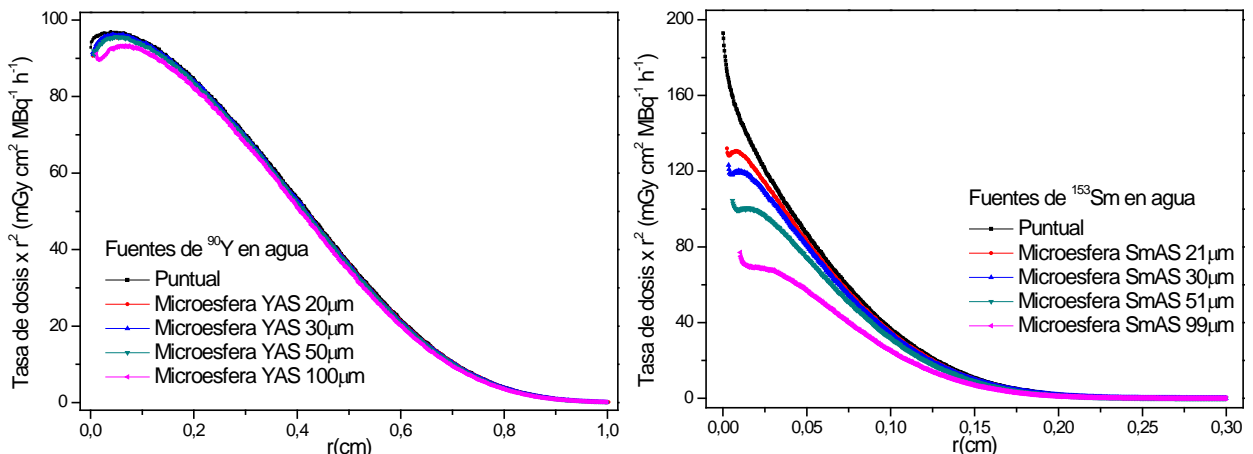
En la Figura 6 se pueden apreciar los núcleos de dosis en agua, escalados, que se obtienen desde fuentes puntuales contenidas en el centro de microesferas vítreas YAS y SmAS con diferentes tamaños. El comportamiento de los núcleos de dosis obtenidos desde las microesferas YAS-Lu, es similar al mostrado en las partículas YAS, debido a que la presencia del lutecio en la muestra es tan solo del 0,2% en peso, por tanto, estas curvas no son mostradas en el trabajo. En todas las simulaciones con microesferas no hubo modificaciones importantes cuando se pasó del fantoma de agua al de hígado, ya que, al no existir una gran diferencia entre la densidad del agua y la de este tejido, los núcleos de dosis permanecen casi invariables.



**Figura 6.** sDPK en agua de microesferas YAS y SmAS con diferentes tamaños. La leyenda *solo agua* hace referencia la fuente puntual sin la microesfera

Tomando como referencia los resultados obtenidos para las fuentes puntuales, se evidencia que la forma funcional de los núcleos de dosis en agua, es fuertemente afectada por la presencia del material de la microesfera. Esas modificaciones se deben principalmente a que las densidades de los vidrios son mayores a las del medio circundante. Fuera de la partícula vítrea, el comportamiento del núcleo de dosis mantiene similitud con el equivalente de la fuente puntual, principalmente en el caso del  $^{90}\text{Y}$ . Para el  $^{153}\text{Sm}$  se observó una disminución considerable de la dosis depositada en el medio adyacente, aumentando este efecto con el tamaño de la microesfera. Las dosis calculadas fueron menores con respecto a las determinadas utilizando simplemente fuentes puntuales en un medio solo de agua o hígado.

Las distribuciones radiales de la tasa de dosis en agua, alrededor de las microesferas YAS y SmAS, son mostradas en la Figura 7. En estos gráficos se observa que, en las YAS, no existen variaciones considerables en la tasa de dosis que es depositada desde las partículas con tamaños de interés en radioembolización hepática (20 a 50  $\mu\text{m}$ ). Sin embargo, para la partícula de 100  $\mu\text{m}$  el efecto de autoatenuación por el vidrio empieza a ser importante. Por su parte, en las microesferas SmAS, este efecto es representativo en todos los tamaños, agudizándose conforme aumenta el tamaño de esfera.



**Figura 7.** Distribución radial de la tasa de dosis en agua desde microesferas YAS y SmAS, comparadas con las obtenidas desde fuentes puntuales para los isotopos  $^{90}\text{Y}$  y  $^{153}\text{Sm}$ .



## 4. CONCLUSIONES

Fueron preparadas microesferas de vidrio de tres composiciones diferentes con características físicas (homogeneidad, tamaño, esfericidad, densidad, ausencia de fases cristalinas) adecuadas para ser utilizadas en aplicaciones de radioembolización hepática.

Se determinó que, dependiendo del espectro energético de las partículas beta del isótopo simulado, la presencia del material vítreo modifica la dosis depositada en el tejido circundante.

Tanto en agua como en hígado los valores de dosis obtenidos por el método de Monte Carlo, en presencia del material vítreo son menores que las obtenidas en el caso de las fuentes puntuales. La disminución es más marcada cuanto menor es la energía de la radiación beta empleada o mayor sea la esfera.

Las simulaciones realizadas para  $^{90}\text{Y}$  y  $^{32}\text{P}$  mostraron concordancia con resultados mostrados por otros autores en el ICRU72 y obtenidos a través de los códigos MCNP y GEANT. Los resultados proporcionados podrían ser utilizados en la planificación de braquiterapia hepática.

### Agradecimientos

Al Departamento Materiales Nucleares – División de Aplicaciones Médicas e Industriales del Centro Atómico Bariloche por las facilidades prestadas para la producción y caracterización de las microesferas vítreas.

### REFERENCIAS

- [1] Sung H. et al. (2021). Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *A Cancer Journal for Clinicians*.
- [2] Reig M. et al. (2021). Diagnosis and treatment of hepatocellular carcinoma. Update of the consensus document of the AEEH, AEC, SEOM, SERAM, SERVEI, and SETH. *Med. Clínica* 156(9), 463e1-463.e30.
- [3] Vogel A. y Martinelli E. (2021) Updated treatment recommendations for hepatocellular carcinoma (HCC) from the ESMO Clinical Practice Guidelines. *Ann. Oncol.* 32(6), 801–805.
- [4] Guo J. et al. (2018). Mechanisms of resistance to chemotherapy and radiotherapy in hepatocellular carcinoma. *Transl. Cancer Res.* 7(3), 765–781.
- [5] Kennedy A. et al. (2007). Recommendations for Radioembolization of Hepatic Malignancies Using Yttrium-90 Microsphere Brachytherapy: A Consensus Panel Report from the Radioembolization Brachytherapy Oncology Consortium. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 68(1), 13–23.
- [6] Hoffe S. et al. (2010). Nonsurgical options for hepatocellular carcinoma: Evolving role of external beam radiotherapy. *Cancer Control* 17(2), 100–110.
- [7] Bilbao J. y Reiser M. (2014). *Liver Radioembolization with 90Y Microspheres*. Springer US.
- [8] Carrion-Martin L. et al. (2019). Radioembolization in liver tumors. *Rev. Española Med. Nucl. e Imagen Mol.* 38(6), 370–381.
- [9] Cremonesi M. et al. (2014). Radioembolization of hepatic lesions from a radiobiology and dosimetric perspective. *Frontiers in Oncology* 4, 210(1) - 210(20).
- [10] Kennedy A. et al. (2004). Pathologic response and microdosimetry of 90Y microspheres in man: Review of four explanted whole livers. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 60(5), 1552–1563.
- [11] Lourenço V. et al. (2015). Primary standardization of SIR-Spheres based on the dissolution of the 90Y-labeled resin microspheres. *Applied Radiation and Isotopes* 97, 170–176.
- [12] Gulec S. et al. (2006). Dosimetric techniques in 90Y-microsphere therapy of liver cancer: The MIRD equations for dose calculations. *J. Nucl. Med.* 47(7), 1209–1211.
- [13] Mikell J. et al. (2020). Transarterial Radioembolization for Hepatocellular Carcinoma and Hepatic Metastases: Clinical Aspects and Dosimetry Models. *Semin. Radiat. Oncol.* 30(1), 68–76.
- [14] Nezami, N. et al. (2018). Y90 radioembolization dosimetry using a simple semi-quantitative method in intrahepatic cholangiocarcinoma: Glass versus resin microspheres. *Nucl. Med. Biol.* 59, 22–28.
- [15] Pérez, P. et al. (2013). Patient-Specific Planning System for Nuclear Medicine. *An. AFA* 23(1), 106–111.
- [16] Conzone, S. et al. (1998). Preparation and properties of radioactive rhenium glass microspheres intended for in vivo radioembolization therapy. *J. Biomed. Mater. Res.* 42(4), 617–625.
- [17] Brown R. et al. (1991). 166Holmium-containing glass for internal radiotherapy of tumors. *Int. J. Radiat. Appl. Instrumentation* 18(7), 783-787.
- [18] Mainegra-Hing E. et al. (2005). Calculation of photon energy deposition kernels and electron dose point kernels in water. *Med. Phys.*, 32(3), 685–699.

- [19] EGSnrc: software tool to model radiation transport. (2021). Recuperado: <https://nrc.canada.ca/en/research-development/products-services/software-applications/egsnrc-software-tool-model-radiation-transport>
- [20] Berger M. (1963). Monte Carlo calculation of the penetration and diffusion of fast charged particles. *Methods Comput. Phys.* 1, 135–215.
- [21] Paxton A. et al. (2012). Determining the effects of microsphere and surrounding material composition on 90Y dose kernels using egsnrc and mcnp5. *Med. Phys.* 39(3), 1424–1434.
- [22] Guimarães C. (2010). Dose-rate distribution of <sup>32</sup>P-glass microspheres for intra-arterial brachytherapy. *Med. Phys.* 37(2), 532–539.
- [23] Cross W. (1992). Beta-ray dose distributions from point sources in an infinite water medium. *Health Phys.* 53(2), 160–171.
- [24] Champion C. et al. (2014). Dose point kernels in liquid water: An intra-comparison between GEANT4-DNA and a variety of Monte Carlo codes. *Appl. Radiat. Isot.* 83, 137–141.
- [25] Stopping-Power & Range Tables for Electrons, Protons, and Helium Ions. (2021). Recuperado: <https://physics.nist.gov/PhysRefData/Star/Text/ESTAR.html>
- [26] Papadimitroulas P. (2012). A dose point kernel database using GATE Monte Carlo simulation toolkit for nuclear medicine applications: Comparison with other Monte Carlo codes. *Med. Phys.* 39(8), 5238–5247.
- [27] Maigne L. (2011). Comparison of GATE/GEANT4 with EGSnrc and MCNP for electron dose calculations at energies between 15 keV and 20 MeV. *Phys. Med. Biol.* 56(3), 811–827.
- [28] Botta F. et al. (2011). Calculation of electron and isotopes dose point kernels with fluka Monte Carlo code for dosimetry in nuclear medicine therapy, *Med. Phys.* 38(7), 3944–3954.
- [29] RADAR Decay Data (2021). Reuperado: <http://www.doseinfo-radar.com/RADARDecay.html>
- [30] Simpkin D. y Rockwell T. (1990). EGS4 Monte Carlo determination of beta dose kernel in water. *Medical Physics* 17(2), 179-186.

# Biofiltración para la mitigación de gases de efecto invernadero

Catalina Janine Moreno Jiménez<sup>1</sup>

Elsa Marcela Ramírez López<sup>2</sup>

*Universidad Autónoma de Aguascalientes*

México

Las principales fuentes de contaminación atmosférica están representadas por los procesos industriales, las cuales emiten una gran diversidad de compuestos orgánicos volátiles COVs hacia la atmósfera. El tolueno es uno de estos COVs y es uno de los solventes más usados a nivel industrial que, dada su toxicidad, genera diversos problemas a la salud humana y ambiental, pero se ha observado que se puede mitigar su concentración mediante el uso de procesos biológicos. El presente estudio tuvo como objetivo cuantificar la adsorción de tolueno en vaina de cacahuete, empleado como material de empaque en un biofiltro, y determinar la eficiencia de eliminación del tolueno y metanol en el biorreactor por los microorganismos nativos de la vaina. Las características fisicoquímicas de la vaina de cacahuete consideradas fueron la densidad, humedad, capacidad de retención de agua, humedad, porosidad y pH. Así como la cinética de adsorción del tolueno en la vaina de cacahuete, en un sistema por lote, a concentraciones de 10, 15 y 20 ppm. La biofiltración se desarrolló en un biofiltro de acero inoxidable alimentado con metanol ( $4485 \text{ g.m}^{-3}$ ), y tolueno ( $122 \text{ g.m}^{-3}$ ) durante 23 días. Los resultados mostraron que la vaina de cacahuete presentó adecuadas características fisicoquímicas, y una adsorción del tolueno, para las diferentes concentraciones del 45 %. Y la eficiencia de eliminación del metanol y el tolueno fue mayor al 99 %. La vaina de cacahuete fue un material de baja adsorción, y favoreció el crecimiento de microorganismos para la degradación del metanol y el tolueno.

---

<sup>1</sup> Ingeniera Bioquímica.

Contacto: [catalina.moreno@edu.uaa.mx](mailto:catalina.moreno@edu.uaa.mx)

<sup>2</sup> Doctora en Química y Microbiología del agua.

Contacto: [marcela.ramirezl@edu.uaa.mx](mailto:marcela.ramirezl@edu.uaa.mx)

## 1. INTRODUCCIÓN

Los gases de efecto invernadero GEI conforman la capa que cubre al planeta para mantener una temperatura adecuada de aproximadamente 18°C. La presencia de contaminación atmosférica por parte de compuestos como el dióxido de carbono atmosférico, metano, óxido nitroso, compuestos orgánicos volátiles COVs, entre otros, en concentraciones tales que influyen en el clima, pueden constituir un riesgo a la calidad de vida de un ecosistema [1, 2]. Los COVs son precursores que forman contaminantes secundarios [3, 4] y pueden ser emitidos por fuentes naturales y antropogénicas; en su mayoría son liberados a la atmósfera como resultado de las actividades humanas, las fuentes donde se emiten van desde las móviles, fijas y aéreas como lo son los gases de escape de los vehículos motorizados, la actividad industrial, el uso de disolventes y la agricultura. Con respecto a las fuentes móviles, las emisiones de los vehículos de motor tienen efectos más negativos en la calidad del aire por presencia de benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos y trimetilbenceno, que son considerados como cancerígenos o potencialmente cancerígenos de acuerdo a la OMS [5].

El tolueno es uno de los solventes más utilizados a nivel industrial, con propiedades tóxicas que varían desde la irritación de mucosas oculares y tracto respiratorio, cefaleas y manifestaciones motoras, así como hepatotoxicidad, por lo que la exposición de trabajadores que lo utilizan debe ser limitada y monitoreada [6]. El tolueno se encuentra de forma natural en el petróleo crudo y en el árbol de Tolú. En la industria se produce en la manufactura de gasolina, coque de carbón y otros combustibles. Es emitido a la atmósfera en el humo de combustión de los automóviles, solventes, esmalte de uñas, laca, adhesivos y caucho y en algunos procesos de impresión y curtido de cuero, entre otros [5]. Debido a su accesibilidad, bajo costo y al desconocimiento de los daños que puede causar, ocupa el segundo lugar como droga de inicio común (4,6%), sin incluir el alcohol y tabaco.

El tolueno se utiliza de forma más temprana con respecto al empleo de otras sustancias, lo que condiciona una tendencia al consumo de una segunda y tercera droga y por consiguiente una posible muerte súbita por el abuso de esta sustancia y mezclarla con otras. Ya sea por un contacto con esta sustancia de manera intencionada o accidental, una exposición a altas cantidades de tolueno por un periodo de tiempo prolongado puede conducir a afecciones sistémicas en el cuerpo humano y a una muerte fatal [7].

Este compuesto orgánico puede ser liberado al aire, el agua y el suelo en lugares donde se produce o usa, se encuentra comúnmente en el aire, especialmente cuando hay mucho tráfico de vehículos. Puede entrar a aguas de superficie y al agua subterránea (pozos) cuando se derraman solventes o productos de petróleo, también puede filtrarse desde tanques de almacenamiento bajo tierra en gasolineras y otras industrias [8]. A pesar de la toxicidad de este compuesto, algunos microorganismos son capaces de utilizarlo como única fuente de carbono y energía. Existen varios reportes de la degradación de este compuesto con bacterias, específicamente en procesos de conversión biológica, y se ha probado que los hongos también son capaces de degradar altas concentraciones de tolueno en sistemas como los biofiltros [9].

La biofiltración es una de las tecnologías más económicas, en especial para el tratamiento eficiente de grandes flujos de aire poco contaminados. El campo de aplicación de la biofiltración está principalmente enfocado a la eliminación de olores y al tratamiento de efluentes que contienen bajas concentraciones de compuestos orgánicos volátiles. Un factor importante es que la biofiltración es un proceso que aprovecha la capacidad de los microorganismos para oxidar los COVs, compuestos orgánicos parcialmente oxidados o compuestos minerales reducidos [10]. Su principio consiste en la utilización de un material orgánico o inorgánico, que sirve de soporte físico y, en algunos casos, como fuente de nutrientes para una población de microorganismos. El aire contaminado atraviesa el medio o lecho y se depura, debido a la actividad biológica, arrojando subproductos inocuos y de fácil asimilación (agua, biomasa y CO<sub>2</sub>) [11]. Los microorganismos crecen sobre la superficie del soporte formando una biopelícula, en donde se lleva a cabo la eliminación del contaminante gaseoso [12].

Una de las formas de evaluar la biodegradación de compuestos como tolueno, xileno y fenoles es la detección de la reducción de la concentración del contaminante; para esto se usa cromatografía de gases CG, cromatografía líquida de alto desempeño (HPLC) y espectrofotometría de masas; existen otras formas

indirectas para la evaluación de biodegradación, entre estas la determinación del consumo de oxígeno, aumento en la concentración de dióxido de carbono, aumento de la biomasa y subproductos, entre otras [13]. El objetivo del presente trabajo de investigación fue estudiar la adsorción de tolueno en la cáscara de cacahuate empleado como material de empaque de un biofiltro, y cuantificar la eficiencia de eliminación del tolueno y metanol en el biorreactor.

## 2. MÉTODO

El desarrollo experimental consistió en la determinación de las características fisicoquímicas de la vaina de cacahuate, la cinética de adsorción de tolueno, y el estudio de biofiltración empleando a dos contaminantes modelo: el metanol y el tolueno, cuantificando el porcentaje de eficiencia de eliminación, y observar al microscopio los microorganismos que pudieron estar presentes en la formación de la biopelícula en el material de empaque.

### 2.1 Análisis fisicoquímico de la vaina de cacahuate

El análisis fisicoquímico de la vaina de cacahuate, subproducto de la agroindustria local, consistió en determinar la densidad, porosidad, contenido de humedad, capacidad de retención de agua, y pH, todas estas pruebas se realizaron por quintuplicado.

- *Densidad.* La densidad fue determinada adicionando la vaina de cacahuate necesaria para llenar una probeta a nivel de 1 L, y calculada por diferencia de peso.
- *Porosidad del lecho.* La vía para determinar la porosidad fue medir la diferencia de volúmenes de 1 L de la vaina de cacahuate y el volumen de los espacios vacíos dentro de este material, empleando agua para cubrirlos.
- *Porcentaje de humedad.* La cuantificación de la humedad de la vaina del cacahuate, tal como se obtiene de la agroindustria, se llevó a cabo secando en la estufa durante 24 horas a una temperatura de 95°C hasta peso constante.
- *Determinación de la capacidad de retención de agua.* Una masa de 50 g de vaina de cacahuate vaciado en un vaso de precipitados de 500 mL, fue inmersa en agua corriente, cubriendo totalmente a las vainas, y dejando durante dos tiempos diferentes 4 y 24 horas. Después del tiempo de inmersión asignado se escurrió el agua y se pesó el material húmedo.
- *Determinación del pH.* El pH fue medido empleando un potenciómetro marca Denver, pesando 10 g de vaina de cacahuate en un vaso de precipitados de 500 mL, adicionando 150 mL de agua destilada. La mezcla se agitó durante 15 min.

### 2.2 Cinética de adsorción de tolueno

La adsorción del tolueno en la vaina de cacahuate seca (tal y como se recibe) se desarrolló por triplicado, en reactores de vidrio de aproximadamente 1.2 L, suspendiendo a su interior una canastilla en acero al carbón porosa, conteniendo aproximadamente 3 g de material. Las concentraciones de tolueno empleadas fueron de 10, 15 y 20 ppm. El estudio se hizo a condiciones ambientales, a una temperatura de 22°C ± 3. La cuantificación del tolueno no adsorbido por el material de empaque se realizó por cromatografía de gases, empleando un cromatógrafo Perkin Elmer AutoSystem con detector de ionización de flama (FID, por sus siglas en inglés), y equipado con una columna capilar. La capacidad de adsorción del tolueno en la vaina de cacahuate se determinó empleando el modelo de Freundlich, ecuación (1).

$$q_e = kC^n \quad (1)$$

Donde:

$q_e$ : relación adsorbato/adsorbente en el equilibrio (g de adsorbato/kg de adsorbente)

C: concentración de adsorbato en la fase gaseosa (g/m<sup>3</sup>)

K, n: constantes empíricas que dependen de la naturaleza del sólido, del adsorbato, y de la temperatura

## 2.3 Operación del biofiltro

El biofiltro empleado fue construido en acero inoxidable de aproximadamente 10 L de volumen, como se muestra en la Figura 1. El biorreactor fue empacado con la vaina de cacahuate húmeda hasta una altura de lecho de 0.25 m. El gas influente contaminado con metanol y tolueno fue con un flujo de 16 LPM, medido con un rotámetro marca SKC. Para mantener la humedad del material de empaque de manera intermitente se alimentó un flujo de agua de aproximadamente 12.5 mL.h<sup>-1</sup>, evitando la presencia de lixiviados. La concentración empleada de metanol fue de 4485 g.m<sup>-3</sup>, y para el tolueno de 122 g.m<sup>-3</sup>. Y fueron gasificados empleando una botella lavadora de gases marca Kimax de vidrio, uniéndose a la corriente de aire influente al biofiltro. En el gas efluente se midieron las concentraciones de ambos contaminantes.



Figura 1. Biofiltro empacado con vaina de cacahuate para la degradación de metanol y tolueno

- *Eficiencia de eliminación del metanol y tolueno.* Las muestras del efluente gaseoso del biofiltro se tomaron cada 24 horas, en un bulbo de vidrio de 1 L de volumen, dejando pasar el gas durante 15 a 20 minutos. La muestra tomada se inyectó al cromatógrafo de gases Perkin Elmer AutoSystem equipado con un detector FID. La eficiencia de eliminación del biofiltro se determinó en porcentaje, empleando la ecuación (2).

$$EE (\%) = \frac{C_e - C_s}{C_e} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

EE: eficiencia de eliminación del contaminante modelo, expresado en porcentaje

C<sub>e</sub>: concentración del compuesto a la entrada (ppm)

C<sub>s</sub>: concentración del compuesto a la salida (ppm)

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 3.1 Análisis fisicoquímico del material de empaque

Los resultados del análisis fisicoquímico de la vaina de cacahuate se pueden observar en la Tabla 1. El valor de la densidad aparente fue de 73.9 ± 5.7 kg.m<sup>-3</sup> y como mencionan [14] la vaina es un material liviano y, debido a su geometría cóncava, permite el alojamiento de importante cantidad de aire en su interior, lo que permitió tener un material de empaque ligero, y de esta forma el peso del biofiltro no se incrementó de manera importante. Como mencionan [15] al tener vainas de cacahuate los suficientemente grandes probablemente permitió la permeación del líquido y gas.

Tabla 1. Valores de las variables fisicoquímicas de la vaina de cacahuate empleada como material de empaque.

| Variable  | Valor         |
|---|---------------|
| Densidad aparente (kg.m <sup>-3</sup> )                             | 73,9 ± 5,7    |
| Porosidad del lecho   | 0,83 ± 0,01   |
| Humedad (%)   | 5,51 ± 0,2    |
| Capacidad de retención de agua a un tiempo de inmersión de 4 horas  | 31,67 % ± 1,8 |
| Capacidad de retención de agua a un tiempo de inmersión de 24 horas | 45,7 % ± 0,85 |
| pH (unidades)   | 6,4           |

De acuerdo con [10, 14] la forma de la vaina permite una buena porosidad del lecho, en este estudio se obtuvo un valor de  $0,83 \pm 0,01$ , adecuado para un reactor empacado, lo que permitió una baja caída de presión y el espacio adecuado para el desarrollo tanto de los microorganismos, así como para que se pueda dar un proceso de sorción tanto del líquido como del gas entre las capas de la vaina.

En el caso de la humedad de la vaina de cacahuate tal como se recibe fue de  $5,51 \% \pm 0,2$ , valor relativamente bajo, indicando que los poros de la vaina estén menos ocupados, lo que favorece la atracción o interacción entre los poros del material y el adsorbato [14].

La capacidad de retención de agua CRA para las 4 horas de inmersión fue del  $31,67 \% \pm 1,8$ , y a las 24 horas de  $45,7 \% \pm 0,85$ , valor adecuado como lo mencionan [16], que se encuentra entre el 40 al 60%, como mencionan [15] las primeras dos a cuatro horas se absorbe la mayor cantidad de agua y esto permitió el desarrollo y crecimiento de los microorganismos. De acuerdo a la CRA fue necesario humedecer al material de empaque, con agua corriente, durante la operación del biofiltro. Esta variable fue un indicativo de que el sistema tendió a saturarse rápidamente, por lo que la vaina probablemente pudo adsorber rápidamente al contaminante y el resto lo comenzará a difundir a lo largo de todo el sistema, permitiendo así la interacción entre los microorganismos y el adsorbato, así como una interacción constante entre el adsorbato y el adsorbente [15, 16].

El valor de pH de la vaina fue de 6.4 unidades, adecuado para un material de empaque orgánico para emplearse en un biofiltro, donde generalmente se requiere entre 6 y 7 unidades [16], y la biopelícula formada sobre la superficie del material de empaque estará conformada principalmente con una gran diversidad de bacterias [13]. Bajo condiciones ácidas, pH entre 4 y 5 unidades, permite la formación de una biopelícula de hongos microscópicos y algunas bacterias resistentes, como lo mencionan [17] para la biodegradación del tolueno.

### 3.2 Cinética de adsorción

La adsorción del tolueno en la vaina de cacahuate se llevó a cabo en reactores *batch* empleando concentraciones de 10 ppm, 15 ppm y 20 ppm. En las primeras dos horas la adsorción, a las diferentes concentraciones experimentales, en el cual la concentración inicial comenzó a descender paulatinamente hasta alcanzar el punto máximo de adsorción (Figura 2), llevándose a cabo muy lentamente, comparado con el nivel de adsorción en textiles impregnados con carbón activado [18]. La adsorción a una concentración de 20 ppm, en la primera hora, fue de 7,7 ppm y para la segunda se mantuvo casi constante.

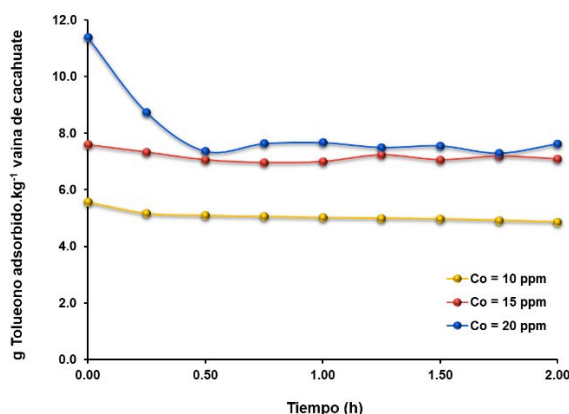


Figura 2. Cinética de adsorción de tolueno en vaina de cacahuate durante el primer par de horas de operación

Con el fin de observar el comportamiento de este mecanismo físico bajo un tiempo de operación prolongado, simulando la operación en un biofiltro, se trabajó por más de 500 horas, hasta llegar a un equilibrio de la adsorción del tolueno en la vaina de cacahuate (Figura 3). El comportamiento bajo las tres concentraciones experimentales fue similar en cada una de ellas. Observándose que una vez que pasan las dos primeras horas comienza un proceso de desorción, por lo que al continuar el proceso de adsorción - desorción del tolueno llega a un punto de equilibrio, a las 550 horas. Estos dos procesos se pueden observar

en las tres diferentes concentraciones experimentales, presentando una adsorción para las concentraciones de tolueno de 10 y 20 ppm de aproximadamente el 44,5 %, a diferencia de las 15 ppm donde se adsorbió un 49 %. Esto nos indica como mencionó [15] la estructura y forma de la vaina de cacahuate permite tener una mejor adsorción y absorción, por la difusión que se puede presentar en los poros de la vaina, no siendo tan elevado como en el carbón activado [18]. Y estos mecanismos de adsorción – desorción favorecen la disponibilidad de la fuente energética necesaria para los microorganismos presentes en la biopelícula en el biofiltro [16].

La capacidad de adsorción del tolueno por la vaina de cacahuate fue para una concentración inicial de 10 ppm ( $10 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ ), la cantidad de tolueno adsorbido en el equilibrio fue de  $5,50 \text{ g tolueno}\cdot\text{kg}^{-1}$  de vaina de cacahuate, para  $15 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$  fue de  $7,6 \text{ g tolueno}\cdot\text{kg}^{-1}$  de vaina de cacahuate, y para  $20 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$  en el equilibrio se obtuvo una adsorción de  $11 \text{ g tolueno}\cdot\text{kg}^{-1}$  de vaina de cacahuate.

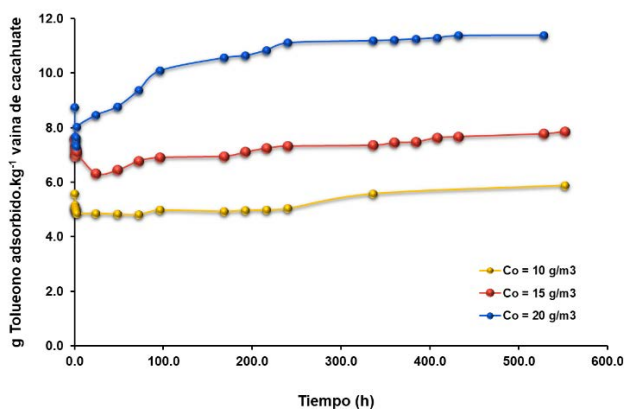


Figura 3. Cinética de adsorción de tolueno en vaina de cacahuate

Empleando el modelo de Freundlich para determinar la capacidad de adsorción de la vaina de cacahuate seca, bajo las concentraciones de estudio, el valor de la constante de Freundlich fue de  $2 \text{ g tolueno}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{g}^{-1}$  de vaina mostrando la baja capacidad de adsorción del material comparado con los valores obtenidos en textiles impregnados con carbón activado [18] de  $184 \text{ g}^{0.75} \text{ tolueno}\cdot\text{m}^{-3/4}\cdot\text{g}^{-1}$ ; y se puede suponer que el comportamiento de la adsorción fue aproximadamente lineal, al presentar un valor de "n" de 1,04.

### 3.3 Operación del biofiltro

Como se puede observar en la Figura 4, la eficiencia de eliminación del metanol y del tolueno fue superior al 99% con un tiempo de operación de aproximadamente 23 días, el biofiltro no fue inoculado, y el tiempo de residencia del contaminante dentro del biofiltro fue de aproximadamente 32,5 segundos. Para una concentración de tolueno de  $122 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$  por lo que la eficiencia de eliminación fue buena comparada con lo reportado por [19]. La concentración de metanol alimentado al biofiltro fue de  $4485 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$  concentración elevada para las concentraciones experimentales que comúnmente se emplean, y donde se obtuvo la eliminación superior al 90%.

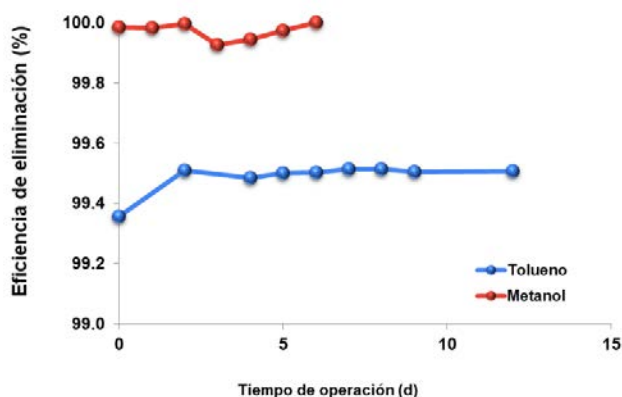


Figura 4. Eficiencia de eliminación del metanol y el tolueno en un biofiltro empacado con vaina de cacahuate

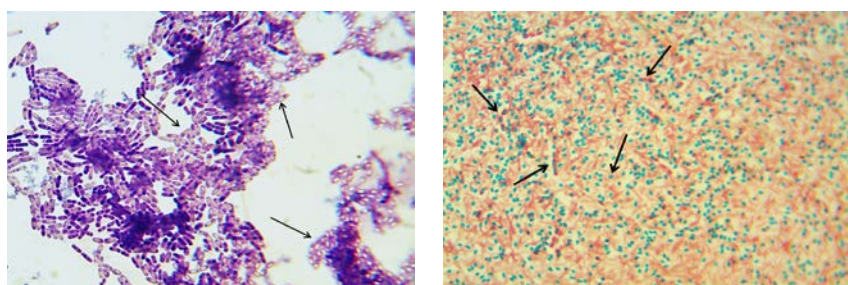


En ambos contaminantes se pudo observar como la biopelícula formada en la superficie de la vaina de cacahuate empleada como material de empaque funcionó de forma adecuada, favorecida por las variables ambientales, manteniendo una temperatura promedio de 20°C y una humedad relativa del material de empaque entre 35 y 40 %. Para mantener la humedad relativa se estuvo inyectando agua y así favorecer el crecimiento y desarrollo de las bacterias presentes en la vaina. Un estudio realizado por [13] menciona las rutas metabólicas desarrolladas por cepas de bacterias que degradan el tolueno, así mismo, [17] mencionan dos especies de hongos que pueden degradar el tolueno pero este procedimiento lo realizaron a condiciones de pH de 4.5 unidades que es un nivel de acidez que permite el crecimiento principal de hongos u otro tipo de bacterias resistentes, y [20] hace referencia a la microbiota que es común encontrar en la vaina de cacahuate, y principalmente se desarrollan más especies variadas de bacterias que de hongos.

La cáscara de cacahuate al estar formada en su gran mayoría por celulosa [21], dado que es un compuesto altamente hidrofílico y el biofiltro estuvo en constante humidificación, la probabilidad de que la cáscara tuviera más afinidad por adsorber la humedad del medio fue alta, esto podía generar que en el proceso de difusión del tolueno la cáscara tuviera los huecos o poros ocupados por la humedad del medio. Por otro lado, si esta interacción cáscara-agua se daba en mayor proporción, el tolueno, al ser hidrofóbico, probablemente tuvo poca interacción con la cáscara, y como se mostró con el modelo de Freundlich, la vaina de cacahuate es poco adsorbente de tolueno, por lo que, la presencia de la diversidad de microorganismos presentes en la biopelícula, permitió el metabolismo del tolueno, como lo descrito por [13, 19] por los microorganismos.

Sin embargo, dado que la inyección de tolueno fue justo a las 24 horas de haber finalizado la alimentación del metanol, se puede plantear una posible interacción agua-metanol-tolueno, formando así una tricapa de compuestos que estuvieron en contacto con la vaina. Dado que el metanol se eliminó en más del 99%, es factible que el remanente se mezcló con el agua presente sobre la vaina, por la elevada solubilidad del metanol en ésta, y, dado que el tolueno es parcialmente soluble con el metanol, con esta interacción el tolueno eventualmente fue capaz de mantenerse en contacto con el material de empaque, lo suficiente para que pudiera sorberse, y al estar en contacto directo con la biopelícula, los microorganismos emplearon a estos contaminantes como fuente energética, eliminándolos del gas contaminado alimentado al biofiltro. Para asegurarse de que el efecto de eliminación fuera por procesos biológicos y que los resultados de una baja concentración no fueran únicamente por la adsorción del contaminante se hizo un análisis general de la microbiota de la biopelícula desarrollada en el biofiltro. Al no ser inoculado el biorreactor se permitió el crecimiento de cualquier especie de bacteria, hongo o levadura que pudiera estar presente por naturaleza en la cáscara o que se fuera adhiriendo por el medio ambiente y que se adaptó a las condiciones de humedad, temperatura, pH y concentración del contaminante.

Para poder observar lo anteriormente mencionado, al inocularse en agar nutritivo, agar bacteriano, y papa-dextrosa PDA, se observaron alrededor de 18 colonias diferentes. Las colonias proliferaron más en el medio nutritivo y en el PDA. Las colonias aisladas presentaron una morfología celular diferente, un tamaño entre 2 y 3 mm, de forma irregular con borde ondulado, transparentes y sin brillo, no pigmentadas (color crema) y de textura lisa, planas y de consistencia suave. Observaciones al microscopio (Figura 5) mostraron que las cepas aisladas fueron principalmente bacilos alargados y en agrupación de estreptobacilos, en la tinción diferencial de las colonias aisladas se observaron bacterias Gram positivas y formadoras de esporas libres y centrales no deformantes con excepciones. No se observó la presencia de hongos microscópicos.



**Figura 5.** Bacterias Gram positivas con esporas centrales no deformantes y observación de las esporas libres y centrales con verde de malaquita

Se realizaron pruebas de identificación bioquímica mediante el uso de tiras reactivas API 20 A y API 20 NE observando los resultados obtenidos a las 24 y 48 horas de incubación de la tira. El programa de identificación arrojó que la bacteria dominante en el biorreactor fue *Clostridium spp.*, dicha especie de bacteria concuerda con las características tanto morfológicas vistas en microscopio como con el resultado de la tinción diferencial y el crecimiento en el medio de cultivo. El efecto de la eliminación de un contaminante por la acción de un microorganismo depende mucho de la concentración del contaminante y el medio de crecimiento del microorganismo, si es una cantidad demasiado alta que el microorganismo no pueda soportar, la tasa de eliminación va a ser muy baja, ya sea porque hay una alta concentración de sustrato o porque el contaminante afecta la reproducción y condiciones de vida del microorganismo, por otro lado, si la concentración del contaminante es baja, la tasa de eliminación será muy alta y el microorganismo puede quedarse sin sustrato para su crecimiento. Se ha mencionado ya con anterioridad que el tolueno es una sustancia volátil altamente tóxica y es potencialmente cancerígena, por lo tanto, estar en contacto prolongado puede traer muchas consecuencias a la salud humana; *Clostridium spp.* y algunas especies similares son altamente capaces de eliminar este compuesto.

Como ya se ha observado en los resultados, *Clostridium spp.* generó una eficiencia de eliminación cercana al 100% dentro del biofiltro dado que tenía todas las condiciones favorables de crecimiento, aparte de que el medio de adsorción generó un buen espacio de almacenamiento del contaminante favoreciendo que los microorganismos lo tuvieran como fuente de carbono; [22], en su estudio de identificación de bacterias con capacidad para degradar hidrocarburos totales del petróleo HTP, menciona que *Clostridium spp.* junto con otro consorcio de bacterias son altamente capaces de degradar los hidrocarburos totales o derivados del petróleo, entre estos derivados se encuentra el tolueno, por lo que la bacteria resultante de nuestro estudio fue capaz de degradar al compuesto modelo.

#### 4. CONCLUSIONES

Las características fisicoquímicas, densidad aparente, capacidad de retención de agua, humedad relativa y pH de la vaina de cacahuate fueron adecuadas para emplearse como material de empaque en el biofiltro. La adsorción del tolueno en la vaina de cacahuate fue baja, presentando una constante de Freundlich de 2 g tolueno.m<sup>-3</sup>.g<sup>-1</sup> de vaina.

El biofiltro empacado con la cáscara de cacahuate, sin inocular, presentó una eficiencia de eliminación superior al 99 % tanto para el metanol como para el tolueno, indicando que los microorganismos que crecieron en el interior del reactor, y formando la biopelícula en la superficie del material de empaque tuvieron las condiciones ambientales adecuadas para eliminarlos.

Las condiciones de operación ambientales como la temperatura, humedad relativa, y pH, en el biofiltro, permitieron que los microorganismos fueran capaces de eliminar al metanol y tolueno, empleados como contaminantes modelo.

La eliminación de estos contaminantes, metanol y tolueno, empleados ampliamente en las diferentes actividades industriales, permitió mitigar gases de efecto invernadero.

#### REFERENCIAS

- [1] Ministerio del Medio Ambiente. (2016). Guía de calidad del aire y educación ambiental. Gobierno de Chile.
- [2] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2021. Climate change 2021. The physical science basis. IPCC AR6 WGI.
- [3] Gkatzelis G. et al. 2021. Identifying volatile chemical product tracer compounds in U.S. cities. Environ. Sci. Technol. 55, 188-199.
- [4] Universidad de Buenos Aires (UBA). (2013). Contaminación Atmosférica. Recuperado: <https://www.agro.uba.ar/users/semmarti/Atmosfera/contatmosf.pdf>
- [5] Diego V. (2017). Estimación de emisiones y medición de la calidad del aire por benceno y tolueno debido a las operaciones del recinto portuario de Veracruz, México. Universidad Nacional Autónoma de México.
- [6] Rodríguez C. (2020). Intoxicación por tolueno. Medicina Legal de Costa Rica 37(2), 134-145.

- [7] Piedad R. et al. (2020). Intoxicación y muerte por inhalación de tolueno: revisión de caso postmortem. *Rev Mex Med Forense* 5(1), 1-10.
- [8] Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). (2015). Resumen de Salud Pública: Tolueno. Recuperado: [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs56.pdf](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs56.pdf)
- [9] García I. et al. (2001). Degradación de tolueno con hongos. Recuperado: [https://smbb.mx/congresos%20smbb/veracruz01/TRABAJOS/AREA\\_VI/CVI-28.pdf](https://smbb.mx/congresos%20smbb/veracruz01/TRABAJOS/AREA_VI/CVI-28.pdf)
- [10] Thalasso F. y Pineda R. (2002). Biofiltración: tratamiento biológico de aire contaminado. *Avance y Perspectiva* 21, 325-327.
- [11] Jiménez E. y Villegas A. (2005). Diseño de un sistema de biofiltración para la remoción de estireno. *Revista EIA* 1(3), 9-20.
- [12] Gutiérrez O. (2009). Efecto del material de empaque en la biofiltración de una mezcla de vapores de hexano, tolueno y metil-etil-cetona. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnología.
- [13] Suárez L. (2004). Degradación de tolueno y xileno por bacterias nativas colombianas y detección de los genes *todA* y *xykB*. Tesis de maestría. Universidad de los Andes.
- [14] Jiménez P. et al. (2019). Caracterización de la cáscara de maní procedente de la provincia de Córdoba, Argentina. *Revista Argentina de Ingeniería* 7(13), 71-78.
- [15] Granero V. et al. (2013). Determinación de la influencia del tamaño y forma de partículas de cáscaras de maní en paneles aglomerados. *Quebracho* 1(1,2), 67-80.
- [16] Devinny J. et al. (1999). *Biofiltration for air pollution control*. CRC-Lewis Publishers.
- [17] García I. et al. (2001). Degradación de Tolueno con Hongos. *Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería*. Recuperado: [https://smbb.mx/congresos%20smbb/veracruz01/TRABAJOS/AREA\\_VI/CVI-28.pdf](https://smbb.mx/congresos%20smbb/veracruz01/TRABAJOS/AREA_VI/CVI-28.pdf)
- [18] Subrenat A. (1999). *Procédés de traitement d'air chargé en COV par adsorption - désorption sur tissu de carbone activé*. Thèse de Doctorat. Université de Nantes.
- [19] Zilli M. et al. (2000). Toluene vapour removal in a laboratory-scale biofilter. *Appl. Microbiol Biochemical* 54, 248-254.
- [20] Pineda R. et al. (2001). Degradación de metanol por la microbiota nativa de la cáscara de cacahuete. *Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería*. Recuperado: [https://smbb.mx/congresos%20smbb/veracruz01/TRABAJOS/AREA\\_VI/SVI-2.pdf](https://smbb.mx/congresos%20smbb/veracruz01/TRABAJOS/AREA_VI/SVI-2.pdf)
- [21] Gatani M. et al. (2010). Materiales compuestos de cáscaras de maní y cemento. Influencia de diferentes tratamientos químicos sobre las propiedades mecánicas. *Materiales de Construcción* 60(298), 137-147.
- [22] García I. (2016). Caracterización metagenómica de sedimentos marinos para la identificación de bacterias con capacidad para degradar hidrocarburos totales del petróleo (HTP). Centro de Identificación Científica de Yucatán.

# Herramientas para sostenibilidad agroambiental del sector cafetero por impactos generados durante el beneficio del café

Paula Julissa Calderón Ortega<sup>1</sup>

Yicenia Marcela García Parra<sup>2</sup>

Paula Martínez Silva<sup>3</sup>

Víctor Alfonso Ramírez Losada<sup>4</sup>

Luis Alexander Carvajal Pinilla<sup>5</sup>

*Corporación Universitaria del Huila*  
Colombia

La producción del café está compuesta por procesos que generan residuos contaminantes que afectan el entorno natural, porque en el procesamiento del grano, fase del beneficio, se vierten residuos de pulpa y mucílago a ecosistemas aledaños, alterando el medio ambiente. Dado que el café ocupa un renglón importante en la economía regional y nacional, las afectaciones a los recursos naturales son constantes, por lo tanto, es necesario establecer herramientas con buenas prácticas que permitan mitigar y conservar el paisaje cafetero y contribuir a la sostenibilidad agroambiental. Este estudio se desarrolló en dos etapas: 1) un diagnóstico de la situación agroambiental de una zona cafetera con alta productividad mediante los siguientes dos componentes: a) identificación y evaluación de impactos ambientales a través de encuesta, lista de chequeo y matriz de impactos, y b) caracterización fisicoquímica del suelo post beneficio del café en dos sitios de muestreo; y 2) generación de estrategias agroambientales con la inclusión de medidas de manejo ajustadas al diagnóstico registrado. En las 30 fincas productivas visitadas se halló baja conectividad ecosistémica con presencia de especies tradicionales del paisaje cafetero colombiano, por otra parte, se registró vertimiento de aguas residuales a la fuente hídrica más cercana y contaminación puntual al suelo con residuos del despulpado del café. Se evidenciaron aspectos ambientales como consumo de agua, emisión de malos olores, generación de residuos aprovechables y vertimiento de aguas residuales. Se identificaron 12 impactos ambientales, nueve negativos, siendo el de mayor significancia la contaminación de aguas superficiales y subterráneas, y tres impactos positivos, siendo la generación de empleo el más significativo. En cuanto al análisis de suelo, en el sitio de muestreo cercano al beneficiadero todos los parámetros se encontraron en muy alta concentración; en el segundo sitio los parámetros materia orgánica, nitrógeno y manganeso fluctuaron en niveles medio y bajo. A partir de estos resultados se diseñaron cinco estrategias agroambientales: educación ambiental, beneficio del café eco-amigable, aprovechamiento de subproductos, manejo de vertimientos y conservación de sistemas agroambientales; entre las acciones a desarrollar se encuentran capacitaciones, talleres, biosistemas y uso de tecnologías. La recirculación y aprovechamiento de los residuos generados en el proceso del beneficio del café planteados en las estrategias permitirá la elaboración de subproductos y disminuir la contaminación ambiental en el paisaje cafetero.

---

<sup>1</sup> Ingeniera Ambiental.

Contacto: [pj-calderono@corhuila.edu.co](mailto:pj-calderono@corhuila.edu.co)

<sup>2</sup> Ingeniera Ambiental.

Contacto: [ym-garciap@corhuila.edu.co](mailto:ym-garciap@corhuila.edu.co)

<sup>3</sup> Bióloga y Magíster en Ciencias Biológicas.

Contacto: [paula.martinez@corhuila.edu.co](mailto:paula.martinez@corhuila.edu.co)

<sup>4</sup> Ingeniero Ambiental y Magíster en Ingeniería y Gestión Ambiental.

Contacto: [victor.ramirez@corhuila.edu.co](mailto:victor.ramirez@corhuila.edu.co)

<sup>5</sup> Biólogo y Magíster en Biología.

Contacto: [luis.carvajal@corhuila.edu.co](mailto:luis.carvajal@corhuila.edu.co)

## 1. INTRODUCCIÓN

Las diversas etapas de producción del café generan afectaciones a los ecosistemas terrestres o acuáticos, especialmente durante el beneficio en el procesamiento del grano, situación que produce impactos negativos sobre la sostenibilidad de recursos hídricos de una región, de acuerdo con [1]. Se destaca que, la carga contaminante sobre estos ecosistemas se debe al exceso de los residuos tales como la pulpa o el mucílago, que se generan durante el proceso del beneficio del café debido a las técnicas empleadas de despulpado o lavado, que en la mayoría de los casos son vertidos directamente sin ningún tratamiento, como lo afirman [2, 3] implica efectos adversos en el entorno ambiental o en la conectividad de los diferentes sistemas naturales.

El café ocupa un renglón importante en la economía de muchos países productores debido al alto consumo a nivel mundial según [4]; actualmente, de acuerdo con [5] se encuentra en auge la preferencia al café que durante los procesos de producción se enfocan hacia el desarrollo sostenible mediante la aplicación de buenas prácticas agroambientales.

En Colombia, la llegada del café inició con el ingreso de semillas por parte de los Jesuitas en 1730, la primera zona cafetera fue establecida en la zona oriental del país, registrándose la primera producción comercial en el año de 1835 y a mediados del siglo XIX se llevó la primera exportación, según [6]. El café es uno de los productos agrícolas que ocupa los primeros lugares en nivel de importancia para la economía colombiana; bajo la dirección de la Federación Nacional de Cafeteros, se llevan a cabo aspectos de regulación, avances investigativos con diversos aportes que se puedan generar en el diseño de buenas prácticas durante los procesos de producción para los caficultores como lo menciona [7].

La alta productividad de café en regiones agrícolas lleva a un incremento de consumo de recursos naturales que de no ser tratados de forma adecuada puede afectar significativamente el equilibrio del medio ambiente de acuerdo con [1, 8-10], es por ello que, según [11, 12] se debe ejercer una gestión ambiental integral que controle o prevenga los efectos adversos a través de medidas de manejo aplicables; [3, 13] indican que en el mediano plazo llevará a una adecuada preservación ambiental y acorde con [14-16] en el largo plazo a una sostenibilidad del territorio con una estabilidad socioeconómica para los caficultores.

En la producción de café a nivel nacional, en [17, 18] la región del Huila ha sido catalogada como el nuevo eje cafetero desde hace una década por su calidad en taza o producción de cafés especiales, debido a las condiciones climáticas junto con la fertilidad del suelo de las cordilleras central u oriental que rodean este territorio, así como, la aplicación de desarrollos técnicos e investigativos para la obtención del grano del café. Dado lo anterior, es de suma importancia que en esta región se establezcan herramientas para vincular buenas prácticas ambientales que permitan la mitigación de la carga contaminante o la conservación de los recursos naturales, a fin de contribuir en la sostenibilidad agroambiental.

## 2. MÉTODO

La investigación se desarrolló en zonas cafeteras del municipio de Santa María del departamento del Huila, ubicadas sobre el flanco oriental de la cordillera central con un rango altitudinal entre los 1.700 a 2.300 m.s.n.m., de acorde con [19], con la participación de 30 unidades productoras o fincas que emplean técnicas similares en el proceso de beneficio del café. Para el desarrollo del estudio fue necesario contemplar dos etapas que permitieron abordar la situación agroambiental a fin de conocer el estado actual de las fincas productivas en café, para posteriormente generar las estrategias agroambientales que contribuyen a reducir los impactos ambientales hallados.

### 2.1 Diagnóstico de la situación agroambiental

#### 2.1.1 Componente 1. Evaluación de impactos ambientales

Las actividades que permitieron realizar el diagnóstico fueron a través del análisis conjunto de entrevistas semi estructuradas en cada una de las fincas cafeteras con el diligenciamiento de lista de chequeo para

identificar los aspectos e impactos agroambientales presentes en el proceso de beneficio del café, teniendo en cuenta la interacción de las actividades con los componentes del agua, el aire, el suelo, la flora, la fauna o la comunidad; finalmente, según [20] se evaluaron los impactos ambientales para determinar la calidad ambiental provocada por el proceso mencionado. La matriz ambiental que, se encuentra en la Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental, la cual consta de un Índice de Significancia S, hallado con la ecuación (1) de Importancia del Impacto o Índice de Incidencia en función a diez atributos.

$$S = \pm(3IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC) \quad (1)$$

Después de obtener el Índice de Significancia S de cada impacto, se agruparon de acuerdo al nivel de significación obtenido con el respectivo rango (Tabla 1).

**Tabla 1.** Niveles de significación con rangos de los impactos ambientales

| Impactos positivos |                             |            |
|--------------------|-----------------------------|------------|
| Símbolo            | Nivel de significación      | Rango      |
| PS                 | Poco significativo          | 13 a 25    |
| MoS                | Moderadamente significativo | 26 a 50    |
| MuS                | Muy significativo           | 51 a 75    |
| AS                 | Altamente significativo     | 76 a 100   |
| Impactos negativos |                             |            |
| ps                 | Poco significativo          | -13 a -25  |
| mos                | Moderadamente significativo | -26 a -50  |
| mus                | Muy significativo           | -51 a -75  |
| as                 | Altamente significativo     | -76 a -100 |

### 2.1.2 Componente 2. Caracterización de suelo post beneficio del café

Dada la acumulación de pulpa de café en áreas no impermeables o con presencia de lixiviados, los cuales se riegan por escorrentía en el terreno de la unidad productora sin controlar esta carga de contaminación, se analizó el nivel de carga de nutrientes del suelo en dos puntos de muestreo con el propósito de recuperar los residuos tratados y disponerlos en los mismos cultivos.

El primer lugar, el sitio de disposición final (punto #1) de la pulpa del café posterior al beneficio, siendo la mayor acumulación de éstos; el segundo lugar, es la zona perimetral al punto #1 de la descarga, que corresponde a una distancia de 10 m aproximadamente en dirección a escorrentía de lixiviados, que en algunos casos es un área que presenta cobertura vegetal.

La toma de muestras se llevó a cabo en el año 2021, mediante la técnica zigzag [21], la cual se realizó de la siguiente manera: 1) limpieza de la cobertura vegetal del área, 2) toma de la muestra, realizando un hueco en forma de V, según el ancho de una pala hasta una profundidad de 30 cm, y 3) empaque de una tajada de suelo de aproximadamente un (1) kg en una bolsa plástica hermética para su análisis en el laboratorio.

Las muestras tomadas fueron analizadas por el Laboratorio Agroambiental de Suelos y Aguas LAGSA ubicado en la ciudad de Neiva, en el cual tuvieron en cuenta los siguientes parámetros fisicoquímicos que hacen parte de los nutrientes esenciales que componen un suelo cafetero: materia orgánica (ppm), nitrógeno (ppm), fósforo (ppm), potasio (meq/100g), calcio (meq/100g), magnesio (meq/100g), azufre (ppm), hierro (ppm), manganeso (ppm), zinc (ppm), cobre (ppm), boro (ppm).

## 2.2 Estrategias agroambientales

De acuerdo con los resultados obtenidos con el Índice de Significancia S junto con los análisis fisicoquímicos de suelo, se establecieron estrategias o acciones que permitirán a los caficultores prevenir, controlar o mitigar los impactos ambientales por las actividades agrícolas propias de las familias productoras. Adicionalmente, se describieron las medidas agroambientales que orientan al mejoramiento en los procesos del beneficio del café. Las estrategias planteadas (Tabla 2) fortalecerá en las familias productoras aspectos de calidad debido a la mejora en la taza del café que producen en sus cultivos.

**Tabla 2.** Modelo de ficha para las estrategias ambientales

|                      |                                |
|----------------------|--------------------------------|
| <b>Ficha No.</b>     | <b>Nombre de la estrategia</b> |
| Programa             |                                |
| Objetivo             |                                |
| Metas                |                                |
| Impactos por manejar |                                |
| Medidas de manejo    |                                |
| Indicadores          |                                |

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

#### 3.1 Diagnóstico de la situación agroambiental

##### 3.1.1 Componente 1. Evaluación de impactos ambientales

En la aplicación de la lista de chequeo a las 30 fincas cafeteras se evidencio que, de la actividad beneficio del café se presentaron los siguientes cuatro aspectos ambientales: 1) consumo de agua, 2) emisión de malos olores, 3) la generación de residuos aprovechables, y 4) el vertimiento de aguas residuales. Lo anterior, permitió identificar 12 impactos ambientales con la descripción de la Tabla.

**Tabla 3.** Descripción de impactos ambientales del beneficio del café, Santa María, Huila

| <b>Impactos</b>   | <b>Descripción</b>   |
|---|--|
| 1. Cambios en el uso del agua.  | El agua generalmente es captada de nacederos o fuentes hídricas cercanas como el Río Bache, tanto para el consumo humano como para riego de cultivos. En el beneficiadero se realiza el proceso en albercas que permiten la remoción del mucilago con tres o cuatro lavados, para este proceso se requiere de aproximadamente 40 litros de agua para obtener un kilo de café pergamino seco. |
| 2. Alteración de la calidad del agua.<br>3. Contaminación de aguas superficiales o subterráneas.  | Proviene de las descargas de aguas residuales provenientes del beneficiadero de café, las cuales son vertidas a aguas superficiales o al entorno, produciendo afectaciones al paisaje natural, al recurso hídrico, a la salud de la población o hasta la propia calidad de los cultivos agrícolas.   |
| 4. Aumento de la carga de sedimentos en cuerpos de agua.<br>5. Destrucción del ecosistema lótico. | Durante el beneficio de café se generan residuos de pulpa de café o lixiviados, los cuales son vertidos a los ecosistemas lóticos sin un adecuado tratamiento, por lo tanto, genera un aumento en la demanda bioquímica de oxígeno o en la carga de sedimentos.  |
| 6. Generación de malos olores.  | Por lo general, la pulpa de café es depositada al aire libre sin ningún aprovechamiento o tratamiento, estos suelen estar cerca al beneficiadero u hogares generando fuertes olores.   |
| 7. Pérdida del paisaje.<br>8. Pérdida de cobertura vegetal.                                       | Los monocultivos han llevado a la deforestación de los bosques andinos de la zona, adicionalmente, la comunidad manifiesta que la práctica se realiza de manera tradicional.   |
| 9. Aumento de fauna.  | El incremento faunístico puede darse a los corredores biológicos junto con la presencia de especies frutales en algunas fincas cafeteras, además, en relación con la época de floración o fructificación se observa mayor variedad faunística.   |
| 10. Afectación a las especies.  | Los vertimientos directos en un tramo del Río Bache afectan el ecosistema acuático, por ende, a especies acuáticas o especies terrestres circundantes.   |
| 11. Alteración en la calidad de vida de caficultores.   | Haciendo referencia al aumento de carga contaminante en las fincas productivas según los períodos de cosecha anuales, por otra parte, las fluctuaciones en el precio de la carga de café señala un beneficio de índole económica a los productores de café.  |
| 12. Generación de empleo.   | La alta demanda de mano de obra no calificada se presenta durante la fructificación de la planta del café, que usualmente se encuentra asociada a la actividad de recolección del fruto del café en las dos épocas de cosecha anuales.   |

- *Aplicación Índice de Significancia S de impactos ambientales.* Del listado de impactos ambientales (Tabla 3), nueve de ellos se encontraron en clase negativa mientras que tres en positivo. Entre los negativos, cinco fueron muy significativos, se resalta *contaminación de aguas superficiales o subterráneas* con un  $S=-74$ ; cuatro impactos moderadamente significativos, se destaca *destrucción del ecosistema lótico* con  $S=-44$ , entre los positivos se destaca *generación de empleo* con  $S=52$  como muy significativo (Tabla 4).

Según la Tabla 4, los impactos ambientales con nivel de significación considerable durante el proceso del beneficio de café, está la contaminación de aguas superficiales o subterráneas o alteración de la calidad del agua los cuales afectan de forma directa o constante la calidad en el medio ambiente de la zona rural,

por lo tanto, deben ser considerados de forma prioritaria en el desarrollo de las estrategias ambientales para mejorar el daño que causa esta actividad, por ello, [10, 22] proponen el establecimiento de sistemas de tratamiento de agua sostenibles con el medio ambiente que incorporan tecnologías de beneficiaderos ecológicos que minimizan los efectos perjudiciales de los diferentes ecosistemas.

**Tabla 4.** Calidad ambiental del proceso de beneficio de café, Santa María, Huila

| Factores                     | Componentes | Impactos ambientales  | Rango | Significación |
|------------------------------|-------------|---|-------|---------------|
| Abiótico                     | Agua        | 1. Cambios en el uso del agua.                              | -70   | mus           |
|                              |             | 2. Alteración de la calidad del agua.                       | -70   | mus           |
|                              |             | 3. Contaminación de las aguas superficiales o subterráneas. | -74   | mus           |
|                              |             | 4. Aumento de la carga de sedimentos en cuerpos de aguas.   | -55   | mus           |
|                              |             | 5. Destrucción del ecosistema lótico.                       | -44   | mos           |
| Biótico                      | Aire        | 6. Generación de malos olores.                              | -41   | mos           |
|                              | Flora       | 7. Pérdida de paisaje.                                      | -40   | mos           |
|                              |             | 8. Pérdida de la cobertura vegetal.                         | -40   | mos           |
|                              | Fauna       | 9. Aumento de la fauna.                                     | 47    | MuS           |
| Socio - económico - cultural | Comunidad   | 10. Afectación a las especies.                              | -54   | mus           |
|                              |             | 11. Alteración en la calidad de vida de caficultores.       | 51    | MuS           |
|                              |             | 12. Generación de empleo.                                   | 52    | MuS           |

En el caso del componente faunístico, las familias han avistado: ardillas rojas (*Sciurus granatensis*), guaras (*Dasyprocta punctata*), borugos (*Cuniculus paca*), pava negra (*Aburria aburri*); para el componente florístico, se evidencia la presencia de naranjos (*Citrus sinensis*), mandarinos (*Citrus reticulata*), limones (*Citrus limon*), guamas (*Inga spectabilis*), aguacates (*Persea americana*), plátano (*Musa paradisiaca*) o granadilla (*Passiflora ligularis*) entre los cultivos de café.

La evaluación del estado del recurso agua señala constante contaminación de forma directa debido al vertimiento de aguas residuales; la evaluación del estado del recurso suelo muestra contaminación puntual por acumulación de residuos resultantes del despulpado de café; en grado moderadamente significativo de afectación se encontró la conectividad ecosistémica, la matriz del paisaje se compone por escasos corredores ecológicos de fragmentos de bosque andino de la parte alta de la montaña entre la falda o base de la montaña dentro del paisaje cafetero (Figura 1); el agua para consumo humano o la leña como combustible son los bienes de mayor aprovechamiento por parte de las familias cafeteras.



**Figura 1.** Conectividad ecosistémica boscosa en el paisaje cafetero, Santa María, Huila

De los impactos positivos se resaltan la alteración en la calidad de vida de caficultores o generación de empleo debido a los beneficios importantes sobre la comunidad de caficultores, por ello, según [1, 4] es indispensable seguir fortaleciéndolos con capacitaciones o talleres para el cuidado de los recursos naturales o su biodiversidad con respecto al aprovechamiento de los diferentes subproductos que se puede derivar del café.



### 3.1.2 Componente 2. Caracterización de suelo post beneficio del café

De acuerdo con los resultados del laboratorio LAGSA correspondiente a los nutrientes del suelo, todos los parámetros analizados presentaron niveles muy altos en el sitio de disposición final de la pulpa del café (punto #1), derivado de la lenta velocidad de descomposición en el suelo de la zona que circunda el beneficiadero de las fincas cafeteras. En el caso de punto #2, a los 10 metros en zona perimetral, la mayoría de los nutrientes analizados se mantiene en nivel muy alto (Figura 2), sin embargo, la Materia Orgánica es la única que se encuentra en nivel medio, mientras que el Magnesio y el Nitrógeno están en nivel bajo.

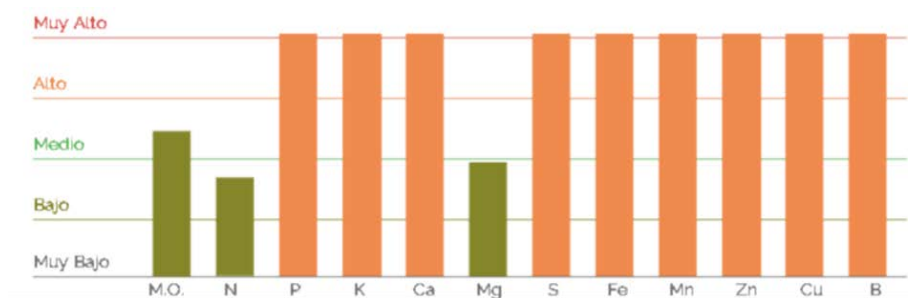


Figura 2. Comportamiento fisicoquímico del suelo en el punto #2, Santa María, Huila [25]

Los niveles medios de Materia Orgánica son considerados como un nivel óptimo para las plántulas de café, dado que permite regular el flujo de agua o nutrientes en el suelo, por el contrario, de acuerdo con [13, 23] niveles más bajos pueden limitar el almacenamiento en las plántulas o afectar la productividad; en cuanto al Magnesio, según [13, 24] se debe mantener en niveles óptimos a fin de no tener alteraciones en las hojas, en especial el grado de madurez de las plántulas. Por otro lado, y de acuerdo con [23] los bajos niveles de Nitrógeno pueden influir en la reducción del tamaño o generar una floración prematura en el cultivo.

### 3.2 Estrategias agroambientales

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos con el Índice de Significancia o las muestras de laboratorio se agruparon los impactos similares, lo que derivó en cuatro estrategias agroambientales: 1) educación ambiental, 2) beneficio del café eco-amigable, 3) aprovechamiento de subproductos, y 4) conservación de sistemas agroambientales. Estas estrategias orientarán a la comunidad cafetera en la ejecución de buenas prácticas dentro del proceso del beneficio del café, según [3, 10] permite garantizar un desarrollo sostenible en la región. En la medida que se tome la decisión de implementar dichas estrategias, [1, 14] sugieren que paulatinamente se logrará la prevención, mitigación o recuperación de los impactos ambientales negativos que se generan en la actividad productiva del beneficio del café.

En la estrategia agroambiental de educación ambiental, se resalta la importancia y el rol activo que debe tener la comunidad cafetera en la preservación de los recursos naturales, para ello se tienen acciones que propenden por el uso eficiente del agua, así mismo, promover el aprovechamiento de subproductos generados por el beneficio del café (Tabla 5).

Tabla 5. Estrategia agroambiental 1: Educación ambiental, unidades cafeteras, Santa María, Huila

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| Objetivo                         | Incorporar a la comunidad cafetera el cuidado de los recursos naturales o su biodiversidad  |
| Metas                            | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Desarrollar actividades para el uso eficiente del recurso hídrico.</li> <li>2. El 70% de la comunidad cafetera participará en las capacitaciones que se realizarán para el cuidado de los recursos naturales o su biodiversidad.</li> <li>3. Ejecución de talleres para el aprovechamiento de subproductos.</li> </ol>  |
| Impactos ambientales por manejar | Cambios en el uso del agua, alteración de la calidad del agua, contaminación de las aguas superficiales o subterráneas, aumento de la carga de sedimentos en cuerpos de aguas, destrucción del ecosistema lótico, generación de malos olores, pérdida de paisaje, pérdida de la cobertura vegetal, aumento de la fauna, afectación a las especies, alteración en la calidad de vida de caficultores o generación de empleo. |
| Medidas de manejo                | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Acciones sostenibles con el medio ambiente <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Uso responsable del agua: cierre de las llaves que alimentan de agua al beneficiadero de manera consciente cuando llegue al límite.</li> <li>▪ Reutilización de agua: las generadas en el tercer o cuarto lavado para el riego de plantas.</li> </ul> </li> </ol>                             |

- Utilizar llaves o accesorios de eficiencia en el ahorro de agua. Revisión periódica de tuberías o redes de distribución del recurso.

2. Capacitaciones a caficultores orientada por recurso humano perteneciente a entidades ambientales sobre el adecuado manejo de los recursos naturales e importancia de preservar el recurso hídrico.
3. Talleres para el aprovechamiento de subproductos por medio del contenido de la pulpa de café para disminuir los residuos generados.

|             |  |  |   |
|-------------|--|--|---|
| Indicadores | $\frac{N^{\circ} \text{ acciones desarrolladas}}{\text{Total acciones programadas}} * 100$ | $\frac{N^{\circ} \text{ talleres}}{\text{Total talleres}} * 100$ | $\frac{N^{\circ} \text{ asistentes}}{\text{Total comunidad}} * 100$ |
|-------------|--|--|---|

En la estrategia agroambiental 2 se pretenden llevar a cabo medidas que disminuyan los efectos negativos al medio ambiente, por esto, se definen unidades de tratamiento o tecnologías eco-amigables para reutilizar el agua residual en el proceso (Tabla 6).

**Tabla 6.** Estrategia agroambiental 2: Beneficio del café eco-amigable, unidades cafeteras, Santa María, Huila

|                      |   |                             |                             |   |
|----------------------|---|-----------------------------|-----------------------------|---|
| Objetivo             | Establecer acciones sostenibles de tratamiento de aguas residuales para contrarrestar los impactos del beneficio del café   |                             |                             |   |
| Metas                | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aplicar unidades de tratamiento de agua que beneficien al medio ambiente.</li> <li>2. Disponer de tecnologías de beneficiaderos ecológicos.</li> <li>3. Proponer prácticas amigables para prevenir la erosión de suelos.</li> <li>4. Ubicar el área para la disposición final de los residuos.</li> </ol>   |                             |                             |   |
| Impactos por manejar | Alteración de la calidad de agua, generación de malos olores, contaminación de agua, afectación a las especies.   |                             |                             |   |
| Medidas de manejo    | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Unidades de tratamiento de agua en el beneficio de café             <ol style="list-style-type: none"> <li>I. Almacenar el agua en tanques reciclados para aplicar los tratamientos correspondientes.</li> <li>II. Plantas acuáticas en tratamientos de aguas mieles de café, como la lenteja de agua (<i>Lemna minor</i>), según [26] han presentado un alto nivel de eficiencia en la remoción de contaminantes o extracción de nutrientes de aguas residuales.</li> <li>III. Filtro primario con microorganismos eficaces (EM), este proceso consiste en dos etapas:                 <ol style="list-style-type: none"> <li>a) En un tanque se forma un lecho granulométrico con varias capas, así: la primera, una capa de piedras de 20 cm desde la superficie o una malla para evitar invertir los materiales, la segunda capa, 20 cm de gravilla lavada o la última capa se instala un aro con malla para evitar el ingreso de impurezas al lecho filtrante; se instalan dos llaves de paso para controlar el flujo del tanque hasta el filtro.</li> <li>b) Cultivo de cepa de microorganismos eficaces (EM), para ello, de acuerdo con [27] se utiliza la mezcla de bacterias fototróficas, levaduras, bacterias productoras de ácido láctico, hongos de fermentación o como principal fuente energética para conservar la cepa, miel de purga.</li> </ol> </li> <li>IV. Sistema modular de tratamiento anaerobio (SMTA), diseñado en Cenicafé y de acuerdo con [22], los componentes esenciales son: reactores hidrolíticos acidogénicos, recámara de dosificación o el reactor metanogénico.</li> </ol> </li> <li>2. Tecnologías de beneficiaderos ecológicos, según [28] consiste en aplicar la Tecnología Belcosub con despulpado sin agua o tecnología Ecomill.</li> <li>3. Prácticas amigables para prevenir la erosión de suelos, se recomienda adecuar o localizar el terreno de vertimientos para situar franjas protectoras, cunetas o filtros de guadua.</li> <li>4. Área en la disposición final de los residuos, sugiere [28] que se debe construir una fosa techada para almacenar o procesar la pulpa o el mucílago de café, estos representan el 100 % de los residuos que se generan durante el proceso del beneficio de café.</li> <li>5. Reuso para riego a los cultivos de café o huertas. En el caso de riego directo al suelo [26, 27] recomiendan presencia de plantas enraizadas que tienen propiedades de depuración de aguas mieles con Juncáceas como Juncos (<i>Juncus</i>), Tifáceas como Enea (<i>Typha angustifolia</i>) e Iridáceas como Lirio amarillo (<i>Iris pseudacorus</i>).</li> </ol> |                             |                             |   |
| Indicadores          | Construcción de sistema de tratamiento: Si/No   | Tecnología instalada: Si/No | Construcción de fosa: Si/No | $\frac{N^{\circ} \text{ prácticas ejecutadas}}{\text{Total prácticas planeadas}} * 100$ |

En la siguiente estrategia agroambiental, se establecen diversas alternativas a fin de brindar acciones de aprovechamiento a los residuos, así como el desarrollo de actividades de enseñanza–aprendizaje entre las comunidades cafeteras (Tabla 7).

**Tabla 7.** Estrategia agroambiental 3: Aprovechamiento de subproductos, unidades cafeteras, Santa María, Huila

|          |  |  |  |  |
|----------|--|--|--|--|
| Objetivo | Describir los productos que se pueden obtener durante el beneficio del café.   |  |  |  |
| Metas    | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Realizar talleres para dar a conocer las técnicas de aprovechamiento de los subproductos que se pueden elaborar a partir de la pulpa de café.</li> <li>2. Llevar a cabo capacitaciones para orientar a la comunidad cafetera sobre los beneficios que tiene las aguas mieles.</li> </ol> |  |  |  |

|                      |   |   |
|----------------------|---|---|
| Impactos por manejar | Aumento de la carga de sedimentos en cuerpos de agua, cambios en el uso de agua, alteración de la calidad del agua, contaminación de aguas, destrucción de ecosistemas lóticos, generación de empleo.   |   |
| Medidas de manejo    | <ol style="list-style-type: none"> <li>Promover talleres para la preparación de los subproductos del café tales como, producción de abono, dulce o vino a partir de la pulpa de café.</li> <li>Uso de aguas mieles que se presenta del lavado de café, se puede reutilizar para la preparación de fertilizantes orgánicos. Actividad que se desarrollará mediante talleres teóricos-prácticos lo que brindará a la comunidad cafetera un desarrollo sostenible en su proceso productivo.</li> </ol> |   |
| Indicadores          | $\frac{N^{\circ} \text{ talleres}}{\text{Total talleres}} * 100$  | $\frac{N^{\circ} \text{ capacitaciones realizadas}}{\text{Total capacitaciones programadas}} * 100$ |

Finalmente, la estrategia agroambiental 4, se enfoca en la importancia de la conservación del paisaje cafetero, al igual, la intervención en mantener los servicios agroambientales (Tabla 8).

**Tabla 8.** Estrategia agroambiental 4: Conservación de sistemas agroambientales, unidades cafeteras, Santa María, Huila

|                      |  |  |
|----------------------|--|--|
| Objetivo             | Mejorar las condiciones ambientales del paisaje cafetero.  |  |
| Metas                | <ol style="list-style-type: none"> <li>Determinar la importancia de la conservación de las áreas verdes.</li> <li>Dar a conocer el valor de reforestar con especies vegetales nativas.</li> </ol>  |  |
| Impactos por manejar | Pérdida de cobertura vegetal o aumento de la fauna.  |  |
| Medidas de manejo    | <ol style="list-style-type: none"> <li>Conservación de las áreas verdes <ul style="list-style-type: none"> <li>Sensibilización a la comunidad cafetera de la importancia de la biodiversidad en el entorno de los cultivos, lo que llevaría a conservar espacios de recursos ecosistémicos, con el fin de mantener los servicios agroambientales.</li> <li>Preservar los sistemas naturales que permitan la conectividad entre los parches, corredores biológicos o ecológicos, a fin de generar intercambio en la biodiversidad.</li> <li>Se recomienda reforestar periódicamente con especies vegetales nativas para fortalecer el intercambio en la biodiversidad.</li> </ul> </li> </ol> |  |
| Indicadores          | Conserva áreas verdes la comunidad cafetera:<br>Sí/No  | La comunidad cafetera reforesta con plantas nativas: Sí/No |

#### 4. CONCLUSIONES

Durante el proceso del beneficio del café se genera contaminación sobre el recurso hídrico o el suelo, lo que genera gran impacto ambiental sobre la vida de los ecosistemas acuáticos o terrestres, por esta razón, se diseñaron cuatro estrategias para disminuir los daños ambientales, mejorar la calidad de los recursos naturales o de la vida de los caficultores.

Las estrategias agroambientales establecidas permitirán prevenir, mitigar o corregir los problemas generados por el proceso del beneficio de café en las 30 familias cafeteras productivas, fueron diseñadas con el fin de mejorar la calidad de este proceso, así mismo, poder darle un manejo apropiado a los recursos naturales que hacen parte de esta actividad.

Durante el beneficio del procesamiento del grano de café se generan residuos sólidos, los cuales se deben aprovechar o reutilizar para la elaboración de subproductos, esto permitirá disminuir la contaminación sobre el recurso hídrico o el suelo; cuidar el agua debe ser un compromiso de todos, es esencial para la vida, también para una buena productividad agrícola.

#### REFERENCIAS

- [1] Fernández Y. et al. (2020). Impactos ambientales de la producción de café y el aprovechamiento sustentable de los residuos generados. *Producción + limpia* 93-110.
- [2] Chanakya H. y De Alwis A. (2004). Environmental issues and management in primary coffee processing. *Process safety and environmental protection* 82(4), 291-300.
- [3] Bravo L. et al. (2016). Drivers influencing farmer decisions for adopting organic or conventional coffee management practices. *Food policy* 58, 49-61.
- [4] Velásquez C. y Trávez M. (2019). *Café especial, una alternativa para el sector cafetero en Colombia*. Trabajo de grado. Universidad EAFIT.
- [5] Zarta P. (2018). La sustentabilidad o sostenibilidad: un concepto poderoso para la humanidad. *Tabula rasa*, 28, 409-423.

- [6] Angel L. y Alzate J. (2015). Ensamble, puesta a punto y operación de secador mecánico de café con acople de bomba de calor. Trabajo de grado de pregrado. Instituto Tecnológico Metropolitano.
- [7] Niño F. (2020). Elaboración de proyectos para la semi-industrialización del sector caficultor de Santander según la metodología PMI. Trabajo de grado. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- [8] Cervantes R. et al. (2015). Efecto de la pulpa de *Coffea arábica* L. sobre suelos del macizo montañoso Guamuhaya. *Revista ciencias técnicas agropecuarias* 24(2), 38-43.
- [9] Amazo J. y Alzate A. (2018). Valoración cualitativa del impacto ambiental en una planta productora de aceite de palma en Colombia. *Questionar investigación específica* 6(1), 9-24.
- [10] Dadi D. et al. (2018). Assesment of the effluent quality of wet coffee processing wastewater and its influence on downstream water quality. *Ecology & hidrology* 18(2), 201-211.
- [11] Díaz F. (2014). Modelo de gestión ambiental hacia la mejora de la productividad de la industria procesadora de café del departamento de Caldas. *Vector* 9, 29-40.
- [12] Eastwood C. et al. (2017). Dynamics and distribution of public and provate research and extensión roles for technological innovation and difusión: Case studies of the implementation and adaptation of precision farming technologies. *Journal of rural studies* 49, 1-12.
- [13] Schmidt M. et al. (2011). Persistence of soil matter as an ecosystem property. *Nature* 478, 49-56.
- [14] Kassie M. et al. (2013). Adoption of interrelated sustainable agricultural practices in smallholder systems: evidence from rural Tanzania. *Technological forecasting and social change* 80(3), 525-540.
- [15] Kuehne G. et al. (2017). Predicting farmer uptake of new agricultural practices: a tool for research, extension an policy. *Agricultural system* 156, 115-125.
- [16] Al-Abdulkader A. et al. (2018). Optimizing coffee cultivation and its impact on economic growth and export earnings of the producing countries: The case of Saudi Arabia. *Saudi journal of biological sciences* 25(4), 776-782.
- [17] Prada J. et al. (2017). La producción cafetera y su impacto en el crecimiento económico del departamento del Huila, Colombia. *Ánfora* 45-66.
- [18] Noscue E. (2014). Adopción de los sistemas agroforestales con el cultivo del café (*Coffea arábica*). Trabajo de grado. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- [19] Molano V. (2016). Colonización prehispánica de los valles transversales al río Magdalena, cordillera central Santa María, Huila. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia.
- [20] Conesa V. (2010). Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. Mundi-Prensa.
- [21] Mendoza R. y Espinoza A. (2017). Guía técnica para muestreo de suelos. Universidad Nacional Agraria y Catholic Relief Services.
- [22] Díaz S. et al. (2013). Identificación del manejo de subproductos del beneficio del café en las fincas localizadas en la parte alta de la microcuenca La Sancotea, vereda Alto de Reinas, Socorro-Santander. *El centauro* 5(8), 19-30.
- [23] Sadeghian S. (2010). La materia orgánica: Componente esencial en la sostenibilidad de los agroecosistemas cafeteros. *Cenicafé*.
- [24] Arcila J. et al. (2007). Sistemas de producción de café en Colombia. Federación nacional de cafeteros.
- [25] LAGSA. (2021). Informe de resultados. Laboratorio agroambiental de suelos y aguas. Reporte Técnico 316-21.
- [26] Rodríguez N. (2009). Estudio de un biosistema integrado para el postratamiento de las aguas residuales del café utilizando macrófitas acuáticas. Disertación Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- [27] García G. (2017). Establecimiento de un sistema filtro para tratamiento de aguas mieles en una finca del municipio de Ibague, promoviendo los tres pilares de producción y sostenibilidad (económico, social y ambiental). Trabajo de grado. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- [28] Valencia N. et al. (2015). Beneficio del café en Colombia. Recuperado: <https://www.cenicafe.org/es/publications/Beneficio-del-cafe-en-Colombia.pdf>

# Obtención de Nano-catalizadores de Níquel a partir de hidrotalcitas modificadas para la metanación de CO<sub>2</sub> en el proceso *Power To Gas*

James Marín<sup>1</sup>  
William Pérez<sup>2</sup>  
Luis Ríos<sup>3</sup>  
*Universidad de Antioquia*  
Colombia

En este capítulo se presenta el desarrollo de una nueva familia de nano-catalizadores obtenidos a partir de hidrotalcitas con diferentes% de Ni como metal activo. Los nano-catalizadores obtenidos fueron caracterizados mediante difracción de rayos X, fluorescencia de rayos X, área superficial por el método de Brunauer-Emmett-Teller, temperatura programada de reducción con hidrogeno y temperatura programada de desorción de CO<sub>2</sub>. Los resultados dan cuenta de la composición catalítica, tamaños de cristal de Ni<sup>0</sup>, área superficial, especies reducibles metálicas y capacidad de captura de CO<sub>2</sub>. Las propiedades catalíticas en la reacción de metanación se correlacionaron con las propiedades fisicoquímicas obtenidas en los catalizadores. El catalizador HT-75Ni-R presenta unas destacadas características catalíticas que además presentó unos resultados para la conversión de CO<sub>2</sub> a baja temperatura (250°C), bastante superiores a otros estudios presentados y posiblemente muy competitivo a los catalizadores comerciales disponibles para este proceso.

---

<sup>1</sup> Ingeniero Químico y Magíster en Ingeniería Ambiental.

Contacto: [james.marin@udea.edu.co](mailto:james.marin@udea.edu.co)

<sup>2</sup> Químico y Doctor Química.

Contacto: [walfredo.perez@udea.edu.co](mailto:walfredo.perez@udea.edu.co)

<sup>3</sup> Ingeniero Químico y Doctor en Ciencias.

Contacto: [luis.rios@udea.edu.com](mailto:luis.rios@udea.edu.com)

## 1. INTRODUCCIÓN

La demanda energética se ha incrementado rápidamente en diferentes industrias, proyectando un aumento de consumo energético entre el 22% y 46% para 2060 y que puede ser aún mayor debido al crecimiento poblacional y al desarrollo económico [1]. Actualmente, la generación de energía depende de los combustibles fósiles, que son fuentes no renovables, además de ser grandes generadores de dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, el principal Gas de Efecto Invernadero GEI derivado de actividades antrópicas [2, 3].

La generación de CO<sub>2</sub> está aumentando a una velocidad alarmante, inclusive ha alcanzado valores históricos de 400 ppm en el ambiente, causando significativos problemas ambientales como es el calentamiento global, el cambio climático, la acidificación de océanos, entre muchos otros. Por lo tanto, es fundamental hallar maneras de reducir el CO<sub>2</sub> a nivel mundial [4, 5].

Entre las estrategias que se investigan actualmente para reducir los niveles de CO<sub>2</sub> en la atmósfera está el Secuestro y Almacenamiento de Carbono CSS, que se ha aplicado para capturarlo y almacenarlo bajo tierra en pozos abandonados o incluso en océanos profundos [6, 7]. Sin embargo, CSS actualmente es un desafío debido al alto costo, a la larga distancia desde los sitios de secuestro seguros y a la falta de información sobre el impacto a largo plazo en el medio ambiente [8, 9].

Una de las estrategias más favorables para la mitigación del CO<sub>2</sub> es su uso como materia prima para la producción de químicos y combustibles. El proceso consiste en hidrogenar el CO<sub>2</sub> y obtener hidrocarburos como metano, etano, dimetil éter, propano, entre muchos otros, donde la metanación presenta ventajas entre las reacciones de hidrogenación de CO<sub>2</sub> en términos de termodinámica y velocidad de reacción [10]. Asimismo, el metano es el compuesto principal del gas natural, un combustible de origen fósil bastante consumido y que cuenta con infraestructura sólida para el transporte y otros fines.

La hidrogenación catalítica del CO<sub>2</sub> y CO a CH<sub>4</sub> (Tabla 1, R1 y R2) fue descubierta en 1902 por el químico francés Paul Sabatier, presentando gran importancia en su época y también al día de hoy por su amplia gama de aplicaciones para el CO<sub>2</sub>, además de ser la clave en tecnologías con enfoque renovable como lo son el Power To Gas y Power To Methane. La metanación es una reacción de alto interés por su aplicación comercial para la producción de GNS y como método para reducir las emisiones antropogénicas de CO<sub>2</sub>.

Esta reacción también se da en conjunto de otras reacciones colaterales como son la reacción Boudouard R4 y otras generadoras de compuestos que desactivan el catalizador como el coque C (R6, R7 y R8). Estas reacciones se dan por un mal control de temperatura y ha sido foco de investigaciones minimizar las reacciones no deseadas que se dan en la metanación, que conlleva a un proceso menos eficiente a nivel global debido a la desactivación del lecho catalítico que implica paradas en el sistema de reacción [11].

**Tabla 1.** Posibles reacciones en la metanación de óxidos de carbono [12]

| Reacción                      | Formula de reacción                                 | $\Delta H_{rxn}$ (kJ/mol) | Tipo de reacción                     |
|-------------------------------|---|---------------------------|--------------------------------------|
| <b>Reacciones deseadas</b>    |   |                           |                                      |
| R1                            | $CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$              | -165                      | Metanación CO <sub>2</sub>           |
| R2                            | $CO + 3H_2 \rightarrow CH_4 + H_2O$                 | -206,1                    | Metanación CO                        |
| R3                            | $2CO + 2H_2 \rightarrow CH_4 + CO_2$                | -247,3                    | Reformado inverso de CO <sub>2</sub> |
| <b>Reacciones colaterales</b> |   |                           |                                      |
| R4                            | $2CO \rightarrow C + CO_2$                          | -172,4                    | Reacción de Boudouard                |
| R5                            | $2CO + H_2O \rightarrow H_2 + CO_2$                 | -41,2                     | Water-gas shift                      |
| R6                            | $2CH_4 \rightarrow 2H_2 + C$                        | 74,8                      | Craquéin de metano                   |
| R7                            | $CO + H_2 \rightarrow C + H_2O$                     | -131,3                    | Reducción de CO                      |
| R8                            | $CO_2 + 2H_2 \rightarrow C + 2H_2O$                 | -90,1                     | Reducción de CO <sub>2</sub>         |
| R9                            | $nCO + (2n + 1)H_2 \rightarrow C_nH_{2n+2} + nH_2O$ | ---                       | ---                                  |
| R10                           | $nCO + (2n + 1)H_2 \rightarrow C_nH_{2n} + nH_2O$   | ---                       | ---                                  |

Los catalizadores están formados generalmente por un metal de transición del grupo VIII, dispersado en soportes de óxidos metálicos. El metal de transición cumple la función de capturar el hidrogeno y transferirlo al CO<sub>2</sub> para obtener el metano. Por otro lado, el soporte además de cumplir una función de dispersar el metal, también captura al CO<sub>2</sub> cuando la ruta de metanación se da por asociación del CO<sub>2</sub>,

obteniendo intermediarios tipo formiato, carboxil entre otros, para finalmente obtener el metano; otra opción de mecanismo para el CO<sub>2</sub> es de tipo *spill over* mediante el cual el CO<sub>2</sub> adsorbido migra por la superficie del soporte para encontrarse con el hidrógeno adsorbido sobre el metal [13]. Por otro lado, el metal activo también puede capturar el CO<sub>2</sub> dándose una ruta disociativa en donde se genera CO en la superficie metálica [14, 15] que se hidrogena para finalmente obtener el metano como producto.

Industrialmente, el soporte más utilizado es el Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, pero su química es más complicada que la de óxidos como el SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, debido a sus diferentes modificaciones cristalográficas (fase  $\gamma$ ,  $\kappa$ ,  $\delta$ ,  $\theta$ ,  $\alpha$ ) [15]. Por ejemplo, la fase  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> no es un buen soporte para estabilizar las nanopartículas de níquel, mientras que la fase  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ha sido ampliamente investigada debido a sus adecuadas propiedades superficiales, estructurales y porosas. La principal desventaja del Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en la metanación es su tendencia a sinterizarse en presencia de agua (producto de la metanación o del proceso de generación de H<sub>2</sub>) a altas temperaturas [16].

Por su parte Du et al [17] sintetizó nanopartículas de níquel en nanoplacas de CeO<sub>2</sub> para la metanación de CO<sub>2</sub> a bajas temperaturas. Las condiciones de reacción fueron la relación de volumen CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> = 19/76/5, WHSV de 6000 mL g<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> y temperaturas de reacción entre 200°C y 440°C. Las selectividades hacia el metano fueron superiores al 95% y las conversiones de CO<sub>2</sub> a 250°C, 300°C y 350°C fueron del 55%, 84% y 79%, respectivamente. Vale la pena mencionar que la actividad de estos catalizadores basados en Ni/CeO es menor que la de los catalizadores basados en Ni/hidrotalcita que se discutirán a continuación.

Los soportes novedosos se están enfocando en materiales con mesoporosidad debido a sus buenas características estructurales que confinan el Ni en un espacio fijo y proporcionan una gran superficie para una alta dispersión del metal activo [18]. Las hidrotalcitas se caracterizan por su mesoporosidad, además de tener una buena actividad catalítica en la metanación de CO<sub>2</sub>. Los estudios realizados para la reacción de metanación con hidrotalcitas se han realizado generalmente diluyendo los reactivos (CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>) en gas inerte. Además, los óxidos mixtos preparados a partir de hidrotalcitas de Ni, han mostrado una buena actividad catalítica en la metanación de CO<sub>2</sub> [19-22].

Estos informes presentan catalizadores con contenidos de Ni entre 20-75%, velocidades espaciales del gas GHSV entre 5000-40000 h<sup>-1</sup> y temperaturas entre 250-390°C. Las hidrotalcitas fueron obtenidas a pH 9,6-12 con tiempos prolongados de envejecimiento (18-48 h) y etapas de activación divididas en una calcinación con aire (450-500°C) durante 5-6 h. y un proceso de reducción con H<sub>2</sub> (500-900°C) durante 1-4 h. Agbaba et al., sintetizó un catalizador tipo hidrotalcita de níquel (15% Ni-Mg-Al) por el método de co-precipitación a pH de 8,5 y en un baño de 50°C, el precipitado obtenido se lavaba hasta pH 7, finalmente se calcinaba en aire por 4 horas y reducido entre 500-650°C por 2 h. en 10% H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>; con este catalizador obtuvo conversiones del 99% de CO<sub>2</sub> y selectividad de 100% a temperatura de 350°C, diluido con gas inerte (nitrógeno) al 30% [23].

Por otra parte, Wierzbicki et al. sintetizó catalizadores tipo hidrotalcita de níquel con cargas entre 10% y 42,5% de níquel por el método de co-precipitación a pH de 9.5-10, a 65°C y también a esta misma temperatura durante 24h. para el añejamiento, posteriormente fue lavado con agua desionizada a 50°C hasta pH neutro y secadas a 80°C y por ultimo calcinadas con oxígeno a 500°C por 5 horas; todos los catalizadores se redujeron hasta 900°C con 10% H<sub>2</sub>/Ar y el mejor catalizador fue el que contenía mayor cantidad de Ni, realizando el proceso de metanación con una mezcla que tenía en su composición 25% de argón y un GHSV de 12000 h<sup>-1</sup> logrando obtener a una temperatura de reacción de 300°C una conversión de 85% de CO<sub>2</sub> y selectividad de 99% a metano.

Otros autores dopan con otros metales las hidrotalcitas de níquel y no trabajan a presión atmosférica la reacción, como Mebrahtu et al. dopo las hidrotalcitas con hierro para mejorar su estabilidad y trabajo a una presión de 5 bares y GHSV de 20000 h<sup>-1</sup>, obteniendo una conversión de 83% a 300°C. Estos estudios fueron realizados a relaciones de CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub> de 1:4, otros autores trabajan con relaciones de hidrogeno mayor para obtener mayores conversiones de CO<sub>2</sub>, pero esto desde un punto de vista económico no es un escenario valido, ya que el H<sub>2</sub> es el insumo más costoso del proceso [24, 25].

Orientando esta investigación en obtener catalizadores con Ni<sup>0</sup> nano-particulados y altamente activos, se evaluaron dos métodos de impregnación del Ni a unas relaciones molares Ni/Mg de 25 y 75, esto con el fin

de evaluar el comportamiento de la dispersión del Ni en el soporte de hidrotalcita. Uno de los métodos es simplificado para obtener un proceso de síntesis más corto que, además conlleva a tener mejores propiedades catalíticas para la metanación de CO<sub>2</sub> como lo es mayor área superficial, nano-cristales de Ni, alto contenido de Ni<sup>0</sup> y rendimientos excepcionales hacia metano, bastante superiores a investigaciones reportadas en otros trabajos.

## 2. MÉTODO

### 2.1 Síntesis de catalizadores

Los catalizadores evaluados en este trabajo fueron sintetizados mediante dos métodos de preparación. El primer método utilizado fue el de co-precipitación en donde se obtuvieron los catalizadores denominados como hidrotalcitas cristalinas (HT-0Ni, HT-25Ni y HT-75Ni), posteriormente se utilizó la hidrotalcita definida como HT-0Ni para impregnarle níquel mediante el método de impregnación húmeda, obteniendo las hidrotalcitas soportadas (25Ni/HT-0 y 75Ni/HT-0). El método de co-precipitación descrito por Pérez et al. [26, 27] se realizó a pH constante, utilizando dos soluciones acuosas; una que contiene hidróxido de sodio (1 Molar) y la segunda contiene nitratos mixtos de los metales divalentes (Ni (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O, Mg (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O) y trivalente (Al (NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>·9H<sub>2</sub>O).

Ambas soluciones se agregaron gota a gota en un matraz que contiene una solución buffer de bicarbonato de sodio (1 Molar), manteniendo agitación vigorosa y a temperatura ambiente. Una vez termina el goteo, la mezcla se agitó durante 4 horas más, para el envejecimiento, y luego se dejó en reposo durante la noche para su decantación y separación. El catalizador precipitado se centrifugó a 5000 RPM por 4 minutos y se lavó con agua destilada hasta pH neutro, finalmente se llevó a mufla por 8 h. para su secado a 110°C.

El método de impregnación en húmedo consistió en adicionar en un beaker, 50 ml de agua destilada para calentarla a 35°C, posteriormente y con agitación vigorosa se adiciono el soporte (HT-0Ni) lentamente para evitar grumos de este en el agua. A continuación, se agregó la cantidad definida de nitrato de níquel y se dejó en agitación por 12 horas más hasta obtener una pasta y posteriormente ser llevada a una mufla a 110°C por 8 horas más para su secado.

### 2.2 Caracterización de catalizadores

Los contenidos de Mg, Al y Ni en el catalizador se determinaron mediante fluorescencia de rayos X (XRF) utilizando un equipo Marca Rigaku – Supermini200 equipado con tubos de alta potencia (200W). Los patrones de difracción de rayos X (XRD) se realizaron en un difractómetro Rigaku con fuente de radiación Cu-K $\alpha$  operada a 40 kV, los diagramas se registraron a temperatura ambiente dentro de un rango de 2 $\theta$  entre 10° a 80°. Los valores *a* (distancia intercatiónica) y *c* (distancia interlaminar) de cada muestra se pueden calcular a partir de los patrones de difracción [22]. El parámetro *a* de una hidrotalcita corresponde a la distancia catión-catión y se calculó como  $a = 2 \times d_{110}$  (2 $\theta = 11^\circ$ ). Por otro lado, el parámetro *c* está relacionado con la distancia entre capas y se obtuvo con  $c = 3 \times d_{003}$  (2 $\theta = 61^\circ$ ). El tamaño de los cristalitas se estimó de acuerdo con la ecuación de Scherrer (ecuación (1)), que es apropiada para tamaños de cristal de 3 a 200 nm [28].

$$\tau = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

Donde  $\tau$  es el tamaño medio de los cristalitas, *K* es un factor de forma adimensional (0,89),  $\lambda$  es la longitud de onda de los rayos X (0,1542 nm),  $\beta$  es el ancho a la mitad de la intensidad máxima y  $\theta$  es el ángulo de Bragg. Por otra parte, las áreas superficiales específicas se analizaron mediante el método Brunauer-Emmett-Teller BET con un Micromeritics Gemini V automático a -196°C. Cada catalizador probado se trató con flujo de N<sub>2</sub> a 350°C durante 1 h para eliminar las impurezas y el agua antes de la medición [29]. El volumen de poro total (*V<sub>p</sub>*) se calculó a partir de la cantidad de nitrógeno absorbido a una P/P<sub>0</sub> de 0,99 y el tamaño de poro de cada catalizador se extrajo de la rama de desorción con el método de Barrett-Joyner-Halenda BJH.



Los análisis con H<sub>2</sub>-TPR y CO<sub>2</sub>-TPD se llevaron a cabo en un tubo de cuarzo equipado con un detector de conductividad térmica TCD utilizando un AutoChem II 2920 (Micromeritics Instrument Corp.). Para H<sub>2</sub>-TPR, al principio se purgó el catalizador con N<sub>2</sub> puro a 200°C durante 30 min para eliminar las impurezas. Después de enfriar a 50°C, se cambió el 10% de H<sub>2</sub>/Ar y se calentó a 1000°C a una velocidad de calentamiento de 10°C min<sup>-1</sup>. La señal TCD se registró simultáneamente a medida que aumentaba la temperatura. Para CO<sub>2</sub>-TPD, el catalizador se redujo a 550°C durante 1 h en H<sub>2</sub> puro. Después de enfriar a 30°C, el catalizador se purgó con un flujo de Ar durante 30 min para eliminar las impurezas. Posteriormente, se cambió el CO<sub>2</sub> durante 30 minutos y luego el catalizador se mantuvo en un flujo de He durante 30 minutos para barrer el CO<sub>2</sub> débilmente adsorbido. Finalmente, la temperatura se incrementó a 500°C a una velocidad de calentamiento de 10°C min<sup>-1</sup> mientras se registraba la señal TCD [30, 31].

## 2.3 Pruebas catalíticas

El rendimiento catalítico se evaluó en un reactor de lecho fijo de acero inoxidable (diámetro interior de 8 mm, longitud de 100 mm) a presión atmosférica. Previamente, el catalizador se redujo en H<sub>2</sub> con una rampa de 10°C/min a 550°C durante 1 h en un tubo de cuarzo. Se empaquetaron 1,8 ml de catalizador entre capas de lana de cuarzo. La metanación de CO<sub>2</sub> se llevó a cabo en el rango de temperatura de 250–450°C con GHSV (velocidad espacial horaria del gas) de 5000 h<sup>-1</sup> y 10000 h<sup>-1</sup>. La relación molar H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> fue de 4:1, con caudales totales de 150 mL min<sup>-1</sup> y 300 mL min<sup>-1</sup>. El agua producida se condensó y el flujo de gases permanentes se midió con un Drycal Definer 220 y se analizó con un cromatógrafo de gases Agilent 6890N equipado con un TCD (detector de conductividad térmica) e instalado con columnas Carbonplot y HP-Molesieve. Se calculó la conversión de CO<sub>2</sub> (ecuación (2)), la selectividad de metano (ecuación (3)), el rendimiento de metano (ecuación (4)) y el rendimiento de espacio-tiempo (ecuación (5)).

$$X_{CO_2}(\%) = \frac{F_{CO_2,in} - F_{CO_2,out}}{F_{CO_2,in}} * 100 \quad (2)$$

$$S_{CH_4}(\%) = \frac{F_{CH_4,out}}{F_{CH_4,out} + F_{CO,out}} * 100 \quad (3)$$

$$Y_{CH_4}(\%) = X_{CO_2} * S_{CH_4} * 100 \quad (4)$$

$$STY \left( \frac{mol_{CH_4}}{h} * \frac{1}{L_{cat}} \right) = \frac{F_{CH_4,out}}{V_{cat}} \quad (5)$$

Donde F<sub>CO<sub>2</sub></sub> representa el flujo molar de CO<sub>2</sub> a la entrada o salida, F<sub>CH<sub>4</sub></sub> representa el flujo molar de CH<sub>4</sub> a la salida, F<sub>CO</sub> representa el flujo molar de CO a la salida y V<sub>cat</sub> es el volumen catalítico en el reactor.

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

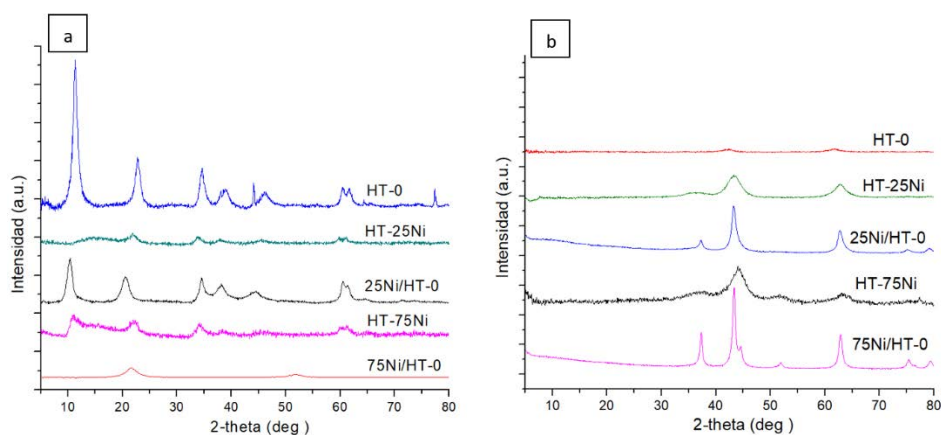
### 3.1 Caracterización de las hidrotalcitas

Los resultados de los análisis de XRF se resumen en la Tabla 2. El contenido de níquel obtenido es el esperado según los cálculos realizados y no difieren significativamente si el catalizador se obtenía por co-precipitación o por impregnación en húmedo. También se presentan los parámetros XRD calculados (*a* y *c*). Los tamaños de cristalitas de Ni<sup>0</sup> y NiO se determinaron a 2θ = 37 ° y 2θ = 43 ° respectivamente con la ecuación de Scherrer [32, 33]. Los resultados indican que el tamaño de los cristalitas de Ni es prácticamente constante, independientemente de la relación M<sup>2+</sup>/M<sup>3+</sup>, con valores inferiores a 4 nm.

**Tabla 2.** Contenido de metal (obtenido) del catalizador y tamaño de cristallito de Ni

| Muestra   | Tamaño de partícula (nm) |      |      |            |       |              |              |       |                 |
|-----------|--------------------------|------|------|------------|-------|--------------|--------------|-------|-----------------|
|           | Al%                      | Mg%  | Ni%  | (Mg+Ni)/Al | Mg/Al | <i>a</i> (Å) | <i>c</i> (Å) | NiO   | Ni <sup>0</sup> |
| HT-0      | 28,7                     | 70,8 | 0    | 2,8        | 2,8   | 3,05         | 24,69        | 0     | 0               |
| HT-25Ni   | 20,5                     | 33,6 | 45,8 | 2,9        | 1,8   | 3,04         | 25,16        | 3,4   | 3.31            |
| HT-75Ni   | 12,8                     | 7,67 | 79,4 | 3,4        | 0,7   | 3,07         | 26,6         | 3,32  | 2.98            |
| 25Ni/HT-0 | 18,2                     | 36,3 | 45,1 | 3,4        | 2,2   | 3,05         | 27,33        | 11,37 | 16,45           |
| 75Ni/HT-0 | 5,75                     | 13,4 | 80,7 | 9,3        | 2,6   | ---          | ---          | 19.66 | 24,71           |

Los difractogramas de rayos X de los materiales se muestran en la Figura 1. Todos los materiales sintetizados muestran la estructura cristalina identificada como hidrotalcita, con las señales características a  $11,4^\circ$ ,  $22,9^\circ$ ,  $34,8^\circ$ ,  $39,0^\circ$ ,  $46,2^\circ$  y  $61,3^\circ$ ,  $62,63^\circ$  y  $65,40^\circ$ , correspondientes a los planos (003), (006), (012), (015), (018), (110), (113) y (116) respectivamente, propios de la estructura hidrotalcita en capas romboédricas [34-36].



**Figura 1.** Patrones de difracción de rayos X: a) hidrotalcitas frescas, b) hidrotalcitas reducidas

Las señales a  $2\theta = 35,3^\circ$ ,  $40,5^\circ$  y  $63^\circ$  reflejan una estructura típica tipo periclusa ( $MgO$ ) [37], y sus intensidades disminuyen al reducirse la cantidad de magnesio en el catalizador mientras aumenta el níquel, indicando una estructura más desordenada o una disminución en la cristalinidad. Después de la calcinación reductora, la estructura laminar desaparece, como lo indica la ausencia de los planos (003) y (006), lo que indica desorden en el apilamiento de las capas [29]. Adicionalmente, se observó la fase  $NiO$  a  $37^\circ$  (plano 111). Las otras señales a  $44^\circ$  y  $62^\circ$ , corresponden a óxidos formados por el tratamiento reductor, tales como  $Al_2O_3$ ,  $NiAl_2O_4$  y  $NiO$  [31, 35, 36], exhibiendo estructura similar a la periclusa de óxido mixto [38].

Las isothermas de adsorción/desorción de nitrógeno de las hidrotalcitas corresponden a las isothermas de tipo IV, que son típicas de los materiales mesoporosos y en forma de hendidura que contienen poros de 2-50 nm de ancho [39]. Los catalizadores exhibieron histéresis de tipo H3 para las cristalinas y tipo H4 para las soportadas, ambas con poros en forma de hendidura. Este tipo de histéresis se encuentra generalmente en sólidos que consisten en agregados o aglomerados de partículas (placas o partículas con aristas cúbicas), con tamaño o formas no uniformes [40, 41].

Las áreas superficiales BET de los catalizadores se presentan en la Tabla 3 y su orden de mayor a menor es el siguiente:  $HT-75Ni-R > HT-25Ni-R > HT-0Ni-R > 25Ni/HT-0 > 75Ni/HT-0$ . Los altos valores de área se deben al suave proceso de reducción térmica aplicado ( $550^\circ C$  durante 1 h) [49]. La ausencia de Ni genera menor área superficial en los catalizadores cristalinos, mientras que, en los soportados, a mayor cantidad de Ni se obtiene menor área superficial. Las áreas superficiales muestran una correlación con los resultados catalíticos presentados más adelante.

**Tabla 3.** Propiedades texturales por área BET para las hidrotalcitas sintetizadas

| Muestra   | Área BET ( $m^2/g$ ) | Volumen de poro ( $cm^3/g$ ) | Tamaño de poro (nm) |
|-----------|----------------------|------------------------------|---------------------|
| HT-0Ni    | 120,7                | 0,5                          | 15,1                |
| HT-25Ni   | 229,6                | 0,6                          | 9,2                 |
| HT-75Ni   | 235,7                | 0,5                          | 7,9                 |
| 25Ni/HT-0 | 105,9                | 0,3                          | 9,5                 |
| 75Ni/HT-0 | 38,7                 | 0,2                          | 16,1                |

Los resultados de  $H_2$ -TPR para las hidrotalcitas frescas cristalinas y soportadas se presentan en la Figura 2. Para el primer tipo de hidrotalcitas, se observan amplios picos asimétricos entre  $250^\circ C$  y  $900^\circ C$ , que surgen de la reducción de especies de óxido de níquel a níquel metálico ( $Ni^0$ ). El primer pico de consumo de hidrógeno ( $200-450^\circ C$ ) puede asignarse a la reducción del óxido de níquel que interactúa débilmente con  $Mg(Al)O$ , denominado como  $\alpha$ -Ni. El segundo pico ( $450-645^\circ C$ ), denominado  $\beta$ -Ni, se puede asignar al óxido de níquel con interacción media con su entorno, como resultado de la existencia de una solución en fase

sólida térmicamente estable de óxidos mixtos Mg(Ni, Al)O. El tercer pico (645-900°C), a la temperatura más alta, se debe a especies de Ni que interactúan fuertemente con su entorno, como son NiAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, y se conocen como Y-NiO [42, 32], estas interacciones se pueden observar más claramente en la Figura 3. Por otra parte, los resultados obtenidos para las hidrotalcitas soportadas, se evidencia una interacción débil con el soporte y por ende solo una señal que se asocia al α-Ni.

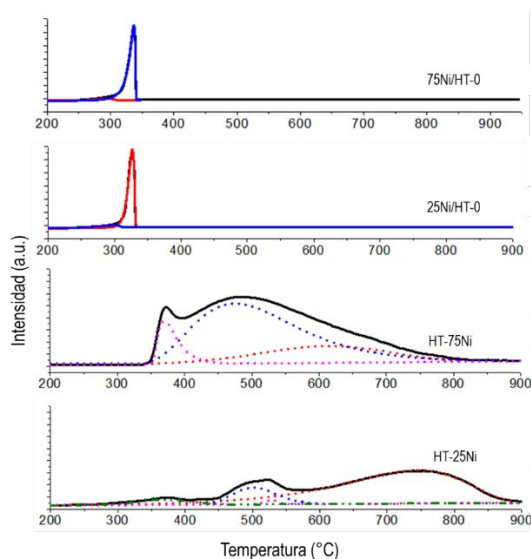


Figura 2. Perfiles TPR-H<sub>2</sub> de las hidrotalcitas sintetizadas

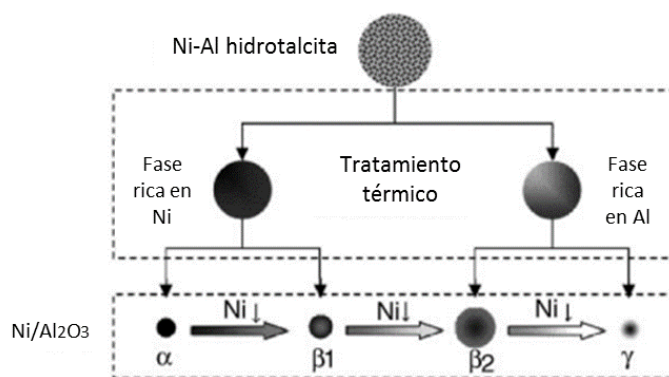


Figura 3. Representación del cambio en la composición de las especies de NiO reducible [32]

Los resultados observados concuerdan con los informes de la literatura, donde también se encontró que la incorporación de mayores cantidades de níquel en materiales derivados de hidrotalcita desplazó los picos de reducción hacia una temperatura más baja, aumentando la reducibilidad [22], como se observe en la HT-25Ni-R frente a la HT-75Ni-R. Los picos a mayor temperatura observados con las menores cargas de Ni indican la mayor interacción con el soporte (MgO y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) exhibida por las especies de Y-NiO antes mencionadas. Con base en estos informes previos, los sitios de reducción se clasificaron en tres categorías: sitios débiles a 200-450°C, sitios medios a 450-645°C y sitios fuertes a 645-900°C y los valores obtenidos se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Valores totales de reducción para las hidrotalcitas sintetizadas

| Catalizador | Débil (%) | Medio (%) | Fuerte (%) | Total (μmolH <sub>2</sub> /g) | Catalizador | Débil (%) | Medio (%) | Fuerte (%) | Total (μmolH <sub>2</sub> /g) |
|-------------|-----------|-----------|------------|-------------------------------|-------------|-----------|-----------|------------|-------------------------------|
| HT-25Ni     | 5         | 15        | 80         | 2,71                          | 25Ni/HT-0   | 100       | 0%        | 0%         | 1,89                          |
| HT-75Ni     | 9         | 68        | 22         | 4,72                          | 75Ni/HT-0   | 100       | 0%        | 0%         | 2,14                          |

Vale la pena mencionar que los perfiles de TPR informados de Ni-hidrotalcitas generalmente no muestran picos por debajo de los 400°C, porque los materiales generalmente se calcinan a altas temperaturas (800-900°C) y esto conduce a fuertes interacciones Ni-soporte. En nuestro caso, el tratamiento reductor de un solo paso a temperatura leve (550°C) no condujo a esa fuerte interacción y las partículas de Ni reducidas están relativamente libres.

Aparentemente, se podría pensar que la alcalinidad del catalizador juega un papel importante en la reacción de metanación ya que la adsorción de CO<sub>2</sub> se ve favorecida en los sitios básicos superficiales. En general, la basicidad de una hidrotalcita está influenciada por la composición del precursor prístino de hidrotalcita (tanto los cationes en capas similares a la brucita como el tipo de aniones en el espacio entre capas) [43, 44]. Los perfiles de CO<sub>2</sub>-TPD registrados de las hidrotalcitas reducidas se muestran en la Figura 4.

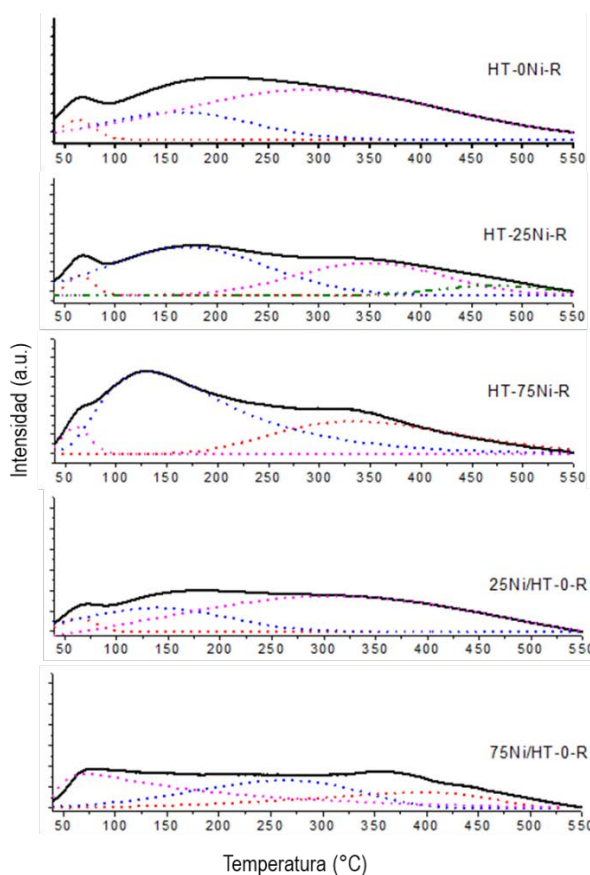


Figura 4. Perfiles TPD-CO<sub>2</sub> para hidrotalcitas

Todos los catalizadores exhiben tres picos de desorción de CO<sub>2</sub> como se ilustra en la Figura 5: sitios básicos débiles (50-100°C) que se atribuyen a la desorción de CO<sub>2</sub> de grupos OH de Brønsted débiles, sitios básicos medios (100-250°C) que se atribuyen a los carbonatos bidentados formados en pares metal-oxígeno, y sitios básicos fuertes (250-550°C) que se pueden atribuir al dióxido de carbono enlazado con aniones de oxígeno de baja coordinación [22, 31].

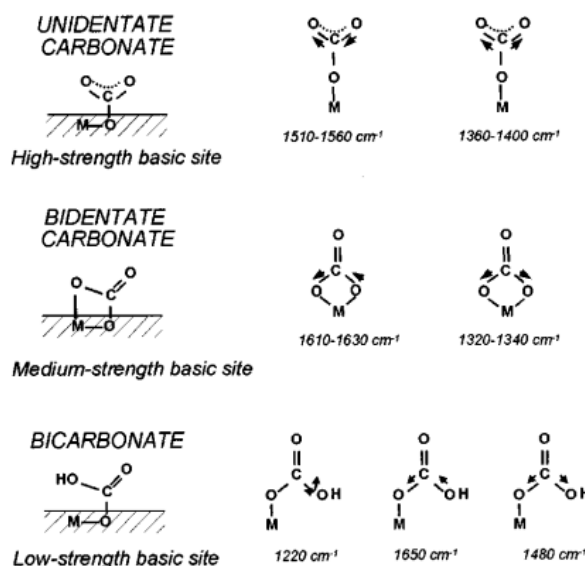


Figura 2. Formas en las cuales la molécula de CO<sub>2</sub> es adsorbido en la superficie de las hidrotalcitas [45]

La alcalinidad total aumentó en el orden HT-25Ni-R < 75Ni/HT-0-R < 25Ni/HT-0-R < HT-0Ni-R < HT-75Ni-R, como se observa en la Tabla 5. Esta tendencia indica que la introducción de Ni a la hidrotalcita por sustitución isomorfica (co-precipitación) mejora la basicidad superficial de los catalizadores. El catalizador sin Ni tiene un valor de alcalinidad significativo que se atribuye al desequilibrio de carga de Mg-Al. Tomando como referencia este catalizador sin Ni, la introducción de altas cantidades de Ni (catalizador HT-75Ni-R) aumenta notablemente la alcalinidad, mientras que la introducción de cantidades menores de Ni o la impregnación superficial, disminuye la alcalinidad.

**Tabla 5.** Valores de alcalinidad para las hidrotalcitas sintetizadas reducidas

| Catalizador | Débil* (%) | Medio** (%) | Fuerte*** (%) | Total (μmolCO <sub>2</sub> /g) | Catalizador | Débil (%) | Medio (%) | Fuerte (%) | Total (μmolCO <sub>2</sub> /g) |
|-------------|------------|-------------|---------------|--------------------------------|-------------|-----------|-----------|------------|--------------------------------|
| HT-0Ni-R    | 8          | 30          | 63            | 139                            | HT-0Ni-R    | 8         | 30        | 63         | 139                            |
| HT-25Ni-R   | 6          | 54          | 40            | 91                             | 25Ni/HT-0-R | 4         | 22        | 76         | 123                            |
| HT-75Ni-R   | 3          | 72          | 25            | 159                            | 75Ni/HT-0-R | 44        | 38        | 18         | 98                             |

\*Débil: <100°C

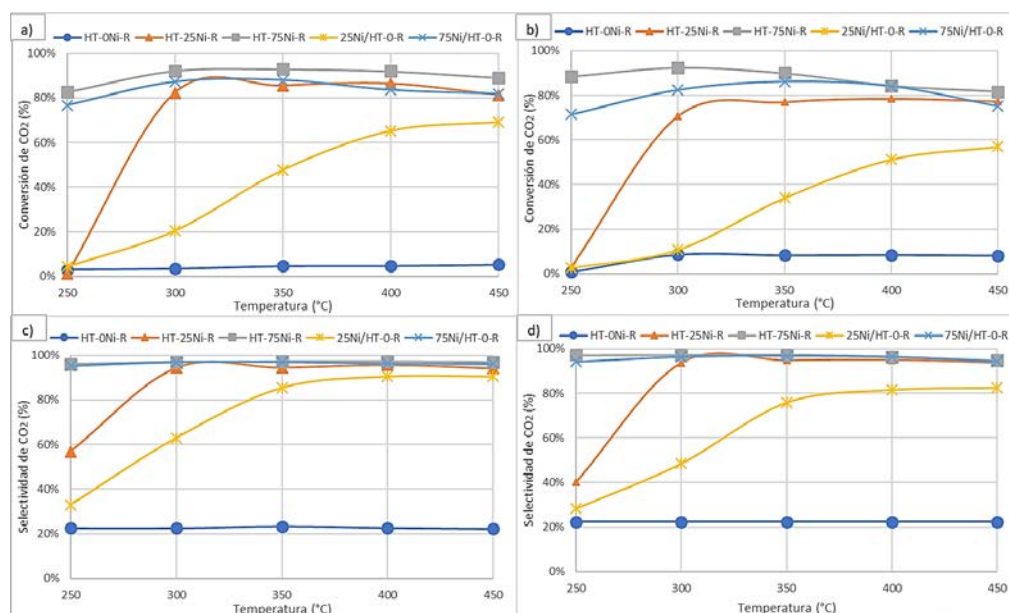
\*\*Medio: 100-250°C

\*\*\*Fuerte: >250°C

Al acoplar esta observación con los resultados de TPR, se puede concluir que el Ni reducido con una interacción baja con el soporte induce una alcalinidad adicional de tipo débil y media. Las especies de Ni en el catalizador HT-25Ni-R aún tienen una fuerte interacción con el soporte y la mayoría de ellas no se redujeron a 550°C, esto explica su menor alcalinidad, que es del tipo fuerte-media. Estos resultados están de acuerdo con informes anteriores presentados por otros autores [22, 31, 46].

### 3.2 Actividad catalítica de la metanación

La conversión de CO<sub>2</sub> para los experimentos de metanación se muestran en la Figura 6, para dos GHSV (5000 y 10000 h<sup>-1</sup>). Todos los catalizadores que contenían Ni fueron bastante activos a temperaturas superiores a 350°C, mientras que la actividad del catalizador sin Ni fue bastante baja (aprox. 5% de conversión). Como se esperaba de la termodinámica de esta reacción, la conversión de CO<sub>2</sub> disminuyó ligeramente con la temperatura, pero destaca la alta actividad obtenida a bajas temperaturas con las hidrotalcitas sintetizadas por el método de co-precipitación y se correlaciona con las buenas propiedades catalíticas de alta área superficial, tamaño de cristales de Ni<sup>0</sup> y alcalinidad.



**Figura 3.** a) Conversión de CO<sub>2</sub> con GHSV = 5000 h<sup>-1</sup>, b) Conversión de CO<sub>2</sub> con GHSV = 10000 h<sup>-1</sup>, c) Selectividad hacia metano con GHSV = 5000 h<sup>-1</sup> and d) Selectividad hacia metano con GHSV = 10000 h<sup>-1</sup>

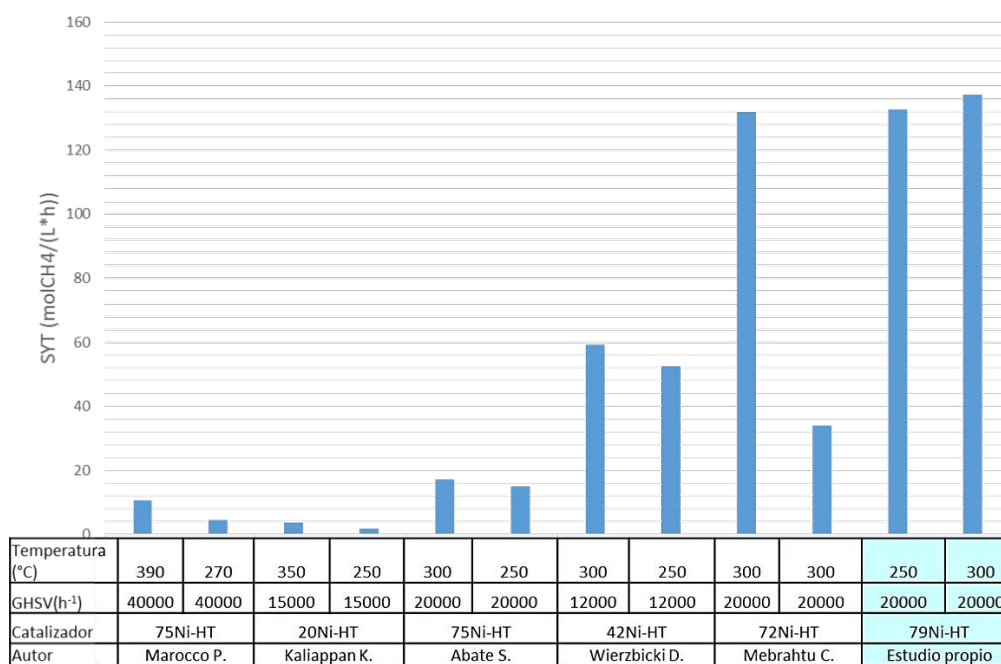
El aumento de dos veces en GHSV condujo a una leve disminución en la conversión y no es un factor que afecte significativamente el rendimiento hacia metano. Como ya se mencionó, los resultados de TPR

mostraron que la cantidad de Ni reducido originado por la reducción a 550°C, se correlaciona con la actividad catalítica observada en la Figura 6. Considerando que los catalizadores se redujeron a 550°C, la cantidad de Ni reducido en los catalizadores, así como otras propiedades evaluadas en esta investigación tienen un gran efecto en la metanación de CO<sub>2</sub>.

Se observa mejores conversiones y selectividades con las hidrotalcitas que presentan mayor carga de níquel (HT-75Ni-R y 75Ni-HT-0-R), además se observa mejor actividad en las hidrotalcitas cristalinas frente a los resultados obtenidos por sus análogas mediante el método de impregnación en húmedo. No solo mayor cantidad de Ni reducido juegan un papel importante, también la alcalinidad y el tamaño de partícula del Ni<sup>0</sup>, que además permite tener mayor conversión a menor temperatura y flujos más altos (GHSV= 10000 h<sup>-1</sup>).

Observando las buenas propiedades y actividad catalítica obtenida por el catalizador HT-75Ni-R, se procedió a evaluar este catalizador a un GHSV de 20000 h<sup>-1</sup>, obteniendo una reducción mínima de los valores obtenidos para la conversión de CO<sub>2</sub> y selectividad hacia metano a 10000 h<sup>-1</sup>. Varios autores realizan la metanación diluyendo los gases, obteniendo un producto disuelto, por ende para comparar nuestros resultados con los obtenidos en otros estudios, se utilizó la variable de respuesta rendimiento espacio-tiempo (STY) definida en la ecuación 5, como recomiendan Janz y Wait [47].

Cabe destacar que nuestro catalizador HT-75Ni (el mismo 79Ni/HT) es muy activo y selectivo a una temperatura tan baja como 250°C (82,7% de conversión y 98% de selectividad). Además, el método de síntesis fue más simple, reduciendo tiempo de envejecimiento (4 h) y sin pasos previo de calcinación en aire para su posterior reducción, características que ayudan a su alta actividad como se presenta en la Figura 7 y que simplifican y disminuye costos de producción del catalizador.



**Figura 4.** Rendimiento de catalizadores de Ni/hidrotalcita altamente activos y de baja temperatura representativos para la metanación de CO<sub>2</sub>

#### 4. CONCLUSIONES

Con el propósito de desarrollar mejores catalizadores, activos a menores temperaturas, se sintetizaron con éxito varios catalizadores de Ni basados en hidrotalcita con un enfoque más simple en la etapa de síntesis y de pre-acondicionamiento de estos materiales, alcanzando en muchos casos mejores rendimientos de metanación frente a otros resultados obtenidos por otros autores en estudios similares. Estos catalizadores se obtuvieron por dos métodos de síntesis en los que se clasifican como co-precipitación e impregnación en húmedo: para el primero se mantuvo constante la relación M<sup>II</sup>/M<sup>III</sup> en un valor alrededor de 3 y se varió la relación Ni/Mg y Mg/Al. Para el segundo método se mantuvo constante la relación Mg/Al y se varió la

relación  $M^{II}/M^{III}$ , además de que en este método la impregnación se da por una interacción física y por co-precipitación se da por una interacción química por el tipo de sustitución isomorfa del níquel que lo hacen parte de la hidrotalcita y que además ayuda a tener mayor dispersión del metal activo.

Como un aspecto novedoso, estos catalizadores fueron sometidos a un tiempo reducido de envejecimiento y no se calcinaron en aire, si no que una vez se secaron a 110°C se procedió a su reducción a 550°C por 1 hora en hidrogeno puro, lo que denominamos como calcinación reductiva, obteniendo catalizadores listos para caracterizar y ser evaluados en la metanación de  $CO_2$ . Las hidrotalcitas obtenidas por el método de co-precipitaciones presentaron mejores propiedades estructurales, térmicas y superficiales; en donde por DRX se observan cristales menores a 5 nm y aun cuando se aumenta el contenido de níquel en el catalizador, los nano-cristales se mantienen; traduciéndose también a una buena dispersión del metal.

Esta buena propiedad también desemboca en su aumento de capacidad de adsorción de  $CO_2$  siendo proporcional al aumento de la relación níquel/magnesio. En el análisis de área BET, se observa que este parámetro está influenciado por la relación Ni/Mg, alcanzando los mayores valores de área superficial cuando estos dos metales están presentes, estando en mayor proporción en níquel, siempre y cuando este metan se encuentre dentro de la estructura como sucedió con los catalizadores cristalinos.

Por otra parte, los valores obtenidos en la caracterización para las hidrotalcitas por el método de impregnación húmeda son menos llamativos a los obtenidos por el método de co-precipitación. Se obtuvieron catalizadores con tamaños de cristal del  $Ni^0$  mayores a 5nm, lo que puede conducir a la disminución de la actividad catalítica. A medida que se aumenta la cantidad de níquel en el soporte, disminuye su capacidad para capturar  $CO_2$ , además de que las especies reducibles para todos los catalizadores obtenidos por esta técnica presentan una interacción débil que, si bien son de fácil reducción, pero pueden presentar fácil sinterización y por ende inestabilidad con el tiempo y la temperatura.

Así mismo se obtuvieron valores de área superficial mucho menor a los obtenidos por el método de co-precipitación. Todas estas características anteriores sugieren además una mala dispersión del metal y posible formación de clúster de níquel en el catalizador.

En términos de rendimiento catalítico, las hidrotalcitas que se obtuvieron por los dos métodos de síntesis y con diferente carga de níquel fueron evaluadas en un reactor de lecho empacado en continuo que funcionaba a presión atmosférica. Las medidas de actividad catalítica se evaluaron con una mezcla de  $CO_2/H_2$  (1:4) en un rango de temperatura de 250°C a 450°C y GHSV de 5000  $h^{-1}$  y 10000  $h^{-1}$ . El rendimiento de los catalizadores se evaluó en términos de conversión de  $CO_2$ , rendimiento hacia  $CH_4$  y selectividad a  $CH_4$ ; en el que destacan los resultados obtenidos bajo la relación 75 de Ni/Mg y que además es concordante y esperado en función de la caracterización previamente realizada.

### Agradecimientos

Los autores agradecen al *Programa Colombia científica* como fuente de financiación, en el marco de las convocatorias *Ecosistema científico*, contrato No. FP44842- 218-2018 por su financiación.

### REFERENCIAS

- [1] Mosteiro M. et al. (2020). An Integrated Microclimate-Energy Demand Simulation Method for the Assessment of Urban Districts. *Frontiers Built Environment* 6, 165.
- [2] Shearer C. et al. (2017). Future  $CO_2$  emissions and electricity generation from proposed coal-fired power plants in India. *Earth's Future* 5(4), 408–416.
- [3] Chen W. y Geng W. (2017). Fossil energy saving and  $CO_2$  emissions reduction performance, and dynamic change in performance considering renewable energy input. *Energy* 120, (283–292).
- [4] Nema P. et al. (2012). An overview of global climate changing in current scenario and mitigation action. *Renewable Sustainable Energy Reviews* 16(4), 2329–2336.
- [5] Raupach M. et al. (2007). Global and regional drivers of accelerating  $CO_2$  emissions. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 104(24), 10288–10293.
- [6] Wilberforce T. et al. (2021). Progress in carbon capture technologies. *Sci. Total Environ.* 761, 143203.
- [7] Osman A. et al. (2020). Recent advances in carbon capture storage and utilisation technologies: A review. *Environment Chemical Letters* 19(2), 797–849.

- [8] Centi G. y Perathoner S. (2009). Opportunities and prospects in the chemical recycling of carbon dioxide to fuels. *Catalyst Today* 148(3–4), 191–205.
- [9] Pires L. et al. (2021). Capture and reuse of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) for a plastics circular economy: A review. *Processes* 9(5).
- [10] Sempuga B. y Yao Y. (2017). CO<sub>2</sub> hydrogenation from a process synthesis perspective: Setting up process targets. *Journal CO<sub>2</sub> utilization* 20, 34–42.
- [11] Baraj E. et al. (2016). Reaction mechanisms of carbon dioxide methanation. *Chemical Papers* 70(4), 395–403.
- [12] Rönsch S. et al. (2016). Review on methanation – From fundamentals to current projects. *Fuel* 166, 276–296.
- [13] Proaño L. et al. (2020). Mechanistic assessment of dual function materials, composed of Ru-Ni, Na<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Pt-Ni, Na<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, for CO<sub>2</sub> capture and methanation by in-situ DRIFTS. *Applied Surface Science* 533, 147469.
- [14] Miao B. et al. (2016). Catalysis mechanisms of CO<sub>2</sub> and CO methanation. *Catalyst Science Technology* 6(12), 4048–4058.
- [15] Gao J. et al. (2015). Recent advances in methanation catalysts for the production of synthetic natural gas. *Royal Society Chemistry Advances* 5(29), 22759–22776.
- [16] Lee W. et al. (2021). Recent trend in thermal catalytic low temperature CO<sub>2</sub> methanation: A critical review. *Catalyst Today* 368, 2–19.
- [17] Du Y. et al. (2021). Ni nanoparticles dispersed on oxygen vacancies-rich CeO<sub>2</sub> nanoplates for enhanced low-temperature CO<sub>2</sub> methanation performance. *Chemicals Engineering Journal* 418, 29402.
- [18] Liu Q. et al. (2015). One-pot synthesis of ordered mesoporous Ni-V-Al catalysts for CO methanation. *Journal Catalyst* 326, 127–138.
- [19] Marocco P. et al. (2018). CO<sub>2</sub> methanation over Ni/Al hydrotalcite-derived catalyst: Experimental characterization and kinetic study. *Fuel* 225, 230–242.
- [20] Kaliappan K. (2016). Methane production from CO<sub>2</sub> over Ni-hydrotalcite derived catalysts. Recuperado: <https://www.semanticscholar.org/paper/Methane-production-from-CO2-over-Ni-hydrotalcite-Kaliappan/8c009a7117d3ebc3e0a97f1a5358c6d3c41c8f24>
- [21] Huynh H. y Yu Z. (2020). CO<sub>2</sub> Methanation on hydrotalcite-derived catalysts and structured reactors: A review. *Energy Technology* 8(5), 1901475.
- [22] Wierzbicki D. et al. (2017). The influence of nickel content on the performance of hydrotalcite-derived catalysts in CO<sub>2</sub> methanation reaction. *International Journal Hydrogen Energy* 42(37), 23548–23555.
- [23] Agbaba Ö. (2017). Carbon dioxide methanation over hydrotalcite-based nickel catalysts. Recuperado: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/27024>
- [24] Szima y S. y Cormos C. (2021). CO<sub>2</sub> Utilization Technologies: A Techno-Economic Analysis for Synthetic Natural Gas Production. *Energies* 2021 14(5), 1258.
- [25] Welch A. et al. (2021). Comparative Technoeconomic Analysis of Renewable Generation of Methane Using Sunlight, Water, and Carbon Dioxide. *Energy Letters* 6(4), 1540–1549.
- [26] Cabrera W. (2015). Desarrollo de catalizadores heterogeneos tipo hidrotalcita para reacciones en oleoquímica. *Disertación doctoral. Universidad de Antioquia.*
- [27] Marin J. et al. (2022). Low-temperature and highly active nickel catalyst based on hydrotalcite Mg-Al for CO<sub>2</sub> methanation. *Energy Technology* 1-10
- [28] Elmoubarki R. et al. (2016). Ni/Fe and Mg/Fe layered double hydroxides and their calcined derivatives: Preparation, characterization and application on textile dyes removal. *J. of materials Research* 6(3), 271–283.
- [29] Abate S. et al. (2016). Synthesis, characterization, and activity pattern of ni-al hydrotalcite catalysts in CO<sub>2</sub> methanation. *Industrial Engineering Chemistry Research* 55(30), 8299–8308.
- [30] Ye R. et al. (2020). High-performance of nanostructured Ni/CeO<sub>2</sub> catalyst on CO<sub>2</sub> methanation. *Applied Catalyst B Environment* 268, 118474.
- [31] Dębek R. et al. (2016). Methane dry reforming over hydrotalcite-derived Ni-Mg-Al mixed oxides: the influence of Ni content on catalytic activity, selectivity and stability. *Catalysis Science Technology* 6(17), 6705–6715.
- [32] Zhang J. et al. (2005). Characterizations and activities of the nano-sized Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Ni/La-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalysts for NH<sub>3</sub> decomposition. *Applied Catalysis A General* 290(1–2), 87–96.
- [33] Li J. et al. (2019). Highly-dispersed Ni-NiO nanoparticles anchored on an SiO<sub>2</sub> support for an enhanced CO methanation performance. *Catalyst* 2019 9(6), 506.
- [34] Forano C. et al. (2013). Layered double hydroxides (LDH). *Development Clay Science* 5, 745–782.
- [35] Touahra F. et al. (2015). Effect of the Ni/Al ratio of hydrotalcite-type catalysts on their performance in the methane dry reforming process. *Applied Petrochemical Research* 6(1), 1–13.
- [36] Vos B. et al. (2001). Impact of calcination conditions on the structure of alumina-supported nickel particles. *Journal Catalyst* 198(1), 77–88.
- [37] Wierzbicki D. et al. (2016). Novel Ni-La-hydrotalcite derived catalysts for CO<sub>2</sub> methanation. *Catalysis Communication* 83, 5–8.
- [38] Dębek R. et al. (2015). Effect of nickel incorporation into hydrotalcite-based catalyst systems for dry reforming of methane. *Research Chemical Intermediates* 41(12), 9485–9495.



- [39] Sotomayor F. et al. (2018). Characterization of Micro/Mesoporous Materials by Physisorption: Concepts and Case Studies. *Materials Surfaces Research* 3(2), 34–50.
- [40] Alothman Z. (2012). A review: Fundamental aspects of silicate mesoporous materials. *Materials* 5(12), 2874–2902.
- [41] Leofanti G. et al. (1998). Surface area and pore texture of catalysts. *Catalysis Today* 41(1–3), 207–219.
- [42] Zheng W. et al. (2008). Effects of CeO<sub>2</sub> addition on Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalysts for the reaction of ammonia decomposition to hydrogen. *Applied Catalysis B Environment* 80(1–2), 98–105.
- [43] Gac W. (2011). Acid–base properties of Ni–MgO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> materials. *Applied Surfaces Science* 257(7), 2875–2880.
- [44] Kuśtrowski P. et al. (2004). Acidity and basicity of hydrotalcite derived mixed Mg–Al oxides studied by test reaction of MBOH conversion and temperature programmed desorption of NH<sub>3</sub> and CO<sub>2</sub>. *Materials Research Bulletin* 39(2), 263–281.
- [45] Di Cosimo J. et al. (1998). Structure and Surface and Catalytic Properties of Mg–Al Basic Oxides. *Journal Catalyst* 178, 499–510.
- [46] Hasmizam M. et al. (2017). CO<sub>2</sub> Adsorption Study on NiO and Pr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> -NiO Catalyst Synthesis Using Simple Sol-Gel Method. *Oriental Journal Chemistry* 33(04), 1864–1870.
- [47] Janz G. y Wait S. (1955). Space-Time Yield and Reaction Rate. *Journal Chemistry Physicals* 23(8), 1550.

# Análisis del impacto ambiental causado por los aerogeneradores

Gina Faisuly Castro Castro<sup>1</sup>  
Mauricio Montaña Jarro<sup>2</sup>  
Fabián David Barreto Sánchez<sup>3</sup>  
*Fundación Universitaria de San Gil*  
Colombia

Este capítulo de revisión tiene como fin evidenciar los principales impactos ambientales que suelen producir los aerogeneradores en su etapa de funcionamiento en los parques eólicos. Si bien cabe mencionar que la energía eólica se convirtió en una de las fuentes de generación de energía más limpia en el mundo, debido a su cero emisión de gases contaminantes a la atmósfera, se debe evaluar los impactos que se podrían generar en el medio ambiente como una forma para implementar medidas que permitan mitigarlos en las futuras construcciones de proyectos de generación de energía eólica, considerando la idea que hasta la fecha las energías renovables que se emplean causan un efecto mínimo en el medio ambiente. Las evidencias que se presentan son una recopilación de artículos de revistas digitales y tesis de investigación en niveles de pregrado y posgrado, donde básicamente los impactos ambientales de mayor afectación inciden en el paisaje, la emisión de ruidos, la flora y la fauna. También se exponen planes de mitigación a estos impactos ambientales.

---

<sup>1</sup> Estudiante de Ingeniería Electrónica.

Contacto: [ginacastro4@unisangil.edu.co](mailto:ginacastro4@unisangil.edu.co)

<sup>2</sup> Estudiante de Ingeniería Electrónica.

Contacto: [mauriciomontana220@unisangil.edu.co](mailto:mauriciomontana220@unisangil.edu.co)

<sup>3</sup> Ingeniero Electrónico y Magíster en Ciencias de la Información y las comunicaciones.

Contacto: [fbarreto@unisangil.edu.co](mailto:fbarreto@unisangil.edu.co)

## 1. INTRODUCCIÓN

El consumo mundial de energía sigue dependiendo en gran medida del uso de combustibles fósiles, en particular carbón, petróleo y gas natural. La Agencia Internacional de Energía IEA informa que, en 2015, alrededor del 80,7% de la energía primaria consumida en todo el mundo provino de estas fuentes; Las energías renovables representan solo el 19,3% restante. Esto resulta en la liberación de grandes cantidades de dióxido de carbono CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Según la fuente, en 2015, estas emisiones alcanzaron las 32,3 gigatoneladas de dióxido de carbono GtCO<sub>2</sub> a nivel mundial, equivalentes a los niveles de 2014; Los principales generadores de contaminación son China (28%), Estados Unidos (15%), Unión Europea (10%), India (6%), Federación Rusa (5%), Japón (4%), Corea China (2 %), Canadá (2%), Brasil (1%) y México (1%) [1].

El desarrollo de la tecnología eólica es muy importante. La energía eólica utiliza la energía del viento para generar energía mecánica o energía eléctrica. El estudio señala que varias turbinas están diseñadas utilizando mecánica de fluidos para aumentar su eficiencia, incluidas las turbinas basadas en Venturi que permiten su uso en áreas urbanas a velocidades más bajas y una mayor potencia de salida. Por otro lado, existen torres solares que aprovechan la convección generada por el calentamiento global en la base de la gran torre para producir electricidad.

Durante la década de los ochenta, las perspectivas para el desarrollo de estas tecnologías aumentaron debido al desarrollo de áreas interdisciplinarias del conocimiento como la electrónica, los sistemas de información y comunicación, los nuevos materiales, el diseño de máquinas herramientas, informática, entre otras áreas. Los aerogeneradores existentes se basan en dos tipos, el de eje horizontal, que es el más utilizado por su alta eficiencia, y el de eje vertical, con menor potencial de generación [2].

Cada una de estas tecnologías tiene sus diferencias, ventajas y desventajas, por ejemplo, los aerogeneradores de eje horizontal son efectivos, pero requieren mayores superficies de montaje y dirección para mejorar su funcionamiento, hacen ruido, lo cual es más peligroso para las aves. Los aerogeneradores de eje vertical son más silenciosos, pero menos eficientes, no requieren sistema de dirección porque el viento puede pasar a través de ellos desde cualquier dirección, son menos peligrosos para las aves, no hacen ruido.

Hoy en día, la tecnología más utilizada en la generación de energía eléctrica son los aerogeneradores. Una máquina que convierte la energía cinética del viento en electricidad. La energía eólica es una forma indirecta de aprovechar la radiación solar, ya que proviene de las diferencias de temperatura entre distintos puntos de la superficie terrestre. La tecnología de turbinas eólicas varía mucho, tanto en términos de fabricante, modelo, tamaño y diseño de concepto. Sus potencias van desde unos pocos vatios (pequeñas turbinas eólicas) hasta las diseñadas para parques eólicos, que suelen ser superiores a 1 megavatio [3].

El impacto ambiental que puede tener una instalación de aerogeneradores depende, en gran medida, de su tamaño y del entorno que la rodea. Los efectos que provocan los aerogeneradores aislados son diferentes a los de un parque eólico (varios generadores en el mismo lugar) y las instalaciones cercanas a los montajes no tienen un efecto similar al que se produce lejos de ellos; o el trabajo realizado en áreas protegidas en comparación con el trabajo realizado en áreas sin fuertes restricciones ambientales.

Para un aprovechamiento de la energía eólica se deben diseñar tecnologías que tengan un mínimo de impacto ambiental negativo en su ciclo de vida, así como realizar una planeación sustentable de las instalaciones de generación de electricidad, para implementar dichas tecnologías o medidas de mitigación se debe realizar un estudio de identificación de la problemática ambiental que genera el funcionamiento de los aerogeneradores, por lo tanto a continuación se analizarán cada problemática viendo cómo se manifiestan durante la etapa de funcionamiento [4].

## 2. MÉTODO

La metodología implementada en este trabajo de revisión se estableció a partir de artículos y tesis en el ámbito de revisión e investigación a nivel mundial y nacional empleando como herramientas principales el

buscador Google Scholar y la base de datos IEEEEXPLORE, la información recopilada nos permite visualizar la problemática ambiental que se puede generar en la implementación de la energía eólica como fuente de producción de electricidad. Sin embargo, los resultados seleccionados corresponden a casos en Iberoamérica, casos en Latinoamérica y estudios a nivel nacional. Los criterios de búsqueda que se establecieron fueron los siguientes:

- Artículos de revisión
- Artículos de investigación
- Artículos que no superen 10 años de publicados
- Artículos reconocidos por revistas de investigación o respaldados por una universidad establecida
- Artículos con resultados ya implementados
- Artículos en otros idiomas

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Revisión de la literatura

Con base en la aplicación de la metodología se encontraron cinco estudios en los que se presentan los documentos, tesis de investigación y artículos que tienen relación con estudios de impacto ambiental y social ocasionados por las plantas de energía eólica a nivel mundial o Latinoamérica, de igual manera algunos de estos artículos están apoyados con tablas, legislación internacional y algunas soluciones que plantearon los países donde se desarrollaron los proyectos para mitigar estos impactos y aprovechar al máximo la producción de electricidad a partir de la energía eólica.

En [5] se realiza una recopilación de investigaciones sobre el impacto que genera el funcionamiento de los aerogeneradores sobre las aves y murciélagos en algunos proyectos de energía eólica en América Latina. De igual manera en el artículo los autores realizan una revisión y síntesis de 6 investigaciones que se realizaron en el transcurso de 19 años (2009 a 2020), donde se evidencia cifras de mortalidad de aves y murciélagos y su estado de conservación según la clasificación que realiza la International Union for Conservation of Nature UICN. Las 6 referencias hacen un resumen de muertes post-construcción registradas en los siguientes proyectos: Parque eólico Occidental, Parque eólico del Este, Parque eólico del Norte, La venta II (México); Los Coruros (Chile); Sierra de los caracoles (Uruguay); Parque eólico Osorio (Brasil); Sin Nombre<sup>4</sup> (Puerto Rico).

Según los autores, el crecimiento de la industria de la energía eólica genera efectos sobre la vida silvestre, especialmente cuando el riesgo de mortalidad se relaciona con la colisión o exposición de las especies con las turbinas eólicas. Por lo tanto, a continuación, se presenta las cifras de fatalidad según la especie a la que corresponden:

- *Aves*: Los paseriformes constituyeron la gran mayoría de las muertes de aves reportadas en los 6 estudios, con un total de 62 muertes, seguidamente los columbiformes con 58, las galliformes 21, las cathartiformes 18 y las rapaces diurnas 11. Lo cual suma un mínimo de 209 muertes de aves de al menos 69 especies, que va desde cero en el proyecto Los caracoles en Uruguay hasta 115 en La Venta II en México [4]. La codorniz del norte (*Colinus virginianus*) fue la especie de ave con la mayoría de las muertes reportadas en todos los estudios (20 en total) y está categorizada como por la UICN como casi amenazada, de igual manera el chotacabras del este (*Caprimulgus vociferus*) y el gorrión de cola canela (*Peucaea sumichrasti*) reportaron una muerte cada una y se encuentran registradas por el UICN como especies casi amenazadas. Todas las demás especies de aves tienen un estado de conservación de preocupación menor y no se reportaron aves en la categoría amenazada por la UICN.
- *Murciélagos*: Se informó un mínimo de 983 muertes de murciélagos de al menos 40 especies, con un número de muertes por estudio que va desde cero en el parque eólico del este en México hasta 336 en

---

<sup>4</sup> En los documentos de investigación no se reporta el nombre del proyecto eólico de Puerto Rico, pero los autores hacen mención de las coordenadas geográficas del parque eólico.

el parque eólico Osorio en Brasil con excepción del parque eólico del Oeste de México, el cual no reportó muertes [5]. Las especies más perjudicadas fueron: Molossidae con 415, Mormoopidae con 313, Vespertilionidae con 125 y Phyllostomidae con 93, otras familias 8 muertes en total.

De igual manera dos especies de murciélagos de las muertes totales se encuentran bajo la categoría amenazada por la UICN, uno de ellos el murciélago de nariz larga del sur (*Leptonycteris curusae*) reportó cuatro muertes en La venta II y el murciélago rojo menor (*Lasiurus Minor*) reportó una muerte en el proyecto sin nombre de Puerto Rico. Por otra parte, las especies: murciélago de nariz larga menor (*L. yerbabuena*) y el murciélago de la fruta roja (*Stenoderma rufum*) se encuentran dentro de la categoría Casi amenazadas y reportaron 5 y 3 muertes respectivamente. Todas las demás especies de murciélagos tienen un estado de conservación de Preocupación menor.

Finalmente, con base en los resultados de las investigaciones se logró determinar que no hay suficiente información para hacer afirmaciones sobre los impactos que genera el desarrollo de la energía eólica sobre las aves y murciélagos en América Latina, pero se puede deducir que las cifras de mortalidad anual pueden aumentar cuando la capacidad instalada de energía eólica crezca. Sin embargo, estos resultados permiten identificar y difundir información sobre muertes de aves y murciélagos en los proyectos de energía eólica en el mundo con el objetivo de integrar prácticas de manejo apropiadas para la conservación de la biodiversidad en la implementación de nuevos proyectos de energía eólica.

En [6] se hace énfasis en un estudio de impacto ambiental que se realizó en el municipio de Almonacid de Marquesado en la provincia de Cuenca (España) para la instalación de un parque eólico compuesto de 13 aerogeneradores de 800 KW de potencia unitaria, el objetivo de esta investigación es aplicar todas las medidas preventivas, correctoras y compensatorias para minimizar los efectos ambientales que la instalación del parque eólico pueda generar sobre el medio ambiente. El proyecto inicia con un estudio de inventario ambiental, seguidamente se aplica una metodología para la identificación de impactos y finalmente se establecen las medidas correctoras y protectoras para la conservación del medio ambiente. A continuación, se detallan las etapas:

- *Inventario Ambiental:* La investigación realiza una descripción del inventario ambiental bajo 10 parámetros: Clima, geología, geotecnia, calidad del aire, hidrología, ruido, flora y vegetación, fauna, patrimonio natural – biodiversidad y paisaje. Sin embargo, haremos énfasis en 4 de ellos: Paisaje, Ruido, Fauna, Flora y Vegetación.
- *Paisaje:* Según Gandarov [5], un paisaje es la percepción o conjunto de sensaciones, visuales, auditivas, olfativas, que producen en nosotros un determinado escenario natural con o sin intervención humana. En la comunidad de Castilla-La Mancha, la política de paisajes se rige bajo diferentes normas que regulan distintos aspectos sectoriales que afectan al paisaje, por ejemplo, la Ley 2/1998, de 4 de junio, de Ordenación del Territorio y de la Actividad Urbanística. Pero no existe una norma que regule el paisaje en su concepción más global, tal y como se define en el Convenio Europeo del Paisaje, ratificado por España el 26 de noviembre de 2007. Para lo cual, dentro del campo monótono de la llanura de Almonacid del Marquesado, aparecen lagunas, charcas y riachuelos, que conforman el paisaje endorreico más genuino de la región de La Mancha (Figura 1).



Figura 1. Paisaje Almonacid del Marquesado [6]

- *Ruido:* La Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental, propone el uso de mapas estratégicos de ruido para evaluar

de forma general la exposición al ruido en una zona determinada por la existencia de fuentes del ruido o bien para realizar predicciones globales para dicha zona [6]. Para el caso de construcción del parque eólico, debido a su emplazamiento alejado de los núcleos urbanos y de carreteras principales no se dispone de datos concretos de mediciones de los niveles acústicos.

- **Fauna:** Se muestra la relación de especies inventariadas en la zona de estudio, en un radio de 10 km. Entre ellas se encontraron 3 especies de anfibios, 57 especies de aves, 15 especies de mamíferos y 2 especies de reptiles.
- **Flora y vegetación:** En España se aplica la Ley 42/2007 de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. Los artículos 53 y 55, hacen, con carácter básico, el listado de Especies Silvestres en régimen de protección especial y, en su seno, el Catálogo Español de Especies Amenazadas [5]. Para lo cual el proyecto inventarió el listado de especies en un radio de 10 km de la zona de estudio. Las especies registradas fueron: Encinares (A.F.M. (Bosquetes)), Pinares de pino carrasco (Bosque Plantación), Pastizal Matorral (Pastizal Matorral), Matorral (Matorral), Pinares de pino piñonero (Bosque Plantación), Arbolado disperso de frondosas (Bosque), Arbolado disperso de frondosas (A.F.M. (Bosquetes)), Mezclas de coníferas autóctonas en la región biogeográfica mediterránea (Bosque Plantación), Cultivo con arbolado disperso (Cultivo con arbolado disperso), Agrícola y prados artificiales, Pinares de pino pinaster en región mediterránea (P. pinaster ssp. mesogeensis) (Bosque Plantación) y Prado.
- **Metodología para la identificación de impactos:** El Estudio de Impacto Ambiental EsIA es un proceso analítico que tiene por objeto formar un juicio previo, lo más objetivo posible, sobre la importancia que tienen los impactos de un determinado proyecto en el medioambiente con el fin de evitar o reducir dichos impactos. La investigación realiza la identificación de los impactos sobre el medio ambiente en la zona de estudio donde se realizará el proyecto eólico a partir de tres etapas: construcción, explotación y abandono, pero el desarrollo de esta revisión solo evaluará la etapa de funcionamiento (explotación). En la Figura 2 se evidencia la identificación de los efectos que genera la etapa de explotación del proyecto eólico, el signo + señala los impactos positivos mientras el signo - los negativos.

| MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE EFECTOS: ALTERNATIVA 1 (Parque eólico) | FACTORES AMBIENTALES AFECTADOS |                      |       |            |            |        |               |            |       |     |            |                     |        |           |                |
|--|--------------------------------|----------------------|-------|------------|------------|--------|---------------|------------|-------|-----|------------|---------------------|--------|-----------|----------------|
|  | FASE DE EXPLOTACIÓN            |                      |       |            |            |        |               |            |       |     |            |                     |        |           |                |
|  | Catálisis del aire             | Ruidos y vibraciones | Clima | Hidrología | Hidrología | Suelos | Geomorfología | Vegetación | Flora | ENP | Patrimonio | Actividad económica | Empleo | Población | Usos del suelo |
| ACCIONES   |                                |                      |       |            |            |        |               |            |       |     |            |                     |        |           |                |
| Tráfico vehicular  | -                              | -                    | -     |            |            | -      |               | -          | -     |     | -          | +                   | +      | +         | -              |
| Servidumbres   |                                | -                    |       |            |            | +      |               | -          |       |     |            |                     |        |           |                |
| Ocupación del terreno  |                                | -                    |       |            | -          | -      | -             | -          |       |     |            | +                   |        |           | -              |
| Transporte energía   |                                |                      |       |            |            |        |               |            |       |     |            | +                   |        |           |                |
| Operación mantenimiento  |                                |                      |       |            |            |        |               | -          | -     |     | -          | +                   | +      | +         | -              |
| Producción residuos  | -                              | -                    |       |            |            | -      | -             | -          | -     |     | -          | +                   |        |           | -              |

Figura 2. Factores ambientales afectados en la etapa de explotación [6]

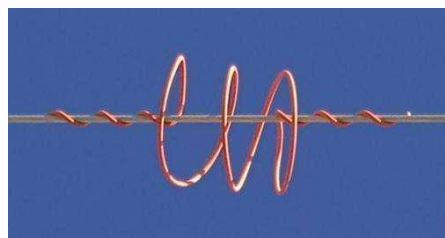
- **Medidas correctoras y protectoras para la conservación del medio ambiente.** Según Gandarov [6] en esta etapa se plantean las medidas adecuadas para atenuar, suprimir, o en su defecto compensar los efectos negativos de las distintas actividades en la etapa de explotación del recurso eólico.
- **Protección del ruido y vibraciones:** La medida preventiva para minimizar el incremento de los niveles sonoros será la de mantener un correcto mantenimiento de las máquinas, cumpliendo así la legislación vigente sobre emisión de ruidos y vibraciones. Se prohibirá llevar a cabo actividades típicas de obra en horario nocturno, así como durante los periodos de reproducción y cría de las aves presente en el entorno, además se aplicarán silenciadores a las máquinas con motores de combustión interna.

- *Protección del paisaje:* Para reducir el impacto paisajístico del parque, los aerogeneradores se pintarán con color blanco mate, así la ausencia de brillo atenuará su visibilidad. Cuando se proceda a restaurar los elementos de la vegetación, se excluirán las plantaciones lineales o geométricas con especies alóctonas. Los desmontes y terraplenes tendrán perfiles cóncavos y graduales con pendientes que no sean superiores a las ya preexistentes para evitar así las rupturas en su línea de horizonte.
- *Protección de la vegetación:* Se procederá al control y a la delimitación de las superficies vegetales, para ello se restringirá la superficie de ocupación con un replanteo previo, dejando claras las zonas a allanar. Se tendrá especial cuidado en no eliminar plantas y arbustos de interés. Si se procede a crear taludes, estos deberán ser restituidos a su estado original tanto como sea posible, sembrando o plantando las especies vegetales de la zona, entre otras.
- *Protección de la fauna:* Para mejorar la visibilidad a las aves, se pintará con una línea gruesa una de las tres aspas de color negro, y así reducir el número de accidentes por colisión. Se usarán salva pájaros para reducir significativamente el número de accidentes por colisión contra la red eléctrica, como se observa en la Figura 3.



**Figura 3.** Salva pájaros (Aspas de color negro) [6]

Se instalarán espirales salva pájaros de 1,2 m de longitud, cada 4 m si solo hay un único cable de tierra, en caso de que haya dos cables de tierra será cada 10 m al tresbolillo (Figura 4).



**Figura 4.** Salva pájaros en el cableado eléctrico [6]

Se llevará un control por parte de la administración del parque contra la presencia de carroña en las cercanías de la instalación con el fin de disminuir el riesgo de choque de las aves necrófagas contra aerogeneradores y tendidos. Finalmente, se llevará un seguimiento sistemático de incidencias del proyecto sobre las aves, para tomar las medidas adecuadas para disminuir su impacto, modificación de la velocidad de arranque del aerogenerador, paradas temporales, etc.

A partir del estudio del impacto ambiental [6] para la ejecución del proyecto del parque eólico de Almonacid del Marquesado en el municipio de Cuenca (España), se logró identificar los beneficios que pueden obtenerse al realizar un estudio preliminar como medida preventiva que permita disminuir los daños ambientales que dejan a su paso la ejecución de proyectos de generación de energía eléctrica, especialmente en la etapa de funcionamiento debido a que es la etapa que emplea más tiempo de vida útil. El autor en su artículo no solo hace énfasis en el tema ambiental sino tiene en cuenta la temática de salud y sociedad como otros factores que pueden verse afectados por un proyecto energético que no realice un estudio previo a la localidad o terreno donde se llevará a cabo.

González A. et al. [7] presentan los principales problemas que surgen cuando la calidad acústica ambiental no se toma en cuenta al diseñar cambios fuertes en el uso del suelo a partir de dos casos de construcción en Uruguay. Uno de ellos corresponde a la instalación de un parque eólico en una zona rural y el segundo al incremento del tráfico pesado asociado a un puerto en una zona balnearia. Debido a que el desarrollo del artículo de revisión se basa en los impactos ambientales que ocasionan los aerogeneradores en la etapa de funcionamiento se hará mención únicamente del primer caso Instalación de un parque eólico en una zona rural de Uruguay, de igual manera las mediciones acústicas se realizaron en la etapa de funcionamiento de los aerogeneradores en 2012.

Según [7] las mediciones de los niveles de presión sonora en la zona con la primera etapa del parque en operación se efectuaron con un sonómetro Brüel&Kjaer 2250 (Clase 1) a una altura de 1,20 m sobre el nivel del suelo en horario nocturno. La primera medición se realizó en la noche del 15/05/2012 con condiciones de atmósfera neutra, los valores obtenidos se muestran en la Figura 5 en un rango de distancias de 100 m y 1000 m del aerogenerador más próximo.

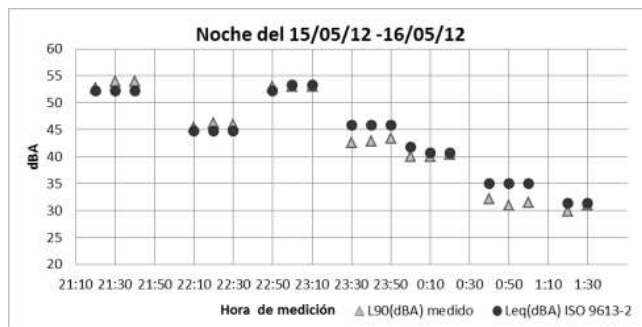


Figura 5. Niveles de presión sonora medidos y calculados en atmósfera neutra [7]

La segunda medición se realizó en la noche del 8/05/2012 con condiciones de mayor estabilidad atmosférica y se efectuaron en los mismos puntos y con el mismo equipo que en el caso anterior. Los valores obtenidos se muestran en la Figura 6.

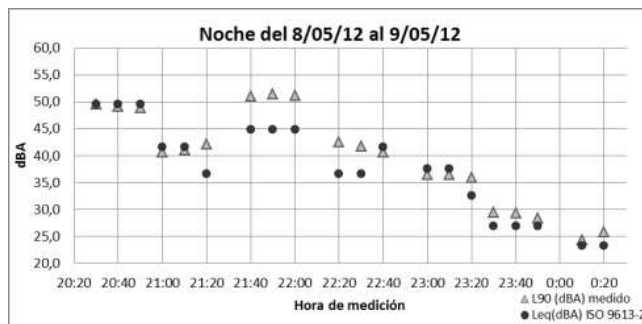


Figura 6. Niveles de presión sonora medidos y calculados en atmósfera estable [7]

A pesar de obtenerse resultados elevados de los niveles de presión sonora, las autoridades no han recibido quejas ni denuncias formales de los vecinos de la zona en relación con molestias ocasionadas por el ruido de los aerogeneradores [6]. Sin embargo, el desarrollo de estas pruebas en los proyectos de energía eólica contribuye a la aplicación de medidas de corrección para mitigar el impacto producido por el ruido aerodinámico de los aerogeneradores en la etapa de funcionamiento.

En [8] se hace énfasis en la evaluación de las problemáticas ambientales que se presentan en la región del Istmo de Tehuantepec ubicada en el estado de Oaxaca (México) con la implementación de proyectos de energía eólica, debido a que la región presenta un elevado potencial de generación de energía de este tipo que oscila alrededor de 5000 y 7000 MW de capacidad anual.

Sin embargo, cabe mencionar que en esta región ya se encuentran desarrollando proyectos como es el caso del corredor eólico dirigido por la empresa Global Wind Energy. Por lo tanto, las problemáticas ambientales que se presentarán a continuación corresponden a conflictos por la propiedad de la tierra e impactos



ocasionados por las ondas electromagnéticas, aunque el artículo evidencia alrededor de 7 impactos ambientales, en este caso solo haremos énfasis en dos debido a que los demás impactos ya los hemos mencionado en los tres documentos citados anteriormente. Los impactos para evaluar son:

- *Conflicto por la propiedad de la tierra:* El problema radica en la inconformidad de la población y de grupos sociales de la región debido al cambio de tenencia de la tierra colectiva a privada que se realizó a través de la firma de contratos de arrendamiento de tierras entre los propietarios y las empresas que dirigen los proyectos de implementación de parque eólicos, los contratos permiten que las empresas accedan a la tierra para instalar aerogeneradores para aprovechar el recurso eólico.

Por lo tanto, los comuneros de los municipios Juchitán de Zaragoza, Unión Hidalgo y Xadani exigieron ante las autoridades la respuesta a 120 demandas de nulidad de contratos donde se observa una clara desventaja hacia los propietarios de los predios porque le permiten a las empresas obtener derechos sobre la explotación de la tierra durante 30 años, con la posibilidad de que dichos contratos se renueven por 30 años más, por añadir los pagos de las rentas de los predios son bajos comparado con las ganancias que generan los parques eólicos [8].

El artículo también señala que la falta de atención de las demandas se debe a la marginación que han sufrido los pueblos indígenas de Oaxaca sobre las decisiones de interés público, siendo estos pueblos los más afectados al ser desplazados de sus asentamientos como resultado de la implementación de los proyectos para la generación de la energía eólica.

- *Impactos a partir de la propagación de ondas electromagnéticas:* Hay algunos impactos ambientales a los cuales los proyectos de Energía eólica en México no contemplan, como es el caso de las afectaciones a las telecomunicaciones a través de la refracción o curvatura de giro de las ondas electromagnéticas a partir del movimiento de los aerogeneradores. Este fenómeno físico puede interrumpir o limitar el desempeño de la transmisión y recepción de las señales en los equipos electrónicos como es el caso de celulares, radares, radio, entre otros. Sin embargo, según menciona el artículo este impacto puede llegar a mitigarse con la implementación de estrategias de la reorientación de las antenas de telecomunicaciones existentes [8].

A partir de los impactos ambientales evaluados los autores del artículo llegan a la conclusión de que el objetivo de todo proyecto eólico debe ser velar por la protección del medio y los derechos colectivos de las poblaciones que residen en la cercanía de los parques eólicos por encima de intereses económicos, políticos para lograr un doble propósito en cuanto a la obtención de energía eléctrica y el respeto a los temas sociales, ambientales y económicos.

Garavito [9] hace énfasis en el desarrollo de una monografía donde se evidencian los antecedentes en cuanto a estudios que relacionan las afectaciones de la biodiversidad a partir del funcionamiento de los parques eólicos y las líneas de transmisión de energía en las áreas protegidas del departamento de la Guajira (Colombia). El autor resalta el objetivo de su monografía el cual es identificar los proyectos del sector de energía eólica en el departamento de la Guajira en fase de diagnóstico, construcción y operación, como se observa en la Figura 7 y determinar los posibles impactos ambientales que estos generan [9].

Para lo cual el autor señala que de acuerdo con la Resolución 60 del 20 de junio de 2019, el parque eólico Jepírachi en el cabo de la vela entraría en fase de desmantelación debido a incumplimientos con las nuevas especificaciones de calidad que imparte la Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG, de igual manera 10 proyectos se encuentran en fase de licenciamiento.

Sin embargo, la implementación de los proyectos en las fases de construcción y operación pueden afectar el estado de las áreas naturales por acción del deterioro del suelo, ruido, alteración de las fuentes hídricas, lo cual generaría una reducción en la calidad de los ecosistemas, con la afectación de especies de fauna y flora endémicas de la región [9]. El departamento de la Guajira posee 20 áreas protegidas según los estipula el Registro Único Nacional de Áreas Protegidas y se evidencia en la Figura 8.

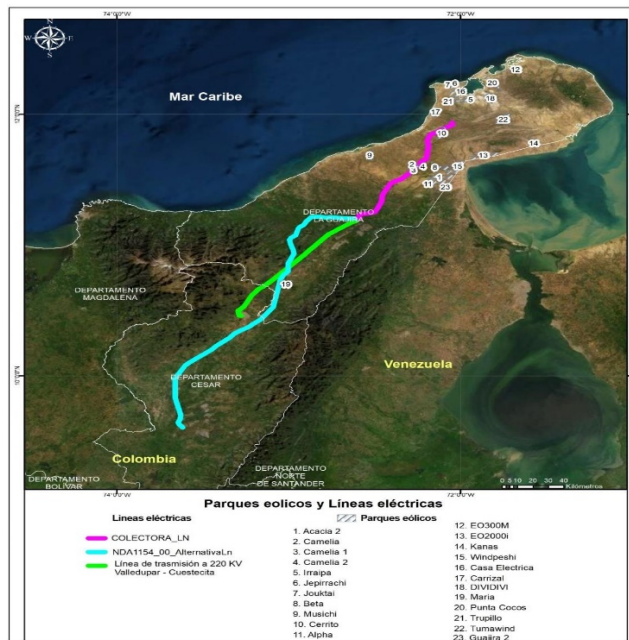


Figura 7. Áreas protegidas y áreas de importancia para la conservación de las aves (AICAS) en la Guajira [9]

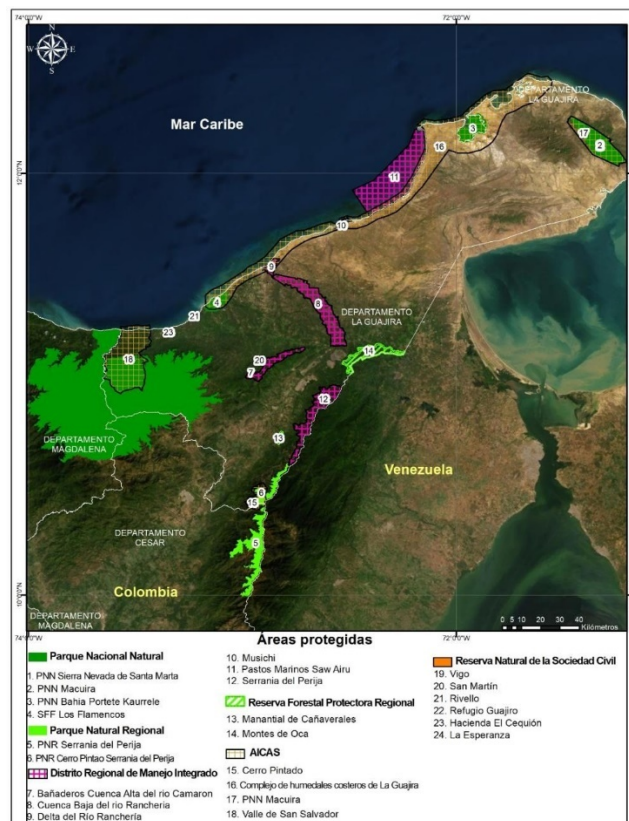


Figura 8. Relación espacial de los proyectos de Energía: Parques eólicos y líneas de transmisión con las áreas protegidas del departamento de la Guajira [9]

Por lo tanto, el documento del autor concluye que 9 proyectos eólicos se encuentran superpuestos en un área para la conservación de la diversidad biológica llamada Área de importancia para la conservación de las aves AICA, y la cual hace parte del complejo de Humedales Costeros de la Guajira, donde comprende 5 áreas protegidas más [9].

[10] hace énfasis en que es difícil realizar una investigación futura sobre el impacto en la salud producido por las turbinas en las zonas rurales de Australia debido a que los reclamos por parte de la población que viven en zonas cercanas a los parques eólicos son pocas [10]. Sin embargo, en el presente artículo se evalúan 4 hipótesis para explicar la existencia de la psicogenia en los casos demandados.

En la metodología señalada por el artículo hace énfasis a partir de registros de quejas sobre ruido o salud obtenidos de empresas de parques eólicos con respecto a residentes que viven cerca de 51 parques eólicos australianos en un rango de 5 km. Sin embargo, existen grandes variaciones espacio-temporales en el ruido de los parques eólicos y en los problemas de salud, debido a que solo 131 personas en toda Australia que representan aproximadamente 1 de cada 250 residentes que viven a menos de 5 km de parques eólicos parece haberse quejado alguna vez, y 94 de ellos son residentes cerca de 6 parques eólicos que han sido blanco de grupos anti parques eólicos [10].

La mayoría (104/131) de las quejas sobre la salud y el ruido comenzaron después de 2009, cuando los grupos contrarios a los parques eólicos comenzaron a agregar preocupaciones sobre la salud a su oposición más amplia. En los años anteriores, las quejas sobre la salud o el ruido eran raras a pesar de que los parques eólicos con turbinas grandes y pequeños habían estado en funcionamiento durante muchos años. El autor señala que 18 revisiones de literatura de investigación sobre las turbinas eólicas y la salud publicadas desde 2003 han llegado a la conclusión general de que la evidencia que las turbinas eólicas son directamente dañinas para la salud es muy pobre. De igual manera también señala que investigaciones previas han identificado factores psicológicos como tener una *personalidad negativa*, tener creencias negativas sobre las turbinas eólicas asociadas con la molestia al ruido, quejarse u oponerse al viento en la propia zona residencial [10].

A partir de esta información el autor plantea un modelo de enfermedad psicógena masiva la cual puede ser aplicable a este fenómeno. La enfermedad psicógena masiva MPI se describe como una constelación de síntomas somáticos, sugestivos de una causa o desencadenante ambiental (pero con síntomas sin las características típicas del contaminante, que varían entre los individuos y no están relacionados con la proximidad o la fuerza del contaminante). Esta enfermedad ocurre entre dos o más personas que comparten creencias relacionadas con esos síntomas y experimentan una propagación epidémica de los síntomas entre individuos socialmente conectados.

El rápido desarrollo del miedo y la ansiedad es clave para la transmisión de la enfermedad por la interrupción del comportamiento y las actividades de los involucrados. La transmisión o el contagio aumentan por el entusiasmo general relacionado con el fenómeno, incluidos los informes de los medios, el interés de los investigadores y se ve reforzada por factores monetarios y está relacionada con los tipos de personalidad o el estrés [10]. Como resultado de la investigación el autor plantea cuatro hipótesis:

1. Muchos parques eólicos no tenían antecedentes de quejas, de los 51 parques eólicos, nunca habían sido objeto de quejas por ruido o salud (Figura 9), y 18 recibieron al menos una queja desde que comenzaron a operar los parques eólicos. De los 18 parques eólicos que habían recibido quejas, 16 eran parques eólicos más grandes ( $\geq 10$  MW de capacidad). En resumen, 18/34 de los parques eólicos más grandes y 15/17 de los parques pequeños nunca han experimentado quejas.

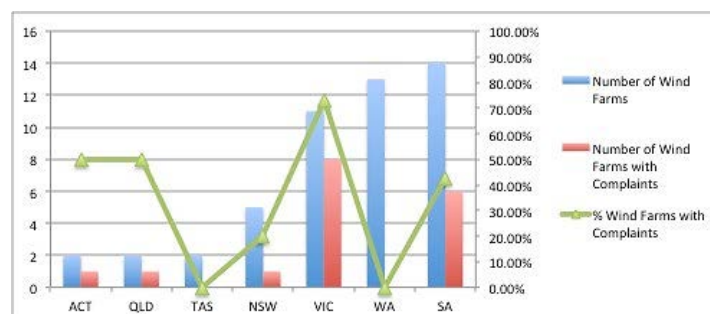


Figura 9. Quejas de aerogeneradores por estado o territorio en Australia, tomado de [10].

Los opositores a los parques eólicos a veces argumentan que son principalmente las turbinas eólicas *industriales* muy grandes las que generan suficiente ruido audible e infrasonidos para causar molestias y problemas de salud [9]. La hipótesis radica sobre muchos parques eólicos, incluidos aquellos con turbinas grandes, que no tienen antecedentes de quejas, con fuertes factores espaciales asociados con las granjas que reciben quejas.

2. Un pequeño número de residentes que se quejan a nivel nacional, un total de 131 personas en Australia parecen haberse quejado alguna vez formal o públicamente del ruido de los parques eólicos o de los problemas de salud que les afectan. De estos, más de la mitad (94 o 72 %) procedían de residentes que vivían cerca de solo seis parques eólicos (Waubra=29, McArthur=21, Hallett 2=13, Waterloo=11, Capital=10 y Wonthaggi=10). De las fincas restantes que han experimentado quejas, 9 tenían entre 2 y 6 quejas, y 4 tenían quejas únicas.

En resumen, a nivel nacional, aproximadamente 131 personas se han quejado de un estimado de 32.739 residentes cercanos: una tasa de alrededor del 0,4% o 1 en 250. De igual manera grandes parques eólicos con poblaciones rurales circundantes relativamente grandes y sin antecedentes de quejas incluyen Wattle Point (560), Albany, Starfish Hill (200) y Challicum Hills (143). Una vez más, la segunda hipótesis de que el número de denunciantes que viven cerca de esos parques eólicos con algún historial de denuncias sería una pequeña proporción de la población expuesta, se confirmó contundentemente [10].

3. Pocos parques eólicos tendrían un historial de quejas consistentes con afirmaciones de que las turbinas causan efectos agudos. De las 6 turbinas que registraron su primera queja más de un mes después de la operación, 3 de estas fueron más de un año después de la operación. En cinco casos (Clements Gap, Hallet 2 & 4, Leonards Hill, Waubra), las empresas eólicas informaron que se recibieron quejas anticipando problemas de salud antes de que las granjas comenzarán a operar. Sin embargo, los intervalos de meses o, a veces, años entre el comienzo de la operación de la turbina y las quejas no son consistentes con las turbinas que causan efectos agudos. Si tales efectos fueran graves o comunes, es casi seguro que los informes de casos clínicos habrían aparecido en revistas revisadas por profesionales en el campo de la salud, dado el tiempo que han operado las turbinas [10].
4. La mayoría de las quejas dataría de 2009 o posterior, cuando los grupos de oposición comenzaron a publicitar los efectos del ruido y la salud. En los 10 años entre el comienzo de la operación del primer parque eólico de Esperance y finales de 2003, cuando los informes de impacto en la salud comenzaron a ser destacados por los grupos de oposición a las turbinas. En esa década, se conoció solo una persona que vivía cerca del parque eólico Windy Hill del norte de Queensland que se quejó del ruido y de la salud poco después de que comenzara la operación en 2000.

Con la excepción del parque eólico Wonthaggi (10 denunciantes en 2006, pero ninguno hoy), todas las demás denuncias datan después de marzo de 2009 y en particular de los años más recientes, cuando la publicidad contra los parques eólicos de grupos de oposición centrados en la salud ha crecido. De manera que la cuarta hipótesis relaciona los modelos de enfermedad psicógena masiva con el aumento de las quejas, impulsado por la comunidad [10].

#### 4. DISCUSIÓN

Una vez realizado el proceso de búsqueda en los diferentes documentos que estudian los impactos ambientales causados por la instalación y puesta en marcha de los aerogeneradores, se realiza el siguiente análisis de resultados, en cuanto a [5] la cantidad de especies que han muerto y han sido desplazadas es alta y algunas de ellas se encuentran en calidad vulnerable o amenazada según la clasificación de la International Union for Conservation of Nature UICN, debido a que algunos parques eólicos se han construido en rutas de migración de aves.

En [8] se evidencia que los impactos en la implementación de proyectos de energía eólica van más allá del tema ambiental e involucra el tema social, donde se presenta el término expropiación debido a que los bienes privados de los ciudadanos se convierten en bienes públicos, por lo tanto, las personas pierden el derecho sobre su propiedad. De igual manera se identifica un nuevo impacto ambiental que no fue evidenciado en los tres primeros documentos y el cual el gobierno no toma en cuenta, denominado impacto en las telecomunicaciones o propagación de ondas electromagnéticas.

De allí se puede concluir que a medida que aumenten los proyectos de parques eólicos, así mismo aumentaran los impactos al medio ambiente, sociedad, salud y economía, por lo tanto, la implementación

de los nuevos proyectos de generación de energía eólica debe reducir estos impactos con procesos de control ambiental o con la implementación de nuevos avances tecnológicos en torno a las energías alternativas.

[9] busca mostrar los impactos ambientales que pueden surgir con la construcción de nuevos parques eólicos en el cabo de la vela, debido a que en el departamento hay presencia de reservas naturales de fauna y flora.

En [10] los autores buscan demostrar a partir de una recopilación de artículos y denuncias que los parques eólicos no generan ninguna afectación a la salud de las personas, en esta hipótesis los autores la argumentan señalando que las denuncias por problemas psiquiátricos o afectaciones a la salud comenzaron en el año 2009 cuando los grupos anti parques eólicos hicieron público en los medios de comunicación que los aerogeneradores producen altos niveles de ruido que podían generar problemas psiquiátricos en las personas.

Por lo tanto, los autores señalan estas denuncias como la evolución y propagación de una especie de Psicogenia entre los habitantes que residían en zonas aledañas a los parques eólicos. Sin embargo, nosotros podemos concluir que a partir de este artículo no se puede descartar que el ruido de los aerogeneradores no genere ningún impacto al tema de la salud, más bien se evidencia la falta de estudios clínicos por parte de profesionales en el tema de la psiquiatría para determinar que el ruido aerodinámico de las turbinas eólicas no es nocivo para la salud de la población.

Por último, el desarrollo de esta investigación se presenta como una alternativa que permita plantear medidas correctoras y de protección al medio social y ambiental una vez identificados los factores más vulnerables en la ejecución de proyectos de generación de energía eólica como se evidenció en [6].

## 5. CONCLUSIONES

El desarrollo del presente artículo de revisión permite identificar de forma general los impactos ambientales que ocasionan la energía eólica en la etapa de funcionamiento o explotación. Sin embargo, a partir de los artículos de revisión consultados se pudo determinar que los impactos ambientales no solo radican en la fauna, flora y ruido acústico del cual se hizo énfasis, ya que la lista de afectaciones a nivel ambiental es mucho más larga y no solo se presentan en la etapa de funcionamiento de los aerogeneradores, sino en las demás etapas como construcción y desmonte.

Aun así, la información recopilada es poca en comparación con todos los proyectos de generación de energía eólica que se encuentran funcionando actualmente tanto en Latinoamérica como a nivel mundial, pero algo que se puede concluir del primer artículo, es la poca presencia de entidades públicas y privadas que realizan un estudio ambiental para identificar y así mismo mitigar los impactos ambientales que dejan a su paso la instalación de proyectos de energías renovables.

En este sentido, crear políticas públicas es un vínculo de gran importancia en la cadena de valor de la industria eólica en el mundo. Lo anterior debe ser incluido a los desarrolladores de proyectos eólicos a respetar las áreas de exclusión, donde no se deben instalar razones sociales o ambientales. Además, deben asegurarse de implementar programas específicos de reducción de daños, como la restauración de la vegetación, la reforestación o el rescate de actividades agrícolas o pastoriles que puedan existir con parques eólicos.

La seguridad energética es un proceso de revisión y seguimiento por parte de todos los países, forma parte del desarrollo sostenible y obliga a las diferentes sociedades a incluir el tema de los recursos energéticos en su política exterior. Esto se debe al desarrollo y planificación desde las áreas de: educación, cultura y medio ambiente, ya que el uso excesivo de hidrocarburos ha provocado impactos negativos en los ecosistemas y aumento de los impactos humanos, las personas son exponenciales, dando lugar a la complejidad y el caos chocando con la naturaleza.

## REFERENCIAS

- [1] Pinto L. et al. (2017). O mercado brasileiro da energia eólica, impactos sociais e ambientais. *Revista Ambiente & Água* 12, 1082-1100.
- [2] González Á. et al. (2006). Potencial de aprovechamiento de la energía eólica para la generación de energía eléctrica en zonas rurales de México. *Interciencia* 31(4), 240-245.
- [3] Valencia L. et al. (2015). Importancia de las energías renovables en la seguridad energética y su relación con el crecimiento económico. *Revista de investigación agraria y ambiental* 6(2), 231-242.
- [4] Galvez G. et al. (2018). Impactos ambientales de la energía eólica. *Kuxulkab* 24(50), 15-22.
- [5] Agudelo M. et al. (2021). Post-construction bird and bat fatality monitoring studies at wind energy projects in Latin America: A summary and review. *Heliyon* 7(6), e07251.
- [6] Gandarov S. (2021). Estudio de impacto ambiental del parque eólico de Almonacid del Marquesado (Cuenca). *Disertación Doctoral. Universitat Politècnica de València.*
- [7] González A. et al. (2015). La incorporación de la variable acústica en la gestión ambiental. En *URO ELECS 2015. Guimarães, Portugal.*
- [8] Jara E. (2011). Problemática en torno a la construcción de parques eólicos en el Istmo de Tehuantepec. *Revista Desarrollo local sostenible* 4(12).
- [9] Garavito L. (2020). Impactos ambientales de los parques eólicos y líneas de transmisión de energía sobre la biodiversidad de áreas protegidas del departamento de la Guajira-Colombia. Recuperado: <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/9598?locale-attribute=en>
- [10] Chapman S. et al. (2013). Spatio-temporal differences in the history of health and noise complaints about Australian wind farms: evidence for the psychogenic, "communicated disease" hypothesis. *The University of Sydney.*

# Influencia de la relación lactosuero/leche y cantidad de pectina en la elaboración de una bebida láctea fermentada

Juan Fernando Muñoz Paredes<sup>1</sup>  
Vladimir Ernesto Vallejo Castillo<sup>2</sup>  
Dennis Alejandra Portilla Patiño<sup>3</sup>  
Johana Ximena Mora Cortez<sup>4</sup>  
*Universidad Mariana*  
Colombia

El lactosuero es un coproducto resultado de la elaboración de queso que se puede emplear para la elaboración de nuevos productos con valor agregado, como bebidas lácteas fermentadas. En esta investigación se evaluó la influencia de dos factores de estudio: relación lactosuero/leche y cantidad de pectina, en la elaboración de una bebida láctea fermentada con adición de uchuva. Se utilizó un diseño factorial 3<sup>2</sup> para un total de 9 tratamientos, los cuales se hicieron por triplicado. Las variables de respuesta analizadas fueron pH, densidad y acidez, desarrollando un análisis de varianza con un nivel de significancia estadística  $\alpha = 0,05$ . Se encontró que los dos factores de estudio analizados tienen influencia en las variables de respuesta pH y acidez, en contraste, el factor cantidad de pectina solamente tiene influencia en la densidad de la bebida.

---

<sup>1</sup> Ingeniero Químico y Magíster en Ingeniería.

Contacto: [jfmunoz@umariana.edu.co](mailto:jfmunoz@umariana.edu.co)

<sup>2</sup> Ingeniero Agroindustrial, Magíster en ingeniería Agroindustrial y Doctor en Ingeniería.

Contacto: [vevallejo@umariana.edu.co](mailto:vevallejo@umariana.edu.co)

<sup>3</sup> Ingeniera de Procesos.

Contacto: [denportilla@umariana.edu.co](mailto:denportilla@umariana.edu.co)

<sup>4</sup> Ingeniera de Procesos.

Contacto: [jhoamora@umariana.edu.co](mailto:jhoamora@umariana.edu.co)

## 1. INTRODUCCIÓN

En el planeta cerca de 150 millones de familias trabajan en la producción de leche. En gran parte de los países en vías de desarrollo, la leche se produce por pequeños agricultores, la cual contribuye a los medios de vida, la seguridad alimentaria y nutrición de los hogares. En las últimas décadas, la producción de leche ha aumentado en más del 59%, pasando de 530 millones de toneladas en 1988 a 843 millones de toneladas en 2018. El mayor productor mundial de leche es la India, con el 22% del total de la producción, seguido por los Estados Unidos de América, China, Pakistán y Brasil [1].

El lactosuero se define como un coproducto obtenido en la fabricación del queso, que se separa de la cuajada por separación del coágulo de leche, mediante la precipitación de la caseína [2,3]. Generalmente es de un color amarillento y representa entre un 80 y 90% de la fracción en volumen de la leche, contiene un 50% del total de sólidos de la leche, con un porcentaje mayor de lactosa, seguido de proteínas, minerales, nitrógeno no proteico y otros componentes [3]. Su disposición final es un tanto compleja, por cuanto presenta una alta concentración en Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO en un rango entre 38.000 ppm y 48.000 ppm [4] y también contiene sustancias que afectan las propiedades físicas y químicas del suelo [5].

De acuerdo con lo anterior, es importante estudiar los procesos de valorización del lactosuero, debido principalmente a tres factores entre los cuales se encuentran su alto contenido nutricional, el elevado impacto ambiental y su significativa producción [5]. Igualmente, es una materia prima para la elaboración de una gran variedad de productos, destacando, proteína para alimentación animal, producción de ácidos orgánicos, bebidas refrescantes, bebidas lácteas, biopelículas, concentrados de proteínas, derivados de lactosa, entre otros [2]. Igualmente, las bebidas preparadas con lactosuero y fruta son recomendadas para la salud en comparación con otro tipo de bebidas, la producción de este tipo de bebidas es una de las tendencias más prometedoras en la reutilización de residuos lácteos a nivel mundial [6].

Por otra parte, la uchuva (*Physalis peruviana*) es un fruto típico de la región del sur de Colombia, fuente de provitamina A, vitamina B y C y minerales, además de su contenido de fósforo y fibra dietaria, actuando como regulador intestinal. El jugo de la fruta es una fuente de ácidos grasos poliinsaturados beneficiosos para la salud al igual que posee componentes fenólicos con un alto nivel antioxidante [7, 8].

En esta investigación, se valorizó el lactosuero proveniente de una empresa láctea ubicada en el sur de Colombia, mediante la elaboración de una bebida láctea fermentada con adición de uchuva, y se determinaron algunas propiedades fisicoquímicas con el fin de determinar la calidad de la bebida.

## 2. MÉTODO

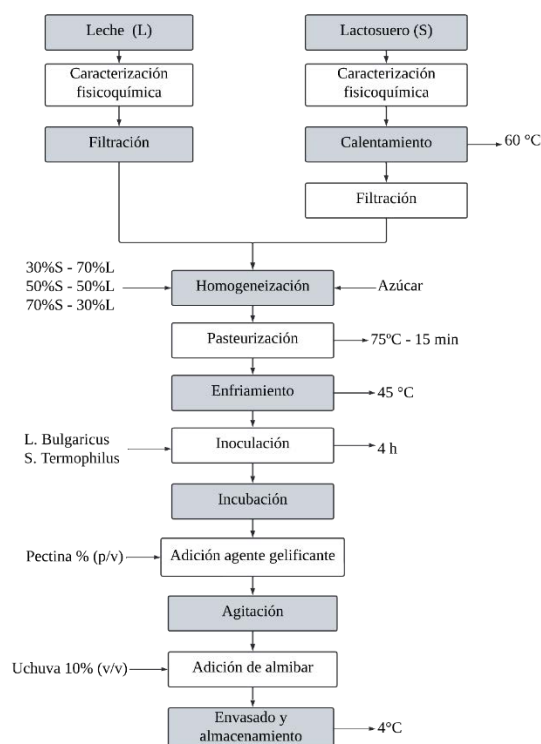
### 2.1 Caracterización de la materia prima

La materia prima (leche y lactosuero) empleada en los diferentes tratamientos, se recolectó de una empresa de lácteos localizada al sur de Colombia, inmediatamente recolectada se sometió a refrigeración a una temperatura de 4°C, para ser llevada a los laboratorios de ingeniería de la Universidad Mariana para el posterior análisis. La materia prima empleada se caracterizó de acuerdo con las siguientes variables, densidad, porcentaje de acidez y pH. Para la leche cruda el pH se determinó teniendo en cuenta [9], y la acidez de acuerdo con [10]. Igualmente, se caracterizó la fruta de acuerdo con las variables seleccionadas: color, pH, °brix y acidez como se establece en [11].

### 2.2 Obtención de bebida láctea fermentada

La bebida láctea fermentada se obtuvo de acuerdo con el diagrama de flujo que se presenta en la Figura 1. Una vez recolectada la materia prima se trasladó al laboratorio de la Universidad Mariana, a continuación, se procedió a filtrar las muestras para eliminar cualquier tipo de sólido, empleando un lienzo estéril. Posteriormente, se procedió a realizar las mezclas para las diferentes formulaciones de los tratamientos de acuerdo con la Tabla 1, una vez realizadas las mezclas se procedieron a pasteurizar a una temperatura de 75°C por 15 minutos.





**Figura 1.** Obtención de bebida láctea fermentada

Para la formulación de la bebida láctea fermentada, se utilizó un volumen total de 250 mL para cada tratamiento, modificando la relación de volumen de lactosuero y leche con la cantidad de pectina empleada, como se observa en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Tratamientos empleados en la formulación de la bebida láctea

| Factor 1. Relación lactosuero/ leche (%v/v) | Factor 2. Cantidad de pectina (g) |     |     |
|---|-----------------------------------|-----|-----|
|   | 0                                 | 0,5 | 0,9 |
| 30/70                                       | T1                                | T2  | T3  |
| 50/50                                       | T4                                | T5  | T6  |
| 70/30                                       | T7                                | T8  | T9  |

Todos los tratamientos se realizaron por triplicado, una vez obtenidos los resultados de las variables de respuesta consideradas, se realizó el análisis de varianza con un nivel de significancia estadística ( $\alpha = 0,05$ ) empleando el programa estadístico SPSS versión 21. El cultivo de microorganismos se desarrolló empleando *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus* [12] y su activación se realizó de acuerdo con [4] para proceder a inocular las mezclas de las diferentes formulaciones. Una vez inoculadas las mezclas se llevaron a incubación durante 4 horas a una temperatura de 45°C.

Posterior a la incubación, se procedió a lavar y acondicionar la fruta para elaborar el almíbar, se extrajo el jugo de la fruta eliminando las semillas, y se pasteurizó a 75°C por 15 minutos. Una vez obtenido se agregaron a las formulaciones en proporción de 10% (v/v) junto con la pectina. Todas las formulaciones se llevaron a refrigeración a 4°C debidamente rotuladas.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

#### 3.1 Caracterización fisicoquímica de la materia prima (Leche y lactosuero)

La materia prima (Leche y lactosuero) empleada en los diferentes tratamientos, se recolectó de una empresa de lácteos localizada al sur de Colombia, inmediatamente se sometió a refrigeración a una temperatura de 4°C para ser llevada a los laboratorios de ingeniería de la Universidad Mariana. Una vez en el laboratorio se procedió a realizar la caracterización fisicoquímica de acuerdo con las variables descritas y la metodología apropiada para cada una de ellas.

En la Tabla 2 se observan las características de la leche cruda, las cuales cumplen con lo establecido en [9], igualmente son valores comparables con otros autores como [4], quienes obtuvieron resultados similares, lo cual es indicativo de que la materia prima cumple con los criterios de calidad para la elaboración de la bebida láctea fermentada.

**Tabla 2.** Caracterización de la leche cruda

| Parámetros      | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 | Promedio $\pm$ d.s* |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|---------------------|
| pH              | 6,80      | 6,80      | 6,82      | 6,81 $\pm$ 0,012    |
| °Brix           | 10        | 10        | 10        | 10                  |
| Densidad (g/ml) | 1,030     | 1,032     | 1,032     | 1,031 $\pm$ 0,001   |
| %Acidez         | 0,180     | 0,140     | 0,150     | 0,157 $\pm$ 0,021   |

\*Media  $\pm$  desviación estándar, n = 3

En la Tabla 3 se observan las características del lactosuero, estas variables están dentro de los rangos reportados por otros autores [4, 14]. Igualmente, se puede inferir que esta materia prima es apta para la elaboración de la bebida láctea fermentada.

**Tabla 3.** Caracterización de lactosuero

| Parámetros      | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 | Promedio $\pm$ d.s* |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|---------------------|
| pH              | 6,20      | 6,20      | 6,19      | 6,20 $\pm$ 0,006    |
| ° Brix          | 7,8       | 7,7       | 8,0       | 7,83 $\pm$ 0,153    |
| Densidad (g/mL) | 1,040     | 1,052     | 1,048     | 1,047 $\pm$ 0,006   |
| %Acidez         | 0,110     | 0,150     | 0,170     | 0,143 $\pm$ 0,031   |

\*Media  $\pm$  desviación estándar, n = 3

### 3.2 Caracterización de la materia prima (Uchuva)

En la Tabla 4 se presenta la información de la caracterización de la uchuva, de acuerdo con las variables seleccionadas. Los valores reportados en la Tabla 4, son comparables para este tipo de fruta de acuerdo con los datos encontrados en [11].

En este sentido, el color corresponde a una fruta de grado de maduración 5, con un pH ácido, igualmente, la cantidad de azúcares y la acidez, están relacionados directamente con el grado de maduración de la misma, y corresponden a los resultados encontrados en [11].

**Tabla 4.** Caracterización de la uchuva

| Parámetros | Uchuva     |
|------------|------------|
| Color      | Anaranjado |
| pH         | 3,34       |
| ° Brix     | 14         |
| % Acidez   | 2,2%       |

### 3.3 Elaboración de la bebida láctea fermentada

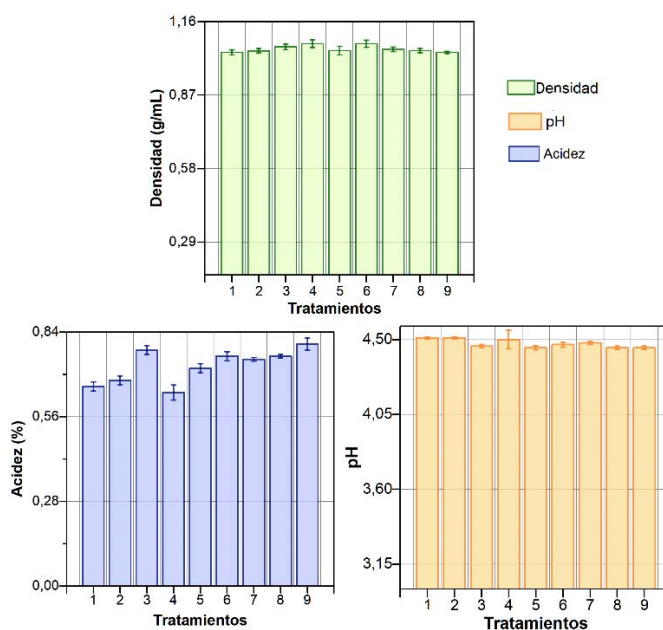
Una vez caracterizada la materia prima a emplear, se procedieron a realizar las diferentes formulaciones, de acuerdo con lo descrito previamente en la metodología. En la Figura 2 se presentan los resultados de las variables de respuesta analizadas (Densidad, Acidez y pH) para los 9 tratamientos formulados. La Tabla 5 presenta los resultados del análisis de varianza para las variables de respuesta estudiadas, con relación a los dos factores de estudio con una significancia estadística ( $\alpha = 0,05$ ).

**Tabla 5.** Pvalor para las variables de respuesta

| Factor    | Pvalor variable de respuesta |          |        |
|-----------|------------------------------|----------|--------|
|           | pH                           | Densidad | Acidez |
| Relación* | 0,017                        | 0,006    | 0,000  |
| Pectina** | 0,004                        | 0,086    | 0,000  |

\*Relación: Lactosuero/leche (%v/v)

\*\*Pectina: Cantidad de pectina (g)



**Figura 2.** Resultados de las variables Densidad, Acidez y pH para los diferentes tratamientos

Se observa que para el pH existen diferencias significativas para los dos factores de tratamiento empleados (Relación y Pectina), el mismo comportamiento se presenta para la acidez, por lo tanto, el factor relación y el factor pectina si influyen en la respuesta de estas dos variables de análisis. Para la variable densidad, se observan diferencias significativas debidas al factor relación, el cual influye directamente en esta variable de respuesta, sin embargo, el factor cantidad de pectina no influye en la densidad de las mismas.

### 3.4 Comparaciones múltiples

Con el fin de determinar con mayor profundidad la influencia de los factores de estudio en las variables de respuesta, se procedió a realizar el análisis correspondiente, mediante el método de comparaciones múltiples entre los tratamientos utilizando la prueba de Tukey, con un nivel de significancia estadística ( $\alpha=0,05$ ). En la Tabla 6 se puede apreciar que para el factor relación, los grupos de tratamientos 1 y 2 no presentan diferencias significativas y por lo tanto son comparables y se agrupan en el sub conjunto 2, igualmente, ocurre con los grupos de tratamientos 2 y 3 los cuales no presentan diferencias significativas, son comparables y se agrupan en el sub conjunto 1. Los grupos de tratamientos 1 y 3 no son comparables, por lo tanto, el pH se ve influenciado directamente por el factor relación.

**Tabla 6.** Comparaciones de Tukey para pH

| Relación     | Sub conjunto |        | Pectina      | Sub conjunto |        |
|--------------|--------------|--------|--------------|--------------|--------|
|              | 1            | 2      |              | 1            | 2      |
| 3 (70S -30L) | 4,46         |        | 3 (70S -30L) | 4,4589       |        |
| 2 (50S-50L)  | 4,4711       | 4,4711 | 2 (50S-50L)  | 4,4678       |        |
| 1 (30S-70L)  |              | 4,4911 | 1 (30S-70L)  |              | 4,4956 |
| Sig.         | 0,51         | 0,134  | Sig.         | 0,646        | 1      |

Para el factor Pectina, los grupos de tratamientos 2 y 3 no presentan diferencias significativas y son comparables agrupándose en el subconjunto 1, por el contrario, el grupo de tratamientos correspondiente a la relación 1 no se puede comparar con ningún otro grupo por eso aparece solo en el subconjunto 2. El pH se ve influenciado directamente también por el factor cantidad de pectina.

En la tabla 7 se puede apreciar que para el factor relación, los grupos de tratamientos 1 y 2 no presentan diferencias significativas y por lo tanto son comparables y se agrupan en el sub conjunto 1, el grupo de tratamientos 3 no es comparable con los demás y aparece en el subconjunto 2. La acidez se ve influenciada directamente por el factor relación. Para el factor Pectina, todos los grupos de tratamientos aparecen en subconjuntos diferentes, por tal razón no se pueden comparar entre sí, la acidez se ve influenciada directamente por el factor pectina.

**Tabla 7.** Comparaciones de Tukey para acidez

| Relación     | Sub conjunto |      | Pectina | Sub conjunto |        |        |
|--------------|--------------|------|---------|--------------|--------|--------|
|              | 1            | 2    |         | 1            | 2      | 3      |
| 1 (30S-70L)  | 0,7056       |      | 1       | 0,6822       |        |        |
| 2 (50S-50L)  | 0,7056       |      | 2       |              | 0,7211 |        |
| 3 (70S -30L) |              | 0,77 | 3       |              |        | 0,7778 |
| Sig.         | 1            | 1    | Sig.    | 1            | 1      | 1      |

En la Tabla 8 se puede apreciar que para el factor relación, los grupos de tratamientos 2 y 3 no presentan diferencias significativas y por lo tanto son comparables y se agrupan en el sub conjunto 1, el grupo de tratamientos 1 no es comparable con los demás y aparece en el subconjunto 2. La densidad se ve influenciada directamente por el factor relación. Para el factor Pectina, todos los grupos de tratamientos aparecen en el subconjunto 1, lo cual quiere decir que no presentan diferencias significativas, siendo comparables todos los tratamientos. La densidad no se ve influenciada por el factor pectina.

**Tabla 8.** Comparaciones de Tukey para densidad

| Relación     | Sub conjunto |         | Pectina      | Sub conjunto |
|--------------|--------------|---------|--------------|--------------|
|              | 1            | 2       |              | 1            |
| 3 (70S -30L) | 1,04544      |         | 3 (70S -30L) | 1,04556      |
| 2 (50S-50L)  | 1,04844      |         | 2 (50S-50L)  | 1,05444      |
| 1 (30S-70L)  |              | 1,06411 | 1 (30S-70L)  | 1,058        |
| Sig.         | 0,845        | 1       | Sig.         | 0,081        |

#### 4. CONCLUSIONES

El lactosuero es un material de gran utilidad, que cada día cobra mayor importancia en la elaboración de una amplia gama de productos en la industria alimentaria, gracias a sus propiedades fisicoquímicas como contenido de proteína, grasa, minerales y otros nutrientes.

Las variables de respuesta pH y acidez están influenciadas directamente por los dos factores de estudio relación y pectina, ya que todos los tratamientos analizados presentan diferencias significativas con una significancia estadística  $\alpha = 0,05$ . Igualmente, esto se pudo corroborar mediante el análisis de comparaciones múltiples de Tukey.

La variable de respuesta densidad esta influenciada únicamente por el factor relación, el factor pectina no tiene influencia en la variable de estudio con una significancia estadística  $\alpha = 0,05$ , lo cual se pudo corroborar mediante el análisis de comparaciones múltiples de Tukey.

#### Agradecimientos

Los autores expresan un sincero agradecimiento a la Facultad de Ingeniería y al programa de Ingeniería de Procesos de la Universidad Mariana, con el Grupo de investigación Innovación, Diseño y Optimización de Procesos GILDOP, por el apoyo técnico y académico brindado para el desarrollo de esta investigación.

#### REFERENCIAS

- [1] FAO. (2021). Portal lácteo. Recuperado: <https://www.fao.org/dairy-production-products/production/es>.
- [2] Asas C. et.al. (2021). Whey: Environmental impact, uses and applications via biotechnology mechanisms. *Agroindustrial Science* 11(1), 105–116.
- [3] Tsermoula P. et. al (2021). Whey The waste-stream that became more valuable than the food product. *Trends in Food Science and Technology* 118, 230–241.
- [4] Islam M. Z. et. al. (2021). Development of probiotic beverage using whey and pineapple (*Ananas comosus*) juice: Sensory and physico-chemical properties and probiotic survivability during in-vitro gastrointestinal digestion. *Journal of Agriculture and Food Research* 4, 100-144.
- [5] Banaszewska A. et. al. (2014). Effect and key factors of byproducts valorization: The case of dairy industry. *Journal of Dairy Science* 97(4), 1893–1908.
- [6] Panghal, A. et. al. (2017). Utilization of dairy industry waste-whey in formulation of papaya RTS beverage. *Current Research in Nutrition and Food Science* 5(2), 168–174.

- [7] Ramadan M. (2011). Bioactive phytochemicals, nutritional value and functional properties of cape gooseberry (*Physalis peruviana*): An overview. *Food Research International* 44(7), 1830–1836.
- [8] Olivares M. et. al. (2017). Evaluating the effect of storage conditions on the shelf life of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *Food Science and Technology* 80, 523–530.
- [9] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2002). Norma Técnica Colombiana NTC 399. Productos lácteos, leche cruda.
- [10] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (2002). Norma Técnica Colombiana NTC 4978. Leche y Productos lácteos. Determinación de la acidez titulable.
- [11] Mendoza J. et. al. (2012). Caracterización fisicoquímica de la Uchuva (*Physalis peruviana*) en la región de Silvia Cauca. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 10 (2), 188-196.
- [12] Wilbanks D. et al. (2022). Effects of varying casein and pectin concentrations on the rheology of high-protein cultured milk beverages stored at ambient temperature. *Journal of Dairy Science* 105(1), 72–82.

# Aplicación del biomodelo personalizado de los huesos del antebrazo al método de elemento finito para detectar zonas propensas a sufrir lesiones bajo efectos de cargas

Daniel Maya A.<sup>1</sup>  
Guillermo Urriolagoitia S.<sup>2</sup>  
Beatriz Romero A.<sup>3</sup>  
Diego I. Islas J.<sup>4</sup>  
Jesús M. German C.<sup>5</sup>  
Alfonso Trejo E.<sup>6</sup>  
Guillermo M. Urriolagoitia C.<sup>7</sup>  
*Instituto Politécnico Nacional*  
México

Actualmente, el uso de análisis numéricos por medio del Método de Elemento Finito es de utilidad para realizar un estudio de investigación sobre efectos de agentes externos, que afectan a diferentes tejidos que componen los diferentes tejidos biológicos de los sistemas del cuerpo humano. Por medio de una tomografía axial computarizada TAC del antebrazo, se realiza un biomodelo que caracteriza virtualmente al hueso cortical y trabecular de ambos huesos: radio-cúbito. La idea es obtener un modelo fiable que permita predecir el comportamiento de ambas estructuras, bajo la influencia de la aplicación y mediante dos casos de estudio: con una carga en compresión y con una carga en tensión. Mediante el procedimiento se identifican las zonas a lo largo de las estructuras óseas donde se concentran los mayores esfuerzos, un área en la que será más susceptible que produzca una lesión, incluso fracturas.

---

<sup>1</sup> Magíster en Ingeniería Mecánica

Contacto: [danmaa02@gmail.com](mailto:danmaa02@gmail.com)

<sup>2</sup> Doctor en Ingeniería Mecánica

Contacto: [guiurri@hotmail.com](mailto:guiurri@hotmail.com)

<sup>3</sup> Doctor en Ingeniería Mecánica

Contacto: [romerobeatriz97@hotmail.com](mailto:romerobeatriz97@hotmail.com)

<sup>4</sup> Magíster en Ingeniería Mecánica

Contacto: [islas1718jmz@gmail.com](mailto:islas1718jmz@gmail.com)

<sup>5</sup> Magíster en Ingeniería Mecánica

Contacto: [german\\_17jun@hotmail.com](mailto:german_17jun@hotmail.com)

<sup>6</sup> Magíster en Ingeniería Mecánica

Contacto: [ponchoponchotrejo@outlook.com](mailto:ponchoponchotrejo@outlook.com)

<sup>7</sup> Doctor en Ingeniería Mecánica

Contacto: [urrio332@hotmail.com](mailto:urrio332@hotmail.com)

## 1. INTRODUCCIÓN

Antes de los inicios del hombre los modelos han estado presentes en las huellas que los animales dejaban plasmadas en el suelo. Durante la época Prehistórica el Hombre se representaba en pinturas rupestres ilustradas en la pared de una cueva, estas relatan las actividades que realizaban durante su vida [1]. La evolución del Arte ha dado paso a establecer diferentes técnicas para representar un objeto, las principales son el dibujo y la escultura, en las diferentes culturas establecidas alrededor del mundo.

Por medio de la representación de modelos podemos percibir como es o fue su cultura, estilo de vida, arte o religión. Para explicar los fenómenos que ocurren alrededor del entorno del hombre ha utilizado diferentes tipos de modelos que abarcan diferentes áreas científicas en las cuales explican diferentes teorías de comportamientos físicos, mecánicos, químicos y biológicos [2-3].

En el área médica la implementación de modelos ha sido de suma importancia debido que con ellos se puede representar el cuerpo humano, mediante estos se puede apreciar los diferentes sistemas que lo componen como lo son: el muscular, circulatorio, nervioso, reproductor y óseo [3-6]. Hoy en día el biomodelado numérico, mediante una simulación computacional se pueden representar diferentes miembros del cuerpo humano, donde se logra definir su relación estructural y el comportamiento mecánico del tejido biológico a estudiar [7-10]. De manera que el biomodelo numérico obtenido tenga una forma anatómica similar al sistema biológico real.

En conjunto con Método de Elemento Finito MEF, se puede realizar un modelo matemático para la solución problemas reales, por medio de una simulación virtual ya que con ella se puede dar soluciones a complejos sistemas de ecuaciones lineales, no linealidades con geometrías complicadas. Gracias a este apoyo se pueden generar investigaciones científicas de manera no invasiva al cuerpo humano [11-15].

Un Análisis que utiliza el Método de Elemento Finito, toma como base un modelo virtual ya sea en 1D, 2D o 3D, el cual está constituido por un sistema de puntos, que llevan por nombre nodos, que representan la forma del diseño. Estos nodos construyen una malla de elementos finitos, los contienen las propiedades estructurales del material que definen al biomodelo y cómo será su comportamiento bajo determinadas condiciones que se apliquen al sistema de estudio [16-19].

Para los siguientes casos de estudio se utilizan un archivo en formato Digital Imaging Communications on Medicine DICOM, que contiene imágenes de una tomografía axial computarizada TAC del antebrazo, con estas imágenes se realizara un biomodelo funcional de los huesos del antebrazo (radio-cúbito), se considera una metodología para que el modelado de los tejidos tanto del hueso cortical como del trabecular cumplan con la morfología, pasando por diferentes etapas que modifica su superficie y volumen, teniendo un proceso de refinamiento en la superficie hasta llegar a obtener un biomodelo de alta biofidelidad.

Posteriormente, se realiza un análisis numérico con el biomodelo, en este paso se define la geometría, propiedades mecánicas, el tipo de elemento finito a utilizar, para generar un discretizado, establecer condiciones de frontera, aplicando los agentes externos (carga en compresión y tensión), con el propósito de obtener un resultado el cual estará representado por el esfuerzo máximo donde es posible identificar las zonas a lo largo del eje longitudinal de las estructuras óseas en las cuales se pueda generar una lesión o incluso una fractura.

## 2. MÉTODO

En la actualidad existen distintas metodologías, que implementan diferentes programas computacionales para el desarrollo de biomodelos, los cuales permiten simular diferentes tejidos biológicos, para el desarrollo y obtención de un biomodelo que represente los huesos del antebrazo (radio-cúbito), se utiliza una tomografía computarizada, esta metodología permite la representación de la morfología de los huesos y conseguir un modelo de alta biofidelidad. La metodología planteada para realizar el biomodelado se muestra a continuación.

## 2.1 Imágenes en formato DICOM

La caracterización del modelo comienza a partir de imágenes DICOM. Implementando inicialmente el programa *Scan Ip®*, en el cual se hace uso diversos comandos en la barra de herramientas, las imágenes cargadas en el programa proporcionan las dimensiones del biomodelo computacional sean lo más semejantes a las reales. Se utiliza la tomografía del brazo derecho de un hombre de entre 25 y 30 años, de complejión media y aparentemente sano. Se importa el archivo de las imágenes que contiene 623 cortes para realizar la reconstrucción de hueso cúbito y radio (Figura 1).

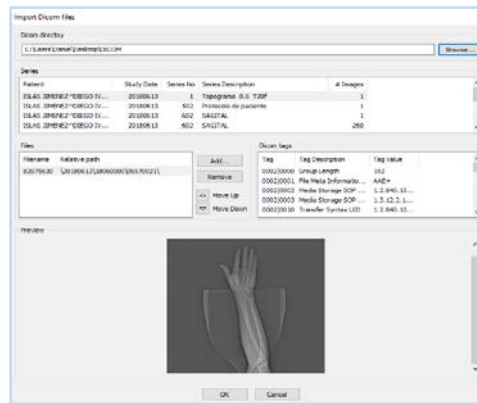


Figura 1. Importación de archivos DICOM

## 2.2 Caracterización del modelo del hueso en 3D

Una vez cargados los archivos en formato DICOM, aparecen tres ventanas de trabajo que representan las vistas en el programa, donde es posible visualizar el espacio de trabajo, cada imagen tomográfica se podrá apreciar en las vistas (frontal, transversal y sagital). Además de tener una vista adicional, donde se aprecia como se genera el hueso en 3D (Figura 2).

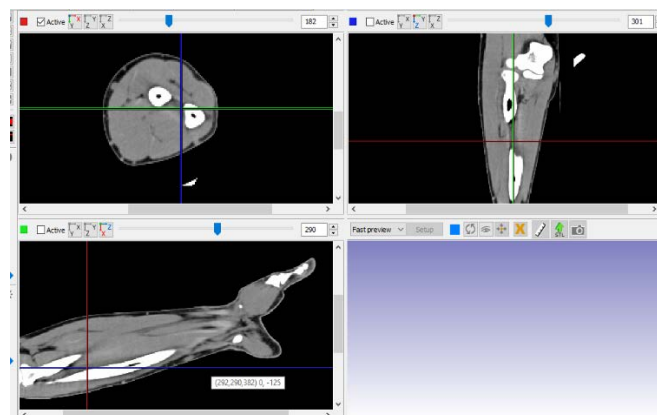


Figura 2. Vistas del antebrazo en el programa computacional Scan Ip®

Se selecciona la vista con la cual se desea trabajar para este caso se implementa la imagen transversal, la cual permite delimitar el contorno del área de interés y después rellenarla para el desarrollo del biomodelo (este proceso será el mismo para el hueso cortical y el trabecular). Este procedimiento se repite continuamente en cada una de las imágenes hasta que se genere el modelo completo (Figura 3).

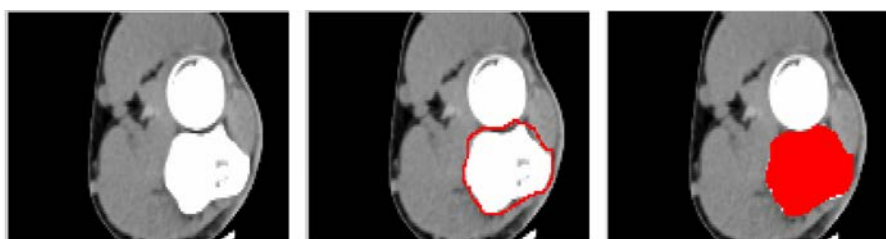


Figura 3. Delimitación del área



Como último paso, se procede a realizar la reconstrucción del biomodelo por medio del comando STL que reconstruye el modelo en 3D y se guarda con la extensión del mismo nombre del comando utilizado (Figuras 4 y Figura 5).

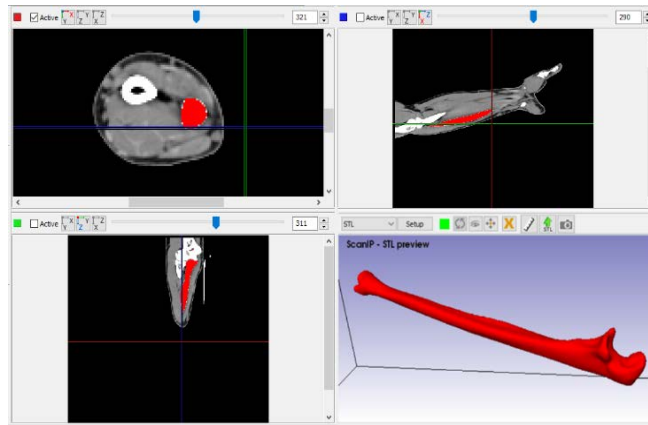


Figura 4. Delimitación del área del hueso cortical

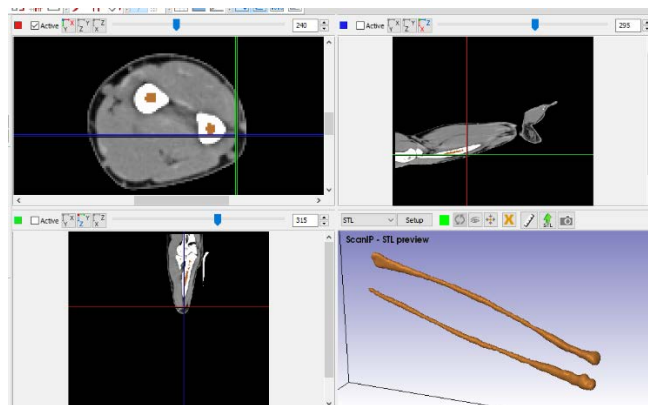


Figura 5. Delimitación del área del hueso trabecular

### 2.3 Desarrollo del modelo sólido del hueso cortical y trabecular (cúbito-radio)

Con el archivo en formato STL obtenido del procedimiento anterior, se importa al siguiente sistema computacional Power Shape®. Debido a que el modelo obtenido es realizado a base de puntos no cuenta con una geometría sólida. Por medio de este programa, se desarrollan superficies cerradas para posteriormente conseguir un modelo sólido (Figura 6).

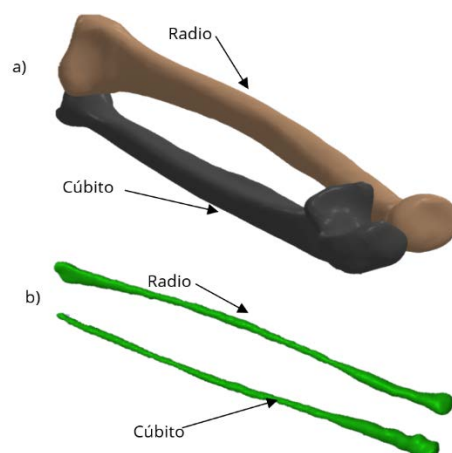
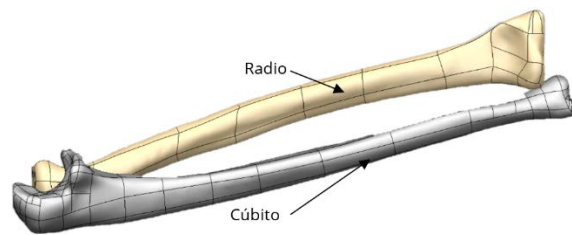


Figura 6. Modelo tridimensional en archivo STL: a) Hueso cortical, b) Hueso trabecular

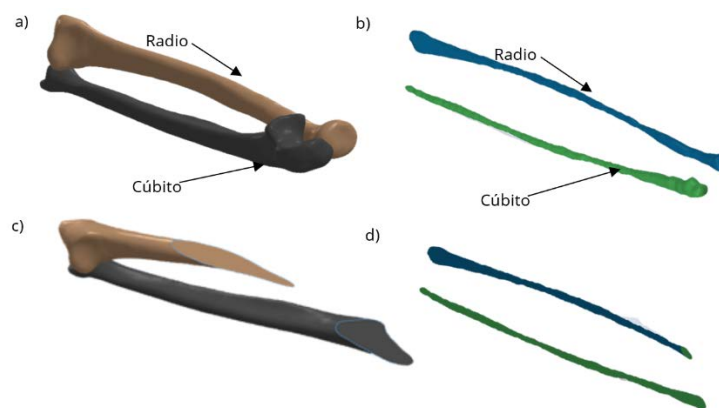
Este tipo de sistema computacional permite realizar la corrección de cavidades que llegan a existir dentro de las superficies para dar una mejor limpieza y suavizado de la superficie durante la implementación de ambos huesos en 3D. Finalmente, se exporta el archivo del modelo para convertirlo a uno con extensión \*.

parasolid. De esta manera se podrá identificar por programas CAD y será posible realizar el análisis por medio del empleo del Método de Elemento Finito (Figura 7).



**Figura 7.** Modelo del discretizado del tejido cortical del hueso en el programa de cómputo PowerShape®

Con la ayuda del programa SolidWorks® se abre el archivo con extensión \*. Parasolid, con el que se verifica que el modelo propuesto sea un sólido importando el hueso trabecular y el hueso cortical, procediendo a hacer un corte donde se observe que no esté hueco en su interior (Figura 8).



**Figura 8.** Modelo del discretizado del tejido cortical del hueso en el Solidificación de modelo en SolidWorks®: a) Hueso sólido cortical. b) Hueso sólido trabecular. c) Corte del hueso cortical. d) Corte del hueso trabecular programa de cómputo PowerShape®

### 3. ANÁLISIS NUMÉRICO

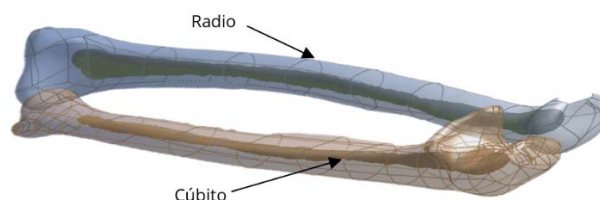
El análisis numérico del biomodelo se desarrolla en el programa ANSYS®, por medio del siguiente procedimiento.

#### 3.1 Definición del tipo de análisis

Al iniciar con el programa computacional para desarrollar el análisis numérico por medio del Método de Elemento Finito, se estipula una evaluación estructural-estática al sistema biológico que se está implementando. Donde al finalizar esta valoración, se procede a observar los esfuerzos que se producen como efecto de la aplicación de los agentes externos (cargas) al sistema biológico

#### 3.2 Definición de la geometría

La geometría del bimodelo sólido obtenido del procedimiento anterior, consta del hueso cortical y trabecular que conforman al antebrazo (radio-cúbito), el cual se generó a partir de la importación del modelo con extensión \*. parasolid (Figura 9).



**Figura 9.** Geometría del modelo sólido del hueso cortical y trabecular en ANSYS®

### 3.3 Definición de las propiedades mecánicas

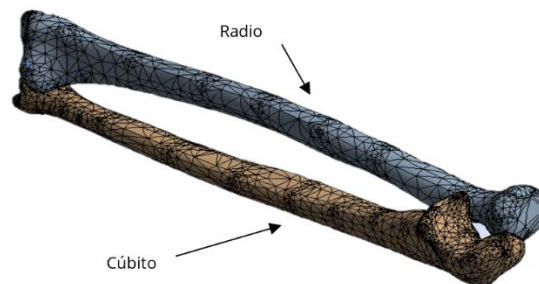
Para el análisis estructural que se propone desarrollar, se considera un comportamiento lineal-elástico, continuo, homogéneo e isotrópico, para ambos casos de estudio. Las propiedades mecánicas que se aplican al sistema de evaluación son las analizadas y reportadas por Flores [20] y Mendoza [21], para el hueso cortical y hueso trabecular, que se observan en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Propiedades mecánicas de los materiales

| Componente       | Módulo de Young | Relación de Poisson | Densidad               |
|------------------|-----------------|---------------------|------------------------|
| Hueso cortical   | 15 GPa          | 0,3                 | 1900 kg/m <sup>3</sup> |
| Hueso trabecular | 6 GPa           | 0,2                 | 700 kg/m <sup>3</sup>  |

### 3.4 Definición del tipo de elemento finito y generación del discretizado

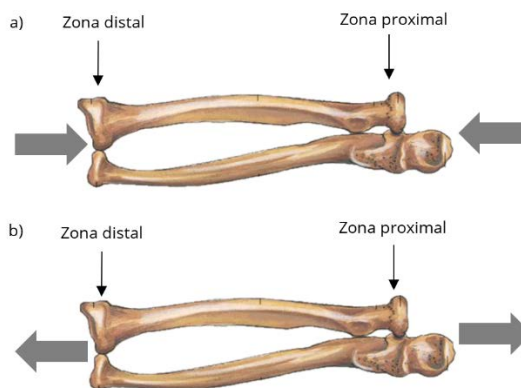
Se implementa un elemento sólido de alto orden (20 nodos) denominado solid 183, que consta de 6 grados de libertad. El biomodelo está constituido de 317 561 nodos y 187 554 elementos, los cuales conforman los 4 sólidos que están representados dos huesos corticales y dos huesos trabeculares. El discretizado se realiza por medio de una malla fina y controlada (Figura 10).



**Figura 10.** Discretizado del modelo en ANSYS

### 3.5 Definición del análisis numérico del cúbito y radio aplicando cargas axiales en compresión y tensión

Para el desarrollo de este análisis numérico se tienen dos casos de estudio, donde en el primer caso de estudio el modelo biomecánico estará bajo una carga de compresión axial y el segundo caso se someterá al modelo a carga axial en tensión. Los huesos al estar en compresión producen en la estructura acortamiento sobre su longitud y ensanchamiento al revertir la carga. Si el hueso está a tensión produce la separación de las láminas de la estructura, provocando un alargamiento a lo largo del eje longitudinal y una reducción en su sección transversal (Figura 11).



**Figura 11.** Casos de estudio en carga axial: a) Compresión, b) Tensión

### 3.6 Definición de las condiciones de frontera y aplicación de la carga en compresión y tensión

En el biomodelo se restringen todos los grados de libertad (ejes X, Y y Z, rotaciones en X, Y y Z.) en la zona distal de ambos huesos del modelo (Figura 12 zona amarilla), se considera una carga 725.94 N en la base

de la zona próxima sobre el eje Y (Figura 13 zona roja), en base a las características de un individuo en México es de 74 kg, suponiendo que la posición se mantiene de manera estática.

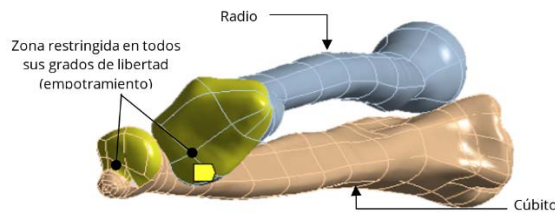


Figura 12. Aplicación de condiciones de frontera en el modelo (cúbito y radio)

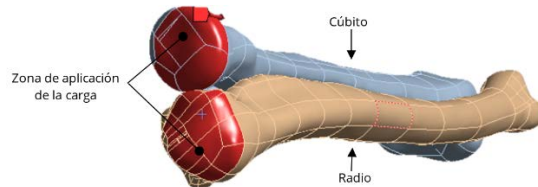


Figura 13. Aplicación de carga de compresión al modelo (cúbito y radio)

### 3.7 Lectura de resultados obtenidos

Al igual que en el caso anterior, en esta sección, Figura 14 a 28 y Tabla 2, se presentan los resultados obtenidos en el sistema por medio de la simulación numérica, donde se pueden observar los desplazamientos, esfuerzos y deformaciones unitarias.

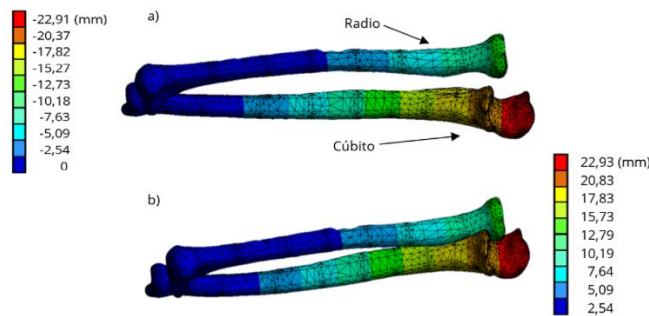


Figura 14. Desplazamiento total del en el eje Y del hueso cortical: a) carga en compresión, b) carga en tensión

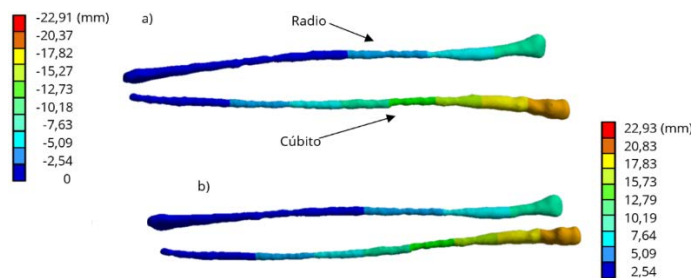


Figura 15. Desplazamiento total del en el eje Y del hueso trabecular: a) carga en compresión, b) carga en tensión

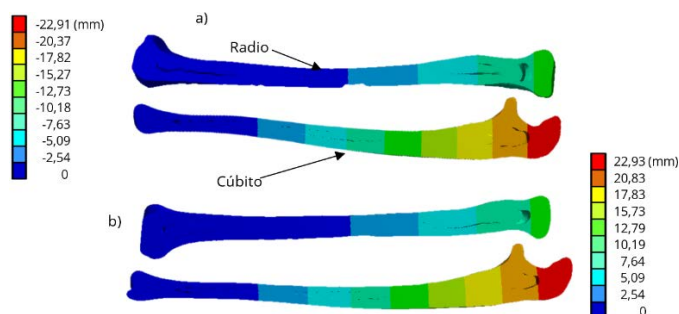


Figura 16. Desplazamiento total del en el eje Y en conjunto hueso cortical-trabecular: a) carga en compresión, b) carga en tensión

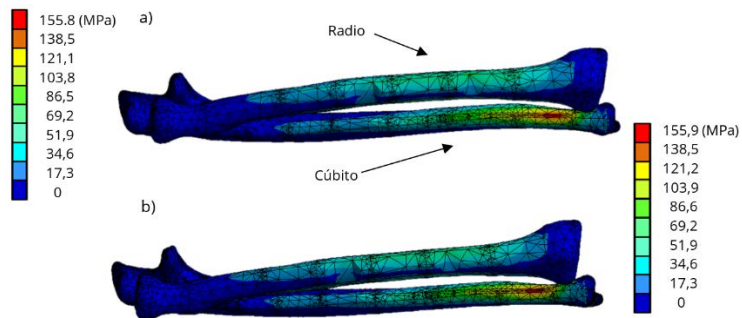


Figura 17. Esfuerzo de Von Mises del hueso cortical: a) carga en compresión, b) carga en tensión

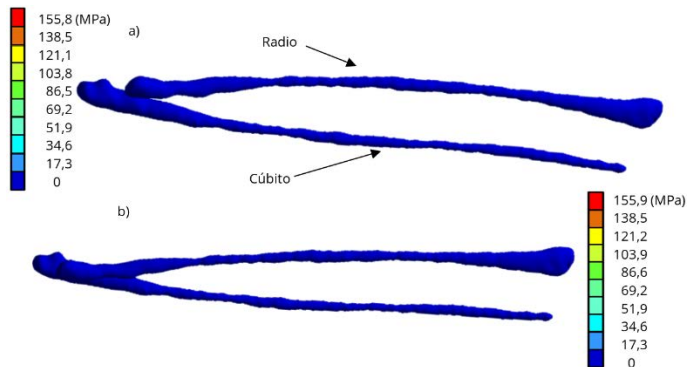


Figura 18. Esfuerzo de Von Mises del hueso trabecular: a) carga en compresión, b) carga en tensión

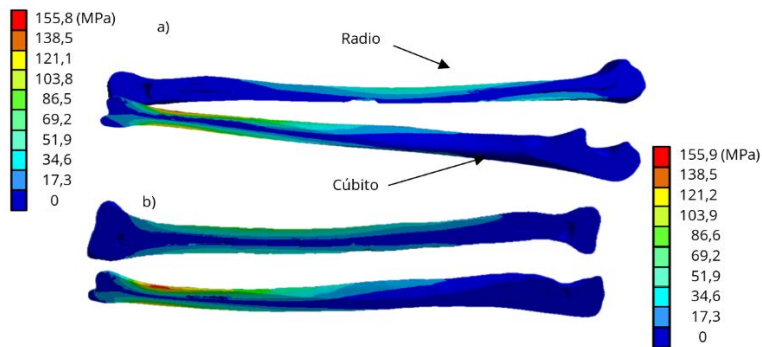


Figura 19. Esfuerzo de Von Mises en conjunto hueso cortical-trabecular: a) carga en compresión, b) carga en tensión

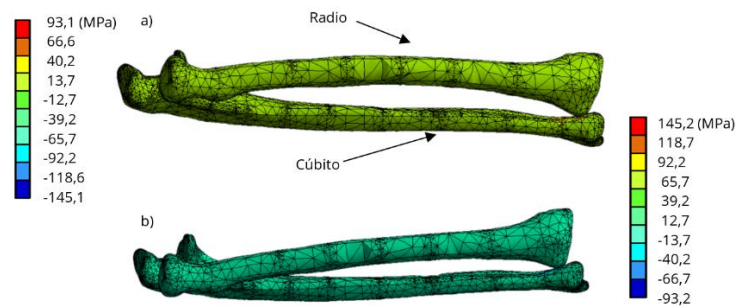


Figura 20. Esfuerzo nominal en el eje X del hueso cortical: a) carga en compresión, b) carga en tensión

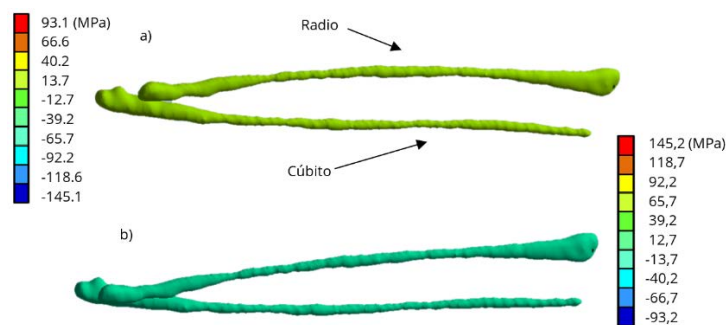


Figura 21. Esfuerzo nominal en el eje X del hueso trabecular: a) carga en compresión, b) carga en tensión

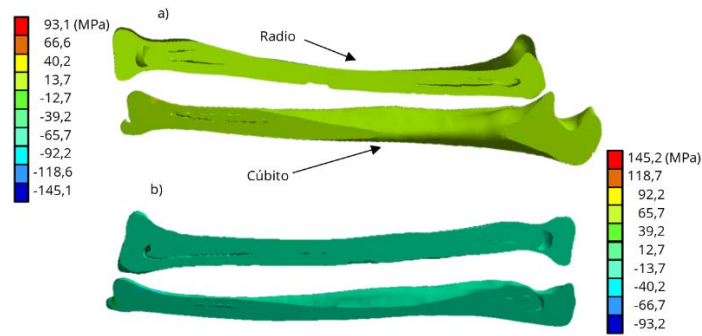


Figura 22. Esfuerzo nominal en el eje X en conjunto hueso cortical-trabecular: a) carga en compresión, b) carga en tensión

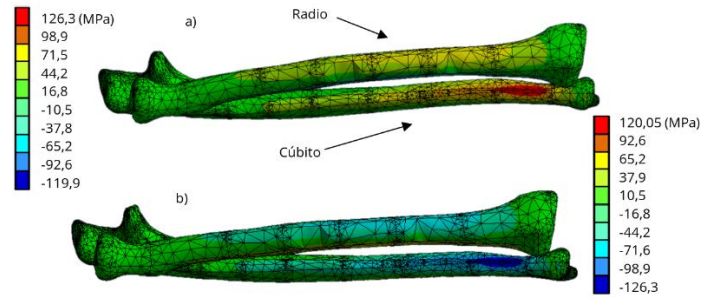


Figura 23. Esfuerzo nominal en el eje Y del hueso cortical: a) carga en compresión, b) carga en tensión

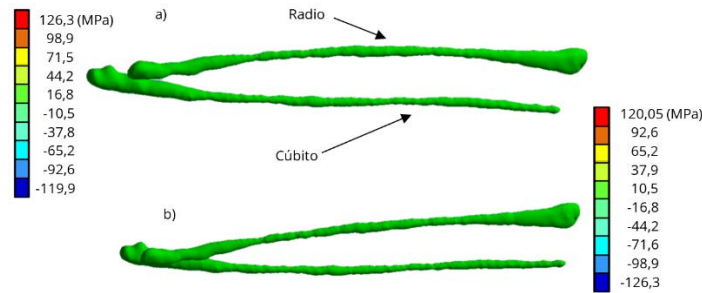


Figura 24. Esfuerzo nominal en el eje Y del hueso trabecular: a) carga en compresión, b) carga en tensión

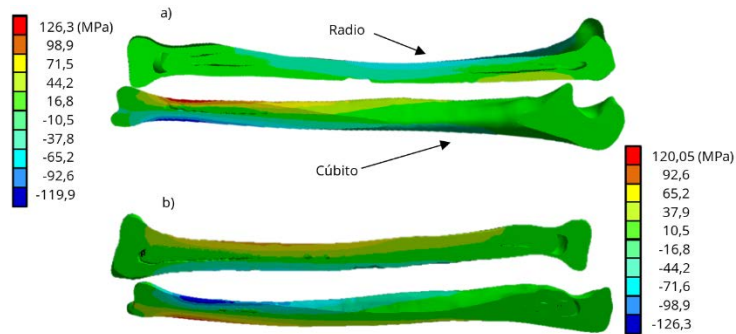


Figura 25. Esfuerzo nominal en el eje Y en conjunto hueso cortical-trabecular: a) carga en compresión, b) carga en tensión

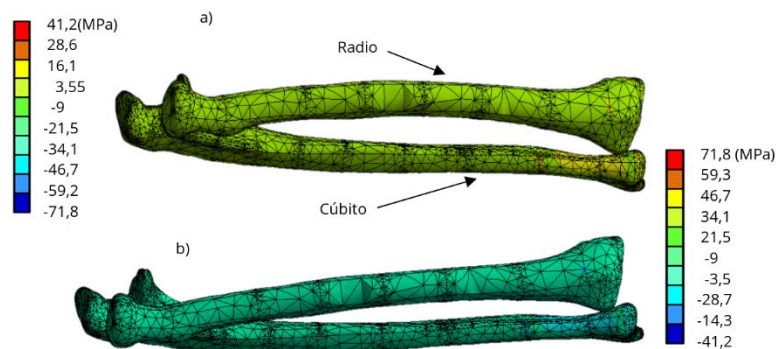


Figura 26. Esfuerzo nominal en el eje Z del hueso cortical: a) carga en compresión, b) carga en tensión

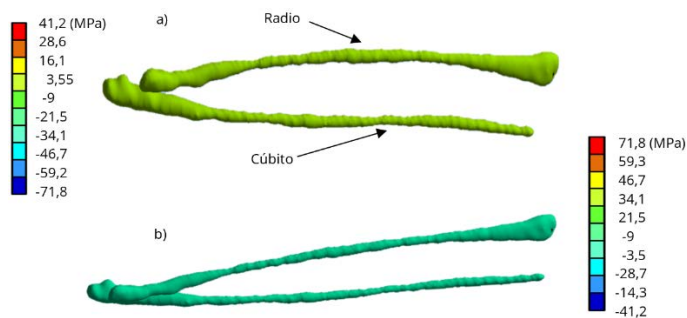


Figura 27. Esfuerzo nominal en el eje Z del hueso trabecular: a) carga en compresión, b) carga en tensión

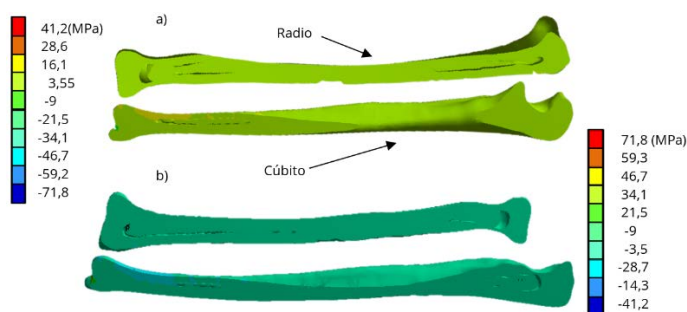


Figura 28. Esfuerzo nominal en el eje Z en conjunto hueso cortical-trabecular: a) carga en compresión, b) carga en tensión

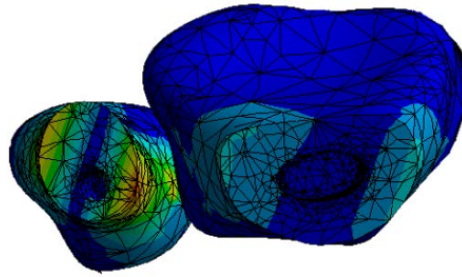
Tabla 2. Resumen de resultados generales sobre evaluación numérica de los huesos del antebrazo (radio-cúbito)

| Concepto   | Hueso cortical |        | Hueso trabecular |        |
|--|----------------|--------|------------------|--------|
|  | Máximo         | Mínimo | Máximo           | Mínimo |
| <b>Desplazamiento total del en el eje Y (mm)</b> |                |        |                  |        |
| Compresión                                       | -22,91         | 0      | -20,37           | 0      |
| Tensión  | 22,93          | 0      | 20,38            | 0      |
| <b>Esfuerzo de Von Mises (Mpa)</b>               |                |        |                  |        |
| Compresión                                       | 155,8          | 0      | 17,30            | 0      |
| Tensión  | 155,9          | 0      | 17,32            | 0      |
| <b>Esfuerzo nominal en el eje X (Mpa)</b>        |                |        |                  |        |
| Compresión                                       | 93,1           | 145,1  | 13,70            | -12,70 |
| Tensión  | 145,2          | -93,23 | 12,75            | -13,73 |
| <b>Esfuerzo nominal en el eje Y (Mpa)</b>        |                |        |                  |        |
| Compresión                                       | 126,3          | 119,90 | 44,20            | 16,84  |
| Tensión  | 120,05         | -126,3 | -16,85           | -44,23 |
| <b>Esfuerzo nominal en el eje Z (Mpa)</b>        |                |        |                  |        |
| Compresión                                       | 41,20          | -71,80 | 3,55             | -9     |
| Tensión  | 71,87          | -41,20 | 9                | -3,55  |

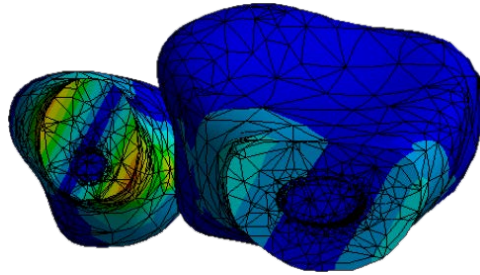
#### 4. CONCLUSIONES

Para el caso con carga en compresión el tejido cortical presenta un esfuerzo de Von Mises de 155,8 Mpa , donde el esfuerzo máximo se presenta en la zona distal por debajo de la cabeza cubital sobre el borde anterior y el borde interóseo, para el hueso trabecular se observa un esfuerzo de Von Mises de 17,30 Mpa distribuido a lo largo del eje longitudinal, para el tejido del hueso cortical arroja el resultado de -22,91 mm para el desplazamiento total, mientras que para el hueso trabecular presenta un valor de -20,37 mm. Los huesos al estar bajo el efecto de una carga en compresión tienden a reducir su estructura sobre su eje longitudinal, además de que los huesos tienden a separarse de la membrana interósea (Figura 29).

Para el caso con carga en tensión el tejido cortical presenta un esfuerzo de Von Mises de 155,9 Mpa , donde el esfuerzo máximo se presenta en la zona distal por debajo de la cabeza cubital sobre el borde anterior y el borde interóseo, para el hueso trabecular se observa un esfuerzo de Von Mises de 17,32 Mpa distribuido a lo largo del eje longitudinal, para el tejido del hueso cortical arroja el resultado de 22,93 mm para el desplazamiento total, mientras que para el hueso trabecular presenta un valor de 20,38 mm. Los huesos al estar bajo el efecto de una carga en tensión tienden a alargar su estructura sobre su eje longitudinal, además de que los huesos tienden a juntarse en espacio de la membrana interósea (Figura 30).



**Figura 29.** Esfuerzo de Von Mises del hueso en conjunto (cortical-trabecular), con carga en compresión



**Figura 30-** Esfuerzo de Von Mises del hueso en conjunto (cortical-trabecular), con carga en tensión.

## REFERENCIAS

- [1] Santiago F. et al. (2008). Restos humanos en el norte de Tierra del fuego. *Magallania* 36(1),53-64.
- [2] Suby J. et al. (2017). Paleopatología. *Asociación civil ciencia hoy. Ciencia Hoy* 26(153), 11-15.
- [3] Trobat A. et al. (2012). Paleopatología del tendón de Aquiles corto y evolución de la marcha humana. *Medicina Balear* 27(3), 8-14.
- [4] López A. et al. (2017). Biomodelado de los componentes del oído medio humano haciendo uso de imágenes de resonancia magnética. *Científica* 21(1), 3-8.
- [5] Gamarra V. y Da Silva F. (2014). Propuesta de biomodelado virtual 3D utilizando software libre. *Revista Ingeniería, Ciencia, Tecnología e Innovación* 1(2), 52-59.
- [6] Jardini A. et al. (2008). Cranial reconstruction: 3D biomodel and custom-built implant created using additive manufacturing. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery* 42(8), 1877-1884.
- [7] Oliveira M. et al. (2008). 3-D biomodelling technology for maxillofacial reconstruction. *Materials Science and Engineering: C* 28(8), 1347-1351.
- [8] Oryan A. et al. (2015). Bone injury and fracture healing biology. *Biomedical Environment Science* 28(1), 58-61.
- [9] Lohfeld S. et al. (2005). Biomodels of bone; A review. *Annals of Biomedical Engineering* 33(1), 1295-1311.
- [10] López H. et al. (2008). Análisis biomecánico de espalda y brazos para el desarrollo de herramientas portátiles. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 61(2), 4701-4708.
- [11] Maya D. (2020) Análisis numérico de efectos por cargas en huesos del antebrazo. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional.
- [12] Maurel W. et al. (1996). A biomechanical musculoskeletal model of human upper limb for dynamic simulation. *Computer Animation and Simulation* 96, 121-136.
- [13] Pinykh O. (2009). Digital imaging and communications in medicine (DICOM). A practical introduction and survival guide. *Science & Business Media*, 3-26.
- [14] Boccaccio A. et al. (2011) Finite element method (FEM), mechanobiology and biomimetic scaffolds in bone tissue engineering. *International Journal of Biological Sciences* 7(1), 112-132.
- [15] Pereiro L. (2006). Aprendiendo sobre el método de los elementos finitos. *Ingeniería Mecánica* 9(3), 7-13.
- [16] Collipal L. et al. (2003). Biometric characteristics of nutrition foramina in the humerus, ulna and radio bones. *International Journal of Morphology* 21(3), 227-230.
- [17] Brezeanu L. (2014). Contact stresses. Analysis by finite element method (FEM). *Procedia Technology* 12, 401-410.
- [18] Brekelmans W. et al. (1972). A new method to analyze the mechanical behavior of skeletal parts. *Acta Orthopædica Scandinavica* 43(5), 301-317.
- [19] Fitzwater K. et al. (2011) Evaluation of the effect of computed tomography scan protocols and freeform fabrication methods on bone biomodel accuracy. *American Journal of Veterinary Research* 72(9), 1178-1185.
- [20] Flores M. et al. (2008). La mecánica del hueso. Una revisión de los modelos de remodelación ósea. *Ingeniería y Conciencia* 9(5), 1-15.
- [21] Mendoza A. (1991). Estudio de las propiedades mecánicas del sistema óseo. *Revista de Ingeniería e Investigación*, 23, 14-19.



# Extracción de As y Pb contenidos en un convertidor catalítico a partir de agentes orgánicos

Adriana del Pilar González Vargas<sup>1</sup>

Ángela Johana Borda<sup>2</sup>

Robinson Torres<sup>3</sup>

*Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia*  
Colombia

Los catalizadores de automóviles son dispositivos que contienen diversos metales en su composición, los cuales comprenden metales preciosos, tierras raras y metales potencialmente tóxicos, de modo que la disposición final inadecuada de este componente automotriz conlleva daños al ambiente y a la salud humana. Por medio de procesos hidrometalúrgicos se puede realizar el reciclaje de los metales del catalizador, y dado que el desarrollo de rutas para la recuperación de metales preciosos ha sido mayoritario, los estudios sobre la recuperación de As y Pb han sido escasos. Extraer estos metales del catalizador automotriz está impulsado por un amplio interés a nivel ambiental, razón por la cual en este trabajo se propone la extracción de As y Pb de muestras de catalizador por medio de un proceso de lixiviación, empleando agentes orgánicos como citrato de sodio y EDTA en concentración 0,5M evaluando los pH 4 y 6. Los resultados indican que es posible lixiviar As y Pb con estos reactivos, mostrando un mejor desempeño con citrato de sodio a pH 4 respecto a las lixivitaciones realizadas con EDTA.

---

<sup>1</sup> Ingeniera Metalúrgica.

Contacto: [adriana.gonzalez04@uptc.edu.co](mailto:adriana.gonzalez04@uptc.edu.co)

<sup>2</sup> Magíster en Metalurgia y Ciencia de los Materiales.

Contacto: [angelajohana.borda@uptc.edu.co](mailto:angelajohana.borda@uptc.edu.co)

<sup>3</sup> Doctor en Ingeniería Química.

Contacto: [robinson.torres@uptc.edu.co](mailto:robinson.torres@uptc.edu.co)

## 1. INTRODUCCIÓN

Un automóvil al final de su vida útil representa una fuente de recuperación de diversos materiales que al desecharse inadecuadamente representan una amenaza para el medio ambiente, por lo que los procesos de economía circular desde el reciclaje representan interés ambiental [1] y económico. Dentro de las autopartes se encuentran los convertidores catalíticos encargados de la transformación de los gases de escape (NO<sub>x</sub> y CO) en gases que se puedan liberar a la atmósfera (N<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>) [2]. Este dispositivo suele tener en su composición metales preciosos, tierras raras y metales comunes que van desde el Al, el Fe [3] hasta metales potencialmente tóxicos como Pb y As [4].

A lo largo del tiempo se han realizado diversas investigaciones para optimizar la recuperación de metales preciosos [5-9] en menor medida se han desarrollado trabajos sobre la recuperación de otros elementos a partir de este dispositivo [10-12], también resulta importante a nivel ambiental investigar sobre los elementos con potencial de toxicidad como Pb y As que se encuentran en los catalizadores de automóviles y que poco se ha estudiado sobre ellos.

El arsénico por ejemplo, es un metal catalogado como altamente tóxico que está en la naturaleza en forma de arsénico trivalente, pentavalente y orgánico [13] capaz de afectar gravemente órganos y tejidos del cuerpo [14] además de estar asociado a procesos cancerígenos [15]. Por otro lado, el plomo es un elemento natural que se puede encontrar en la naturaleza en forma de sulfatos, carbonatos u óxidos y su concentración depende de los procesos geológicos y también de la contaminación por plomo en los diferentes medios naturales [16]. La exposición al plomo está asociada con envenenamiento, causando problemas neuromusculares, cardiovasculares, daños severos durante el embarazo, entre otras cosas [17].

Dada la importancia de contribuir a la disminución de la contaminación de metales pesados como el plomo y el arsénico, en este trabajo se busca evaluar la recuperación de estos elementos contenidos en un catalizador de automóvil a través de una ruta hidrometalúrgica; teniendo interés por procesos ecoamigables, los agentes lixiviantes empleados en este estudio corresponden a los agentes orgánicos citrato de sodio (Na<sub>3</sub>C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>7</sub>) y ácido etilendiaminotetraacético EDTA.

## 2. MÉTODO

Para los experimentos se empleó un catalizador desechado de automóvil, el cual se sometió a procesos de preparación mecánica convencionales hasta obtener muestras con granulometría de 106µm. Se realizó una digestión de la muestra en agua regia (HCl:HNO<sub>3</sub> 3:1 v/v) para determinar la composición química del catalizador por medio de la técnica de espectroscopía de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (Agilent 4210 MP-AES). Las muestras de lixiviación se tomaron cada hora durante 7 horas y su contenido metálico también se analizó con MP-AES.

Los agentes lixiviantes empleados fueron citrato de sodio (Na<sub>3</sub>C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>7</sub>) y ácido etilendiaminotetraacético EDTA. La concentración de los reactivos se fijó en 0,5M. Se realizaron pruebas con dos condiciones de pH diferente: 4 y 6, cuya calibración fue hecha con una solución diluida de ácido nítrico al 65%. Todas las lixivitaciones se realizaron a temperatura ambiente y presión atmosférica (Tunja, Colombia), con agitadores mecánicos de hélice a 400rpm y relación S:L de 20g/L.

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 3.1 Caracterización química del catalizador

La digestión química se realizó con una muestra de 2g de catalizador en 100ml de agua regia (HCl: HNO<sub>3</sub>, 3:1 v/v) empleando una barra de agitación magnética a 400rpm y 80°C. La Tabla 1 indica la composición química de metales contenidos en la muestra. El dispositivo contiene los metales preciosos Pt, Au y Ag encargados de la función catalítica, promoviendo la oxidación de CO, HC y la reducción de gases NO<sub>x</sub>, de tal manera que se puedan liberar a la atmósfera [18]. Por otro lado, están presentes metales comunes como el Al propio de la estructura de alúmina y posibles óxidos tanto de Fe como de Zn para darle estabilidad al

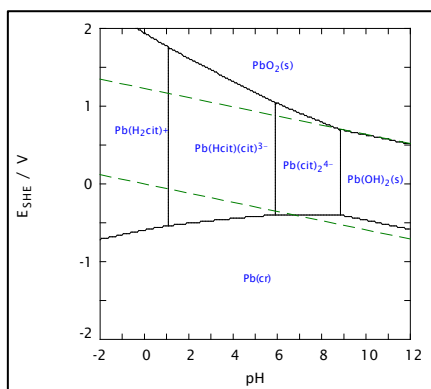
convertidor [19]. Los metales como As y Pb también hacen presencia en esta muestra de catalizador, estos elementos también hacen parte de los aditivos estructurales para la estabilización y en el caso de Pb el contenido podría estar asociado a la composición elemental propia del diseño del catalizador y a posibles trazas de Pb en la gasolina [8].

**Tabla 1.** Composición elemental de metales contenidos en el catalizador de estudio

| Elemento | Kg/t   | Elemento | g/t    |
|----------|--------|----------|--------|
| Fe       | 1,412  | As       | 483,83 |
| Zn       | 1,096  | Pb       | 515,82 |
| Pt       | 1,987  | Au       | 19,99  |
| Al       | 13,819 | Ag       | 23,99  |

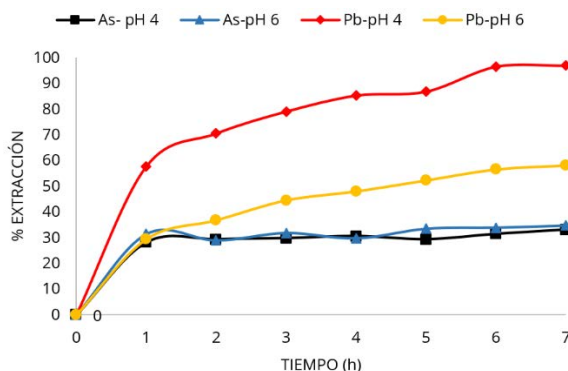
### 3.2 Lixiviación con citrato de sodio

Se evaluó la concentración 0,5M de citrato de sodio a pH 4 y 6 sin emplear un agente oxidante. La Figura 1 corresponde al diagrama de Pourbaix del sistema Pb-Citrato, mostrando el amplio rango de pH (de 1 a 9 aproximadamente) donde el Pb presenta alta solubilidad [20] y forma complejos con citrato.



**Figura 1.** Diagrama de Pourbaix del sistema Pb 0,001M en solución de citrato 0,5M

La Figura 2 muestra el comportamiento de extracción de Pb y As en la solución de citrato de sodio y, de acuerdo con los resultados, la disolución máxima (96%) se obtiene a pH 4, estabilizándose entre 5 y 6 horas.



**Figura 2.** Extracción de As y Pb en solución de citrato de sodio 0,5M a pH 4 y 6

No obstante, la extracción a pH 6 también resulta ser beneficiosa, puesto que alcanza un 58% y de acuerdo con [21] la solución de citrato puede recircularse hasta 4 veces para la lixiviación luego de realizar la electrodeposición de este metal.

Por otro lado, la extracción de As resultó ser menor y no se evidencian diferencias apreciables al emplear pH 4 o 6 presentando como extracción máxima 34%. En adición a esto, la cinética de lixiviación es más lenta respecto al Pb y el resultado indica que el citrato ofrece una lixiviación selectiva de Pb sobre As. La investigación de extracción de As con agentes carboxílicos no es extensa, dentro de los estudios realizados está la lixiviación de suelos contaminados con As donde el ácido oxálico tiene más afinidad con el As que el citrato, aun así este tipo de lixiviaciones ofrecen los resultados luego de 15 horas [22] por lo que vale la pena

seguir profundizando en la cinética de lixiviación con citrato y optimizar las condiciones para obtener resultados más altos de extracción de As.

### 3.3 Lixiviación con EDTA

En los resultados de lixiviación con EDTA la extracción tanto de Pb como de As no es alta. Para ninguno de los metales estudiados se supera el 20% y desde la hora 1 el proceso de extracción parece detenerse, dando como resultados máximos 12% y 17% para Pb y As respectivamente a pH 4 como se aprecia en la Figura 3.

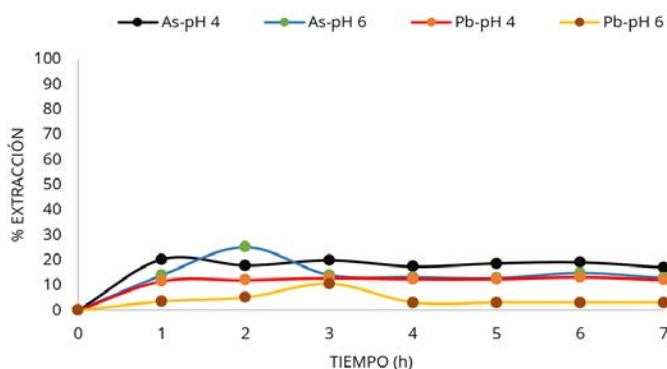


Figura 3. Extracción de Pb y As en solución de EDTA 0,5M y pH 4 y 6

A pesar de que se ha demostrado que el EDTA es capaz de formar complejos con los iones metálicos como se evidencia en la Figura 4, viéndose favorecida por la acidez y que posee alta afinidad con el Pb [23], en este estudio los resultados no fueron los esperados.

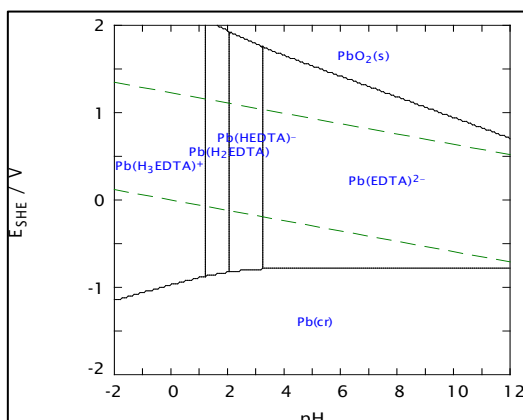


Figura 4. Diagrama de Pourbaix del sistema Pb 0,001M en solución de EDTA 0,5M

En otras investigaciones se han analizado factores que intervienen en la tendencia a que se formen los complejos de Pb con EDTA y la influencia del Fe sobre la extracción de este metal, dado que también presenta afinidad considerable con EDTA asociado a la competencia entre iones para la formación de complejos, acrecentada por un mayor contenido de Fe en la muestra [24] lo cual puede relacionarse con la baja extracción del Pb.

La extracción de As con EDTA fue ligeramente mayor respecto al Pb. Desde la primera hora de lixiviación la formación de complejos se detuvo, por lo que el tiempo de lixiviación y los pH evaluados no demostraron ser variables que afecten la extracción de As y el reactivo no muestra tener selectividad sobre ninguno de los metales estudiados.

En lixivaciones en columna se ha evidenciado que la presencia de Fe en forma de óxido influye en la extracción de As porque es capaz de retener especies de arsénico [25], además el EDTA ha extraído As en bajas cantidades (2-7%) cuando éste se asocia con óxidos de Fe y Al resultando en una disolución poco exitosa [26]. Según lo antes mencionado, se puede sugerir una lixivación selectiva de Fe y Al, previa a la fase de lixivación de As y Pb para evaluar su extracción con EDTA nuevamente.

## 4. CONCLUSIONES

Los metales con potencial tóxico existen de forma natural y también por efectos antropogénicos. La disposición final inadecuada de dispositivos como el catalizador automotriz aumentan los daños al agua, suelo y aire causado por dichos metales, por esta razón resultan importantes los procesos que favorecen la extracción particularmente de Pb y As para su reciclaje.

La recuperación de metales preciosos desde catalizadores es llamativa por su alto interés económico, sin embargo, los estudios para extraer metales tóxicos también son relevantes a nivel ambiental y económico, especialmente cuando se usan agentes orgánicos como citrato de sodio o EDTA durante el proceso.

El citrato de sodio arrojó como resultado un alto porcentaje de extracción de Pb, mostrándose selectivo con este metal a pH 4. Aun así, los valores obtenidos a pH 6 son atractivos dado que permite trabajar en condiciones de tendencia neutra. A esto se suma que el citrato es un agente que permite su reutilización, lo que resulta importante en la industria en términos de recursos. El comportamiento del As bajo este agente sugiere más estudios de condiciones para optimizar el proceso, la extracción de 34% a pH 6 tiene interés por profundizar en análisis de cinética de lixiviación y continuar usando citrato de sodio.

El EDTA ha demostrado su capacidad de disolución de metales, no obstante, para este estudio la baja extracción de Pb y As con EDTA tanto a pH 4 como a pH 6 pudo estar influenciada por el contenido de Fe en la muestra, obteniéndose resultados de extracción similares para los dos metales de interés. Se recomienda profundizar en estudios que relacionen factores diferentes de lixiviación como pretratamientos que disminuyan la cantidad de Fe en la muestra y evaluar concentraciones diferentes.

## REFERENCIAS

- [1] Radkevich M. y Shipilova K. (2019). Waste management forum. Monthly journal for industrial and municipal ecology 3, 174-294.
- [2] Van den Bossche A. et al. (2021). Dissolution behavior of precious metals and selective palladium leaching from spent automotive catalysts by trihalide ionic liquids. RSC Advances 11(17), 10110–10120.
- [3] Eskina V. et al. (2020). Direct precise determination of Pd , Pt and Rh in spent automobile catalysts solution by high-resolution continuum source graphite furnace atomic absorption spectrometry. Spectrochimica acta part B: Atomic Spectroscopy 165, 105784.
- [4] Moosakazemi F. et al. (2020). Development of an environmentally friendly flowsheet for the hydrometallurgical recovery of nickel and aluminum from spent methanation catalyst. Journal of cleaner production 244, 118731.
- [5] Wiecka Z. et al. (2022) Recovery of platinum group metals from spent automotive converters by leaching with organic and inorganic acids and extraction with quaternary phosphonium salts. Sep. and purif. tech. 280, 119933.
- [6] Paiva A. et al. (2022). Hydrometallurgical recovery of platinum-group metals from spent auto-catalysts – focus on leaching and solvent extraction. Separation and purification technology 286, 120474.
- [7] Ilyas S. et al. (2020). Hydrometallurgical recycling of palladium and platinum from exhausted diesel oxidation catalysts. Separation and purification technology 248, 117029.
- [8] De Oliveira J. et al. (2020). Leaching of platinum group metals from spent automotive catalysts using organic acids. Minerals Engineering 159, 106634.
- [9] Yousif A. (2019). Recovery and then individual separation of platinum , palladium , and rhodium from spent car catalytic converters using hydrometallurgical technique followed by successive precipitation methods. Journal of chemistry 2019, 2318157.
- [10] Abo T. y Spooren J. (2021) Fast microwave leaching of platinum, rhodium and cerium from spent non-milled autocatalyst monolith. Chemical engineering and processing - process intensification 164, 108378.
- [11] Rumpold R. y Antrekowitsch J. (2012). Recycling of platinum group metals from automotive catalysts by an acidic leaching process. Journal of the southern african institute of mining and metallurgy 695–714.
- [12] Bich H. et al. (2019) Total recycling of all the components from spent auto-catalyst by NaOH roasting-assisted hydrometallurgical route. Journal of hazardous materials 379, 120772.
- [13] Irunde R. et al. (2022). Arsenic in Africa: potential sources, spatial variability, and the state of the art for arsenic removal using locally available materials. Groundwater for sustainable development 18, 100746.
- [14] Guo H. et al. (2022). Metabolic characteristics related to the hazardous effects of environmental arsenic on humans: a metabolomic review. Ecotoxicology and environmental safety 236, 113459.
- [15] Zhang W. et al. (2022). Arsenic bioaccumulation and biotransformation in aquatic organisms. Environment international 163, 107221.

- [16] Collin M. et al. (2022). Bioaccumulation of lead (Pb) and its effects on human: a review. *Journal of hazardous materials advances* 7, 100094.
- [17] Dobrescu A. et al. (2022). Effectiveness of interventions for the remediation of lead-contaminated soil to prevent or reduce lead exposure - a systematic review. *Science of the total environment* 806, 150480.
- [18] Hammadi M. y Abid K. (2017). Recovery of platinum and palladium from scrap automotive catalytic converters. *Al-Khwarizmi engineering journal* 13(3), 131–141.
- [19] De Aberasturi D. et al. (2011). Recovery by hydrometallurgical extraction of the platinum-group metals from car catalytic converters. *Minerals engineering* 24(6), 505–513.
- [20] Torres R. y Lapidus G. (2020). Base metal citrate pretreatment of complex ores to improve gold and silver leaching with thiourea. *Hydrometallurgy* 197, 105461.
- [21] Torres R. y Lapidus G. Closed circuit recovery of copper, lead and iron from electronic waste with citrate solutions. *Waste management* 60, 561–568.
- [22] Ash C. et al. (2016). Different low-molecular-mass organic acids specifically control leaching of arsenic and lead from contaminated soil. *Journal of contaminant hydrology* 187, 18–30.
- [23] Borda J. y Torres R. (2022). Recycling of zinc and lead from electric arc furnace dust by selective leaching with EDTA. *Canadian metallurgical quarterly*. 1–11.
- [24] Finžgar N y Leštan D. (2007) Multi-step leaching of Pb and Zn contaminated soils with EDTA. *Chemosphere* 66(5), 824–832.
- [25] Beesley L. et al. (2010). Mobility of arsenic, cadmium and zinc in a multi-element contaminated soil profile assessed by in-situ soil pore water sampling, column leaching and sequential extraction. *Environmental pollution* 158(1), 155–160.
- [26] Wenzel W. et al. (2001). Arsenic fractionation in soils using an improved sequential extraction procedure. *Analytica chimica acta* 436(2), 309–323.

# Síntesis y propiedades de hidrogeles a base de sericina y alcohol polivinílico reticulados térmicamente

María C. Arango<sup>1</sup>  
William Santana<sup>2</sup>  
Natalia Jaramillo-Quiceno<sup>3</sup>  
Santiago Rueda-Mira<sup>4</sup>  
Catalina Álvarez-López<sup>5</sup>  
*Universidad Pontificia Bolivariana*  
Colombia

La sericina de seda SS es una proteína presente en los capullos de seda que ha sido usada en mezclas con PVA para la formación de hidrogeles flexibles y potencialmente biodegradables. El uso de materiales a base de SS/PVA ha estado mayormente orientada al campo biomédico y farmacéutico, siendo limitada su aplicación agrícola debido a la baja estabilidad que pueden presentar en suelo u otros ambientes con alta humedad. En este trabajo se plantea el desarrollo de un hidrogel a base de SS/PVA para el mejoramiento de la retención de agua en suelos. Para esto se mezclaron soluciones de SS (2% w/v) y PVA (2% w/v) a una proporción 50:50 v/v (SS/PVA), y se secaron mediante la técnica de liofilización para la obtención de hidrogeles con estructuras porosas. Los hidrogeles obtenidos SS/PVA y las muestras control 100% SS y 100% PVA (previamente liofilizadas) se sometieron a una reticulación térmica (90 °C durante 4 h) con el fin de mejorar su estabilidad en agua. La presencia de ambos polímeros en los hidrogeles se confirmó mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier FTIR-ATR, así como el cambio estructural generado por el proceso de reticulación. La morfología de las estructuras porosas se estudió mediante microscopía electrónica de barrido SEM, donde se reveló que el entrecruzamiento térmico en los hidrogeles SS/PVA tratados térmicamente SS/PVA-T favorece un ordenamiento de la estructura, con una interconexión de poros, lo que aumentó la capacidad de absorción de agua, en comparación con el hidrogel SS/PVA sin reticular. Pruebas de resistencia a la compresión demostraron que la presencia de PVA tratado puede mejorar el rendimiento mecánico de los materiales basados en SS. De esta manera, el SS/PVA-T presenta un mayor potencial para su uso en suelos, buscando mayor eficiencia del agua en la producción agrícola.

---

<sup>1</sup> Ingeniera Química y Magíster en Ingeniería.

Contacto: [maria.arangosa@upb.edu.co](mailto:maria.arangosa@upb.edu.co)

<sup>2</sup> Ingeniero en Nanotecnología.

Contacto: [william.santana@upb.edu.co](mailto:william.santana@upb.edu.co)

<sup>3</sup> Ingeniera Industrial y Magíster en Ingeniería.

Contacto: [natalia.jaramilloq@upb.edu.co](mailto:natalia.jaramilloq@upb.edu.co)

<sup>4</sup> Ingeniero Químico.

Contacto: [santiago.ruedam@upb.edu.co](mailto:santiago.ruedam@upb.edu.co)

<sup>5</sup> Ingeniera Agroindustrial y Doctora en Ingeniería.

Contacto: [catalina.alvarezl@upb.edu.co](mailto:catalina.alvarezl@upb.edu.co)

## 1. INTRODUCCIÓN

Los hidrogeles son redes poliméricas tridimensionales que pueden absorber y retener grandes cantidades de agua (hasta mil veces su peso seco) sin disolverse [1]. La presencia de segmentos o grupos hidrófilos en estos materiales les confiere una alta afinidad con el agua, mientras que, la estabilidad y flexibilidad de su estructura se debe al entrecruzamiento (reticulación) o entrelazamiento de las cadenas poliméricas que lo constituyen [2, 3]. Recientemente, se ha estudiado el uso agrícola de los hidrogeles como materiales que permitan mejorar la capacidad de retención de agua del suelo [4, 5]. Los hidrogeles, al interactuar con el agua que se agrega al suelo, aumentan su tamaño (hinchamiento) hasta alcanzar el equilibrio, de esta manera actúan como depósitos de agua para las plantas [6].

La mayoría de los hidrogeles comerciales para uso agrícola se basan en derivados del acrilato (polímero derivado del petróleo), tales como: ácidos poliacrílicos entrecruzados, copolímeros de productos de hidrólisis parcial de almidones con acrilonitrilo y copolímeros de injerto almidón-ácido [7, 8]; por lo tanto, su biodegradabilidad es baja y existen riesgos asociados con su toxicidad para cualquier uso relacionado con el consumo humano [9, 10]. Una de las soluciones que se ha propuesto para aumentar la biodegradabilidad y biocompatibilidad de los materiales absorbentes empleados en la agricultura, es el reemplazo de materiales derivados del petróleo por polímeros naturales, esto debido a sus excelentes propiedades hidrofílicas, abundancia, y bajos costos [11].

Algunos polímeros de origen natural que han sido utilizados incluyen el alginato, el quitosano, la celulosa y algunas proteínas [12–16]. Entre las proteínas con potencial para el desarrollo de hidrogeles de uso agrícola se encuentra la sericina de seda, compuesta de 17-18 aminoácidos con una gran cantidad de cadenas laterales polares hechas de grupos hidroxilo, carboxilo y amino que se pueden usar para entrecruzar, copolimerizar o mezclar con otros polímeros para producir una nueva gama de materiales biodegradables con propiedades mejoradas [17, 18]. Esta proteína ha sido usada para generar hidrogeles con otros polímeros como carboximetilcelulosa CMC [19, 20], alginato y poli(N-isopropilacrilamida) [17], y en mezclas con alginato de sodio, ácido poliacrílico, acrilamida y alcohol polivinílico (PVA) [21–24].

Las mezclas de SS/PVA han sido ampliamente estudiadas para la formación de hidrogeles flexibles, biodegradables y de baja toxicidad. El PVA es un polímero sintético y biodegradable que presenta un número significativo de grupos hidroxilo que promueven su interacción con la proteína, lo que resulta en la formación de una red polimérica estructuralmente estable, con una alta capacidad de absorción de agua y permeabilidad al vapor de agua [21, 23–27]. El uso de hidrogeles a base de SS/PVA se ha orientado principalmente a la regeneración de tejidos y la liberación controlada de medicamentos [28], siendo pocos los estudios que abordan su aprovechamiento en aplicaciones agrícolas [21]. Sin embargo, los hidrogeles de SS/PVA son altamente hidrofílicos, lo cual implica que, para su aplicación en suelo, o en otro tipo de ambiente con alta humedad, deben ser sometidos a procesos de entrecruzamiento que permitan asegurar su integridad en el tiempo.

El entrecruzamiento es una de las principales técnicas para la modificación de polímeros, diferente a la copolimerización por injerto, la mezcla y la formación de compuestos. Su uso es especialmente útil en la síntesis de materiales a partir de polímeros naturales, ya que limita la movilidad de la estructura polimérica, reduciendo su solubilidad en agua y mejorando sus propiedades mecánicas y de barrera [29]. Las técnicas de entrecruzamiento físico producen hidrogeles físicos o también llamados *reversibles*, en los que la red tridimensional se mantiene unida por entrelazamiento de cadenas o fuerzas secundarias que incluyen puentes de hidrógeno, interacciones iónicas, cristalización e interacciones hidrofóbicas [1][30]. La principal ventaja de las técnicas de entrecruzamiento físico radica en que estas no requieren del uso de ningún agente químico de entrecruzamiento, evitando así los problemas de toxicidad comúnmente asociados a este tipo de compuestos [30].

Entre los métodos de entrecruzamiento físico se destaca el tratamiento térmico a alta temperatura, el cual promueve la formación de cristales, considerados reticuladores físicos de la red polimérica, mejorando así su estabilidad estructural [31]. El grado de cristalinidad, así como el tamaño de los cristales, depende de las condiciones del tratamiento (temperatura y tiempo) [32]. Cuando un material polimérico se trata a



temperatura constante (entre la transición vítrea y las temperaturas de fusión), las cadenas macromoleculares tienen suficiente movilidad para alinearse y plegarse para formar cristales [31]. Es bien sabido que el aumento en el grado de cristalinidad del polímero resulta en un material más resistente. De esta manera, el entrecruzamiento mediante procesos térmicos se presenta como una alternativa promisoría para la fabricación de hidrogeles a base de SS/PVA, potencialmente biodegradables y con baja o nula toxicidad.

El presente trabajo propone el aprovechamiento de la sericina de seda en la síntesis de hidrogeles, como alternativa tecnológica para hacer más eficiente el uso de agua en la producción agrícola. Para esto, se obtuvieron hidrogeles a base de mezclas SS y PVA mediante el método de liofilización, los cuales fueron posteriormente tratados utilizando la técnica de entrecruzamiento térmico a alta temperatura.

Se evaluó la incidencia del tratamiento térmico en la estabilidad estructural y capacidad de absorción de agua de los hidrogeles, y los resultados obtenidos fueron correlacionados con sus propiedades morfológicas y estructurales.

## **2. MÉTODO**

### **2.1 Materiales**

Se emplearon capullos de segunda (dobles, manchados) suministrados por la Corporación para el Desarrollo de la Sericultura del Cauca CORSEDA, Colombia, los cuales se cortaron en trozos pequeños (0,5x0,5 cm) eliminando la pupa seca y algunas impurezas.

El alcohol polivinílico con grado de hidrólisis superior al 98% y peso molecular entre 146.000-186.000 kDa fue adquirido con Sigma-Aldrich. La solución buffer fosfato salino PBS al 1X con pH 7,4 y el reactivo Biuret fue suministrados por la Universidad Pontificia Bolivariana.

### **2.2 Obtención de sericina de seda en polvo**

La extracción de la sericina de seda se realizó por medio del proceso de desengomado en autoclave, usando un equipo marca Labtech a una temperatura de 120 °C y 1,02 atm durante 30 min, a una relación de baño 1:30 (gr\_capullo/ml\_agua destilada) [25]. La solución de sericina obtenida se filtró para eliminar los sólidos y posibles impurezas, y se secó por aspersion en el BUCHI mini Spray Dryer B-290, a una temperatura de flujo de entrada de 180 °C, con un flujo de aspersion de 40 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, y un caudal de 6,3 ml min<sup>-1</sup>. El polvo de sericina obtenido se almacenó en un desecador.

### **2.3 Síntesis de hidrogeles de sericina y alcohol polivinílico SS/PVA**

El polvo de sericina se disolvió en agua destilada a una concentración de 2% (p/v) en una autoclave durante 15 min (120 °C y 1,5 atm). El alcohol polivinílico se disolvió en agua destilada a 90 °C hasta una concentración del 2% (p/v), manteniendo agitación constante a 1000 RPM durante 2 h. Las soluciones de SS y PVA se mezclaron en una proporción 50:50 (v/v), a una temperatura de 60 °C y agitación constante durante 20 min. Se tomaron como control las muestras 100% SS y 100% PVA.

Las soluciones obtenidas se depositan en placas de 24 pozos con un volumen de 1,5 mL, las cuales se congelaron a 80 °C durante 24 h. Posteriormente, se liofilizaron durante 48 h en un equipo marca Labconco. Los hidrogeles obtenidos SS/PVA, SS, y PVA se almacenaron en un desecador.

### **2.4 Reticulación física de hidrogeles con temperatura**

La reticulación física se realizó de acuerdo con estudios preliminares e investigaciones realizadas por otros autores [31, 33]. Los hidrogeles obtenidos se sometieron a una temperatura de 90 °C durante 4 h en un horno de convección forzada Centricol. Los hidrogeles reticulados físicamente con temperatura se nombraron: SS-T, PVA-T y SS/PVA-T.

## 2.5 Caracterización de los hidrogeles

- *Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier FTIR.* Los espectros infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR) de los hidrogeles se obtuvieron utilizando un espectrómetro Nicolet 6700 Series equipado con un accesorio de reflectancia total atenuada (ATR, Pike Smart MIRacle), con una resolución de  $4\text{ cm}^{-1}$  y un rango espectral de  $4000\text{--}450\text{ cm}^{-1}$ . El contenido de estructuras secundaria se determinó analizando la región de la amida I ( $1585\text{--}1705\text{ cm}^{-1}$ ). La región de la curva seleccionada se suavizó aplicando el método Savitzky-Golay con nueve puntos, se extrajo la línea base sobre la curva suavizada y se aplicó la herramienta auto-deconvolución de Fourier (FSD) en Origin 6.0.

Para resolver las bandas superpuestas en la deconvolución, se aplicó una función gamma de 20 y un factor de suavizado de 0,7 después de extraer una línea base recta en la región de la amida I. Se identificaron los mínimos en la región alrededor de  $1585\text{ cm}^{-1}$  y  $1705\text{ cm}^{-1}$ . Se aplicó la segunda derivada para encontrar la posición de los máximos, en donde se ajustaron los espectros FSD usando seis o siete curvas Gaussianas. Finalmente, el contenido relativo de cada estructura secundaria se calculó como la relación entre el área de los picos asociados y el área total del espectro ajustado [34].

- *Microscopía electrónica de barrido SEM.* La morfología de los hidrogeles se evaluó mediante el uso de un microscopio electrónico de barrido en alto vacío con un detector de electrones secundarios (SEM, JEOL JSM-6490LV). Fue necesario para la observación realizar un recubrimiento delgado en oro utilizando un equipo marca DENTON VACUUM Desk IV, hasta lograr un espesor aproximado de  $10\text{--}20\text{ nm}$ . El voltaje de aceleración para la imagen fue  $5\text{ kV}$ . Las imágenes fueron capturadas con unas ampliaciones de  $100\times$  y  $500\times$ .
- *Absorción de agua.* El estudio de absorción de agua se apoyó en el procedimiento establecido por Mandal [35], variando el medio de inmersión. En primer lugar, se pesaron los materiales en estado seco ( $W_i$ ) en una balanza analítica, y posteriormente se sumergieron en  $9\text{ mL}$  de agua destilada durante  $24\text{ h}$ . Transcurrido ese tiempo, los hidrogeles se retiraron del líquido y se tomó el peso en húmedo ( $W_h$ ), para esto, se retiró la cantidad de líquido en exceso con ayuda de un paño. El porcentaje de absorción de agua se determinó mediante la ecuación (1). Esta prueba se realizó por triplicado.

$$\% \text{ Absorción} = \frac{W_h - W_i}{W_i} \times 100 \quad (1)$$

- *Pérdida de peso en agua.* El estudio de pérdida de peso se realiza simultáneamente con la prueba de absorción de agua, es decir, luego de sumergidos los hidrogeles durante  $24\text{ h}$ , estos se secaron a  $60\text{ }^\circ\text{C}$  en un horno de convección forzada, marca Centricol, durante  $24\text{ h}$ . Finalmente, se registró el peso seco ( $W_t$ ) y la pérdida de peso se determinó usando la ecuación (2).

$$\% \text{ Pérdida peso} = \frac{W_i - W_t}{W_i} \times 100 \quad (2)$$

- *Propiedades mecánicas.* La medición de las propiedades mecánicas se realizó empleando una máquina universal de ensayo (INSTRON, modelo 5582) con celda de carga de  $1\text{ kN}$ , con una tasa de compresión constante de  $1\text{ mm min}^{-1}$ . Las muestras presentaron unas dimensiones de  $14\text{ mm}$  de diámetro y  $8\text{ mm}$  de espesor aproximadamente. Todas las mediciones se realizaron por triplicado y se tuvo en cuenta el 80% de diagrama de deformación, respecto al punto final de compresión para obtener el módulo de compresión reportado.

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 3.1 Estructura química de los hidrogeles: FTIR-ATR

En la Figura 1 se observan los espectros FTIR-ATR para las muestras SS-T, PVA-T, SS/PVA-T y SS/PVA, donde se evidenciaron curvas con señales características de los grupos químicos asociados a cada uno de los compuestos presentes en los hidrogeles. El espectro para la muestra PVA-T presenta bandas de vibración

entre 3200 y 3550  $\text{cm}^{-1}$ , relacionadas con el estiramiento del enlace O-H intermolecular e intramolecular [21, 36, 37]. La banda entre 2840 y 3000  $\text{cm}^{-1}$  es debida a la interacción de grupos alquilo C-H [38]. La banda de absorbancia en 1434  $\text{cm}^{-1}$  representa la flexión del enlace  $\text{CH}_2$ , y en 1330  $\text{cm}^{-1}$  representa el movimiento -CH. También se observaron dos picos intensos, el primero a 1142  $\text{cm}^{-1}$ , que hace referencia al estiramiento de C-O; y el segundo a 1094  $\text{cm}^{-1}$ , asociado con la secuencia cristalina del PVA [37, 39].

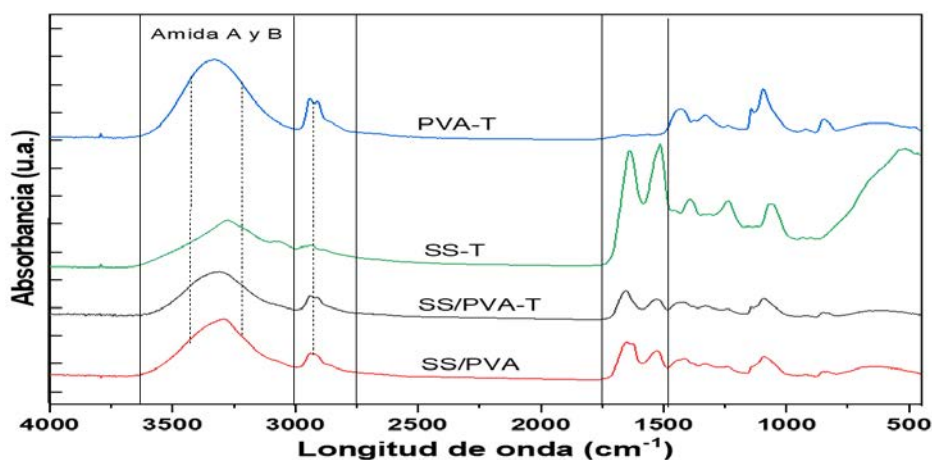


Figura 1. Espectros FTIR-ATR de hidrogel a base de SS y PVA sin y con reticulación térmica

Además, el pico que se posiciona alrededor de 845  $\text{cm}^{-1}$  es característico en el PVA por la presencia del grupo funcional alquilo [40]. Por otra parte, en la muestra SS-T se observan vibraciones en las bandas entre 3000 y 3500  $\text{cm}^{-1}$  de las amidas A y B, que se solapan con los residuos de aminoácidos hidroxilados (OH); tales como serina y treonina [41]. La región amida I, la cual se encuentra entre 1600 y 1700  $\text{cm}^{-1}$ , es debida al estiramiento de enlaces C=O presentes en la cadena polipeptídica de la proteína. La amida II registra bandas de vibración entre 1504 y 1582  $\text{cm}^{-1}$  asociada con estiramiento de enlaces C-N, y la amida III entre 1200 - 1300  $\text{cm}^{-1}$  se asocia con las interacciones N-H [42]. Los resultados obtenidos para las muestras SS-T y PVA-T concuerdan con estudios reportados en la literatura [40, 43].

Al hacer una comparación de picos de las muestras SS-T y PVA-T con las muestras SS/PVA y SS/PVA-T, es posible evidenciar una superposición de grupos funcionales correspondientes a cada uno de los polímeros, es decir que coexisten. Por otra parte, existe vibración de flexión de  $\text{CH}_2$  (1423  $\text{cm}^{-1}$ -1330  $\text{cm}^{-1}$ ) para todas las muestras que contienen PVA. El pico a 3276  $\text{cm}^{-1}$  en el hidrogel SS-T y 3328  $\text{cm}^{-1}$  para PVA-T se desplazan a 3293  $\text{cm}^{-1}$  para SS/PVA y a 3325  $\text{cm}^{-1}$  para SS/PVA-T, lo cual puede indicar que tanto la mezcla como el tratamiento térmico promueven la formación de enlaces de hidrógeno intermoleculares o intramoleculares entre los compuestos [21, 36].

En particular, el pico mencionado anteriormente para el PVA-T a 1142  $\text{cm}^{-1}$ , se conserva también en la muestra SS/PVA-T, pero en la muestra sin reticular SS/PVA no se presenta, lo cual indica que la reticulación térmica conduce al aumento de la fracción cristalina de este polímero. De igual forma, para la muestra SS/PVA se obtuvo un pico a 1089  $\text{cm}^{-1}$  relacionado con los dominios amorfos del PVA [36], dicha vibración no se presenta en las muestras PVA-T y SS/PVA-T. De acuerdo con la literatura, el hidrogel de PVA es de naturaleza bifásica (agua y PVA sólido), y las altas temperaturas pueden concentrar las cadenas de PVA y mejorar su movilidad, promoviendo la formación de enlaces de hidrógeno, lo que lleva a la cristalización de PVA [39].

El desplazamiento de la banda asociada a la amida I entre SS/PVA (1649  $\text{cm}^{-1}$ ) y SS/PVA-T (1656  $\text{cm}^{-1}$ ) sugiere una diferencia de estructuras secundarias de la proteína, esto debido al efecto que puede tener la reticulación térmica sobre la SS. Para esclarecer un poco lo anterior, se realizó un análisis adicional de la región amida I con el fin de calcular los contenidos relativos de diferentes estructuras secundarias de la proteína presente en las muestras SS-T, SS/PVA-T y SS/PVA. Los análisis mostraron 7 picos que están asociados con las diferentes estructuras de la sericina (Tabla 1), incluyendo conformaciones ordenadas tales como hélices- $\alpha$  y hojas- $\beta$  intramoleculares, y conformaciones desordenadas tales como giros y cadenas laterales [34].

**Tabla 1.** Porcentaje de estructuras secundarias presentes en los hidrogeles reticulados SS-T, SS/PVA-T y sin reticular SS/PVA  $n=2$

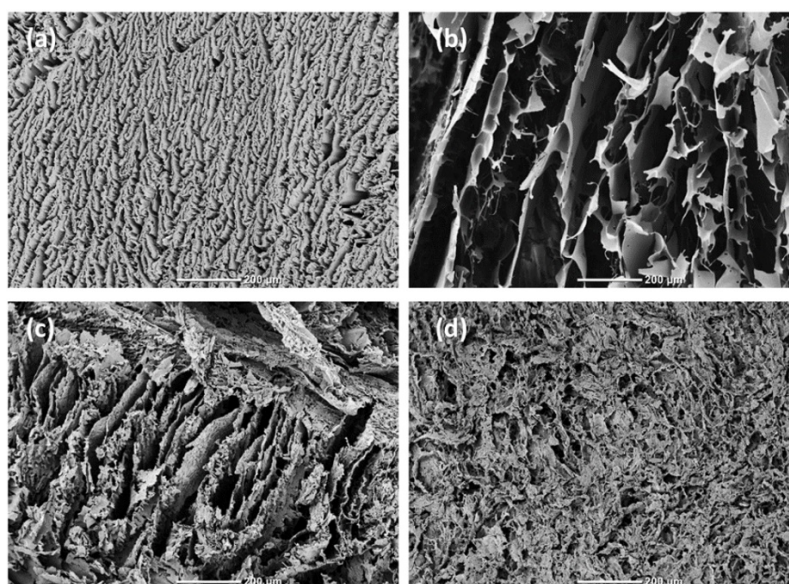
| Estructura secundaria                         | Banda de absorción         | SS-T (%)     | SS/PVA-T (%) | SS/PVA (%)   |
|---|----------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Hojas- $\beta$ antiparalelas intermoleculares | 1610-1625 $\text{cm}^{-1}$ | 20,87        | 5,14         | 13,24        |
| Hojas- $\beta$ intramolecular                 | 1626-1635 $\text{cm}^{-1}$ | 11,39        | 6,31         | 6,32         |
| Giros- $\beta$                                | 1647-1654 $\text{cm}^{-1}$ | 0,00         | 0,00         | 0,00         |
| Hojas- $\beta$ paralelas intermoleculares     | 1697-1700 $\text{cm}^{-1}$ | 0,00         | 0,00         | 0,47         |
| <b>Estructuras cristalinas</b>                |                            | <b>32,26</b> | <b>11,45</b> | <b>20,03</b> |
| Cadenas laterales                             | 1590-1605 $\text{cm}^{-1}$ | 1,48         | 0,84         | 1,78         |
| Espirales al azar                             | 1636-1645 $\text{cm}^{-1}$ | 24,19        | 40,64        | 53,10        |
| Hélices- $\alpha$                             | 1658-1664 $\text{cm}^{-1}$ | 29,67        | 21,60        | 0,00         |
| Giros   | 1666-1695 $\text{cm}^{-1}$ | 12,40        | 25,48        | 25,09        |
| <b>Estructuras amorfas</b>                    |                            | <b>67,74</b> | <b>88,55</b> | <b>79,97</b> |

Las estructuras para la muestra SS/PVA dan un indicio de la estructura de la proteína sin tratamiento, donde se evidencia un alto contenido de espirales al azar, giros, y una ausencia de la estructura amorfa-ordenada hélices- $\alpha$ . Esta última presenta una diferencia significativa (menor al 5%) en comparación con el porcentaje obtenido para SS-T y SS/PVA-T (Tabla 1), debido a los movimientos estructurales que proporciona la alta temperatura (90 °C), la cual promueve la formación de estructuras con mayor ordenamiento.

Al realizar una comparación entre el porcentaje de estructuras cristalinas y amorfas totales en las muestras, se evidencia una mayor cristalinidad para la muestra SS-T, seguido de la muestra SS/PVA, en comparación con la muestra SS/PVA-T ( $11,45 \pm 5,61\%$ ), esto puede ser atribuido a la influencia de la cristalización del PVA en el ordenamiento o posicionamiento de estructuras secundarias de la proteína. Cabe resaltar que el tratamiento térmico en los materiales compuestos únicamente por proteína genera un aumento de estructuras hojas- $\beta$  antiparalelas intermoleculares.

### 3.2 Morfología y microestructura de los hidrogeles

En la Figura 2 se presentan las imágenes obtenidas en el SEM para los hidrogeles, con un corte de sección transversal, y una amplificación a 500x. Todos los materiales presentaron una microestructura porosa, cuyas características parecen estar asociadas tanto a la mezcla polimérica, como al método de reticulación térmico. La muestra control PVA-T (Figura 2 a) presenta una estructura ordenada con porosidad no interconectada y reducida. Esto puede ser atribuido al aumento de la densidad de dominios cristalinos del PVA, lo que lleva a un tamaño de poro más pequeño [44]; además la etapa de congelación durante el proceso de liofilización, forma regiones poliméricas concentradas, promoviendo un contacto estrecho entre las cadenas de PVA.



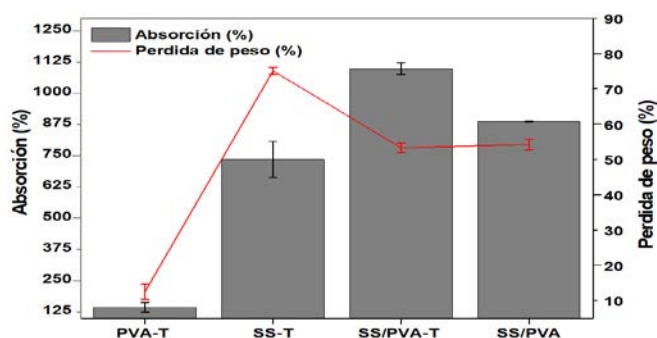
**Figura 2.** Microestructura de los hidrogeles fabricados a partir de sericina y alcohol polivinílico (PVA) tratados y sin tratar térmicamente: a) PVA-T, b) SS-T, c) SS/PVA-T, y d) SS/PVA

Por su parte, la muestra SS-T (Figura 2 b) presenta formas laminares, con porosidad heterogénea e interconectada, y un mayor tamaño de poro en comparación con la muestra PVA-T. Dicha morfología se atribuye principalmente a la sublimación y presión negativa ejercida por el agua durante el proceso de deshidratación por liofilización [45]. No obstante, al considerar un proceso de reticulación térmica sobre la proteína, este posiblemente proporciona un aumento en las cavidades entre lamina y lamina.

Este fenómeno también se ve reflejado en la muestra SS/PVA-T (Figura 2 c), esto puede ser debido al movimiento en las cadenas poliméricas en el proceso de reticulación a alta temperatura [31]. Lo anterior presenta una diferencia significativa con la muestra sin reticular SS/PVA (Figura 2 d), donde se evidencia una estructura porosa y heterogénea, con una densidad de poro mayor a la muestra SS/PVA-T.

### 3.3 Capacidad de absorción de agua y pérdida de peso de los hidrogeles

La capacidad de absorción de agua a 24 h de inmersión de los hidrogeles reticulados térmicamente PVA-T, SS-T, SS/PVA-T, y sin reticular SS/PVA, se muestran en la Figura 3 (barras de color gris).



**Figura 3.** Capacidad de absorción de agua y pérdida de peso, después de 24 horas de inmersión, de los hidrogeles a base de SS y PVA, con y sin reticulación térmica

Todas las muestras presentan absorción de agua debido a la microestructura porosa, la cual permite una mayor permeabilidad del fluido; además, la capacidad de absorción de agua es influenciada por la disponibilidad de grupos funcionales hidrofílicos que regulan la interacción con el solvente [35].

No obstante, los resultados indican una diferencia estadísticamente significativa (*valor p* < 0,05) en el porcentaje de absorción entre todas las muestras, donde la máxima absorción de agua se obtuvo para la muestra SS/PVA-T (1098,73 ± 23,1 %), seguida de SS/PVA (887,32 ± 1,43 %), SS-T (735,30 ± 72,6 %), y por último PVA-T (143,01 ± 18,7 %).

De acuerdo con los análisis presentados anteriormente sobre la morfología y estructura química de los materiales, excepto para la muestra SS-T, se evidencia una relación entre el tamaño de poro (SS/PVA-T > SS/PVA > PVA-T), el contenido de estructuras amorfas (PVA-T > SS/PVA-T) y la capacidad de absorber agua (SS/PVA-T > SS/PVA > PVA-T).

Específicamente, para la muestra SS/PVA-T se obtienen porosidades y un contenido de estructuras amorfas mayores a los encontrados en la muestra SS/PVA, por lo tanto, presenta una mayor absorción, esto puede ser atribuido a la interacción entre los polímeros y el movimiento estructural provocado por la reticulación térmica.

En contraste, la muestra PVA-T, debido a su alta cristalinidad asociada al tratamiento con alta temperatura, presenta una mayor densidad de poros, y por tanto una menor capacidad de absorción de agua. De acuerdo con K. Ou, *et al.*, el proceso de reticulación térmica en el PVA genera cristalitas y aumenta la densidad de reticulación, donde a mayor densidad de reticulación menor capacidad de absorción de agua [44].

En la Figura 3 (línea roja) se representa el porcentaje de pérdida de peso de los hidrogeles PVA-T, SS-T, SS/PVA-T y SS/PVA, después de 24 h de inmersión en agua destilada. Para las muestras SS-T y PVA-T se obtuvo una pérdida de peso de 75,12 ± 2,11% y 12,50 ± 0,93 %, respectivamente. Esto demuestra la

estabilidad que otorga el PVA en los materiales cuando están en contacto con el agua, como se evidencia en las muestras SS/PVA-T y SS/PVA, que presentan una menor degradación en comparación con la muestra SS-T. Las muestras que contienen SS tienen pérdidas de peso más significativas, comportamiento que puede ser atribuido a un desprendimiento o liberación de SS de los materiales desarrollados.

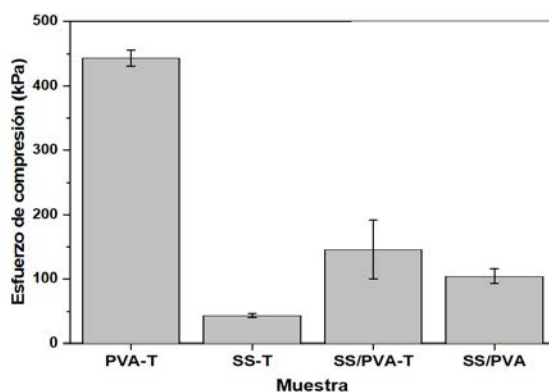
Debido a esto, la muestra SS-T no presenta una relación directa con la estructura química y morfológica. La combinación de ambos materiales permite reducir la pérdida de peso que ocurre con la sericina en medios acuosos. Por otra parte, no se tiene una diferencia estadísticamente significativa entre la pérdida de peso de los materiales SS/PVA-T ( $28 \pm 1,31$  %) y SS/PVA ( $54,25 \pm 1,50$  %).

Con el proceso de mezcla y liofilización se ha conseguido la obtención de materiales con pérdidas de peso superiores al 50%, lo que sugiere una liberación de sericina al medio acuoso a pesar de que se conserva su estructura, aludiendo a que el fenómeno de liberación ocurre en regiones donde se ha incluido la sericina con las cadenas del PVA [31].

Estudios reportados por otros autores, demostraron que materiales fabricados a partir de SS/PVA generan hidrogeles degradables entre un 30-50% [46]. De esta manera, los resultados sugieren que el material obtenido presenta una alta capacidad de absorción de agua, mientras que se mantiene estable estructuralmente, lo que aumenta su potencial para ser utilizado como retenedor de agua en el suelo.

### 3.4 Resistencia a la compresión de los hidrogeles

Los materiales exhibieron módulos de compresión con diferencias estadísticamente significativas entre sí (*valor*  $p < 0,05$ ), excepto para las muestras SS/PVA-T y SS/PVA que, a pesar de la reticulación física, las muestras no presentan una diferencia en los resultados. Por una parte, los hidrogeles PVA-T tienen mayor módulo de compresión ( $443,42 \pm 11,96$  kPa) en comparación con los hidrogeles de SS-T ( $47,37 \pm 3,41$  kPa), SS/PVA-T ( $145,68 \pm 15,52$  kPa), y SS/PVA ( $104,27 \pm 10,84$  kPa) (Figura 4).



**Figura 4.** Integridad mecánica de los hidrogeles con y sin reticulación térmica: PVA-T, SS-T, SS/PVA-T, y SS/PVA

De acuerdo a los resultados, la sericina presenta una baja resistencia a la compresión, como ha sido reportado por otros autores [24, 43, 47, 48], y por tanto, cuando se mezcla con el PVA las propiedades mecánicas del material resultante son débiles en comparación con el PVA-T, pero superiores a las de SS-T.

Se ha reportado que la SS favorece la formación de una estructura menos compacta, lo que pudo ser comprobado en el análisis morfológico, y se encuentra asociado a un pobre desempeño mecánico [49].

Estos resultados indican que la mezcla de sericina con otros polímeros, como el PVA, mejora su resistencia a la compresión, lo que es deseable en la aplicación agrícola de interés, en la que el material se encontrará sometido a la presión del suelo.

De acuerdo con los resultados encontrados, y considerando una futura aplicación como retenedor de agua en el suelo, los hidrogeles SS/PVA-T presentan características requeridas para esta aplicación, como son una alta capacidad de absorción, morfología porosa y estabilidad estructural en agua.

## 4. CONCLUSIONES

En este trabajo se demostró la viabilidad de producir materiales compuestos, tipo higrogel, a partir de sericina y alcohol polivinílico empleando la técnica de entrecruzamiento o reticulación física usando un tratamiento térmico a 90 °C por 4 h. Se evidenció que, las propiedades de los diferentes materiales basados en SS y PVA con y sin reticulación presentan diferencias notables entre sí.

Las curvas FTIR de los hidrogeles mostraron bandas distintivas de absorción de sericina y PVA, donde los materiales SS/PVA, SS-T, y SS/PVA-T presentan diferencias en las estructuras cristalinas y amorfas, principalmente en el contenido de la estructura hélice- $\alpha$ . Además, se evidenció la cristalización del PVA provocada por el proceso térmico de la reticulación en el espectro de la muestra PVA-T.

La morfología de los hidrogeles se observan diferencias entre las muestras SS-T: morfología laminar con un tamaño de poro mayor; y PVA-T, morfología ordenada con una densidad de poro mayor y menor tamaño de poro. Así mismo, las muestras basadas en ambos compuestos presentaron estructuras combinas de cada polímero, la diferencia radica en el ordenamiento de la microestructura de la muestra SS/PVA-T.

Se encontró que, la mezcla SS/PVA permite mejorar el desempeño de la sericina, en su resistencia a la compresión, su degradación y su capacidad de absorción de agua. El tratamiento térmico no contribuye en las dos primeras propiedades; sin embargo, incrementa casi en un 20% la capacidad de absorción de agua, que, de acuerdo con los análisis de la estructura secundaria, se pueden deber a un aumento significativo (aprox. 8%) de estructuras amorfas en el material tratado (SS/PVA-T 88,55%), respecto al no tratado (SS/PVA 79,97%).

En conjunto, los resultados indican que los hidrogeles SS/PVA-T presentan un alto potencial como retenedores de agua en suelo. Esto representa un avance en el desarrollo de alternativas de procesamiento de la SS para la fabricación de materiales de aplicación agrícola, que sean biodegradables, de baja toxicidad y que exhiban una estabilidad estructural suficiente para su incorporación en el suelo.

### Agradecimientos

Este trabajo es producto del programa Tecnologías en Agricultura Urbana, convocatoria Minciencias 852, 2019. Está financiado con recursos provenientes del Patrimonio Autónomo Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación Francisco José de Caldas. Número de contrato (Grant):127-2021

### REFERENCIAS

- [1] Hoffman A. (2012). Hydrogels for biomedical applications. *Advanced Drug Delivery Reviews* 64, 18-23.
- [2] Campos E. et al. (2014). Polysaccharides as safer release systems for agrochemicals. *Agronomy for Sustainable Development* 35(1), 47-66.
- [3] Chen Y. (2020). Properties and development of hydrogels. En Chen Y (Ed.) *Hydrogels Based on Natural Polymers*. Elsevier, 3-16.
- [4] Saha A. et al. (2020). Superabsorbent hydrogel (SAH) as a soil amendment for drought management: A review. *Soil and Tillage Research* 204, 104736.
- [5] Ghobashy M. (2020). The application of natural polymer-based hydrogels for agriculture. *Hydrogels Based on Natural Polymers*. Elsevier, 329-356.
- [6] Narjary B. et al. (2012). Water availability in different soils in relation to hydrogel application. *Geoderma* 187, 94-101.
- [7] Ramli R. (2019). Slow release fertilizer hydrogels: A review. *Polymer Chemistry* 10(45), 6073-6090.
- [8] Ekebafe L. et al. (2011). Polymer Applications in Agriculture. *Biokemistri* 23(2), 81-89.
- [9] Demitri C. et al. (2013). Potential of cellulose-based superabsorbent hydrogels as water reservoir in agriculture. *International Journal of Polymer Science* 2013.
- [10] Azeredo H. y Waldron K. (2016). Crosslinking in polysaccharide and protein films and coatings for food contact - A review. *Trends in Food Science and Technology* 52, 109-122.
- [11] Guilherme M. et al. (2015). Superabsorbent hydrogels based on polysaccharides for application in agriculture as soil conditioner and nutrient carrier: a review. *European Polymer Journal* 72, 365-385.

- [12] Skrzypczak D. et al. (2019). Immobilization of biosorbent in hydrogel as a new environmentally friendly fertilizer for micronutrients delivery. *Journal of Cleaner Production* 241, 118387.
- [13] Feng D. et al. (2017). Novel fabrication of biodegradable superabsorbent microspheres with diffusion barrier through thermo-chemical modification and their potential agriculture applications for water holding and sustained release of fertilizer. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 65(29), 5896-5907.
- [14] Kong W. et al. (2019). A biodegradable biomass-based polymeric composite for slow release and water retention. *Journal of Environmental Management* 230, 190-198.
- [15] Calabria L. et al. (2012). Soy protein isolate/poly (lactic acid) injection-molded biodegradable blends for slow release of fertilizers. *Industrial Crops and Products* 36(1), 41-46.
- [16] Pushpamalar J. et al. (2017). Eco-friendly smart hydrogels for soil conditioning and sustain release fertilizer. *International Journal of Environmental Science and Technology* 15(10), 2059-2074.
- [17] Zhang Y. et al. (2015). Design and performance of a sericin-alginate interpenetrating network hydrogel for cell and drug delivery. *Scientific Reports* 5(1), 1-13.
- [18] Das S. et al. (2014). Fabrication of sericin nanoparticles for controlled gene delivery. *RSC Advances* 4(5), 2137-2142.
- [19] Nayak S. y Kundu S. (2014). Sericin-carboxymethyl cellulose porous matrices as cellular wound dressing material. *Journal of Biomedical Materials Research - Part A* 102(6), 1928-1940.
- [20] Siritientong T. y Aramwit P. (2015). Characteristics of carboxymethyl cellulose/sericin hydrogels and the influence of molecular weight of carboxymethyl cellulose. *Macromolecular Research* 23(9), 861-866.
- [21] Sonjan S. et al. (2021). Biodegradable Hydrophilic Film of Crosslinked PVA/Silk Sericin for Seed Coating: The Effect of Crosslinker Loading and Polymer Concentration. *Journal of Polymers and the Environment* 29(1), 323-334.
- [22] Aramwit P. et al. (2010). Formulation and characterization of silk sericin-PVA scaffold crosslinked with genipin. *International Journal of Biological Macromolecules* 47(5), 668-675.
- [23] Aramwit P. et al. (2013). Accelerated Healing of Full-Thickness Wounds by Genipin-Crosslinked Silk Sericin/PVA Scaffolds. *Cells Tissues Organs* 197(3), 224-238.
- [24] Aramwit P. et al. (2015). A green salt-leaching technique to produce sericin/PVA/glycerin scaffolds with distinguished characteristics for wound-dressing applications. *Journal of Biomedical Materials Research - Part B Applied Biomaterials* 103(4), 915-924.
- [25] Aramwit P. et al. (2010). Formulation and characterization of silk sericin-PVA scaffold crosslinked with genipin. *International Journal of Biological Macromolecules* 47(5), 668-675.
- [26] Bakhsheshi-rad H. et al. (2020). International Journal of Biological Macromolecules Development of the PVA / CS nano fi bers containing silk protein sericin as a wound dressing : In vitro and in vivo assessment. *International Journal of Biological Macromolecules* 149, 513-521.
- [27] Bakhsheshi-Rad H. et al. (2020). Development of the PVA/CS nanofibers containing silk protein sericin as a wound dressing: In vitro and in vivo assessment. *International Journal of Biological Macromolecules* 149, 513-521.
- [28] Brooks A. (2015). The potential of silk and silk-like proteins as natural mucoadhesive biopolymers for controlled drug delivery. *Frontiers in Chemistry* 3, 1-8.
- [29] Serrano-Aroca Á. (2018). Enhancement of Hydrogels Properties for Biomedical Applications: Latest Achievements. *Hydrogels*, 91.
- [30] Hu H. y Xu F. (2020). Rational design and latest advances of polysaccharide-based hydrogels for wound healing. *Biomaterials Science* 8(8), 2084-2101.
- [31] Gonzalez J. y Alvarez V. (2011). The effect of the annealing on the poly(vinyl alcohol) obtained by freezing-thawing. *Thermochimica Acta* 521(1-2), 184-190.
- [32] Chen K. et al. (2022). Preparation and characterization of polyvinyl alcohol/ sodium alginate/carboxymethyl cellulose composite hydrogels with oriented structure. *Soft Materials* 20(1), 99-108.
- [33] Chen Y. et al. (2022). Synthesis and properties of Poly(vinyl alcohol) hydrogels with high strength and toughness. *Polymer Testing* 108, 107516.
- [34] Jaramillo-Quiceno N. et al. (2021). Boosting sericin extraction through alternative silk sources. *Polymer Journal* 53(12), 1425-1437.
- [35] Mandal B. et al. (2009). Novel silk sericin/gelatin 3-D scaffolds and 2-D films: Fabrication and characterization for potential tissue engineering applications. *Acta Biomaterialia* 5(8), 3007-3020.
- [36] Jipa I. et al. (2012). Potassium sorbate release from poly(vinyl alcohol)-bacterial cellulose films. *Chemical Papers* 66(2), 138-143.
- [37] Santosh Kumar B. et al. (2019). Calcium phosphate bioceramics with polyvinyl alcohol hydrogels for biomedical applications. *Materials Research Express* 6(12), 125404.
- [38] Mansur H. et al. (2008). FTIR spectroscopy characterization of poly (vinyl alcohol) hydrogel with different hydrolysis degree and chemically crosslinked with glutaraldehyde. *Materials Science and Engineering C* 28(4), 539-548.
- [39] Ou K. et al. (2017). Properties and toughening mechanisms of PVA/PAM double-network hydrogels prepared by freeze-thawing and anneal-swelling. *Materials Science and Engineering C* 77, 1017-1026.



- [40] Chao S. et al. (2018). Synthesis and characterization of tigecycline-loaded sericin/poly(vinyl alcohol) composite fibers via electrospinning as antibacterial wound dressings. *Journal of Drug Delivery Science and Technology* 44, 440-447.
- [41] Teramoto H. y Miyazawa M. (2005). Molecular Orientation Behavior of Silk Sericin Film as Revealed by ATR Infrared Spectroscopy. *Biomacromolecules* 6(4), 2049-2057.
- [42] Castrillón D. (2017). Caracterización de la sericina de seda colombiana con miras a ser incorporada como ingrediente en una matriz alimentaria. Tesis de maestría. Universidad Pontificia Bolivariana. Colombia.
- [43] Ai L. et al. (2019). Rational Design and Fabrication of ZnONPs Functionalized Sericin / PVA Antimicrobial Sponge. *International Journal of Molecular Sciences* 20(19), 4796.
- [44] Ou K. et al. (2017). Properties and toughening mechanisms of PVA/PAM double-network hydrogels prepared by freeze-thawing and anneal-swelling. *Materials Science and Engineering C* 77, 1017-1026.
- [45] Pei Y. et al. (2015). A mild process to design silk scaffolds with reduced  $\beta$ -sheet structure and various topographies at the nanometer scale. *Acta Biomaterialia* 13, 168-176.
- [46] Kumkun P. et al. (2019). Green fabrication route of robust, biodegradable silk sericin and poly(vinyl alcohol) nanofibrous scaffolds. *Polymer International* 68(11), 1903-1913.
- [47] Wang Z. et al. (2015). Exploring natural silk protein sericin for regenerative medicine: an injectable, photoluminescent, cell-adhesive 3D hydrogel. *Scientific Reports* 4(1), 7064.
- [48] Ai L. et al. (2019). Polydopamine-based surface modification of ZnO nanoparticles on sericin/polyvinyl alcohol composite film for antibacterial application. *Molecules* 24(3), 503.
- [49] Nayak S. y Kundu S. (2013). Sericin – carboxymethyl cellulose porous matrices as cellular wound dressing material. *Biomedical Materials Research Part A* 102(6), 1928-1940

# Proceso para el reciclaje y reúso de las colillas de cigarrillo y el yeso de demolición

Cesar Omar Verdi Martínez<sup>1</sup>

Rebeca Reyes de la Rosa<sup>2</sup>

Jarumi Aguilar-Guggembuhl<sup>3</sup>

Claudio López-García<sup>4</sup>

*Tecnológico de Estudios Superiores de Chalco*  
México

Actualmente, las personas enfrentan diferentes retos ante la transformación de la materia para la adecuación de su forma de vida; un ejemplo son los polímeros sintéticos, que carecen de un proceso de degradación amigable con el ambiente y que son muy utilizados en todos los ámbitos; otro ejemplo es la utilización de cerámicos para la edificación de viviendas que presentan la misma situación de degradación. El objetivo de este estudio es prolongar la vida útil de dos materiales para que, al concluir con la misión para la cual fueron diseñados, se puedan utilizar mediante reciclaje y reutilización. Para este fin se colectaron colillas de cigarrillo para emplear el acetato de celulosa del cual se constituye el filtro, y paneles de desecho de tabla roca para obtener yeso. A las colillas se les retiró el papel que las cubre, se sometieron a un proceso de triple lavado con detergente comercial y un proceso de desinfección con cloro, se centrifugaron y secaron al sol. Los paneles de tabla roca se humedecieron para desprender el papel, se secaron al sol, se trituraron, molieron y tamizaron. Para la integración de ambos materiales se utilizó una extrusora casera y, por separado, acetona pura para disolver las colillas y luego se mezclaron en proporción 1:4 con yeso pulverizado (una de colilla por cuatro de yeso). Una vez homogenizada la mezcla se vació a moldes de silicón y se fraguó 24 horas dentro de agua y 12 al sol sin molde. Se obtuvo un material compuesto que, según el molde empleado y por el momento, se propone como zócalo de exteriores para protección de humedad de viviendas. Este proyecto no está culminado, pero permitió poner práctica el reciclaje y la reutilización efectivos que se encuentran en mejoramiento.

---

<sup>1</sup> Pasante de Ingeniería Industrial.  
Contacto: [cesar\\_vm@tesch.edu.mx](mailto:cesar_vm@tesch.edu.mx)

<sup>2</sup> Ingeniera Industrial.  
Contacto: [rebeca\\_rr@tesch.edu.mx](mailto:rebeca_rr@tesch.edu.mx)

<sup>3</sup> Doctora en Biotecnología  
Contacto: [jarumi\\_ag@tesch.edu.mx](mailto:jarumi_ag@tesch.edu.mx)

<sup>4</sup> Doctor en Ingeniería mecánica.  
Contacto: [claudio\\_lg@tesch.edu.mx](mailto:claudio_lg@tesch.edu.mx)

## 1. INTRODUCCIÓN

Los polímeros son grandes moléculas que forman parte de nuestra vida diaria. El término "plástico" es sinónimo de polímero sintético, e incluye a distintos tipos de polímeros. El primer polímero totalmente sintético fue patentado en 1907. Pero los polímeros sintéticos más importantes desde el punto de vista de su volumen de producción se conocen desde hace más de 60 años y tuvieron un aumento explosivo en su producción recién después de terminada la 2da. Guerra Mundial.

En la actualidad, la producción en volumen de polímeros supera a las correspondientes producciones conjuntas de acero y aluminio, los plásticos se producen en grandes cantidades por ser baratos y livianos, sin embargo generan problemas de contaminación en el medio ambiente, y su eliminación constituye un problema a nivel mundial [1], el acetato de celulosa en un polímero que se emplea entre otras cosas en la fabricación de colillas de cigarrillo y son uno de los residuos sólidos más comunes en las calles de cualquier ciudad, estas cuentan con varios elementos básicos como filtro, tabaco y envoltura. Millones de colillas arrojadas en las aceras van a parar a redes de aguas lluvias y finalmente fuentes hídricas contaminándolas con compuestos de alta complejidad de degradación [2].

Por otra parte, el yeso es uno de los primeros materiales de construcción conocido por el hombre y hoy en día es común integrarle aditivos que modifican sus propiedades mecánicas, lo cual faculta su uso en el mundo moderno, ya que permite su aplicación bajo condiciones húmedas, como pastas y morteros, o en condiciones secas, mediante prefabricados, como las placas laminadas [3].

En la Unión Europea se generan cada año más de 450 millones de toneladas de residuos de construcción y demolición, constituyéndose en la más grande corriente de residuos en términos cuantitativos además de los residuos agrícolas y mineros. Concretamente en España, se producen alrededor de 35 millones de toneladas anuales de residuos de construcción y demolición. Estos residuos llamados Residuos de Construcción y Demolición RCD en la mayoría de los casos no son bien gestionados, y por ello se disponen gran parte en vertederos [4].

Actuando bajo los conceptos de sostenibilidad ambiental, producción limpia y fomentando las nuevas leyes, "basura cero", cuyo objeto está enfocado a la reutilización o el reciclado de residuos sólidos se propone el mezclado de estos materiales cuya vida útil a terminado y se propone darle un nuevo uso para aprovechar las propiedades y beneficios de ambos, participando en una solución local, de retiro del ambiente donde se han depositado, buscando promover la disminución impacto ambiental.

## 2. MÉTODO

Esta investigación se llevó a cabo colectando de forma manual colillas de cigarrillo y piezas de Tablaroca depositadas en la periferia circulante del Tecnológico de Estudios Superiores de Chalco, México, en un periodo de seis meses.

### 2.1 Preparación de las colillas de cigarrillo y yeso

Las colillas de cigarrillo fueron despendidas del papel, restos de tabaco y posibles residuos de capsulas saborizantes, así como partes carbonizadas. Para el lavado de 150 gr de colillas se utilizaron tres ciclos en donde por cada ciclo de 30 minutos, se utilizaron 3 litros de agua corriente una lavadora portátil (lavado vibratorio y giro), sumergida en un balde con 15 ml de detergente líquido y un ciclo de desinfección con cloro comercial a concentración de 0,3%, por 24 horas, se retiró el exceso de agua por centrifugación manual y se secaron al aire y sol distribuyéndolas en una superficie, después de una inspección por tacto se almacenaron en bolsas de papel.

El yeso se obtuvo recolectando piezas de paneles desechados, una vez en las instalaciones se humedecieron con aspersión para facilitar separar residuos metálicos y de papel de forma manual, se expusieron sobre una superficie al aire y sol y al considerarlos secos, se trituraron y molieron utilizando un molino manual, posteriormente se tamizó para utilizar solo el polvo fino, éste se almaceno en un balde.

## 2.2 Extrusión de colillas de cigarrillo

Se llevó a cabo en una inyectora de plástico casera, en la cual el polímero fue transportado por un empuje-gravedad y fundido por calentamiento (250 °C), cuya fuente de energía fue electricidad a 110 volts.

## 2.3 Obtención de mini loseta para zoclo de exterior

Para seleccionar la proporción de mezclado que se utilizaría en el desarrollo de la mini loseta para zoclo, se realizó un mezclado en las siguientes proporciones como lo muestra la Tabla 1, utilizando acetona pura como disolvente de las colillas de cigarrillo, las mezclas se colocaron en moldes de polietileno (hielos para botellas de agua) de medio círculo de  $\frac{3}{4}$  de pulgada por 10 cm de largo.

**Tabla 1.** Mezclado de yeso y colillas de cigarrillo

| Identificación | Solvente (ml de acetona) | Yeso (gr) | Colillas (gr) |
|----------------|--------------------------|-----------|---------------|
| M1             | 20 ml de agua            | 20        | 0             |
| M2             | 20                       | 20        | 0             |
| M3             | 20                       | 19        | 1             |
| M4             | 20                       | 18        | 2             |
| M5             | 20                       | 17        | 3             |
| M6             | 20,5                     | 16        | 4             |
| M7             | 21                       | 15        | 5             |
| M8             | 21,5                     | 14        | 6             |
| M9             | 22                       | 13        | 7             |
| M10            | 22,5                     | 12        | 8             |
| M11            | 23                       | 11        | 9             |
| M12            | 23,5                     | 10        | 10            |
| M13            | 24                       | 9         | 11            |
| M14            | 25                       | 8         | 12            |
| M15            | 26                       | 7         | 13            |
| M16            | 27                       | 6         | 14            |
| M17            | 28                       | 5         | 15            |
| M18            | 29                       | 4         | 16            |
| M19            | 30                       | 3         | 17            |
| M20            | 31                       | 2         | 18            |
| M21            | 31                       | 1         | 19            |

Para identificar la mezcla idónea se realizó una inspección por diez participantes, usando una encuesta semiestructurada, se evaluó color, olor, cantidad de burbuja, apariencia, continuidad de la matriz, los indicadores de respuesta fueron nada, poco, regular, moderado y suficiente, en el cuadro de resultados se presenta el indicador de mayor incidencia de respuesta.

Para identificar el adecuado fraguado, se comparó el secado al aire, con calor en un horno y sumergido en agua, evaluando de forma visual los mismos aspectos con los mismos participantes [10]. Una vez identificadas las cantidades de las mezclas y el tipo de fraguado, se realizó una pasta y se colocó en moldes de silicón, se reposó 24 horas y se desmoldó.

Se evaluaron de forma instrumental por triplicado color, con colorímetro 3nh, modelo SC-10, Shenzhen Threenh Technology CO., LTD Shiyang, China. y dureza con durómetro portátil Tipo A, ASTM 2240, y permeabilidad al agua, colocando agua y observando su paso por un tiempo de 8 horas.

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 3.1 Extrusión de colillas de cigarrillo

Una vez limpiadas las colillas de cigarrillo estas fueron troceadas a 3 mm de largo y se introdujeron por la boquilla en la extrusora caliente a 250°C estas fueron impulsadas con el vástago de la extrusora, la cual resultó no funcional, ya que las colillas de cigarrillo se carbonizaron. En la figura 1. Se muestra el diseño de la extrusora, la cual se construyó en la institución.

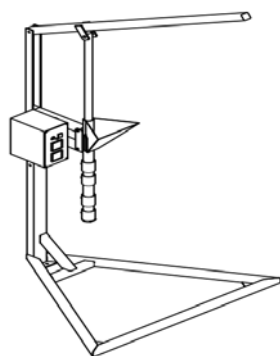


Figura 1. Extrusora empleada en el proyecto

### 3.2 Viabilidad de las mezclas

Para la selección de la mezcla se consideró la que tuviera los mejores atributos, se observa en la Tabla 2, el indicador de mayor incidencia que se obtuvo según los cuestionarios, se observa que la muestra 6, reúne los indicadores que reflejan los mejores atributos, ya que mantuvo poca transparencia, un olor poco perceptible, una dureza firme, con poca burbuja que afectara la continuidad de la matriz polimérica y que pudiera repercutir en el cúmulo de partículas extrañas.

Tabla 2. Resultados del mezclado de yeso y colillas de cigarrillo

| Identificación | Color (Blanco solido a transparente) | Olor (Solvente) | Dureza     | Burbujas | Continuidad de la matriz |
|----------------|--------------------------------------|-----------------|------------|----------|--------------------------|
| M1             | Suficiente                           | Regular         | Nada       | Nada     | Nada                     |
| M2             | Suficiente                           | Regular         | Nada       | Nada     | Nada                     |
| M3             | Suficiente                           | Regular         | Poco       | Poco     | Poco                     |
| M4             | Suficiente                           | Poco            | Poco       | Poco     | Poco                     |
| M5             | Suficiente                           | Poco            | Regular    | Poco     | Regular                  |
| M6             | Suficiente                           | Poco            | Suficiente | Poco     | Moderado                 |
| M7             | Moderado                             | Poco            | Suficiente | Regular  | Moderado                 |
| M8             | Moderado                             | Poco            | Moderada   | Regular  | Moderado                 |
| M9             | Moderado                             | Poco            | Moderada   | Regular  | Moderado                 |
| M10            | Moderado                             | Poco            | Moderada   | Regular  | Regular                  |
| M11            | Moderado                             | Regular         | Moderada   | -        | Regular                  |
| M12            | Regular                              | Regular         | Moderada   | -        | Poco                     |
| M13            | Regular                              | Regular         | Moderada   | -        | Poco                     |
| M14            | Regular                              | Regular         | Moderada   | -        | Poco                     |
| M15            | Regular                              | Regular         | Moderada   | -        | Nada                     |
| M16            | Regular                              | Regular         | Regular    | -        | Nada                     |
| M17            | Regular                              | Regular         | Regular    | -        | Nada                     |
| M18            | Regular                              | Regular         | Regular    | -        | Nada                     |
| M19            | Poco                                 | Regular         | Regular    | -        | Nada                     |
| M20            | Poco                                 | Regular         | Regular    | -        | Nada                     |
| M21            | Poco                                 | Regular         | Regular    | -        | Nada                     |

### 3.3 Viabilidad en el fraguado

Una vez concluido la selección de la mezcla se consideraron cinco para identificar un método de fraguado que permitiera un mejor resultado ya que al contener un solvente orgánico volátil, la presencia de burbujas es inevitable, además de acelerar el fraguado, ya que al aire y sol el endurecimiento definitivo fue de 72 horas, en la Tabla 3. Se observa la valoración por los participantes.

Tabla 3. Datos del fraguado de yeso y colillas de cigarrillo

| Muestra | Fraguado al aire y sol |   |   |   |    | Fraguado calor |   |   |   |     | Fraguado bajo el agua |   |   |   |    |
|---------|------------------------|---|---|---|----|----------------|---|---|---|-----|-----------------------|---|---|---|----|
|         | O                      | D | B | C | T  | O              | D | B | C | T   | O                     | D | B | C | T  |
| M5      | N                      | R | R | R | 72 | P              | R | R | R | 4.5 | P                     | R | P | R | 24 |
| M6      | N                      | S | R | R | 72 | P              | R | R | R | 4.5 | P                     | S | P | S | 24 |
| M7      | N                      | S | R | R | 72 | P              | R | R | R | 4   | P                     | S | P | S | 24 |

|    |   |   |   |   |    |   |   |   |   |     |   |   |   |   |    |
|----|---|---|---|---|----|---|---|---|---|-----|---|---|---|---|----|
| M8 | N | S | R | R | 72 | P | R | R | R | 4.5 | P | S | P | S | 24 |
| M9 | N | S | R | R | 72 | P | R | R | R | 4   | P | S | P | S | 24 |

O. Olor, D. Dureza, B. Burbuja, C. Continuidad y T. Tiempo (horas)

N. Nada, P. Poco, R. Regular, moderado y S. Suficiente

### 3.4 Viabilidad del uso de la mezcla

Poco a poco alrededor del mundo, se suman acciones para la reutilización de desechos sólidos, como el caso de Vidales [5] y en particular para las colillas de cigarrillo [6] y el yeso, Jaramillo [3] reporta que el yeso presenta un ciclo de hidratación/deshidratación infinito, lo que le permite ser un material reciclable que puede emplearse para diferentes usos, entre ellos aquellos asociados al cemento, morteros y materiales compuestos, en los cuales su tasa de reincorporación a la molienda del clínker está en una proporción que oscila entre el 3 al 5%.

Se destaca también el uso del yeso reciclado, por una parte, en aplicaciones ingenieriles y geotécnicas, como construcción de vías, especialmente en la estabilización de taludes, y en el control de suelos arcillosos, y, por otra parte, en aplicaciones agrícolas, como enmiendas, en cuyo caso la tasa de reincorporación es hasta del 100%. Además, [4] menciona que el reciclaje del yeso presenta menores impactos con respecto a la obtención del yeso natural. El reciclaje del yeso permite un ahorro del 49,8% en los impactos causados en la categoría calentamiento global y un ahorro del 50,1% en la categoría energía no renovable. Esto se atribuye al menor coste de energía por secado en el horno y por lo tanto a la reducción de emisiones que contribuyen al efecto invernadero.

Vidales [5] encontró en su mezcla de yeso y polímeros de cables, compuestos con densidad y propiedades higrotérmicas similares al compuesto de referencia de yeso que no incorpora residuo, resistencias mecánicas ajustadas a normativa, mucho más elásticos, con mejor adherencia superficial, mayor dureza superficial y una excelente mejora en el comportamiento ante la acción del agua. Además, el coeficiente de conductividad térmica obtenido es menor que el de la referencia y presenta un aceptable comportamiento frente a la acción del fuego debido al recubrimiento de yeso.

Por otra parte, del análisis de la viabilidad de su fabricación también se deduce que se consigue reducir entre un 25-30% la utilización de los recursos naturales empleados (aljez y agua), así como la reutilización del 100% del residuo plástico siguiendo con ello el criterio de economía circular, aunque no se realizaron las mismas pruebas las cuales se consideraran en la continuidad de éste proyecto, se comparten algunos resultados como la viabilidad de la mezcla, la cual puede observarse en las Figuras 2 a 6.



Figura 2. Muestras procedentes de mezcla yeso - colilla



Figura 3. Medición con durómetro portátil



Figura 4. Evaluación de dureza con durómetro portátil



Figura 5. Evaluación de color de la muestra



Figura 6. Mini loseta para zoclo

En la Tabla 4 se muestran los parámetros que se midieron con los equipos instrumentales y la permeabilidad, la cual limitó el uso de la mezcla para lo que se sugería, ya que, pese a la incorporación de un polímero, ésta resultó el paso del agua, lo que nos motiva a buscar nuevas aplicaciones.

Tabla 4. Mediciones a la mini loseta

| Color  | a          | b          | L          | Dureza (Ha) Rockwell | Permeabilidad |
|--------|------------|------------|------------|----------------------|---------------|
| Loseta | 4.98±0.034 | 17.29±0.42 | 73.05±0.09 | 82±1.2               | Permeable     |

### 3.5 Otras experiencias de reciclaje

Actualmente, existen productos desarrollados a partir de las colillas de cigarrillo, las cuales se han utilizado para generar vestimenta, obras de arte, retenedores de energía, pallets, bancas, pajareras (Figura 5). Todos desarrollados por diferentes empresas y personas preocupadas por el medio ambiente [9].



**Figura 5.** Productos fabricados con base de colilla de cigarrillo: A) Estudio Monté realiza pajarera hechas a partir de colillas de cigarrillo. B) Jinks Kunst realizó un retrato del célebre compositor Serge Gainsbourg. C) To Deininger utiliza colillas encontradas en playas para hacer diferentes obras en este caso un conejo. D) Mantis realiza ropa a partir de colillas purificadas. E) Terracycle empresa canadiense de reciclaje comenzó a experimentar con colillas de cigarrillo has llegar a haces los pallets, ceniceros, bancas, etc.

Storey [10] menciona que cada año, las personas tiran 4,5 trillones de colillas de cigarrillo, lo que motivó a la empresa Code Effort en Noida a desarrollar un programa de colecta y transformación de éstas, donde paga más de 4 dólares, a recolectores y logran limpiar y desinfectarlas para rellenar osos de peluche, reciclar el papel y hacer un repelente de insectos. En Francia la empresa ecoMEGOT desarrollo una patente registrada en junio de 2020, que permite reciclar colillas de cigarrillos sin usar agua ni solventes. El proceso consiste en crear un nuevo material plástico reciclado y reciclable, donde la descontaminación está asegurada por el calentamiento sucesivo (a casi 200 °C) del material que destruye los componentes más tóxicos (nicotina, fenol, pesticida). También han lanzado otros proyectos de I + D para experimentar con otras formas más eficientes de eliminar los olores en particular (como el CO<sub>2</sub> supercrítico). El filtro reciclable representa el 44% del peso de la colilla. Esto significa que, con 1 kg de colillas recogidas, se producen 440 g de material nuevo gracias al reciclaje de colillas [11].

En México, en el Instituto Politécnico Nacional se colectaron 8 kg de filtros de cigarrillo y, posteriormente, se diseñaron tres bioensayos generales con tres tratamientos de mezclas de colillas y paja de trigo, inoculados con cepas de *Pleurotus ostreatus*, encontrando viable el crecimiento de estos [12], en 2018 en la Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Universitarios Valle de Chalco se desarrolló un proyecto que menciona el proceso de recuperación, transformación, del material y proceso de diseño de estructuras para sombra sobre el cual se utilizaran las colillas.

En Colombia, Manrique [8] estableció que el filtro, después de su tratamiento de extracción de nicotina, es materia prima potencial para el desarrollo de productos aislantes que no presenten contacto frecuente con el ser humano, esto se sugiere considerando que no fue posible detectar cuales otros compuestos pudieron quedar en el filtro (acetato de celulosa).

En España, en la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso PUCV reciclan colillas de cigarrillo para transformarlos en productos sustentables, el equipo en un comienzo partió en el Laboratorio de Ecología Química de la Universidad y después se adjudicó fondos a través de un proyecto de la Dirección de Innovación y Emprendimiento de la PUCV para adquirir su propio equipamiento e insumos para su funcionamiento, ganando en la categoría de prototipo de innovación tecnológica. Recientemente, obtuvieron el Fondo de Emprendimiento para Mujeres en The S Factory de Start-up Chile donde se adjudicaron 10 millones de pesos. Allí se presentaron 185 iniciativas de nueve países, quedando seleccionados entre los 20 mejores.

#### 4. CONCLUSIONES

El cigarrillo es un producto nocivo para la salud y para los ecosistemas, afectando con sus componentes a todas las formas de vida en una cadena repetitiva desde su producción hasta los residuos que genera [7].

El yeso es un desecho frecuente que, junto con las colillas, no tienen regulación de eliminación y libre liberación en el ambiente y, como otros residuos, necesitan un proceso de manejo al término de su vida útil.

Como se observa en las tablas previas, la mezcla de estos dos materiales residuales permite el desarrollo un material compuesto, que pese a los pronósticos no pudo tener el fin planeado, pero que invita a seguirlo desarrollando, evaluando y buscar alternativas, como lo son cubiertas aislantes acústicas, térmicas, etc., como lo sugiere [8] las colillas al ser tratadas no representan un problema de contaminación.

Otras sugerencias de este autor son relleno de espuma en artículos que no mantengan contacto directo con el ser humano como relleno de maletas, zapatos, forros de artículos de decoración.

Cabe mencionar que es necesario desarrollar más proyectos que permitan la utilización de materiales de fin de vida cortos y medianos, con el fin de disminuir la contaminación generada por los hábitos de vida actual.

#### REFERENCIAS

- [1] Taverna M. (2018). Divulgación científica: Los polímeros en nuestras vidas, ¿qué hacemos con ellos? Recuperado: <https://sanfrancisco.utn.edu.ar/noticia/divulgacion-cientifica-los-polimeros-en-nuestras-vidas-que-hacemos-con-ellos-928>
- [2] Manrique J. et al. (2017). Uso integral de colillas de cigarrillo con fines ambientales y comerciales. Proyecto piloto en la Facultad del medio ambiente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Boletín Semillas Ambientales 11(1), 72-79.
- [3] Jaramillo R. (2020). Reciclaje del yeso natural a partir de la producción de placas de yeso laminado. Universidad Nacional de Colombia.
- [4] Suárez S. (2014). Viabilidad ambiental del reciclaje del yeso. En Congreso Nacional del Medio Ambiente.
- [5] Vidales A. (2019). Caracterización fisicoquímica y aplicaciones de yeso con adición de residuo plástico de cables mediante criterios de economía circular. Disertación Doctoral. UPM.
- [6] Plastics Tecnology México. (2016). Convierten colillas de cigarrillos en bolsas de plástico. Recuperado: <https://www.pt-mexico.com/noticias/post/polystar-destaco-equipos-para-el-reciclado-de-plasticos>
- [7] Camacho L. y Muñoz D. (2019). Impacto generado por colillas de cigarrillo en el medio ambiente a nivel mundial. Boletín Informativo CEI 6(3), 131-132.
- [8] Manrique J. et al. (2017). Uso integral de colillas de cigarrillo con fines ambientales y comerciales. Proyecto piloto en la Facultad del medio ambiente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Boletín Semillas Ambientales, 11(1), 72-79.
- [9] López N. (2018). Estructuras para sombra a base de colillas de cigarrillo. Trabajo de Grado. Universidad Autónoma del Estado de México.
- [10] Storey W. (2021). Es posible reciclar las colillas de cigarrillo — Una empresa de la India encontró cómo convertirlas en relleno para osos de peluche y repelente de mosquitos. Recuperado: <https://businessinsider.mx/colillas-de-cigarrillo-recicladas-peluches-repelentes-mosquitos/#:~:text=Este%20es%20el%20proceso%20para%20reciclar%20las%20colillas%20de%20cigarrillo&text=El%20tabaco%20va%20a%20granjas,l%C3%ADnea%20o%20en%20tiendas%20locales>
- [11] Montels T. (2022). Reciclaje de colillas. Recuperado: <https://ecomegot.com/es/blog-es/reciclaje-de-colillas/>
- [12] Alejandro A. (2015). Propuesta de manejo de residuos de colillas de cigarrillos enfocada en su reciclaje. Disertación Doctoral. Instituto Politécnico Nacional.



# Diseño y simulación de dispositivo de microfiltración para el aislamiento de células tumorales circulantes MEMS-CTCS

Alan Javier González Díaz<sup>1</sup>  
Carlos Borrás Pinilla<sup>2</sup>  
*Universidad Industrial de Santander*  
Colombia

En este capítulo se propone el diseño y simulación de un dispositivo microfiltro para la captura de células cancerígenas o células tumorales circulantes CTC, como un producto de apoyo a los métodos de prevención y tratamiento contra el cáncer una contribución a la línea de investigación en el campo de los microsistemas o sistemas micro electromecánicos MEMS en el campo de la mecánica de fluidos y la mecánica de fluidos computacional CFD. El objetivo diseñar un dispositivo para separar células cancerosas del fluido sanguíneo con una eficiencia superior al 70%. Inicialmente, se caracterizó el comportamiento de las células en fluido sanguíneo glóbulos rojos RBC, glóbulos blancos WBC y células cancerígenas CTC, definiendo el modelo dinámico, condiciones de contorno, tipos de fluido multifásico, y velocidad de flujo. Se definen las propiedades de la membrana celular y la viscosidad de cada tipo para las células cancerígenas según la literatura, sometiendo la célula a deformación a través de una obstrucción para el análisis la presión crítica. Se diseñó del dispositivo de filtración mediante una variación del flujo, geometría, análisis de corriente crítica y generación de vórtices; se seleccionó la mejor condición hidrodinámica y comportamiento favorable de la clasificación celular; en la primera etapa circulan las CTC y en la segunda se clasifican los glóbulos blancos y los glóbulos rojos.

---

<sup>1</sup> Ingeniero Mecánico y Estudiante de Maestría en Ingeniería mecánica.  
Contacto: [alan2208436@correo.uis.edu.co](mailto:alan2208436@correo.uis.edu.co)

<sup>2</sup> Ingeniero Mecánico.  
Contacto: [cborras@uis.edu.co](mailto:cborras@uis.edu.co)

## 1. INTRODUCCIÓN

La migración de las células tumorales circulantes CTC en el torrente sanguíneo a otros organismos ocurre cuando la célula cancerígena se desprende del tumor primario, se filtra en los vasos sanguíneos (intravasación) y migra en el torrente sanguíneo a otros organismos del cuerpo (extravasación) [1]. Este proceso es una de las características mortales del cáncer también conocido como metástasis, la célula CTC se deposita en el siguiente organismo y puede generar metástasis o permanecer inactiva por un tiempo y preparar el sitio para la afectación [2]. La intravasación y la extravasación son eventos raros y es posible encontrar una célula cancerígena por cada mil millones de glóbulos rojos [3].

El método de tomografía computarizada es un método de detección que determina el tamaño del tumor y determina su crecimiento a través de imágenes de seguimiento, que con el tiempo el tratamiento puede llevar meses por cada toma y no es posible saber si el tumor está proliferando o durmiendo [4]. El método de biopsia líquida es un método mínimamente invasivo que puede obtener células dentro del fluido sanguíneo [5], siendo un proceso que se ha ido desarrollando con la implementación de nuevas tecnologías como el desarrollo de dispositivos de microfiltración MEMS-CTC.

Este documento propone el diseño de un dispositivo de filtración MEMS para la filtración y separación de CTC, utilizando las propiedades hidrodinámicas del fluido sanguíneo y las propiedades de tamaño y deformabilidad de las diferentes células para lograr el proceso de filtración.

Para la caracterización celular, el método de generación de gotas simula glóbulos rojos en los que la geometría genera células con diámetro y viscosidad determinada, para la caracterización de células cancerosas y glóbulos blancos se definen las propiedades mecánicas de la membrana celular, tensión superficial y la viscosidad de cada tipo, Luego se somete la célula a deformación midiendo la presión crítica, comparada y validada con modelos de micropipetas y simulaciones de celdas a través de microfiltros.

Con los modelos de célula establecidos, se diseña el dispositivo de filtración mediante una variación de la velocidad de flujo y la geometría, seleccionando la mejor condición hidrodinámica y comportamiento favorable de la clasificación celular, las células cancerígenas circulantes se filtran en la primera etapa CTCs con un diámetro entre 12 – 18  $\mu m$ , en la segunda salida se capturan glóbulos blancos con un diámetro entre 12 – 14  $\mu m$  junto con glóbulos rojos RBC.

Para las simulaciones se generó mallado en dos dimensiones utilizando elementos cuadriláteros estructurados en un modelo transitorio y el método VOF de fracción volumétrica utilizando ANSYS FLUENT. Para la eficiencia de captura se determina el porcentaje de CTC capturado en la salida establecida para su separación respecto del total evaluado. El porcentaje de pureza mide la pureza de la muestra capturada, determinada por el porcentaje de volumen de glóbulos blancos y glóbulos rojos que no son filtrados.

Finalmente, para los datos de eficiencia y pureza, se comparan con los diseños disponibles en la literatura, se grafican los datos y se valida el modelo demostrando una eficiencia de captura superior, se compara el volumen de procesamiento de muestra con la literatura y se valida el modelo de diseño logrando con mayor volumen de procesamiento.

## 2. MÉTODO

### 2.1 Descripción del modelo celular

La geometría del filtro se muestra en la Figura 1, con dimensiones en la entrada  $D_{inlet}$  y una obstrucción  $D_{chamber}$ , para la caracterización de células cancerígenas se especifica las propiedades mecánicas, diámetro  $D_{cell}$  de la membrana celular y la viscosidad  $\mu_{CTC}$ , una tensión superficial de  $\sigma_{CTC}$ . Para glóbulos blancos se definen las propiedades mecánicas de la membrana celular y la viscosidad de cada tipo de célula, los neutrófilos con una viscosidad entre  $\mu_{WTC}$  diámetro entre  $D_{cell}$  y tensión superficial  $\sigma_{WTC}$  se puede determinar el comportamiento mecánico del neutrófilo aproximado como un fluido no Newtoniano Power-law.

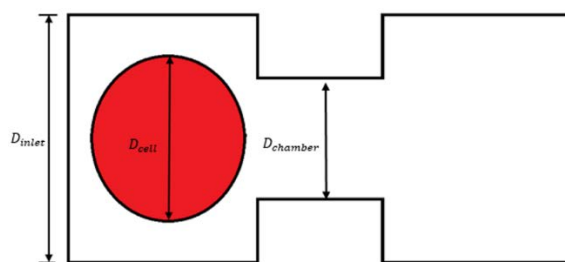


Figura 1: Dispositivo de caracterización celular

En el microfiltro basado en deformación, el glóbulo blanco y el CTC son desplazados a través del canal de filtración por la presión impuesta en la entrada del microfiltro denominada presión del sistema, y su variación en el tiempo se denomina perfil de presión. La presión del sistema se usa para vencer la resistencia en el microfiltro, que es máxima cuando la celda comienza a ingresar al canal de filtración. La presión máxima del sistema generalmente se denomina presión crítica  $P_{cr}$  que es un factor importante para garantizar un proceso de paso de células exitoso.

## 2.2 Diseño del microfiltro

La Tabla 1 presenta los parámetros de diseño y simulación para el filtro y las células, la geometría de los canales del dispositivo de filtración se define teniendo en cuenta que el efecto Fahraeus-Lindqvist es efectivo en canales de tamaño entre  $40 - 300 \mu\text{m}$  de diámetro y los efectos son pronunciados para canales de menor tamaño. Los canales pequeños conducen a grandes cambios de obstrucción y los canales más grandes conducen a un efecto débil, como se muestra en la Figura 2.

Tabla 1. Parámetros del modelo

| Parámetro      | Descripción              | Valores  | Unidad                       | Ref.     |
|----------------|--------------------------|----------|------------------------------|----------|
| $D_f$          | Diámetro del microfiltro | 42       | $[\mu\text{m}]$              |          |
| $D_{out}$      | Diámetro de salida       | 72       | $[\mu\text{m}]$              |          |
| $\mu_{CTC}$    | Viscosidad CTC           | 20 – 200 | $[\text{Pa} \cdot \text{s}]$ | [9-11]   |
| $\mu_{WBC}$    | Viscosidad WBC           | 130      | $[\text{Pa} \cdot \text{s}]$ | [12, 13] |
| $\mu_{RBC}$    | Viscosidad RBC           | 0,006    | $[\text{Pa} \cdot \text{s}]$ | [14, 15] |
| $\sigma_{CTC}$ | Tensión superficial CTC  | 0,05     | $[\text{N/m}]$               | [16, 17] |
| $\sigma_{WBC}$ | Tensión superficial WBC  | 0,000029 | $[\text{N/m}]$               | [18, 19] |
| $\sigma_{RBC}$ | Tensión superficial RBC  | 0,005    | $[\text{N/m}]$               | [20]     |
| $D_c$          | Diámetro De constricción | 30       | $[\mu\text{m}]$              |          |
| $l_c$          | Longitud de constricción | 4        | $[\mu\text{m}]$              |          |
| $D_{RBC}$      | Diámetro RBC             | 4 – 8    | $[\mu\text{m}]$              | [ 20]    |
| $D_{CTC}$      | Diámetro CTC             | 14 – 20  | $[\mu\text{m}]$              | [21-23]  |
| $D_{WBC}$      | Diámetro WBC             | 12 – 14  | $[\mu\text{m}]$              | [24]     |
| $D_{cell}$     | Diámetro de célula CTC   | 16       | $[\mu\text{m}]$              |          |
| $v_i$          | Velocidad entrada        | 0,03     | m/s                          |          |

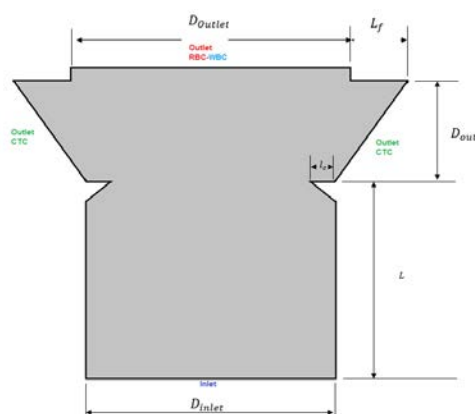


Figura 2. Dispositivo microfiltro

En la primera etapa se realiza la separación de las células CTC de los eritrocitos y leucocitos, la definición de la geometría o dominio se realiza definiendo agua como fluido fase discreta y aceite como fase continua. El aceite se suministra desde la misma fuente con una velocidad de entrada ( $v_i$ ). Usamos gotas individuales para simular células cancerígenas, eritrocitos y leucocitos.

El canal de entrada tiene un ancho de  $D_f$  y una longitud de  $l$  esta distancia permite generar el efecto de migración [6] de los eritrocitos hacia el centro del flujo y el efecto de difusión que impulsa los cuerpos rígidos presentes en la sangre como la célula cancerígena CTC para moverse hacia los extremos del canal [7, 8].

La propuesta de diseño del microfiltro se basa en aplicar las propiedades de captura celular mediante la generación de vórtices y análisis de corrientes de fluidos (análisis de corriente crítica). En la bifurcación se utiliza una constricción tipo rampa, que nos permite generar vórtices a la salida para el CTC, la generación de vórtices en el canal lateral presenta resistencia al paso de glóbulos blancos y rojos, los cuales se ven obligados a mantener el paso en la corriente principal por la acción del arrastre. Las células cancerosas, en cambio, las más grandes, chocan con la obstrucción. Este efecto hace que la célula se desplace hacia la salida lateral.

### 2.3 Caracterización celular modelo teórico

Para una muestra de sangre que fluye a través de un dispositivo, la presión total aplicada al dispositivo ecuación (1), debe superar los dos componentes principales de la gota, la presión debida al fluido del medio y la presión de la gota debida a la tensión superficial de la célula cuando están en contacto con las paredes del microfiltro.

$$\Delta P_{total} = \Delta P_{flow} + \Delta P_{surface\ tension} \quad (1)$$

La caída de presión ecuación (2), debida al flujo del medio consiste principalmente en la caída de presión debida a la viscosidad de la gota ( $\Delta P_{hyd}$ ) y la caída de presión debida a la expansión y contracción en el microfiltro.

$$\Delta P_{flow} = \Delta P_{hyd} + \Delta P_{contraction-expansion} \quad (2)$$

La disipación viscosa de la energía mecánica del fluido debido a la presión interna da como resultado una caída de presión en la dirección del flujo, luego la presión se puede calcular utilizando la ecuación de Hagen-Poiseuille que relaciona la caída de presión viscosa y el caudal del fluido introduciendo un factor de resistencia [25], la ecuación de Hagen-Poiseuille ecuación (3).

$$\Delta P_{hyd} = R_{hyd} \times Q_v \quad (3)$$

Donde  $\Delta P_{hyd}$  es la caída de presión viscosa del canal,  $R_{hyd}$  es la resistencia hidráulica y  $Q_v$  es el caudal volumétrico del fluido,  $R_{hyd}$  ecuación (4), se calcula usando la ecuación desarrollada por (Akbari et al). Para predecir la presión, descienda en canales no uniformes con un número de Reynold bajo.

$$R_{hyd} = 16\pi^2 \mu \int_{x_1}^{x_2} \frac{I_p^*}{A(x)} dx \quad (4)$$

Donde  $\mu$  es la viscosidad del fluido,  $A(x)$  es el área de la sección transversal e  $I_p^*$  es el momento polar específico de inercia ecuación (5) [26].

$$I_p^* = \frac{2}{\pi} \quad (5)$$

La caída de presión en la dirección del flujo Para canales de sección circular [27], ecuación (6), Sabiendo que el caudal volumétrico se puede establecer como  $Q_v = A \times v$ , donde  $A$  es el área de la sección transversal y  $v$  es la velocidad lineal del caudal, tenemos.

$$\Delta P_{hyd} = \frac{8\mu Lv}{r^2} \quad (6)$$

La ecuación (7),  $\Delta P_{contraction-expansion}$  es causado por una rápida contracción en la entrada del filtro y una rápida expansión en la salida del filtro, que se puede calcular usando la siguiente relación.

$$\Delta P_{contraction-expansion} = K_1 \frac{\rho U_1^2}{2} + K_2 \frac{\rho U_2^2}{2} \quad (7)$$

Donde  $U_1$  y  $U_2$  son las velocidades de flujo en la entrada y salida de la cámara de filtración,  $K_1$  y  $K_2$  son los coeficientes de constricción y expansión, respectivamente. Estos coeficientes se establecen como 0,5 y 1 respectivamente. La presión viscosa se calcula con la ecuación (8).

$$\Delta P_{flow} = \frac{8\mu Lv}{r^2} + K_1 \frac{\rho U_1^2}{2} + K_2 \frac{\rho U_2^2}{2} \quad (8)$$

La presión generada por la tensión superficial  $\Delta P_{surface\ tension}$ , ecuación (9), se puede determinar mediante la ecuación de Young-Laplace, si el caudal en un microfiltro es muy bajo, se puede aproximar el proceso de aspiración de la celda en la cámara de filtración por un proceso cuasi estático suponiendo que la parte aspirada y la parte no replanteada tienen formas circulares, entonces la presión superficial tiene la siguiente expresión.

$$\Delta P_{surface\ tension} = 2\sigma \left( \frac{1}{r_{ch}} - \frac{1}{r_{cell}} \right) \quad (9)$$

Donde  $\sigma$  es la tensión superficial,  $r_{ch}$  es el radio de la cámara de aspiración y  $r_{cell}$  es el radio de la celda de la parte no aspirada durante la deformación [28] (Figura 3).

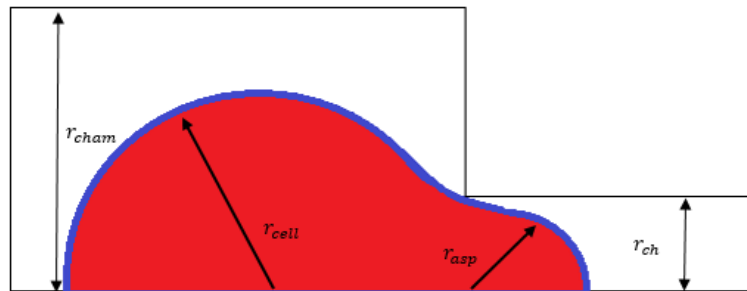


Figura 3. Deformación celular a través del filtro

## 2.4 Modelo computación VOF

Los fluidos incompresibles en movimiento se describen mediante las ecuaciones de Navier-Stokes que resuelven múltiples problemas de comportamiento de fluidos [28]. Cualquier método para CFD de flujos bifásicos transitorios incompresibles necesita resolver las ecuaciones de continuidad y de Navier-Stokes ecuación (11), junto con las condiciones de salto interfacial de las ecuaciones 10 y 12.

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad (10)$$

$$\frac{\partial \rho \mathbf{u}}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{u} \mathbf{u} = -\nabla P + \nabla \cdot (\mu (\nabla \mathbf{u} + \nabla^T \mathbf{u})) + \mathbf{F}_s \quad (11)$$

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla F = 0 \quad (12)$$

La ecuación (11) representa la segunda ley de Newton en donde la tasa de momento es igual a la suma de las fuerzas sobre la partícula fluida para un fluido newtoniano conocida también como ecuación de Navier-Stokes [29-31]. La ecuación (12) representa la forma conservadora de la ecuación de transporte para F.

Donde  $\mathbf{u}$  es la velocidad del flujo, P es la presión compartida por las dos fases y F es la fracción de volumen en una celda que está clasificada entre 0 y 1. Para una celda llena celda con la segunda fase F=1, mientras que para una celda llena con la fase primaria F=0.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En primer lugar, se realizan simulaciones para determinar la presión crítica para viscosidades entre (0,01 – 0,04 Pa.s), para una superficial que es de  $\sigma = 0,05N/m$ , los resultados se muestran en la Figura 4.

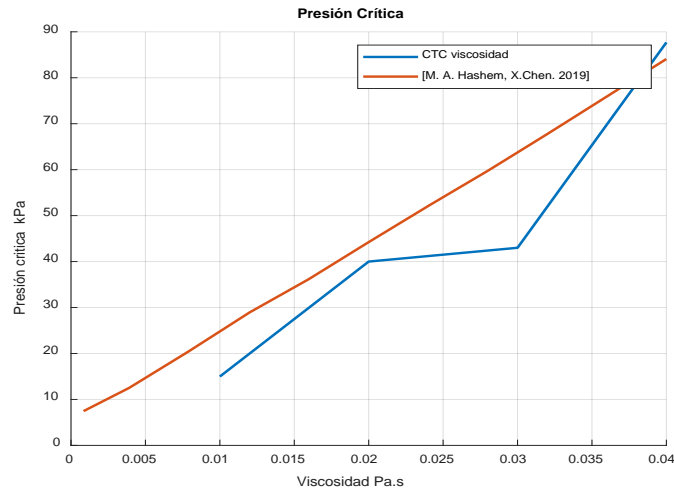


Figura 4. Comparación de resultados

La Figura 4 representa la comparación de datos obtenidos para el conjunto de células cancerígenas CTC con viscosidades entre (0,01 – 0,04 Pa.s), los resultados de presión crítica se comparan con los resultados obtenidos por Hashem y Chem (2019), el error obtenido para la celda de viscosidad (0,01 Pa.s)  $e = 39,2\%$ , para la viscosidad evaluada de (0,02 Pa.s) el error es  $e = 14,17\%$ , mientras que para la celda de viscosidad (0,03 Pa.s), el error es ( $e = 7,7\%$ ), finalmente para el CTC evaluado con una viscosidad de (0,04 Pa.s) el error obtenido es  $e = 3,53\%$ , resultando un porcentaje de error promedio de  $\bar{e} = 15,1\%$ .

La Figura 5 representa el perfil de presión sobre los neutrófilos durante el proceso de deformación, las etapas de filtrado en la gráfica muestran el comportamiento no newtoniano, la presión crítica se alcanza rápidamente siendo de  $P_{cr} = 33,3Mpa$  en un tiempo de  $t = 7\mu s$ , luego se presenta una rápida disminución de la presión, eso se debe a la viscosidad promedio de la célula no newtoniana y de acuerdo a lo descrito en la literatura. La tasa de deformación lineal aumenta durante el proceso de filtración. Finalmente, el comportamiento de la celda se rige por la ecuación Power-law que simula el WBC como un fluido no newtoniano.

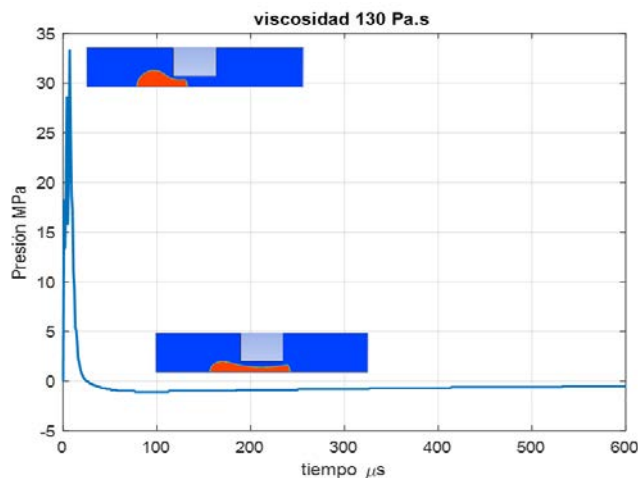
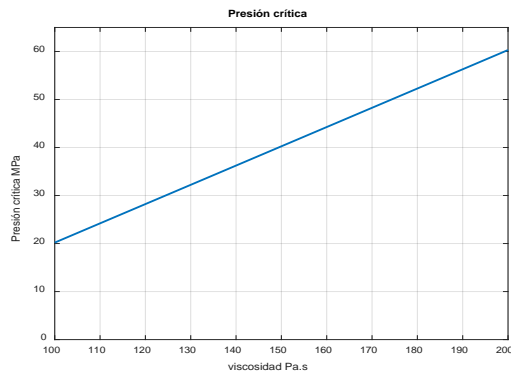


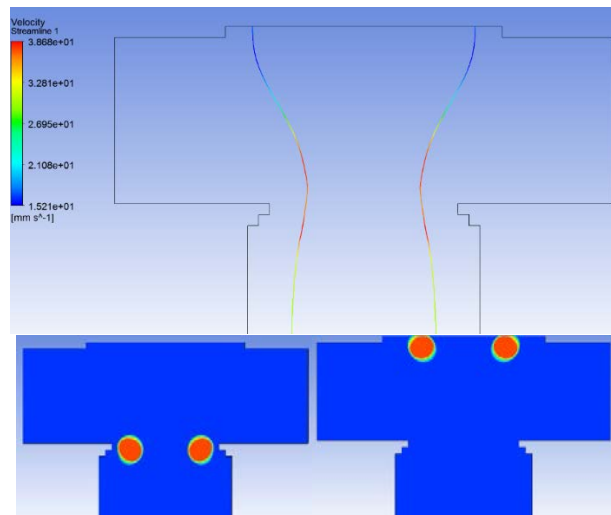
Figura 5. Desplazamiento de la célula Blanca a través del filtro viscosidad 130 Pa.s (Power – law)

En la Figura 6 se presenta la presión crítica aumenta con el aumento de la viscosidad, el aumento de la presión crítica es proporcional a la viscosidad, está dominada principalmente por la presión viscosa y no por la presión superficial, siendo de  $P_{cr} = 20,2MPa$  para una viscosidad de  $\mu = 100Pa.s$  hasta  $P_{cr} = 60,3MPa$  para una viscosidad de  $\mu = 200pa.s$ .



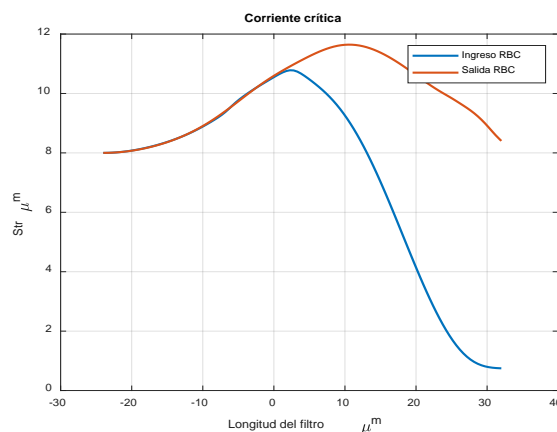
**Figura 6.** Presión crítica versus viscosidad celular

Para el diseño del filtro la célula se ubica cerca de la pared (a una distancia de  $5 \mu m$  de la pared) como se aprecia de la línea de corriente de la célula (Figura 7) y se mueve hacia el canal lateral. Al usar una constricción antes de la bifurcación, las gotas se desplazan hacia el centro del canal y a lo largo del canal principal logrando saltar los canales laterales.



**Figura 7.** a) Línea de corriente crítica y b) salto en la bifurcación de RBC

En la Figura 8 se evaluó el comportamiento dinámico de un glóbulo rojo ubicado ( $str = 5 \mu m$ ) de la pared del filtro. El gráfico muestra la longitud del microfiltro versus el desplazamiento lateral seguido por el glóbulo rojo, en la entrada al filtro, el desplazamiento lateral de la corriente se produce inicialmente por la constricción, seguido por el desplazamiento hacia el centro del filtro debido a la acción de los vórtices de bifurcación, alcanzando el desplazamiento lateral máximo de ( $str = 12 \mu m$ ), el glóbulo rojo supera la bifurcación, permaneciendo en la corriente principal a la salida (Outlet-RBC-WBC), la corriente crítica se desplaza desde ( $str = 0 \mu m$ ) a ( $str = 9,17 \mu m$ ) en la salida del glóbulo rojo.



**Figura 8.** Análisis de corriente crítica RBC

La Figura 9 muestra la línea de corriente y la entrada del WBC en la bifurcación, en la constricción el WBC se aleja de la pared con la corriente, seguido de un salto por efecto de los vórtices laterales hacia la salida lista WBC-RBC-outlet.

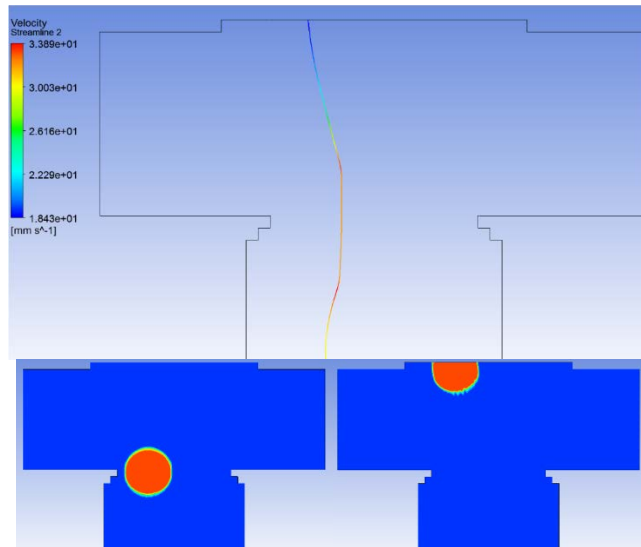


Figura 9. a) Línea de corriente crítica y b) salto en la bifurcación de WBC

La célula blanca WBC en la Figura 10 se ubica a una distancia de la pared de ( $str = 5\mu m$ ) simulando la distancia mínima registrada de la celda a la pared en canales rectos, la célula permanece en la corriente principal logrando saltar la bifurcación alcanzando la extremo de salida superior de RBC-WBC-outlet, la célula se mueve hacia el centro del canal inicialmente por la constricción alcanzando una distancia máxima de la pared ( $str = 10.6\mu m$ ) de desplazamiento generado por los vórtices laterales, en la salida la corriente está a una distancia de la pared ( $str = 13\mu m$ ) que garantiza el paso del WBC hacia la salida de WBC.

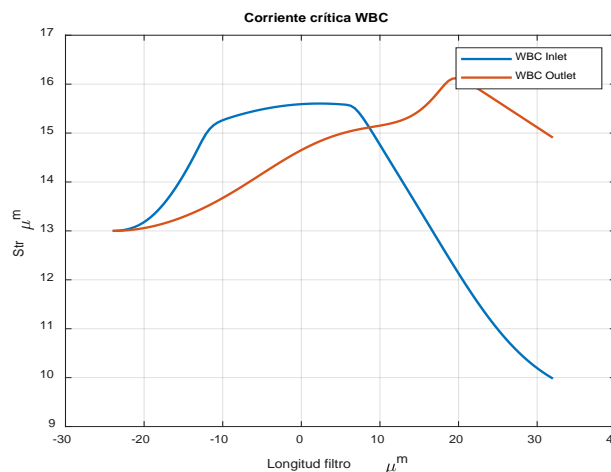


Figura 10. Análisis de corriente crítica WBC

La CTC por su alta rigidez presenta resistencia al flujo lo que genera desplazamiento lateral, al acercarse a la constricción colisiona con la pared produciendo el desplazamiento lateral hacia la salida dispuestas para las células cancerígenas CTC-outlet, como se aprecia en la Figura 11a; en la figura 11b se presenta la línea de corriente con un incremento en ancho respecto a la pared del canal, la superficie de la célula actúa como pared desplazando la corriente sobre esta y dirigiendo la línea de corriente hacia el centro del canal.

La distancia mínima CTC de la célula a la pared del canal es de ( $str = 2\mu m$ ), la célula se dirige hacia la constricción y colisiona con la pared del filtro, la Figura 12 muestra el desplazamiento de la línea de corriente crítica ( $str = 20.6\mu m$ ) desde la pared en la reducción, lo que indica que la corriente está circulando sobre la superficie celular, por la adhesión de la célula en la pared, esta adhesión se incrementa con el desplazamiento de la célula a través de la constricción y por la presión generada del flujo sobre la célula al alcanzar la salida de la constricción, seguido en la separación de la CTC del canal principal hacia CTC-outlet.



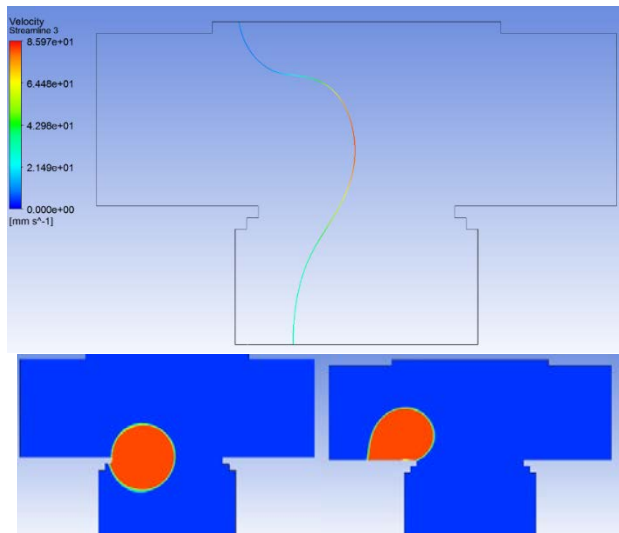


Figura 11. a) línea de corriente crítica y b) salto en la bifurcación de CTC

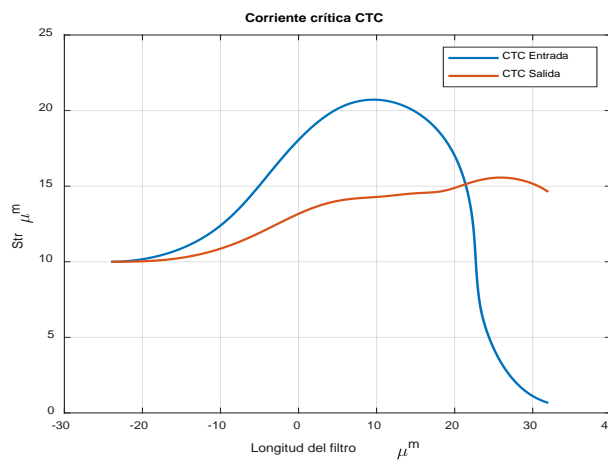


Figura 12. Análisis de corriente crítica CTC

Las simulaciones realizadas para las células CTC, WBC, RBC y los grupos de células CTC  $\mu=10$  Pa·s + RBC, WBC + RBC, CTC  $\mu=1$  Pa·s + RBC, se mide la fase discreta en cada salida CTC-outlet, RBC-WBC-outlet, los resultados se aprecian en la Figura 13, el dispositivo microfiltro realiza la clasificación de CTC satisfactoriamente ubicando las células cancerígenas en la posición salida lateral salida de CTC-outlet y registrando las WBC y RBC en la longitud posición de salida RBC-WBC outlet.

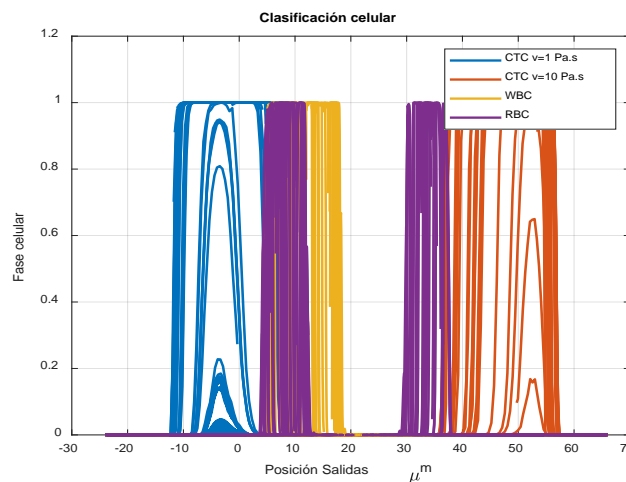


Figura 13. Clasificación ce las células CTC, WBC, RBC en el microfiltro

La Tabla 2, presenta las simulaciones, se evaluaron células individuales de CTC con viscosidad 20 Pa·s y 200 Pa·s célula blanca y célula roja, adicional se simularon grupos de células RBC+CTC y WBC + RBC los resultados de filtración se aprecian en la tabla cada célula es filtrada en la salida dispuesta.

**Tabla 2.** Simulación microfiltro

| Simulación               | Salida RBC-WBC | Salida CTC |
|--------------------------|----------------|------------|
| CTC v=200pa.s            | 0              | 1          |
| CTC v=20pa.s             | 0              | 1          |
| RBC en corriente critica | 2              | 0          |
| WBC en corriente critica | 1              | 0          |
| CTC + RBC                | 1              | 1          |
| WBC + RBC                | 1              | 1          |

En la primera fase de bifurcación, se capturan células cancerígenas CTC con diámetros entre  $14 - 20\mu m$  y viscosidad entre  $(20 - 200Pa \cdot s)$  con una eficiencia de captura de 99%, el método de vortex mantiene la pureza de la muestra separada al mantener las WBC y RBC en la corriente principal generando una pureza de la muestra del 99% (Tabla 3), siendo las células blancas y células rojas desplazadas hacia la salida situada al final del canal.

**Tabla 3.** Eficiencia y pureza del microfiltro

| Porcentaje de Aislamiento |            |        |
|---------------------------|------------|--------|
| Partícula                 | Eficiencia | Pureza |
| CTC                       | 99,99%     | 99,99% |

La Tabla 4 presenta la comparación con otros diseños de dispositivos microfiltros basados en vórtices e hidrodinámica.

**Tabla 4.** Comparación de resultados con otros dispositivos

| Dispositivo                         | Eficiencia     |
|-------------------------------------|----------------|
| Microfilter                         | 99,99%         |
| Vortex microfluidic technology [32] | 1,8% - 93- 75% |
| spiral technology microfilter [8]   | 99,99%         |

La eficiencia alcanzada puede ser comparada con otros dispositivos que implementan vórtices para la separación, el dispositivo diseñado tiene la capacidad de filtrar con mayor eficiencia y pureza, el método de filtración con vórtices y constricción incrementa la capacidad de captura y la eficiencia mientras que el análisis de corriente crítica mantiene la pureza de la muestra. Se compara el dispositivo con otros diseños realizados como la tecnología de espirales para la clasificación de células, la ventaja del microfiltro diseñado es la capacidad de captura de células de tamaño similar a una célula blanca, pero con mayor rigidez algo que la tecnología de espirales no logra realizar.

#### 4. CONCLUSIONES

La caracterización celular para la célula blanca muestra la baja resistencia a la deformación y la capacidad para mantenerse en la corriente principal del fluido siendo afectada por el arrastre, el método Power-law refleja el comportamiento real de una célula blanca la cual presenta viscosidades menores a la viscosidad nominal de  $130Pa \cdot s$  y alta tasa de deformación en altas velocidades de corte.

Las células cancerígenas se tomaron como fluido Newtonianas al ser de alta viscosidad y alta rigidez, al incrementar la viscosidad incrementaba proporcionalmente la presión crítica reflejando con esto que a mayor viscosidad la presión crítica se da mayormente por la presión viscosa en la célula.

El dispositivo microfiltro diseñado se llevó a cabo mediante el estudio análisis dinámico del fluido y los diferentes tipos de células sanguíneas RBC, WBC y células tumorales circulantes CTC, el análisis de la corriente crítica y permitió determinar la velocidad de flujo optima y las dimensiones en la bifurcación diámetro del canal y tamaño de constricción requeridos para mantener las células blancas y rojas dentro del canal principal, desplazar las células CTC hacia las salidas laterales en la bifurcación.

En la bifurcación, las células cancerígenas evaluadas con diámetros entre  $(D=14-20\mu m)$  y viscosidades establecida entre  $(\mu=20-200Pa \cdot s)$  son separadas del fluido principal con eficiencia de 99%, la constricción

aprovecha la difusión de las células rígidas y de mayor tamaño logrando diferenciar las células cancerígenas de tamaño similar a las células blancas pero con mayor rigidez al igual que las células CTC con tamaño mayor usando la constricción como obstáculo para generar el desplazamiento de la célula CTC hacia la salida lateral.

Los vórtices generados en los laterales mantienen la pureza de la muestra separada evitando el desplazamiento lateral de las RBC y WBC y siguiendo la corriente principal generando pureza de 99%.

## REFERENCIAS

- [1] Wu T. et al. (2017). Clinical Applications of Circulating Tumor Cells in Pharmacotherapy: Challenges and Perspectives. *Molecular pharmacology* 92(3), 232–239.
- [2] Leong S. y Tseng W. (2014). Micrometastatic cancer cells in lymph nodes, bone marrow, and blood: Clinical significance and biologic implications. *CA: a cancer journal for clinicians* 64(3), 195–206.
- [3] Maheswaran S. y Haber D. (2010). Circulating tumor cells: a window into cancer biology and metastasis. *Current opinion in genetics & development* 20(1), 96–99.
- [4] GeneticLab Co L. (2021). Circulating Tumor Cells. Retrieved from Circulating Tumor Cells information. Recuperado: <http://www.ctc-lab.info/english/ctc1/aboutctc.html>.
- [5] Kozminsky M. et al. (2016). The incorporation of microfluidics into circulating tumor cell isolation for clinical applications. *Current opinion in chemical engineering* 11, 59–66.
- [6] Mehrabadi M. et al. (2015). A continuum model for platelet transport in flowing blood based on direct numerical simulations of cellular blood flow. *Annals of biomedical engineering* 43(6), 1410–1421.
- [7] Xiao L. et al. (2017). Effects of flowing RBCs on adhesion of a circulating tumor cell in microvessels. *Biomechanics and modeling in mechanobiology* 16(2), 597–610.
- [8] González D. et al. (2019). Design and Modeling of a Microfluidic Device with Potential Application for Isolation of Circulating Tumor Cells. En *IEEE International Conference on Engineering*. Veracruz.
- [9] Zhang X. et al. (2018). On passing a non-Newtonian circulating tumor cell (CTC) through a deformation-based microfluidic chip. *Theor. Comput. Fluid Dyn.* 32, 753–764.
- [10] Leong F. et al. (2011). Modeling cell entry into a micro-channel. *Biomech Model Mechanobiol* 10, 755–766.
- [11] Wang K. et al. (2019). Characterization of cytoplasmic viscosity of hundreds of single tumour cells based on micropipette aspiration. *R. Soc. open sci.* 6, 181707.
- [12] Hochmuth R. (1993). Measuring the Mechanical Properties of Individual Human Blood Cells. *ASME. J. Biomech Eng.* 115(4B), 515–519.
- [13] Dong C. et al. (2018). Biomechanics of the Circulating Tumor Cell Microenvironment. *Advances in Experimental Medicine and Biology. Biomechanics in Oncology Volume 1092*(11), 209–233.
- [14] Guglietta F. et al. (2020). On the effects of membrane viscosity on transient red blood cell dynamics. *Soft Matter.* 16, 6191–6205.
- [15] Omori T. et al. (2012). Tension of red blood cell membrane in simple shear flow. *Physical Review E.* 86(5), 056321.
- [16] Guo Q. et al. (2011). Deterministic microfluidic ratchet based on the deformation of individual cells. *Physical Review E.* 83(5), 051910.
- [17] Preetha A. et al. (2005). Interfacial properties as biophysical markers of cervical cancer. *Biomedicine & pharmacotherapy* 59(9), 491–497.
- [18] Hochmuth R. (2000). Micropipette aspiration of living cells. *Journal of biomechanics* 33(1), 15–22.
- [19] Evans E. y Yeung A. (1989). Apparent viscosity and cortical tension of blood granulocytes determined by micropipet aspiration. *Biophysical Journal* 56(1), 151–160.
- [20] Fung Y. (1993). *Biomechanics. Mechanical Properties of Living Tissues.*
- [21] Meyskens F. et al. (1984). Quantitation of the number of cells within tumor colonies in semisolid medium and their growth as oblate spheroids. *Cancer research* 44(1), 271–277.
- [22] Ahmad S. y Muthukumar P. (2017). Cellular deformation characterization of human breast cancer cells under hydrodynamic forces. *AIMS Biophysics* 4(3), 400–414.
- [23] Geislinger T. et al. (2015). Hydrodynamic and label-free sorting of circulating tumor cells from whole blood. *Applied Physics Letters* 107(20), 203702.
- [24] Harouaka R. et al. (2013). Circulating tumor cell enrichment based on physical properties. *Journal of laboratory automation* 18(6), 455–468.
- [25] Sajeesh P. et al. (2014). Hydrodynamic resistance and mobility of deformable objects in microfluidic channels. *Biomicrofluidics* 8(5), 054112.
- [26] Majid B. et al. (2007). A novel solution for pressure drop in singly connected microchannels of arbitrary cross-section. *Press.*
- [27] Akbari M. et al. (2011). Viscous flow in variable cross-section microchannels of arbitrary shapes. *Press.*

- [28] Aghaamoo M. et al. (2015). Deformability-based circulating tumor cell separation with conical-shaped microfilters: Concept, optimization, and design criteria. *Biomicrofluidics* 9(3), 034106.
- [29] Jafari A. et al. (2009). Numerical investigation of blood flow. Part II: In capillaries. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* 14, 1396-1402.
- [30] Versteeg H. y Malalasekera W. (2007). *The finite volume method - An Introduction to Computational Fluid Dynamics*. Pearson Education.
- [31] Hirt C. y Nichols B. (1981). Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries 39(1), 201-225.
- [32] Renier C. et al. (2017). Label-free isolation of prostate circulating tumor cells using Vortex microfluidic technology. *npj Precision Oncology* 1(1), 15.

# Estudio de los efectos ecotoxicológicos de los colorantes en diferentes organismos acuáticos

Carolina Gallego-Ramírez<sup>1</sup>

Edwin Chica<sup>2</sup>

Ainhoa Rubio-Clemente<sup>3</sup>

*Universidad de Antioquia*

Colombia

Los colorantes son sustancias orgánicas ampliamente usadas en la industria textil para colorear telas y tejidos, y pueden ser desde aniónicos hasta catiónicos, pasando por los colorantes básicos y los no iónicos. Los colorantes presentan varias propiedades fisicoquímicas intrínsecas que posibilitan su uso industrial a nivel mundial, sin embargo, también presentan carácter persistente ante diferentes procesos físicos, químicos y biológicos naturales. Así mismo, son sustancias con potencial cancerígeno, mutagénico y teratogénico, y pueden producir varios efectos adversos directos sobre la fauna y flora, particularmente en ecosistemas acuáticos, como la reducción del oxígeno disuelto del ambiente y la limitación de la función de producción de biomasa, entre otros. En este trabajo se describe la química de los colorantes, su clasificación y características fisicoquímicas. Adicionalmente, se detallan los diferentes estudios realizados sobre los efectos ecotoxicológicos y tóxicológicos que producen los colorantes cuando están presentes en el ambiente. Se concluye que es necesario implementar medidas preventivas en la fuente de generación de este tipo de sustancias y correctivas mediante la adopción de sistemas de tratamiento alternativos a los que operan en las plantas de tratamiento de aguas residuales, dado el carácter recalcitrante de estos contaminantes.

---

<sup>1</sup> Ingeniera Ambiental y Estudiante de Maestría en Ingeniería Ambiental.

Contacto: [carolina.gallegor1@udea.edu.co](mailto:carolina.gallegor1@udea.edu.co)

<sup>2</sup> Ingeniero Mecánico, Especialista en Diseño Mecánico, Magíster en Ingeniería y Doctor en Ingeniería Industrial.

Contacto: [edwin.chica@udea.edu.co](mailto:edwin.chica@udea.edu.co)

<sup>3</sup> Licenciada en Ciencias Ambientales, Magíster en Educación Bilingüe, Doctora en Ciencias de la Salud y en Ingeniería Ambiental.

Contacto: [ainhoa.rubioc@udea.edu.co](mailto:ainhoa.rubioc@udea.edu.co)

## 1. INTRODUCCIÓN

La industria textil durante sus procesos productivos utiliza grandes volúmenes de agua y grandes cantidades de químicos. Esto da lugar a la generación de aguas residuales que pueden llegar a ocasionar impactos negativos en el ambiente debido a su alta toxicidad. Los colorantes, surfactantes, metales pesados, pigmentos, detergentes y biocidas son algunas de las sustancias que constituyen las aguas residuales de la industria textil [1]. El agua residual de la industria textil presenta baja biodegradabilidad, esto se le atribuye a la presencia de sustancias no biodegradables como los colorantes [2].

Las concentraciones de colorantes presentes en las aguas residuales procedentes de la industria textil pueden variar del 2 al 50% de la concentración inicial de colorante usado durante el proceso productivo, de manera que gran cantidad del colorante usado inicialmente, se pierde durante el proceso de teñido de los tejidos. Esto ha generado un gran interés por conocer los efectos ecotoxicológicos, toxicológicos y las afectaciones que puede generar la presencia de colorantes en el ambiente [3].

Cabe destacar que los colorantes son compuestos orgánicos de alto peso molecular y estructuras complejas [4]. Estos han sido descritos como sustancias persistentes debido a que pueden permanecer en el ambiente por más de 50 años sin ser alterados por procesos físicos, químicos o biológicos. Así mismo, los colorantes tienen propiedades mutagénicas, genotóxicas, neurotóxicas y carcinógenas, y se pueden bioacumular en los tejidos grasos de los animales [5-7], dado su carácter hidrofóbico. Cuando los colorantes se encuentran presentes en cuerpos de agua aparte de cambiar el color de estos, también impiden el paso de la radiación solar a lo largo de la columna de agua, al tiempo que dificulta la transferencia de oxígeno.

En este sentido, afectan la actividad fotosintética de los organismos autótrofos acuáticos, alterando la dinámica de todo el ecosistema hídrico [2,8]. Por otro lado, se ha encontrado que los colorantes favorecen el fenómeno de la eutrofización al liberar altas concentraciones de compuestos con nitrógeno y fósforo en su estructura, tales como nitritos  $\text{NO}_2^-$ , nitratos  $\text{NO}_3^-$  y fosfatos  $\text{PO}_4^{3-}$  al medio ambiente [9].

Para poder evaluar el impacto que la presencia de colorantes puede generar en el agua, se deben conocer los efectos toxicológicos que estos pueden generar en organismos acuáticos pertenecientes a diferentes niveles de la cadena trófica. Por esta razón, para conocer el grado de peligrosidad para la vida acuática asociado a la presencia de colorantes en el medio, es necesario evaluar sus posibles efectos toxicológicos en algas, plantas, y animales vertebrados e invertebrados [10].

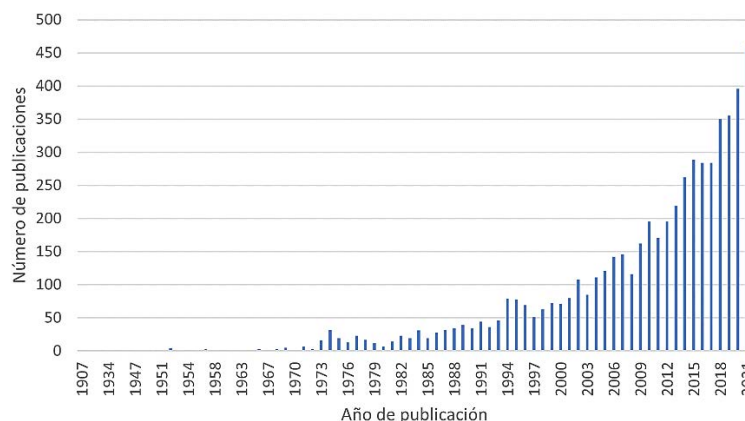
A la hora de evaluar la ecotoxicidad o toxicidad de los colorantes es común encontrarse con estudios en los que los organismos centinela usados son la *Daphnia magna* (comúnmente conocida como la pulga de agua), el pez cebra (*Danio rerio*), la soja verde (*Vigna radiata*) y el crustáceo branquiópodo *Artemia salina*, entre otros organismos. Estos organismos han demostrado ser sensibles a la presencia de los colorantes, los cuales pueden limitar o inhibir su crecimiento, produciendo efectos letales o de inmovilización, así como daños en su sistema reproductivo [11-13].

Bajo este escenario, en este trabajo que pretende estudiar el efecto tóxico de este tipo de sustancias, desde el punto de vista de los estudios ecotoxicológicos reportados hasta la fecha. Para ello, en primer se describen a los colorantes como compuestos orgánicos que pueden estar ampliamente distribuidos en el medio. A continuación, se mencionan los diferentes efectos adversos encontrados asociados a la existencia de este tipo de sustancias, particularmente en ambientes acuáticos tanto lénticos como lóticos.

## 2. MÉTODO

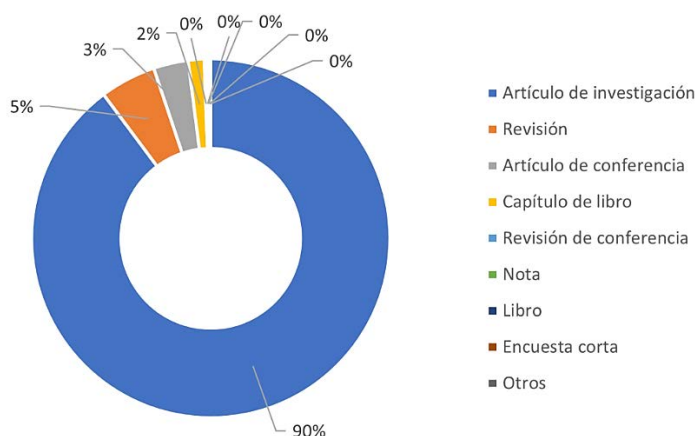
En este trabajo se llevó a cabo, en primer lugar, una búsqueda exhaustiva de trabajos publicados en la literatura en los que se estudiara y analizara la toxicidad y ecotoxicidad de los colorantes en el medio. Para ello, se utilizó la base de datos de Scopus, y se limitó la búsqueda para trabajos publicados hasta 2021. Cabe destacar que Scopus fue la base de datos elegida debido a que es una de las bases de datos más usadas a nivel internacional para la realización de revisiones de literatura [14]. Una vez seleccionada

la base de datos científica a ser utilizada, se llevó a cabo una búsqueda utilizando las palabras claves [TITLE-ABS-KEY (“ecotoxicity” OR “toxicity” AND “dyes” AND “effects”)]. El criterio de búsqueda mencionado arrojó 5607 resultados, siendo el año 1907, el primero en el cual se tenían publicaciones con esas características, como se observa en la Figura 1.



**Figura 1.** Trabajos publicados entre 1907 y 2021 utilizando como criterio de búsqueda [TITLE-ABS-KEY (“ecotoxicity” OR “toxicity” AND “dyes” AND “effects”)]

Además de obtener información sobre el número de documentos publicados por año, bajo el mismo criterio de búsqueda se obtuvo información sobre el tipo de documento con su respectivo número de publicaciones, como se ilustra en la Figura 2.



**Figura 2.** Publicaciones por tipo de documento entre 1907 y 2021, utilizando como criterio de búsqueda [TITLE-ABS-KEY (“ecotoxicity” OR “toxicity” AND “dyes” AND “effects”)]

Es de resaltar que la base de datos Scopus se actualiza constantemente. Por esta razón, si se utiliza el mismo criterio de búsqueda nuevamente los resultados pueden cambiar. Adicionalmente, si se utilizan diferentes palabras claves en el algoritmo de búsqueda utilizado, los resultados tanto para el número de publicaciones por año, como para el número de publicaciones por tipo de documento serán diferentes a los presentados en esta revisión.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Durante la búsqueda bajo las palabras clave ([TITLE-ABS-KEY (“ecotoxicity” OR “toxicity” AND “dyes” AND “effects”)]), se obtuvieron 5607 resultados, destacando a Estados Unidos como el país con mayor número de publicaciones (1282). Estados Unidos fue seguido por China (869) e India (594). Asimismo, en cuanto a Colombia, es importante mencionar que bajo el criterio de búsqueda usado se encontraron 9 publicaciones procedentes de autores nacionales. Estos resultados podrían deberse al nivel de industrialización de Estados Unidos y al alto desarrollo de la industria textilera en China. Cabe destacar que Estados Unidos y China son grandes productores textiles a nivel mundial, siendo China el mayor productor textil en el mundo, esto ocasiona que grandes cantidades de agua residual de la industria textil

sean descargadas al ambiente, generando presencia de colorantes en el mismo [15,16]. Esta podría ser la razón del elevado interés de estos países en conocer los efectos ecotoxicológicos o toxicológicos que tienen los colorantes en el ambiente. En el caso de la India, el interés se puede explicar debido a que el agua residual de la industria textil es usada para el riego de suelos agrícolas, lo que genera un riesgo alto de que los colorantes se bioacumulen en los cultivos y del mismo modo, se biomagnifiquen a lo largo de la cadena trófica [17].

Por otro lado, se encontró que el idioma predominante es el inglés, con un 96,4% de publicaciones escritas en este idioma; seguido por el chino, con un 1,16%; y el alemán, con un 0,52%. El porcentaje restante de documentos publicados se encuentra dividido en idiomas como el japonés, español, francés e italiano, entre otros.

En la Figura 1 se puede observar que el número de investigaciones alusivas a la ecotoxicidad o toxicidad de los colorantes ha aumentado con el pasar de los años, a pesar de que se evidencia que en algunos años las publicaciones han sido menores con relación al año anterior. El año con mayor número de publicaciones es el 2021, año en el cual se reportaron 461 documentos alusivos a este tema de interés.

Por su parte, en la Figura 2, se evidencia que las publicaciones se dividen en artículos de investigación, revisiones, capítulos de libros, trabajos de congresos, libros, erratas, editoriales y encuestas breves. Los artículos de investigación son el tipo de documento predominante con un 90%. Estos resultados, junto con el número de publicaciones creciente a lo largo de los años, podría ayudar a inferir que hay un interés creciente en la comunidad científica sobre la presencia de los colorantes en el medio y los posibles efectos ecotoxicológicos o toxicológicos que pueden presentar este tipo de contaminantes.

Con los resultados obtenidos en la búsqueda, se pudo evidenciar que hay un interés creciente sobre los efectos ecotoxicológicos y toxicológicos que pueden tener los colorantes en el ambiente. Esto se le puede atribuir a que a nivel mundial la contaminación por colorantes ha aumentado [18]. Este hecho ocasiona que se genere una preocupación sobre los posibles riesgos que la presencia de estos en el ambiente puede ocasionar.

### 3.1 Colorantes y su presencia en el ambiente

Los colorantes son compuestos químicos orgánicos con la capacidad de impartir color a un sustrato. La solubilidad que estos tienen en el agua hace que sean usados en grandes cantidades en industrias como la textil [19, 20]. Los colorantes consisten principalmente de dos componentes, el cromóforo y el auxocromo. El cromóforo es particularmente el causante de impartir color a las fibras y está compuesto por grupos atómicos y grupos funcionales como la hidroquinona  $O=(C_6H_4)=O$ , el grupo azo  $-N=N-$  y los grupos nitroso  $-N=O$  y éster  $-C=O$ . Por otro lado, el auxocromo incrementa la afinidad del color por las fibras textiles y reduce la solubilidad del colorante donando o aceptando electrones. Algunos de los grupos funcionales que tiene el auxocromo son acetilo  $-COOH$ , sulfonilo  $-SO_3H$  e hidroxilo  $-OH$  [21].

Los colorantes se pueden clasificar como colorantes aniónicos, dentro de los cuales se tienen los subgrupos directos, ácidos y reactivos; y colorantes catiónicos que incluyen los básicos y no iónicos como los dispersos o de tina [22].

Los colorantes tienen la capacidad de absorber la luz en el espectro visible, específicamente en longitudes de onda que van de los 380 a los 750 nm. Antes de 1856, los colorantes eran obtenidos de fuentes naturales, como animales, plantas y minerales. Estos colorantes eran menos tóxicos y eran considerados como sustancias biodegradables [23,24]. Sin embargo, en 1856 Willian Perkin descubrió la anilina morada y desde ese momento comenzó la producción de colorantes sintéticos [24].

Debe mencionarse que, a diferencia de los colorantes naturales, los sintéticos son más estables a procesos físicos, químicos y biológicos. Por lo tanto, este tipo de colorantes son más difíciles de degradar bajo tratamientos de agua convencionales [22], como los que por ejemplo se llevan a cabo en las plantas de tratamiento de aguas residuales PTAR.



Cabe resaltar que más del 50% de las aguas residuales con presencia de colorantes procedentes de la industria textil son descargadas a cuerpos de aguas. Se estima que la industria textil es responsable de producir 200 billones de litros de agua residual con colorantes anualmente [10].

Cuando los colorantes están presentes en el agua residual suelen pasar y no ser eliminados por los tratamientos de agua convencionales, como se ha mencionado anteriormente. Esto ocasiona que lleguen al ambiente y puedan persistir por mucho tiempo en él debido a su alta estabilidad, la cual los hace resistentes a la luz, temperatura y a la degradación [25]. Si bien, en ocasiones, los colorantes pueden ser transformados o degradados, esto puede ocasionar la aparición de compuestos aromáticos como las aminas, las cuales son producto de la transformación de los colorantes con cromóforos -N=N- [20].

La presencia de los colorantes en el ambiente puede generar diferentes efectos como la disminución del oxígeno disuelto, la inhibición del crecimiento de microorganismos y la generación de reacciones alérgicas y mutaciones genéticas que pueden ocasionar la formación de tumores malignos. Por otro lado, debido a que algunos colorantes son compuestos aromáticos, es sabido que la presencia de estos en el agua residual le puede otorgar un carácter carcinogénico [26], dando lugar a cáncer de diferentes órganos. A parte de lo mencionado anteriormente, los colorantes pueden afectar visualmente las fuentes hídricas, dando lugar a un impacto visual negativo, y generar cambios en los procesos biológicos, principalmente en la fotosíntesis [27]. Los colorantes también tienen la capacidad de acumularse en las plantas y en los cultivos, lo que puede significar un riesgo inherente a lo largo de la cadena trófica [28], causando lo que se conoce como biomagnificación.

Dados estos efectos adversos asociados a la presencia de los colorantes en el medio, se hace necesario llevar a cabo estudios ecotoxicológicos y toxicológicos que permitan evidenciar el efecto directo de estos contaminantes sobre los seres vivos.

### **3.2 Efectos ecotoxicológicos y toxicológicos de los colorantes**

Diferentes estudios han demostrado que los colorantes pueden generar efectos cancerígenos, mutagénicos y teratogénicos en los humanos y en los organismos acuáticos. Adicionalmente, también, se ha encontrado que estos compuestos pueden generar afectaciones en los riñones, el hígado, cerebro, la piel, el sistema nervioso y reproductivo [5, 9].

Para algunos colorantes, se han evaluado los efectos toxicológicos que estos pueden tener para los humanos, como lo es el caso del cristal violeta, índigo carmín, naranja de metilo, verde de malaquita y verde brillante. Para el cristal violeta, se ha encontrado que puede causar dermatitis, irritaciones en los ojos y el tracto digestivo y puede producir fallas en el sistema renal y respiratorio [29, 30]. El naranja de metilo aparte de ser cancerígeno, teratogénico y mutagénico, puede causar dermatitis, alergias y cáncer en el intestino [15].

Para el índigo carmín se ha reportado que puede causar hipertensión moderada a severa, daño permanente en la córnea, conjuntivitis, cáncer, efectos neurotóxicos, toxicidad aguda, toxicidad del desarrollo, puede afectar la reproducción y generar efectos respiratorios y cardiovasculares [31-33]. El verde de malaquita es cancerígeno, genotóxico y puede ocasionar efectos adversos en el sistema reproductivo e inmune [34]. El verde brillante, por su parte, puede ocasionar cáncer y problemas respiratorios [35].

Para el caso de los organismos acuáticos, cuando estos han sido expuestos a los colorantes, los anteriores han ocasionado cambios morfológicos, inhibición del crecimiento y han afectado el contenido de clorofila de plantas acuáticas, generando así un efecto adverso en la fotosíntesis dada la importancia de la clorofila en el transporte de electrones [36-39].

En la Tabla 1 se presentan diferentes estudios en los que se ha evaluado la ecotoxicidad o toxicidad de colorantes en diferentes organismos. Como puede evidenciarse, en algunos estudios se registran reportes de concentración letal media LC<sub>50</sub>, y de concentración media eficaz EC<sub>50</sub>.

**Tabla 1.** Estudios sobre la ecotoxicidad o toxicidad de los colorantes

| Colorante  | Condiciones experimentales y organismo utilizado   | Resultados   | Ref. |
|--|--|--|------|
| Rojo reactivo 239 (RR239)  | Se analizaron los efectos ecotoxicológicos de un efluente obtenido del proceso del teñido de algodón, con una concentración de 15 g/L de RR239. Para los ensayos, se utilizaron <i>Daphnia similis</i> y <i>Vibrio fischeri</i> . Para <i>Daphnia similis</i> , la toxicidad se midió a partir del número de microorganismos inmovilizados pasadas 48 h de exposición al colorante. Para <i>Vibrio fischeri</i> , la pérdida de luminiscencia fue el indicador toxicológico después de estar expuestos durante 15 min al colorante. Los resultados se expresaron en EC <sub>50</sub> a condiciones estándar.   | El colorante demostró ser altamente tóxico para ambas especies (EC <sub>50</sub> de 6.31% ±3.19 para <i>Daphnia similis</i> y de 7.41% ±1.52 para <i>Vibrio fischeri</i> ). Es decir, ese porcentaje de la concentración del colorante contenido en el efluente generaba un efecto sobre el 50% de los individuos de las especies.   | [43] |
| Amarillo reactivo M8G ARM8G, rojo reactivo M5B RRM5B, azul reactivo PGR ARPGR, naranja reactivo HE2R NRHE2R y verde reactivo HE4B VRHE4B | Se usaron organismos de <i>Artemia salina</i> , los cuales fueron expuestos a 5 concentraciones (0.5, 1, 2, 4 y 8 µg/mL), así como a una solución de control consistente en agua de mar. La especie <i>Vigna radiata</i> se usó para observar la LC <sub>50</sub> y analizar los efectos fitotóxicos de los colorantes junto con otras dos especies ( <i>Vigna mungo</i> y <i>Cajanus cajan</i> ). Se expusieron las semillas a 4 concentraciones de los colorantes (20, 40, 80 y 160 µg/mL) y a blancos de agua destilada. Las condiciones de operación fueron 25±2 °C, humedad entre el 40 y 50%, 12 h de exposición a la luz y 5 d a los colorantes. Para la realización del ensayo hemolítico se contaron los eritrocitos de las muestras de sangre y 180 µL de células sanguíneas fueron expuestas a una concentración de 100 mg/L de cada uno de los colorantes. | La LC <sub>50</sub> para <i>Artemia salina</i> y <i>Vigna radiata</i> fue respectivamente de 4.2 µg/mL y 41 µg/mL (ARM8G), 3.0 µg/mL y 54 µg/mL (RRM5B), 3.4 µg/mL y 114 µg/mL (ARPGR), 1.7 µg/mL y 111 µg/mL (NRHE2R) y 2 µg/mL y 80 µg/mL (VRHE4B). Todos los colorantes afectaron el contenido de clorofila de los organismos, lo que, directamente indica el efecto tóxico de éstos sobre las especies objeto de estudio. El colorante NRHE2R en el ensayo hemolítico fue el más tóxico, ocasionando lisis en el 90% de los eritrocitos. | [12] |
| Rojo básico 51 RB51  | Se utilizaron individuos de <i>Daphnia magna</i> , con una edad entre las 6 y 15 h, los cuales se mantuvieron en condiciones de 16:8 h (luz:oscuridad) y 20 ±2 °C. Se evaluaron 6 concentraciones (0.003, 0.06, 0.125, 0.25, 0.5 y 1 mg/L) de colorante. Se estimó la inmovilidad de los organismos pasadas 24 y 48 h de contacto con el colorante. Los organismos definidos como inmovilizados fueron los que no tenían la capacidad de nadar por más de 15 s. Se realizó una prueba de 21 d para evaluar el ciclo de vida de <i>Daphnia magna</i> usando 4 concentraciones (0.001, 0.005, 0.01 y 0.02 mg/L) y un blanco bajo las condiciones de temperatura y fotoperiodo mencionadas.   | A una concentración de 0.01 mg/L y una exposición de 48 h, el 50% de los organismos quedaron inmovilizados. Se alcanzó el 100% de inmovilización bajo la acción de 1 mg/L de RB51. El RB51 demostró ser sumamente tóxico para el organismo, ya que redujo la tasa intrínseca de crecimiento de la población y generó un incremento de la tasa de respiración de los organismos.  | [11] |
| RB51   | Embriones y larvas de <i>Danio rerio</i> , o pez cebra, fueron expuesto a concentraciones de 1.875, 3.75, 7.5 y 15 mg/L de RB51, bajo 26 ±1 °C y en total oscuridad para prevenir la degradación del colorante. Los individuos fueron expuestos al colorante por 96 y 144 h.   | Pasadas 96 h de exposición, los embriones de <i>Danio rerio</i> consumieron menor cantidad de energía. Pasadas 144 h, las larvas eran menos activas. Por tanto, bajo condiciones de estrés, se observa un decrecimiento en el consumo de energía y en el movimiento de la especie estudiada. Este hecho fue asociado a un decrecimiento significativo en la actividad de los embriones, sugiriendo un efecto indirecto sobre su capacidad locomotora.  | [13] |
| Naranja ácido 33 NA33 y naranja disperso 30 ND30   | Se utilizó <i>Daphnia magna</i> , analizando la inmovilización que causaban los colorantes sobre la especie. Los organismos tenían una edad ≤ a 24 h y fueron expuestos a los colorantes por 24 y 48 h, manteniéndolos a 20 ±1 °C y sin exposición a la luz. Los organismos se sometieron a 100 mg/L de cada colorante. La LC <sub>50</sub> pasadas 48 h fue obtenida a partir del análisis de regresiones no lineales.  | La LC <sub>50</sub> para los colorantes NA33 y ND30 fue de 22.34 mg/L y 0.5522 mg/L, respectivamente. Ambos colorantes fueron catalogados como tóxicos debido a que la LC <sub>50</sub> fue inferior a 100 mg/L.   | [25] |

|  |  |  |      |
|--|--|--|------|
| Negro directo 38 ND38 y Azul reactivo 15 AR15  | Para conocer la concentración letal media (LC <sub>50</sub> ) se utilizaron 4 concentraciones de cada colorante (250, 500, 750 y 1000 mg/L) y un blanco. Se utilizaron 10 individuos con edad inferior a 24 h de <i>Daphnia magna</i> para cada una de las concentraciones y el blanco. La temperatura de control fue de 20±1 °C y el fotoperiodo fue de 16:8 h (luz:oscuridad). Después de 48 h de exposición al colorante se realizó un conteo de los individuos inmobilizados. Para determinar el daño ocasionado por el colorante en el ADN de la especie <i>Daphnia magna</i> , se implementó la técnica neutral comet assay. | El colorante ND38 no indujo una mortalidad significativa para <i>Daphnia magna</i> (LC <sub>50</sub> = 1698.2 mg/L). Con la mayor concentración usada de ND38 se observó una inmovilización del 30% de los individuos. Para todas las concentraciones utilizadas se observó un daño significativo en el ADN. Para el colorante AR15, en las concentraciones más altas (750 y 1000 mg/L), se observó una alta mortalidad en los individuos (LC <sub>50</sub> = 686.5 mg/L). El colorante AR15 indujo un daño significativo en el ADN de la especie; sin embargo, con la concentración de 750 mg/L este efecto no fue observado. | [3]  |
| Amarillo disperso 7 AD7, rojo Sudán G RSG, azul ácido 80 AA80 y azul ácido 129 AA129   | Embriones y larvas de <i>Pimephales promelas</i> fueron expuestas a los colorantes objeto de estudio. El tiempo de exposición total fue de 20 d.   | AA80 y AA129 no causaron ningún efecto sobre las larvas. AD7 y RSG redujeron la supervivencia de las larvas (LC <sub>50</sub> de 25.4 µg/L y 16.7 µg/L, respectivamente). Ambos colorantes causaron una respuesta tardía con el perecimiento de las larvas de 4 a 10 d después de la eclosión.   | [44] |
| Verde de malaquita VM y su metabolito verde de leucomalaquita MVL, cristal violeta CV y su metabolito leuco cristal violeta LCV, violeta de etilo VE, rojo básico 9 RB9, azul victoria R AVR, azul victoria B AVB, azul puro victoria OB APVOB, rodamina 6G R6G) rodamina B RB, azul B AB, azul Nilo AN y verde brillante VB | En este estudio se utilizó el anguiloforme <i>Anguilla anguilla</i> (conocido comúnmente como anguila europea). Con muestras de 2 g de músculo de las anguilas fue analizada la presencia y la concentración de cada uno de los colorantes en el animal. Las anguilas fueron tomadas de lugares diferentes.  | VM, CV y VB estaban presentes en el 25-58% de las anguilas muestreadas y debido a la capacidad de los colorantes de bioacumulación y biomagnificación a lo largo de la cadena trófica, la presencia de colorantes en las anguilas no solo demuestra un riesgo para el ecosistema acuático, sino también para los humanos.  | [45] |
| C.I. Verde de tina 3 VT3, C.I. Negro reactivo 5 NR5 y C.I. Naranja ácido 7 NA7   | Se estudió la ecotoxicidad usando individuos de <i>Daphnia similis</i> con menos de 24 h de nacidos, los cuales durante 48 h fueron expuestos a cada uno de los colorantes a 20±0.3 °C en la oscuridad. Pasadas 48 h, se realizó un conteo del número de individuos inmobilizados, reportando la concentración a la cual se ve efecto en el 50% de los individuos (EC <sub>50</sub> ) mediante el software Jsphear. Los intervalos de confianza utilizados fueron de 6.3-7.6 (VT3), 31-41 (NR5), 76-99 (NA7).  | Para los colorantes VT3, NR5 y NA7, la EC <sub>50</sub> fue respectivamente de 6.9 mg/L, 36 mg/L y 87 mg/L. El colorante VT3 fue el más tóxico para la especie <i>Daphnia similis</i> . El colorante NA7 fue el menos tóxico debido a su alta solubilidad en agua, lo que ocasiona que sean menormente absorbidos por la especie.  | [46] |
| C.I. Azul directo 218 AD218  | La especie <i>Daphnia magna</i> fue expuesta a 6 concentraciones del colorante (0.8, 1.3, 2.2, 3.6, 6.0 y 10 mg/L) y a blancos por un periodo de 24 y 48 h. Pasado ese tiempo se realizó el conteo del número de individuos inmobilizados.   | Pasadas 24 h, la LC <sub>50</sub> fue de 6.0 mg/L, mientras que tras 48 h de exposición la LC <sub>50</sub> se situó en el rango de 3.6-6.0 mg/L. Con la concentración más alta analizada (10 mg/L) pasadas 48 h, el 100% de los organismos se encontraban inmobilizados. El AD218 fue catalogado como muy tóxico.   | [47] |
| Negro ácido 10B NA10B  | En células HepG2 se determinó la citotoxicidad del colorante NA10B a concentraciones entre 0.03125 a 2 mg/mL. Las células HepG2 fueron expuestas por 3 h al NA10B. Se realizó el ensayo cometa en células HepG2 las cuales fueron expuestas a concentraciones de 0.125 a 2.0 mg/mL por 3 h.  | En el ensayo de citotoxicidad no se encontró que el NA10B generara una disminución en la fuerza vital de las células HepG2. Lo contrario ocurrió con el ensayo cometa, ya que se evidenció que el NA10B sí ocasionó un daño en el ADN de las células con todas las concentraciones evaluadas.  | [48] |

|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  | La formación del cometa indicó que el NA10B ocasionó el rompimiento de cadenas simples y dobles del ADN y que se causó una alteración permanente en el cromosoma.  |
| Azul maxilón 5G AM5G y azul reactivo 203 AR203 | Embriones/larvas del pez cebra fueron expuestos a concentraciones de 1, 10, 100 y 1000 mg/L de los colorantes AM5G y AR203 durante 96 h y se determinó la LC <sub>50</sub> . | La LC <sub>50</sub> para los colorantes AM5G y AR203 fue de 166.04 mg/L y 278.32 mg/L respectivamente. Se realizó un ensayo para saber si los colorantes inducían la eclosión temprana en las larvas del pez cebra, se encontró que el AR203 a una concentración de 100 mg/L inducía a la eclosión temprana de la larva pasadas 48 h, para el AM5G no se registró este efecto. |

[49]

Cabe destacar que los datos toxicológicos suelen expresarse en términos de LC<sub>50</sub> y de EC<sub>50</sub>. Ambos bioensayos son indicadores de la toxicidad aguda del contaminante de interés, y evalúan la concentración del tóxico que es capaz de producir la muerte LC<sub>50</sub> o inmovilizar EC<sub>50</sub> el 50% de la población objeto de estudio [40]. Para calcular la LC<sub>50</sub> pasadas 48 h se utilizan análisis de regresión [25]. Uno de éstos es el método Probit en el cual es posible determinar la LC<sub>50</sub>, mediante la intercepción del logaritmo de las concentraciones de tratamiento y mortalidad [12]. Por su parte, para los análisis de EC<sub>50</sub>, de acuerdo con la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico OECD se deben registrar los organismos inmovilizados debido a la exposición a la sustancia objeto de estudio pasadas 24 y 48 h.

Estos resultados deben ser comparados con las muestras usadas como control. Posteriormente, los resultados obtenidos deben ser analizados para así calcular la EC<sub>50</sub>. Es importante mencionar que al menos 20 individuos, preferiblemente divididos en 4 grupos de 5 integrantes, deben ser usados en cada uno de los ensayos a diferentes concentraciones del contaminante de interés y usando muestras control, proporcionando alrededor de 12 ml de solución a los individuos. Debe mencionarse que estos bioensayos de toxicidad son de crucial importancia, ya que permiten evaluar el grado de afectación que una sustancia química tiene sobre organismos vivos [40].

Otro ensayo usado para medir la toxicidad de un contaminante es el ensayo cometa. El ensayo cometa es usado para medir la genotoxicidad de una sustancia a partir de los daños que esta cause en el ácido desoxirribonucleico ADN de una célula [41]. Este método consiste en un análisis a partir de la electroforesis de la migración del ADN. Dependiendo de las condiciones de pH se pueden detectar quiebres simples o dobles en el ADN de la célula estudiada [42].

Teniendo en cuenta la información consignada en la Tabla 1, puede observarse que la presencia de colorantes en el medio, en general, y los ecosistemas acuáticos, en particular, son una realidad, a los cuales se les debe prestar atención dados sus efectos adversos tanto sobre los seres vivos, incluyendo el ser humano. En este sentido, se hace necesario no solamente llevar a cabo acciones de prevención en la fuente de generación de este tipo de contaminantes sino también en la implementación de medidas y sistemas de tratamiento que van más allá de los procesos convencionales con los que operan las PTAR, siendo el uso del biocarbón un material alternativo que está dando muy buenos resultados en lo que respecta a la eliminación de colorantes del medio.

#### 4. CONCLUSIONES

Debido al uso de colorantes a nivel mundial y a la creciente preocupación sobre el cuidado del ambiente, con este estudio se puede observar que cada vez crece más el interés por conocer cuáles son los efectos ecotoxicológicos de los colorantes, con el fin de proteger tanto a los humanos como a los organismos acuáticos de los diferentes efectos que la presencia de las sustancias en el medio puede generar.

A pesar del extenso uso en la industria textil de los colorantes, es importante tener en cuenta los efectos ecotoxicológicos que estos tienen en los organismos. Los diferentes estudios sobre la ecotoxicología de

los colorantes han demostrado que no solo pueden afectar estéticamente los cuerpos de agua, sino que también pueden generar efectos sobre los organismos que viven o aprovechan el recurso hídrico.

Considerando que los colorantes sintéticos son los más usados en el mundo y dado su baja degradabilidad en los tratamientos de aguas convencionales, es necesario evaluar la toxicidad de efluentes con colorantes después de ser tratados, ya sea por un tratamiento convencional o por tratamientos alternativos. De este modo, se podrá analizar la toxicidad residual que estos contaminantes pueden dejar en el agua después de ser tratada.

Como parte de los efectos que causan los colorantes en diferentes organismos centinelas, se encuentran los efectos mutagénicos, teratogénicos y cancerígenos. Incluso, debe destacarse que en algunos organismos se ha encontrado con que estos compuestos químicos pueden causar la inmovilización o la muerte de los individuos usados en el análisis.

Con todo ello, se evidencia que los colorantes son sustancias que requieren regulación a nivel internacional con miras a evitar que altas concentraciones de estos compuestos no sean descargadas en los cuerpos de agua, pudiendo afectar negativamente a los organismos acuáticos que allí habitan. Adicionalmente, se hace necesario la adopción de medidas preventivas en origen y correctivas, mediante la implementación de procesos alternativos de tratamiento de aguas que permitan la eliminación de este tipo de sustancias persistentes a los sistemas físicos, químicos y biológicos convencionales.

### Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero proporcionado por la Universidad de Antioquia a través de la Sostenibilidad Estratégica 2020-2021, ES84190067.

### REFERENCIAS

- [1] Methneni N. et al. (2021). Persistent organic and inorganic pollutants in the effluents from the textile dyeing industries: Ecotoxicology appraisal via a battery of biotests. *Environmental Research* 196, 110956.
- [2] Lach C. et al. (2022). Investigating the process of electrocoagulation in the removal of azo dye from synthetic textile effluents and the effects of acute toxicity on *Daphnia magna* test organisms. *Journal of Water Process Engineering* 45, 102485.
- [3] de Oliveira G. et al. (2018). A test battery for assessing the ecotoxic effects of textile dyes. *Chemico-biological interactions* 291, 171-179.
- [4] Barquilha C. y Braga M. (2021). Adsorption of organic and inorganic pollutants onto biochars: Challenges, operating conditions, and mechanisms. *Bioresource Technology Reports* 100728.
- [5] Zhou et al. (2019). Recent advances for dyes removal using novel adsorbents: a review. *Environmental pollution* 252, 352-365.
- [6] Pereira P. et al. (2017). Lethal and sub-lethal evaluation of Indigo Carmine dye and byproducts after TiO<sub>2</sub> photocatalysis in the immune system of *Eisenia andrei* earthworms. *Ecotoxicology and environmental safety* 143, 275-282.
- [7] Kishor R. et al. (2021). Ecotoxicological and health concerns of persistent coloring pollutants of textile industry wastewater and treatment approaches for environmental safety. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 105012.
- [8] Methneni N. et al. (2021). Persistent organic and inorganic pollutants in the effluents from the textile dyeing industries: Ecotoxicology appraisal via a battery of biotests. *Environmental Research* 196, 110956.
- [9] Berradi M. et al. (2019). Textile finishing dyes and their impact on aquatic environs. *Heliyon* 5(11), e02711.
- [10] Tkaczyk A. et al. (2020). Synthetic organic dyes as contaminants of the aquatic environment and their implications for ecosystems: A review. *Science of the total environment* 717, 137222.
- [11] Abe F. et al. (2019). Life history and behavior effects of synthetic and natural dyes on *Daphnia magna*. *Chemosphere* 236, 124390.
- [12] Reddy S. y Osborne W. (2020). Heavy metal determination and aquatic toxicity evaluation of textile dyes and effluents using *Artemia salina*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 25, 101574.
- [13] Abe F. et al. (2018). Toxicity of dyes to zebrafish at the biochemical level: Cellular energy allocation and neurotoxicity. *Environmental pollution* 235, 255-262.
- [14] Shukla A. et al. (2019). Engineering applications of artificial intelligence: A bibliometric analysis of 30 years (1988–2018). *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 85, 517-532.

- [15] Kishor R. et al. (2021). Ecotoxicological and health concerns of persistent coloring pollutants of textile industry wastewater and treatment approaches for environmental safety. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 9(2), 105012.
- [16] Chen H. et al. (2021). Dyeing and finishing wastewater treatment in China: State of the art and perspective. *Journal of Cleaner Production* 326, 129353.
- [17] Kishor R. et al. (2021). Environment friendly degradation and detoxification of Congo red dye and textile industry wastewater by a newly isolated *Bacillus cohnii* (RKS9). *Environmental Technology & Innovation* 22, 101425.
- [18] Jadhav S. et al. (2011). Biochemical degradation pathway of textile dye Remazol red and subsequent toxicological evaluation by cytotoxicity, genotoxicity and oxidative stress studies. *International Biodeterioration & Biodegradation* 65(6), 733-743.
- [19] Bhardwaj D. y Bharadvaja N. (2021). Phycoremediation of effluents containing dyes and its prospects for value-added products: A review of opportunities. *Journal of Water Process Engineering* 41, 102080.
- [20] Lellis B. et al. (2019). Effects of textile dyes on health and the environment and bioremediation potential of living organisms. *Biotechnology Research and Innovation* 3(2), 275-290.
- [21] Sharma J. et al. (2021). Classification and impact of synthetic textile dyes on Aquatic Flora: A review. *Regional Studies in Marine Science* 45, 101802.
- [22] Srinivasan A. y Viraraghavan T. (2010). Decolorization of dye wastewaters by biosorbents: a review. *Journal of environmental management* 91(10), 1915-1929.
- [23] Benkhaya S. et al. (2020). A review on classifications, recent synthesis and applications of textile dyes. *Inorganic Chemistry Communications* 115, 107891.
- [24] Uddin M. et al. (2021). Adsorptive removal of dyes from wastewater using a metal-organic framework: A review. *Chemosphere* 284, 131314.
- [25] Croce R. et al. (2017). Aquatic toxicity of several textile dye formulations: Acute and chronic assays with *Daphnia magna* and *Raphidocelis subcapitata*. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 144, 79-87.
- [26] Nandhini N. et al. (2019). The possible mechanism of eco-friendly synthesized nanoparticles on hazardous dyes degradation. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 19, 101138.
- [27] Ferraz E. et al. (2011). The azo dye Disperse Orange 1 induces DNA damage and cytotoxic effects but does not cause ecotoxic effects in *Daphnia similis* and *Vibrio fischeri*. *Journal of hazardous materials* 192(2), 628-633.
- [28] Kastury F. et al. (2015). Ecotoxicity of neutral red (dye) and its environmental applications. *Ecotoxicology and environmental safety* 122, 186-192.
- [29] Takabi A. et al. (2021). Apple stem as a high performance cellulose based biosorbent for low cost and eco-friendly adsorption of crystal violet from aqueous solutions using experimental design: Mechanism, kinetic and thermodynamics. *Environmental Technology & Innovation* 101947.
- [30] Kapoor R. et al. (2021). Exploiting microbial biomass in treating azo dyes contaminated wastewater: Mechanism of degradation and factors affecting microbial efficiency. *Journal of Water Process Engineering* 43, 102255.
- [31] Cruz M. et al. (2018). Experimental study and mathematical modeling of the electrochemical degradation of dyeing wastewaters in presence of chloride ion with dimensional stable anodes (DSA) of expanded meshes in a FM01-LC reactor. *Electrochimica Acta* 260, 726-737.
- [32] Eroi S. et al. (2021). Heterogeneous WO<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> system for degradation of Indigo Carmin dye from aqueous solution. *South African Journal of Chemical Engineering* 37, 53-60.
- [33] Harrache Z. et al. (2019). Thermodynamic and kinetics studies on adsorption of Indigo Carmine from aqueous solution by activated carbon. *Microchemical Journal* 144, 180-189.
- [34] Sarkar S. et al. (2021). Sorptive removal of malachite green from aqueous solution by magnetite/coir pith supported sodium alginate beads: Kinetics, isotherms, thermodynamics and parametric optimization. *Environmental Technology & Innovation* 24, 101818.
- [35] Mukhopadhyay A. et al. (2021). Enhanced persulfate activated sono-catalytic degradation of brilliant green dye by magnetic CaFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles: Degradation pathway study, assessment of bio-toxicity and cost analysis. *Surfaces and Interfaces* 26, 101412.
- [36] Abe F. et al. (2017). Toxicological and behavioral responses as a tool to assess the effects of natural and synthetic dyes on zebrafish early life. *Chemosphere* 178, 282-290.
- [37] Moorthy A. et al. (2021). Acute toxicity of textile dye Methylene blue on growth and metabolism of selected freshwater microalgae. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 82, 103552.
- [38] Chaturvedi A. et al. (2021). Comparative toxicity assessment using plant and luminescent bacterial assays after anaerobic treatments of dyeing wastewater in a recirculating fixed bed bioreactor. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 9(4), 105466.
- [39] Khan S. et al. (2021). Synergistic role of bacterial consortium to biodegrade toxic dyes containing wastewater and its simultaneous reuse as an added value. *Chemosphere* 284, 131273.
- [40] Gámez C. et al. (2008). Determinación de la concentración letal media (CL50-48) del herbicida roundup 747 sobre ecosistemas acuáticos mediante pruebas toxicológicas con *Daphnia magna*. Press.

- [41] Qian Q. et al. (2021). Use of the alkaline comet assay for monitoring genotoxic effects of arsenic in human populations. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis* 867, 503368.
- [42] Afanasieva K. y Sivolob A. (2018). Physical principles and new applications of comet assay. *Biophysical chemistry* 238, 1-7.
- [43] Garcia V. et al. (2020). Toxicity and color reduction of a textile effluent containing reactive red 239 dye by electron beam irradiation. *Radiation Physics and Chemistry* 172, 108765.
- [44] Parrott J. et al. (2016). Chronic toxicity of azo and anthracenedione dyes to embryo-larval fathead minnow. *Environmental Pollution* 210, 40-47.
- [45] Belpaire C. et al. (2015). Toxic textile dyes accumulate in wild European eel *Anguilla anguilla*. *Chemosphere* 138, 784-791.
- [46] de Luna L. et al. (2014). Aquatic toxicity of dyes before and after photo-Fenton treatment. *Journal of Hazardous Materials* 276, 332-338.
- [47] Bae J. y Freeman H. (2007). Aquatic toxicity evaluation of copper-complexed direct dyes to the *Daphnia magna*. *Dyes and pigments* 73(1), 126-132.
- [48] da Cruz C. et al. (2019). Amido Black 10B a widely used azo dye causes DNA damage in pro-and eukaryotic indicator cells. *Chemosphere* 217, 430-436.
- [49] Köktürk M. et al. (2021). Textile dyes Maxilon blue 5G and Reactive blue 203 induce acute toxicity and DNA damage during embryonic development of *Danio rerio*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology* 242, 108947.

# Construcción de un prototipo Alfa para el monitoreo continuo de gases durante incendios

Juan Pablo Ortiz Morales<sup>1</sup>  
Tatiana Montoya Duque<sup>2</sup>  
Daniela Campo<sup>3</sup>  
Catalina Franco Enríquez<sup>4</sup>  
Alejandra Ávila Rendón<sup>5</sup>  
Andrés Mauricio González-Vargas<sup>6</sup>  
*Universidad Autónoma de Occidente*  
Colombia

En este estudio se desarrolla el diseño y prototipado de un dispositivo para el monitoreo continuo de gases tóxicos: CO, benceno y metano, con el propósito de reducir los riesgos de salud en el personal de bomberos y rescatistas expuestos a altas concentraciones de ellos durante los incendios. Para su implementación, el primer paso a realizar fue el listado de requisitos y métricas que limitan el desarrollo del proyecto; a continuación, se generaron los conceptos a evaluar teniendo en cuenta un dispositivo comercial para seleccionar los componentes que mejor se adecúan al monitor. Se analizó detalladamente el funcionamiento de cada una de las partes del dispositivo y se produjo un prototipo Alfa, el cual servirá de punto de partida para una siguiente fase de diseño con miras a un dispositivo listo para su comercialización.

---

<sup>1</sup> Ingeniero Biomédico.  
Contacto: [juanpablo.ortizmorales@yahoo.com](mailto:juanpablo.ortizmorales@yahoo.com)

<sup>2</sup> Ingeniera Biomédica.  
Contacto: [tmontoyaduque@gmail.com](mailto:tmontoyaduque@gmail.com)

<sup>3</sup> Ingeniera Biomédica.  
Contacto: [daniela.campo@uao.edu.co](mailto:daniela.campo@uao.edu.co)

<sup>4</sup> Ingeniera Biomédica.  
Contacto: [catalina.franco@uao.edu.co](mailto:catalina.franco@uao.edu.co)

<sup>5</sup> Ingeniera Biomédica.  
Contacto: [alejandra.avila@uao.edu.co](mailto:alejandra.avila@uao.edu.co)

<sup>6</sup> Ingeniero Biomédico.  
Contacto: [amgonzalezv@uao.edu.co](mailto:amgonzalezv@uao.edu.co)



## 1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con las estadísticas sobre incendios presentadas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [1], en el 2016 se presentaron más de 1.400 incendios a lo largo del país, perjudicando principalmente los departamentos de Cundinamarca (800 incendios), Huila (200 incendios), Boyacá (180 incendios) y Antioquia (130 incendios). A su vez, dichos incidentes afectaron más de 70.000 hectáreas en total, siendo el Casanare la región con mayor cantidad de daños (más de 35.000 hectáreas). Por otra parte, en el año 2018 en España murieron hasta 123 personas por incendios domésticos, donde 6 de cada 10 víctimas fallecieron a causa de intoxicación por humo [2]. Según el Consolidado Anual de Emergencias que realiza la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, en el año 2019 se registraron un total de 245 incendios estructurales en toda Colombia, de los cuales 14 se produjeron en el Valle del Cauca [3].

Acorde a estudios realizados por el Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud ISTAS de España [4], uno de los riesgos más relevantes para los bomberos es la exposición a sustancias peligrosas, cuya presencia dependerá de la ubicación y tipo de incendio. Sin embargo, un factor común independiente de estas variables es la presencia de humo, que consiste en una mezcla de partículas carbonáceas suspendidas en aire caliente junto con gases tóxicos e inflamables [5]. Cabe destacar que a pesar de que el incendio se apague, la emisión de este tipo de gases continúa, lo que implica un riesgo aún mayor para la salud de los profesionales que atienden la emergencia [4].

Los aspectos mencionados con anterioridad reflejan que es imprescindible que los profesionales como bomberos y rescatistas monitoreen constantemente los niveles de CO y gases inflamables durante la emergencia, siendo alertados cuando sus concentraciones superen los niveles seguros. De este modo se logrará prevenir numerosos inconvenientes en su salud a causa de la exposición prolongada a los agentes contaminantes y tóxicos liberados durante un incendio.

Esta necesidad también se extiende a las personas naturales (civiles), pues acorde a las estadísticas de incendios domésticos y estructurales presentadas, este es un problema común que puede afectar con facilidad a cualquier persona presente durante el incidente, por lo que a los usuarios particulares les resultaría conveniente monitorear los niveles de CO y gases inflamables, no solo durante la emergencia sino también en el transcurso de sus actividades diarias con el fin de prevenir accidentes posteriores.

La intoxicación por humo es la principal causa de morbilidad y mortalidad en los incendios. Algunas de las principales manifestaciones clínicas de este tipo de intoxicación son: irritación ocular, dolor de garganta, disfagia, tos, disnea, laringoespasma, broncoespasmo, síndrome coronario, hipoxemia, acidosis láctica y cianosis [5]. Entre los gases presentes en el humo se destaca el monóxido de carbono CO, el cual puede producir patologías cardiovasculares, anoxia tisular, problemas neurológicos o incluso la muerte después de largas horas de exposición [4]. A estas consecuencias se le suman los efectos del benceno, un gas sumamente inflamable que acorde al tiempo de exposición puede causar letargo, mareo, taquicardia, dolor de cabeza, temblores, confusión y pérdida del conocimiento, así como daños en los tejidos y en la médula ósea [6, 7].

Por otro lado, también puede presentarse la intoxicación aguda por CO, la cual es una emergencia médica común y una causa frecuente de muerte intencional o accidental, se clasifica como la principal causa de muerte por intoxicación en Estados Unidos, y en general es la causa más común de lesiones y muertes por envenenamiento en todo el mundo [8]. Según la OMS [9], un 19% de todos los cánceres son atribuibles al medio, en particular al entorno laboral, lo que supone 1,3 millones de muertes cada año; entre las sustancias presentes en el medio catalogadas como carcinógenas se destaca el benceno, llegando incluso a ser prohibido para uso industrial en diversos países [10].

Estas enfermedades pueden prevenirse si se utilizan equipos de protección al momento de ingresar a un lugar con altas concentraciones de los gases mencionados. En este capítulo se describe el proceso de diseño e implementación de un dispositivo para el monitoreo continuo de la concentración de monóxido de carbono, metano y benceno durante incendios, para así alertar al usuario de los niveles a los que está expuesto y evitar futuras consecuencias. Este dispositivo es un detector portátil, de fácil manipulación,

resistente a golpes y altas temperaturas, con alarma audible y visual de límite de exposición a corto plazo y un precio altamente asequible.

En el mercado existen diversos tipos de equipos que cumplen con la función proteger el individuo y detectar la concentración de gases a los que está expuesto; sin embargo, en medio de la amplia gama de dispositivos que pueden encontrarse, hay algunos que se destacan por la variedad de gases que pueden medir simultáneamente, por la resistencia del equipo frente a diferentes tipos de situaciones que puedan implicar golpes, exposición a incendios o lugares húmedos, y la precisión de la lectura de datos obtenidos.

El problema radica en que los equipos que suelen incluir todo lo anteriormente mencionado son generalmente de costo elevado y para algunas instituciones su adquisición llega a ser un problema, por lo cual, optan por adquirir dispositivos de bajo costo que no les brindan las mismas características y pueden llegar a poner en riesgo la vida del personal.

## 2. MÉTODO

### 2.1 Diseño conceptual

La necesidad expuesta se abordó mediante el diseño de un dispositivo para la medición de monóxido de carbono CO y otros gases presentes durante incendios, tomando como referencia la metodología de diseño propuesta por Ulrich [11]. Dicho dispositivo se caracteriza por ser asequible, portable, fácil de usar, resistente para uso en condiciones adversas y eficiente energéticamente. El mercado objetivo comprende usuarios como bomberos, grupos de rescate, comercializadoras de equipos especializados y personas naturales, donde las partes interesadas corresponden a aquellas entidades públicas y privadas relacionadas con este mercado.

Durante el proceso de identificación de requisitos se tuvo en cuenta la percepción de clientes potenciales, quienes destacan la necesidad de un dispositivo con la capacidad de medir y notificar niveles peligrosos de CO, peróxido de hidrógeno H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, ácido clorhídrico HCl o benceno H<sub>6</sub>C<sub>6</sub>, que sea portable y funcional durante incendios de cualquier índole, con un funcionamiento continuo durante al menos 24 horas y un precio asequible.

Para dar cumplimiento a estos requisitos el equipo debe contar con funciones como sensado, conversión análogo-digital, procesamiento de la señal, visualización de los datos y emisión de señales de alarma. En ese sentido, se plantearon tres conceptos que obedecen a las funciones mencionadas:

1. *Concepto 1:* Sensores MQ7 y MQ135, procesamiento en Arduino NANO, visualización de la señal en módulo display OLED, alarmas visuales y sonoras, recubrimiento de fibra de vidrio y Nylon.
2. *Concepto 2:* Sensor ME3-CO WINSSEN, procesamiento en Raspberry Pi, visualización de la señal en aplicación móvil, alarmas sonoras y vibratorias, recubrimiento de Kevlar.
3. *Concepto 3:* Sensor MQ9, procesamiento en PSoC, visualización de la señal en display LCD, alarmas sonoras, recubrimiento de fibra cerámica.

La selección del concepto a desarrollar se realizó mediante una matriz Scoring (Tabla 1) [11]. Se establecieron 10 criterios con diferentes pesos relacionados con los requisitos del dispositivo, adicionalmente, cada concepto se calificó de 1 a 5 con respecto a una referencia comercial de características similares (ET110 Carbon Monoxide Meter [12, 13]). Producto de este proceso el Concepto 1 fue seleccionado para ser desarrollado (Figura 1).

Finalmente, se ejecutó una prueba de concepto a través de encuestas diligenciadas por el mercado objetivo, quienes expresan que el concepto propuesto es apropiado para la necesidad abordada y probablemente recomendarían la adquisición de un dispositivo con estas características. Por otra parte, sugieren la adición de algunas funciones que posibiliten la medición de más gases y el monitoreo desde una zona segura, al igual que la realización de un diseño resistente tanto a la temperatura como a los golpes y que sea de fácil

mantenimiento. Acatando dichas sugerencias, se realizaron mejoras a la carcasa del dispositivo añadiendo otras 2 capas (ABS y barrera reflectante de aluminio) para mejorar su resistencia, sumado a la inclusión de un tercer sensor que permite medir gas metano CH<sub>4</sub>.

Tabla 1. Matriz Scoring

| Criterios de selección             | Peso | Conceptos  |             |            |                                      |            |             |
|------------------------------------|------|------------|-------------|------------|--------------------------------------|------------|-------------|
|                                    |      | Concepto 1 |             | Concepto 2 |                                      | Concepto 3 |             |
|                                    |      | Puntaje    | Ponderación | Puntaje    | Ponderación                          | Puntaje    | Ponderación |
| Facilidad de uso                   | 8%   | 5          | 0,4         | 3          | 0,24                                 | 4          | 0,32        |
| Costo                              | 6%   | 4          | 0,24        | 1          | 0,06                                 | 4          | 0,24        |
| Tamaño del equipo                  | 9%   | 4          | 0,36        | 4          | 0,36                                 | 4          | 0,36        |
| Peso del equipo                    | 9%   | 4          | 0,36        | 4          | 0,36                                 | 4          | 0,36        |
| Rango de medición y sensibilidad   | 12%  | 5          | 0,6         | 3          | 0,36                                 | 4          | 0,48        |
| Requisitos de alimentación         | 8%   | 4          | 0,32        | 3          | 0,24                                 | 4          | 0,32        |
| Sistema de alarma                  | 9%   | 3          | 0,27        | 3          | 0,27                                 | 2          | 0,18        |
| Portabilidad                       | 13%  | 4          | 0,52        | 2          | 0,26                                 | 4          | 0,52        |
| Duración de la batería             | 13%  | 2          | 0,26        | 3          | 0,39                                 | 2          | 0,26        |
| Resistencia a condiciones adversas | 13%  | 5          | 0,65        | 5          | 0,65                                 | 5          | 0,65        |
| Total                              |      |            | 3,98        |            | 3,19                                 |            | 3,69        |
| Posición                           |      |            | 1           |            | 3                                    |            | 2           |
| ¿Continuar?                        |      |            | SÍ          |            | NO                                   |            | NO          |
| Referencia                         |      |            |             |            | ET110 CARBÓN MONOXIDE METER [12, 13] |            |             |



Figura 1. Concepto 1 seleccionado

## 2.2 Diseño detallado

La arquitectura principal de este dispositivo se encuentra resumida en el diagrama esquemático y en el diagrama de bloques funcionales presentados en la Figura 2 y 3 respectivamente. Este monitor permite recolectar información de tres diferentes gases (monóxido de carbono, benceno y metano) de manera simultánea, con ayuda de tres sensores de la rama MQ, que permiten obtener la concentración de dicho gas en partículas por millón [14], durante un incendio. Esta información es obtenida originalmente como datos de voltaje, que serán procesados en un Arduino NANO, con un microcontrolador ATmega328p. La señal digital será mostrada en una pantalla Oled de 1.3, que se caracteriza por ser muy liviana y delgada [15], lo cual se ajusta a las especificaciones de diseño.

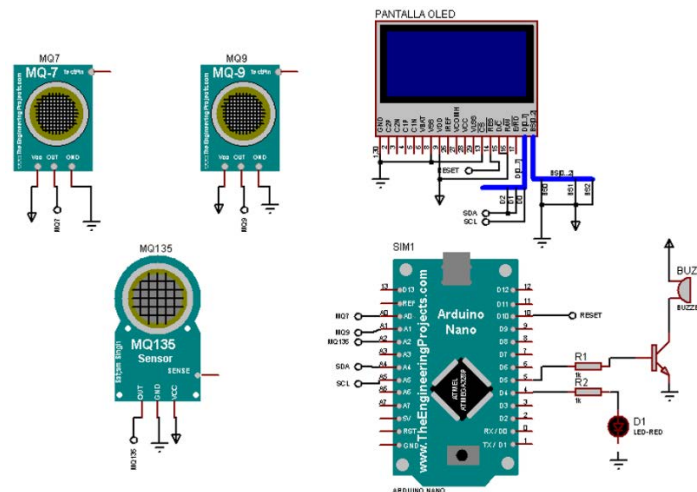


Figura 2. Diagrama esquemático

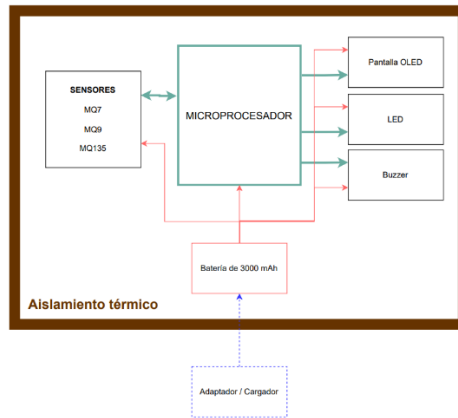


Figura 3. Agrupación de bloques físicos

Con el fin de resistir las condiciones para las cuales está diseñado este dispositivo, se contará con tres capas de diferentes materiales. Una capa externa, compuesta por fibra de vidrio y nylon, funcionando como aislante térmico externo; la capa intermedia, es el material encargado a la resistencia a golpes y caídas, que está compuesta por polímero ABS y, por último, una capa interna, diseñada para reflejar el calor por radiación, compuesta por aluminio. La fibra de vidrio es un muy buen aislante térmico, con una resistencia termomecánica del 100% después de 100 horas a 200 grados centígrados [16].

El polímero ABS es un plástico muy resistente al impacto y tiene aplicaciones en muchas áreas. Este termoplástico está compuesto por tres materiales, el acrilonitrilo es el encargado de proporcionar rigidez, resistencia a ataques químicos, dureza y estabilidad a altas temperaturas. El butadieno, genera tenacidad a la temperatura y resistencia al impacto. Por su parte, el estireno, da resistencia mecánica, rigidez, brillo y dureza [17]. Internamente el dispositivo estará cubierto por una barrera aislante de aluminio, que funciona para reflejar el aumento de calor, impidiendo que aquel que se absorbe se transfiera hacia los componentes eléctricos internos. Existen diferentes materiales para la generación de una barrera radiante, sin embargo, el aluminio es uno de los más utilizados, debido a que no absorbe ni transfiere el calor, sino que, por el contrario, lo refleja [18].

El diagrama de flujo que representa el funcionamiento lógico del monitor de gases se presenta en la Figura 4. Los sensores MQ son dispositivos electroquímicos formados por una capa sensible de óxido metálico capaz de provocar reacción cuando entra en contacto con un gas, ocasionando la disociación del gas en iones, la transferencia de electrones y la variación en la conductividad de la capa.

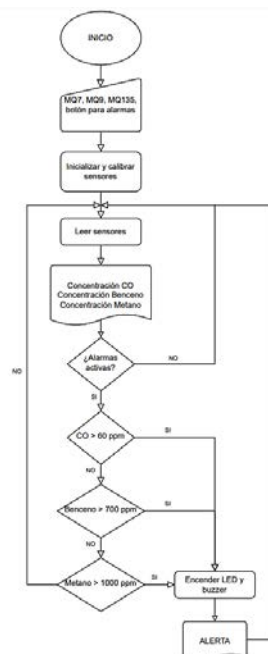


Figura 4. Diagrama de flujo

En otras palabras, estos sensores varían su resistencia cuando se exponen a determinados gases, internamente poseen un calentador encargado de aumentar la temperatura interna y así reaccionar con los gases provocando un cambio en el valor de la resistencia [19]. El sensor MQ-7 está diseñado específicamente para la detección de monóxido de carbono CO a nivel industrial o familiar. Su temperatura recomendada de funcionamiento es entre -20 y 50 °C y su rango de medición de concentración es de 20 a 2000 ppm de CO [20]. En la Figura 5 se observa la sensibilidad de este sensor a diferentes gases.

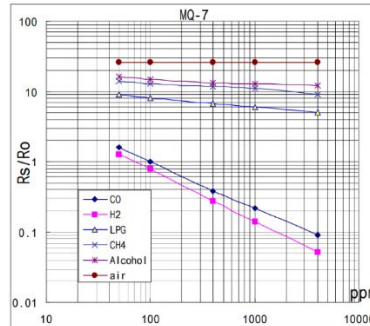


Figura 5. Sensibilidad del sensor MQ-7 a diferentes gases [20]

Entre los gases medibles por el sensor MQ-9 está el metano CH4, que es un gas presente en los incendios. Este sensor, al igual que el MQ-7 tiene una temperatura de funcionamiento de -20 a 50 grados centígrados, lo cual se ajusta muy bien a las especificaciones del proyecto. Su rango de medición de concentración de CH4 es de 500 a 10000 ppm. En la hoja de datos del sensor se puede encontrar la gráfica de sensibilidad a diferentes gases [21]. Es importante, durante los incendios, el monitoreo de benceno en el aire. Para la medición de este, se utilizará el sensor MQ-135, cuya temperatura de funcionamiento está dentro del mismo rango que los anteriores dos sensores, y su rango de medición para la concentración de benceno es de 20 a 2000 ppm.

En la hoja de datos puede encontrarse la gráfica de sensibilidad del sensor ante diferentes gases [22]. Estos módulos sensores de gases para Arduino cuentan con cuatro pines, uno de ellos para la alimentación de 5V, otro para la conexión con tierra y otros dos para las salidas análogas y digitales, AO y DO respectivamente. Para este proyecto se utilizan las salidas análogas de los sensores, las cuales devuelven un valor análogo en el pin, según la concentración de gas obtenida. Al contar con tres sensores diferentes, se utilizarán tres entradas análogas del Arduino NANO para calibrar cada sensor y realizar el cálculo de la concentración de cada gas.

Para la lectura de la concentración en partículas por millón, el *datasheet* de cada sensor proporciona las gráficas que permiten obtener la concentración del gas a partir de la relación entre la resistencia del sensor R0 y la resistencia medida Rs. También es necesario conocer la resistencia Ri, la cual está definida en la hoja de datos de cada sensor, empleada por el módulo para realizar la lectura del sensor MQ. Estas gráficas se disponen en escala logarítmica en cada uno de los ejes, y por lo general, son unas líneas rectas bajo estas escalas, de lo que resulta la siguiente función exponencial, ecuación (1) [23].

$$Concentracion = 10^{(A \cdot \log(\frac{R_s}{R_0}) + B)} \quad (1)$$

Para determinar entonces la concentración, se necesitan los valores de la pendiente e intersección de la recta con el eje Y. Para esto se escogen dos puntos conocidos de la gráfica con sus respectivas coordenadas X y Y, luego se determinan los valores de interés teniendo en cuenta la ecuación de la recta (2), así como las ecuaciones (3) y (4) correspondientes a la pendiente e intercepto con Y.

$$Y = AX + B \quad (2)$$

$$A = \frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_0} \quad (3)$$

$$B = Y_0 - AX_0 \quad (4)$$

El procesamiento digital de la señal se realizará en Arduino NANO, una placa electrónica basada en el microprocesador ATmega328P, que a través de instrucciones en lenguaje C permite realizar funciones como conversión análogo-digital, cálculo de la concentración de CO, benceno y metano, y además permite detección de condiciones de alarma, las cuales serán notificadas al personal mediante un sonido específico emitido por un parlante.

A pesar de su pequeño tamaño, sus características y especificaciones hacen de esta una placa muy útil. Su velocidad de reloj es de 16 MHz, igual que en el Arduino Uno, su memoria principal es de 2kB y el voltaje de operación es de 5V. Cuenta con 20 pines digitales de entrada y salida y 8 pines análogos de entrada. Se puede comunicar el Arduino NANO con un computador con ayuda del puerto USB, además es posible programarlo desde el computador y controlarlo a través de comunicación serial. Cuenta además con un convertidor análogo digital internamente de 10 bits [24].

El código en la plataforma de Arduino permite la digitalización y posterior visualización de la señal, iniciando con la inclusión de las librerías para toda la gama de los sensores MQ, que permiten el cálculo de la concentración de un gas específico, partiendo de la señal análoga proveniente del sensor, utilizando dos posibles métodos que son la regresión lineal y la regresión exponencial. Por su parte las librerías para la pantalla OLED, permiten la inicialización y configuración de esta para la visualización de la señal. Una vez incluidas las librerías para nuestro proyecto, se definen tanto los pines de la pantalla, como los pines de los sensores, al igual que los datos para el proceso de calibración. Posteriormente a la inicialización del display, se define el método que se utilizará para el cálculo de la concentración de los gases, se calcula dicha concentración y se muestra en la pantalla.

Para la visualización de los datos se emplea una Pantalla OLED de 1.3" (35mm x 33mm x 3mm), caracterizada por ser delgada, liviana, monocroma (píxeles blancos y fondo negro), de menor consumo energético que la tecnología LED o LCD, y menor susceptibilidad al cambio de temperatura. Cuenta con una resolución de 128x64 píxeles permitiendo controlar cada píxel individualmente para así mostrar tanto texto como gráficos [25]. En este caso, además de permitir visualizar la concentración de los gases medidos, facilita la presentación de una alerta visual al encontrarse en condiciones de alarma.

Este módulo consta de siete pines de los cuales uno está destinado para la conexión a tierra, el segundo para la alimentación de la pantalla, el tercero llamado SCK es el pin para la señal de reloj del Arduino, el cuarto pin es el pin de datos tanto para la comunicación SPI e I2C, el pin número 5 es el de *reset*, el sexto es el pin de comando y por último tenemos el pin de chip *select* [26].

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

El prototipo Alfa del dispositivo fue realizado en la plataforma Arduino. El equipo emite una alarma tanto auditiva como sonora, para lo que fue empleado un *buzzery* un diodo LED. La medición de la concentración de los gases se realiza por sensores MQ, pero de momento no fue posible encontrar patrones de calibración para todos los gases, así que algunos fueron simulados por medio de potenciómetros que permiten variar la concentración; por último, la visualización de dichas concentraciones se logra a través de una pantalla LCD. Respecto a la carcasa, esta fue realizada con PETG utilizando la técnica de corte láser, en su interior cuenta con una capa de aislante de aluminio (termoflón) para evitar el calor por radiación y en su parte externa se encuentra recubierta por fibra de vidrio. En la Figura 6 se muestran diversas imágenes del dispositivo implementado.



Figura 6. Diversas vistas del prototipo implementado

Para corroborar el funcionamiento de las alarmas, teniendo en cuenta que no se tenía el entorno adecuado para medir altas concentraciones de los gases, se reemplazaron los sensores por potenciómetros, los cuales simulaban el incremento de la concentración a medida que aumentaba el voltaje; mediante esta prueba se logró comprobar que las 3 alarmas se activaron una vez se cruzaba el umbral de concentración, además de aumentar la frecuencia y duración del tono conforme aumentaba la concentración, demostrando un comportamiento efectivo. Por otro lado, en la visualización del dispositivo, primero se planteó el diseño con una pantalla OLED, caracterizada por ser pequeña y brindar una buena definición, sin embargo, debido a restricciones económicas durante el prototipado, se reemplazó por una LCD que demostró un funcionamiento apropiado para lo que se requería.

Como el funcionamiento del dispositivo está relacionado con la exposición a altas temperaturas, se procedió a realizar un diseño prototipo en SolidWorks con simulación térmica que brindara una mayor seguridad en cuanto a los materiales para la carcasa, garantizando que redujera los posibles problemas de sobrecalentamiento del dispositivo, ya sea por fricción mecánica o componentes para el tratamiento térmico como es este caso.

SOLIDWORKS Simulation cuenta con un análisis térmico capaz de predecir el comportamiento del calor del diseño y así poder hacer cambios en la geometría del mismo, esto en caso de que los materiales elegidos para las 3 capas de la carcasa no sean aptos para soportar el nivel de temperatura de exposición o cualquier otro factor físico que esté alterando las condiciones de trabajo del dispositivo. Para ello crearon dos materiales de los tres elegidos según la evaluación de criterios (fibra de vidrio y PETG) porque no existían en las librerías; la relación de las 3 carcasas se espera que esté alrededor del 10% en convección, además se decide exagerar en el valor de potencia calórica de los sensores (10W) para aumentar los números de referencia en los resultados y así encontrarse los 3 materiales en un rango de aceptación para su debida elaboración.

Según las pruebas realizadas, el nivel más alto de temperatura se centra en los pines de los sensores, sin embargo, es un nivel aceptable y manejable ya que no produce un mayor riesgo para el funcionamiento del dispositivo, pero en un periodo de exposición prolongado puede generar un pequeño sobrecalentamiento del dispositivo. La Figura 7 muestra los resultados de la simulación térmica.

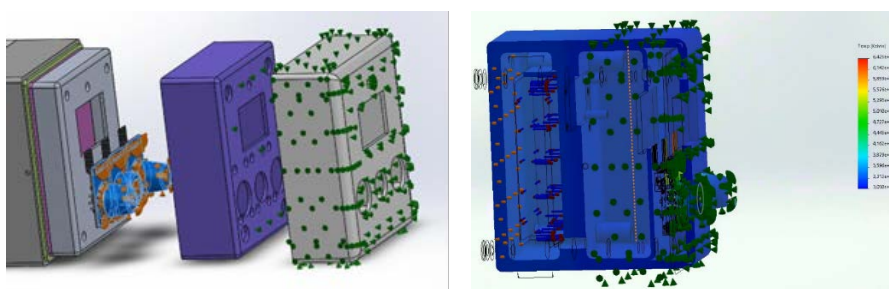


Figura 7. Resultados de la simulación térmica

#### 4. CONCLUSIONES

El monitoreo continuo de gases es una actividad muy importante en cualquier tipo de establecimiento comercial, público, privado o industrial, para garantizar un espacio de trabajo en óptimas y sanas condiciones para todo el personal de la organización. Durante los incendios, es una cuestión crítica medir constantemente la concentración de ciertos gases como el monóxido de carbono, metano y benceno, que son tóxicos e incluso letales para las personas en grandes cantidades.

En este trabajo se presentó un monitor de gases para ser utilizado por personal de rescate y bomberos, con el fin de controlar la concentración de tres diferentes gases que son el monóxido de carbono, benceno y metano, utilizando la rama de sensores MQ. Este sistema permite avisar al usuario cuando los diferentes gases sobrepasen las concentraciones seguras con dos diferentes tipos de alarma, una visual, para la cual se utilizó un diodo led, y una alarma sonora, utilizando un *buzzer*, que según la concentración y gases altos tiene una frecuencia diferente. Estos límites se establecieron según la literatura, teniendo en cuenta las

concentraciones a las cuales las personas inician a tener síntomas de intoxicación, como lo son la tos, mareos y dolor de cabeza.

Este primer prototipo tenía como función hacer una evaluación de concepto y pruebas preliminares. Se piensa en un futuro refinar el diseño y la fabricación, y realizar actualizaciones, como la comunicación por módulo bluetooth o internet con un dispositivo móvil, para que el bombero encargado de todo el personal pueda monitorear en tiempo real y continuo a todo el personal que esté atendiendo el incendio. Además, se podrán adaptar diferentes accesorios al monitor, para poder medir la concentración de gas en tuberías, fluidos, entre otros.

## REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016). Estadísticas sobre incendios. Recuperado: <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/estadisticas-incendios>
- [2] La Vanguardia. (2019). Los incendios domésticos causaron 123 víctimas mortales en 2018. Recuperado: <https://www.lavanguardia.com/seguros/hogar/20191107/471438875296/incendio-fuego-en-casa-fuego-detectores-de-incendios-siniestro-por-fuego-victimas-fuego.html>
- [3] Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. (2021). Consolidado Atención de Emergencias. Recuperado: <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Consolidado-Atencion-de-Emergencias.aspx>
- [4] López M. (2004). Enfermedades de los bomberos. Una revisión de la literatura a demanda de la Federación de Servicios y Administraciones Públicas de CC.OO. Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud.
- [5] Dueñas A. et al. (2010). Bases del manejo clínico de la intoxicación por humo de incendios. *Medicina intensiva* 34(9), 609-619.
- [6] Olivera C. (2018). Identificación de ácido hipúrico y fenoles en orina de trabajadores, con exposición laboral, de imprentas del Centro Comercial Lima, Cercado de Lima. Trabajo de grado. Universidad Norbert Weiner. Perú.
- [7] Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2016). Resumen de Salud Pública: Benceno (Benzene). Recuperado: [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs3.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs3.html)
- [8] Bolaños P. y Chacón C. (2017). Intoxicación por monóxido de carbono. *Medicina Legal de Costa Rica* 34(1).
- [9] Organización Mundial de la Salud. (2011). Cánceres de origen ambiental y ocupacional. Recuperado: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs350/es/index.html>
- [10] Asprilla L. (2013). Leucemia por exposición a benceno en los trabajadores de las refinerías de petróleo. Trabajo de grado. Universidad de Antioquia. Colombia.
- [11] Ulrich K. et al. (2020). *Product design and development*. McGraw-Hill.
- [12] Klein Tools. (2022). Instruction manual carbon monoxide meter. Recuperado: [https://data.kleintools.com/sites/all/product\\_assets/documents/instructions/klein/ET110-WEB%20INSTRUCTIONS.pdf](https://data.kleintools.com/sites/all/product_assets/documents/instructions/klein/ET110-WEB%20INSTRUCTIONS.pdf)
- [13] Amazon. (2022). Klein Tools Medidor de CO ET110, probador de monóxido de carbono y detector con alarma de límite de exposición, 4 pilas AAA y bolsa de transporte incluida. Recuperado: <https://www.amazon.com/Carbon-Monoxide-Klein-Tools-ET110/dp/B071GGL75N>
- [14] Mercado Libre. (2022). Sensores Mq2 Mq4 Mq9 Gas Metano, Humo, Co2. Arduino. Recuperado: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-451283409-sensores-mq2-mq4-mq9-gas-metano-humo-co2-arduino-\\_JM?searchVariation=55006102231#searchVariation=55006102231&position=2&search\\_layout=stack&type=item&tracking\\_id=d9c0f06e-0098-4865-9fb7-752443c90987](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-451283409-sensores-mq2-mq4-mq9-gas-metano-humo-co2-arduino-_JM?searchVariation=55006102231#searchVariation=55006102231&position=2&search_layout=stack&type=item&tracking_id=d9c0f06e-0098-4865-9fb7-752443c90987)
- [15] Mercado Libre. (2022). Pantalla Oled 128x64 I2c Arduino. Recuperado: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-559812247-pantalla-oled-128x64-i2c-arduino-\\_JM?searchVariation=55006102231#searchVariation=55006102231&position=2&search\\_layout=stack&type=item&tracking\\_id=d9c0f06e-0098-4865-9fb7-752443c90987](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-559812247-pantalla-oled-128x64-i2c-arduino-_JM?searchVariation=55006102231#searchVariation=55006102231&position=2&search_layout=stack&type=item&tracking_id=d9c0f06e-0098-4865-9fb7-752443c90987)
- [16] Alibaba. (2022). CE aprobado 100% de Fibra de vidrio de emergencia resistente al fuego. Recuperado: [https://spanish.alibaba.com/product-detail/ce-approved-100-glass-fiber-emergency-fire-resistant-blanket-1600125691675.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal\\_offer.d\\_title.18f56819gewwiY&as=ps](https://spanish.alibaba.com/product-detail/ce-approved-100-glass-fiber-emergency-fire-resistant-blanket-1600125691675.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.18f56819gewwiY&as=ps)
- [17] Impresoras3D.com. (2018). El material de impresión ABS y sus características. Recuperado: <https://www.impresoras3d.com/el-material-de-impresion-abs-y-sus-caracteristicas/>
- [18] Prucommercialre.com. (2022). ¿Qué es la barrera radiante Foil? Recuperado: <https://www.prucommercialre.com/que-es-la-barrera-radiante-foil/>
- [19] Naylamp Mechatronics. (2022). Tutorial sensores de gas MQ2, MQ3, MQ7 Y MQ135. Recuperado: [https://naylampmechatronics.com/blog/42\\_tutorial-sensores-de-gas-mq2-mq3-mq7-y-mq135.html](https://naylampmechatronics.com/blog/42_tutorial-sensores-de-gas-mq2-mq3-mq7-y-mq135.html)
- [20] Hanwei Electronics Co. (2022). Technical data MQ-7 GAS SENSOR. Recuperado: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-7.pdf>
- [21] Hanwei Electronics Co. (2022). Technical data MQ-9 GAS SENSOR. Recuperado: [https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MQ-9\\_Hanwei.pdf](https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MQ-9_Hanwei.pdf)
- [22] Hanwei Electronics Co. (2022). Technical data MQ-135 GAS SENSOR. Recuperado: <https://www.olimex.com/Products/Components/Sensors/Gas/SNS-MQ135/resources/SNS-MQ135.pdf>



- [23] Llamas L. (2016). Detector de gases con Arduino y la familia de sensores MQ. Recuperado: <https://www.luisllamas.es/arduino-detector-gas-mq/>
- [24] Spiceman. (2020). Especificaciones/funciones de Arduino Nano. Recuperado: <https://spiceman.net/arduino-nano/>
- [25] Mactronica. (2022). Pantalla OLED 1.3 SH1106 128X64. Recuperado: <https://www.mactronica.com.co/pantalla-lcd-oled-13-sh1106-128x64-arduino>
- [26] Components101. (2018). Pantalla OLED monocromática de 0.96" (SSD1306). Recuperado: <https://components101.com/displays/oled-display-ssd1306>

# Impacto económico en alevineras de tilapia *Oreochromis sp.* por presencia de macroinvertebrados acuáticos depredadores

Santiago Gutiérrez Quintero<sup>1</sup>  
Natalia Walteros Pérez<sup>2</sup>  
Luis Carlos Losada Benavides<sup>3</sup>  
Hernán Alberto Vela Melo<sup>4</sup>  
Jorge Bernardo Ramírez Zarta<sup>5</sup>  
<sup>1-3,5</sup> Corporación Universitaria de Huila  
<sup>4</sup> Itacol  
Colombia

El cultivo de tilapia *Oreochromis sp.* es un proceso constante y todos los periodos son primordiales para el triunfo en la producción; no obstante, hay peligros de pérdidas asociados a la existencia de macroinvertebrados acuáticos depredadores en estado larval o adulto, relacionados a las órdenes Odonata, Hemiptera y Coleóptera, lo que ocasiona afectaciones en el sector productivo piscicultor. Esta investigación muestra la caracterización de la diversidad de macroinvertebrados acuáticos depredadores de alevines de tilapia y el impacto económico al sector productivo piscicultor en la región. Para ello se realizaron tres muestreos entre octubre de 2021 y febrero de 2022; igualmente, se calculó un índice de depredación para establecer las pérdidas económicas, y se caracterizó la comunidad biótica y la calidad del agua mediante el ICA NSF en dos granjas piscícolas alevineras ubicadas en el municipio de Campoalegre, Colombia. En el área de estudio se registraron 18 especies, de las cuales *Pantala flavescens* y *Tropisternus sp.* depredaron 2 alevín/día, *Lethocerus sp.* depredó 6 alevín/día y *Buenoa sp.* 1,5 alevín/día, siendo éstas las especies que mostraron índices de depredación. El análisis estadístico mostró que los parámetros OD, pH, fosfatos y alcalinidad presentan una correlación confiable (Sig = 0,05) con los índices de diversidad y dominancia de los macroinvertebrados. Por su parte, la Conductividad Eléctrica CE fue el único parámetro que obtuvo una correlación de alta confiabilidad (Sig = 0,01) con los mismos índices. Para la proyección del efecto económico se seleccionó el lago S2 durante la etapa de alevinaje, con un área total de 2.538 m<sup>2</sup> en la granja piscícola La Sirena, porque presentó mayor diversidad de especies que depredaron en la etapa de bioensayo; las pérdidas económicas por depredación se proyectaron en COP \$3.523.590 en ese lago.

---

<sup>1</sup> Biólogo y Magíster en Ecología y Gestión de ecosistemas estratégicos.

Contacto: [santiago.gutierrez@corhuila.edu.co](mailto:santiago.gutierrez@corhuila.edu.co)

<sup>2</sup> Ingeniera Ambiental.

Contacto: [nataliawalteros\\_20182@corhuila.edu.co](mailto:nataliawalteros_20182@corhuila.edu.co)

<sup>3</sup> Químico y Magíster en Hidrología y Gestión de los recursos hídricos.

Contacto: [luis.losada@corhuila.edu.co](mailto:luis.losada@corhuila.edu.co)

<sup>4</sup> Ingeniero en Producción acuícola, Especialista en Acuicultura y Magíster en Salud y producción animal.

Contacto: [hernanvela@italcol.com](mailto:hernanvela@italcol.com)

<sup>5</sup> Licenciado en Matemáticas y Física, Especialista en Sistemas Dinámicos y Magíster en Matemáticas Aplicadas.

Contacto: [jorge.ramirez@corhuila.edu.co](mailto:jorge.ramirez@corhuila.edu.co)

## 1. INTRODUCCIÓN

El Municipio de Campoalegre se localiza en la región centro del departamento del Huila el cual está rodeado por el río Magdalena y la represa de Betania; sus condiciones climáticas y ubicación geográfica a 30Km de la capital del departamento crean condiciones de desarrollo de alta producción en piscicultura [1]. En la última década Colombia ha aumentado su producción acuícola por encima del 200% con especies como cachama, trucha, camarón, Tilapia y otras especies nativas. De acuerdo con [2], el Huila es el principal departamento piscicultor con un 39% de la producción nacional, y un 85% en volúmenes de exportación de Tilapia lo que aporta al región productivo del departamento y del país.

La piscicultura aparte de ser un negocio que beneficia al departamento del Huila y al país en el sector económico, es todo un arte, el cuidado adecuado del cultivo de peces requiere de conocimientos sobre biología, química, ecología e ingeniería, para realizar los procesos de varias etapas que demanda la piscicultura, siendo fundamental para el éxito en la producción y dentro de éste, el pez más utilizado a nivel mundial es la Tilapia (*Oreochromis sp.*)

Los macroinvertebrados acuáticos MAIA son animales sin esqueleto interno de gran tamaño (más de 500  $\mu\text{m}$ ) que viven en sistemas de agua dulce (lénticos y lóticos) sobre el fondo de lagos y ríos, enterrados en el fondo, sobre rocas y troncos sumergidos, adheridos a vegetación flotante o enraizada, algunos nadan libremente dentro del agua o sobre la superficie [3]. Los hábitos alimenticios pueden ser herbívoros, detritívoros, carnívoros y omnívoros, pero cabe resaltar que son voraces y agresivos depredadores que se alimentan de todo lo que puedan capturar, como insectos que caen al agua, larvas de peces y anfibios [4].

En relación con lo anterior, existen pérdidas económicas asociadas a la presencia de macroinvertebrados acuáticos depredadores en estado larval o adulto, pertenecientes a órdenes como: Odonata, Hemíptera y Coleóptera, siendo un factor clave en el descenso de producción de Tilapia roja, causando así un impacto económico significativo en la piscicultura y principalmente en la etapa de alevinaje, el cual es desconocido por los piscicultores y poco o nada investigado a nivel académico.

Por tal razón, el manejo del cuidado del cultivo de Tilapia debe estar basado en el conocimiento integral de su fauna acuática como también de la calidad del agua, que es determinada por sus propiedades fisicoquímicas (temperatura, oxígeno, pH y transparencia). Una variación de los anteriores parámetros afecta la producción y el ciclo reproductivo de los peces, por tanto, es importante conocer y mantener los rangos óptimos para el desarrollo de la Tilapia [5].

En consecuencia, la investigación expone el impacto económico por presencia de macroinvertebrados acuáticos depredadores encontrados en las alevineras de Villa Dana y La Sirena en tres campañas de muestreo durante 5 meses.

Permitiendo la generación de nuevo conocimiento para el sector piscícola, ya que existen muy pocos estudios específicos en relación con el tema y menos aún cifras que permitan estimación o reflejen los costos de producción, lo cual aportará al fortalecimiento de alianzas y estrategias para el mejoramiento de la producción en la etapa de alevinaje, teniendo en cuenta además la correlación de parámetros fisicoquímicos del agua, los organismos que pueden estar presentes en los estanques y que representan amenaza por depredación [6].

## 2. MÉTODO

La investigación se llevó a cabo en la empresa Comercializadora Internacional Piscícola Botero S.A. estación Villa Dana y La Sirena (Figura 1), municipio de Campoalegre del departamento del Huila. En la estación Villa Dana se trabajó con el estanque de etapa de alevinaje LV1 y en la estación La Sirena fueron dos los estanques seleccionados: LS1 y LS2.

En los estanques seleccionados se realizaron tres campañas de muestreo de calidad de agua y de macroinvertebrados acuáticos depredadores simultáneamente; el periodo en que se realizaron fue en los

meses de octubre y diciembre de 2021 y febrero del 2022. Finalizado el periodo de muestreos se realizaron bioensayos para calcular los índices de depredación de los macroinvertebrados y así, estimar las pérdidas económicas en un estanque.

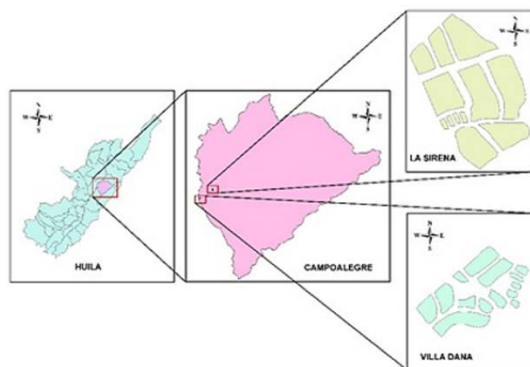


Figura 1. Área de estudio

## 2.1 Muestreo de macroinvertebrados

Para el muestreo de MAIA en los lagos de alevinaje LS1, LS2 y LV1, se realizó un recorrido en las orillas del lago, pasando por rocas y vegetación emergente hasta 1 metro de profundidad, se utilizó la red D-Net para la recolección de las muestras presentes. La limpieza de las muestras se llevó a cabo en bandejas plásticas blancas haciendo uso de pinzas entomológicas y pinceles; en la conservación de las muestras se utilizó alcohol etílico al 98% en frascos de vidrio etiquetados con fecha y lago de estudio, de igual manera, en cada muestreo se diligenció la cartera de campo y lista de chequeo, donde se registraron datos del desarrollo del muestreo, la metodología empleada fue la sugerida en [7].

La determinación taxonómica de las muestras de MAIA se realizó en el laboratorio de limnología de Corhuila, se emplearon guías taxonómicas de [8], [9], [10] y [11], el estereomicroscopio con cámara digital Leica ez4w, con aumentos de 8x a 35x, 7 puntos LED y cámara integrada (Figura 2).



Figura 2. Laboratorio de limnología de Corhuila

Con la clasificación taxonómica de cada organismo se procedió a realizar los siguientes índices comunitarios.

### 2.1.1 Índice de diversidad de Shannon-Weaver $H'$

Para el que se utilizó la ecuación (1), donde  $n_i$  = número de individuos de la especie  $i$ ,  $n$  = número total de individuos de la muestra y  $\ln$  = logaritmo natural.

$$H = -\sum \left(\frac{n_i}{n}\right) \times \ln\left(\frac{n_i}{n}\right) \quad (1)$$

### 2.1.2 Índice de dominancia de Simpson $D$

Mediante la ecuación (2), donde  $n_i$  = número de individuos de la especie  $i$  y  $N$  = número total de individuos de la muestra.

$$D = \sum \frac{ni(ni-1)}{N(N-1)} \quad (2)$$

## 2.2 Bioensayos

La metodología empleada en los bioensayos (Figura 3) es la investigación desarrollada en [6]. Para su desarrollo se seleccionó la diversidad del LS2, en el cual se efectuaron simulaciones experimentales en peceras con dimensiones de 9,5 cm de ancho, 22 cm de largo y 17 cm de alto, donde además de vegetación y pequeñas rocas que simulaban su hábitat natural dentro del estanque, se pusieron 10 alevines de Tilapia junto con un individuo de cada especie de macroinvertebrado acuático previamente determinado, cabe resaltar que el agua utilizada para los bioensayos fue tomada del mismo lago donde se capturaron los alevines. Para evitar el traslado de las especies hacia el laboratorio se elaboró el montaje en la granja y se realizó seguimiento en un lapso de 24 horas donde se observó el comportamiento de las especies respecto a los alevines y cantidad de individuos depredados por cada especie de MAIA.



**Figura 3.** Bioensayos. a. Diseño de pecera con dimensiones, b. Laboratorio en Villa Dana, c. Montaje de acuarios

La toma de muestras para los bioensayos se realizó en los lagos de Sirena LS1, LS2 y en el lago LV1, de Villa Dana, se realizaron 4 barridos con la red D-Net a lo largo de las orillas de cada lago con dimensiones de 0,5 m de ancho y 10 m de largos, hasta 1 metro de profundidad, con el fin de obtener datos comparables con el esfuerzo del muestreo. Los alevines que se usaron tenían 21 días, 13,8 mm de longitud y 0,053g de peso promedio.

Es fundamental considerar la disposición espacial en la decisión de la muestra agregada de los macroinvertebrados acuáticos en los lagos, o sea, la forma en que los insectos se hallan dispuestos en el ambiente debido a que no todos los aspectos de este poseen la misma posibilidad de ser habitados por macroinvertebrados acuáticos, sin embargo, en las orillas hasta un metro de profundidad la disposición espacial es al azar; esto se debería a que los MAIA usan el sustrato duro (rocas) y la vegetación emergente para sostenerse, o para colocar sus puestas en épocas reproductiva [12].

## 2.3 Calidad de agua

Se seleccionaron tres puntos en cada lago para el muestreo de parámetros fisicoquímicos (entrada, medio y salida), se tomaron las muestras a una profundidad de 20 cm desde la superficie, las muestras fueron debidamente conservadas hasta su análisis en el laboratorio en envases PET; los parámetros analizados fueron conductividad eléctrica CE, pH, oxígeno disuelto OD, temperatura, demanda bioquímica de oxígeno DBO, turbidez, nitratos, cobre total, fosfatos, sólidos disueltos totales TDS y Alcalinidad. Los análisis en el laboratorio se realizaron con metodologías previamente validadas en el laboratorio de análisis de aguas de la CORHUILA, para los parámetros *in situ* se utilizó el multiparámetro Thermo Scientific Orion Star serie A320 y para los métodos espectrofotométricos el equipo YSI 9500.

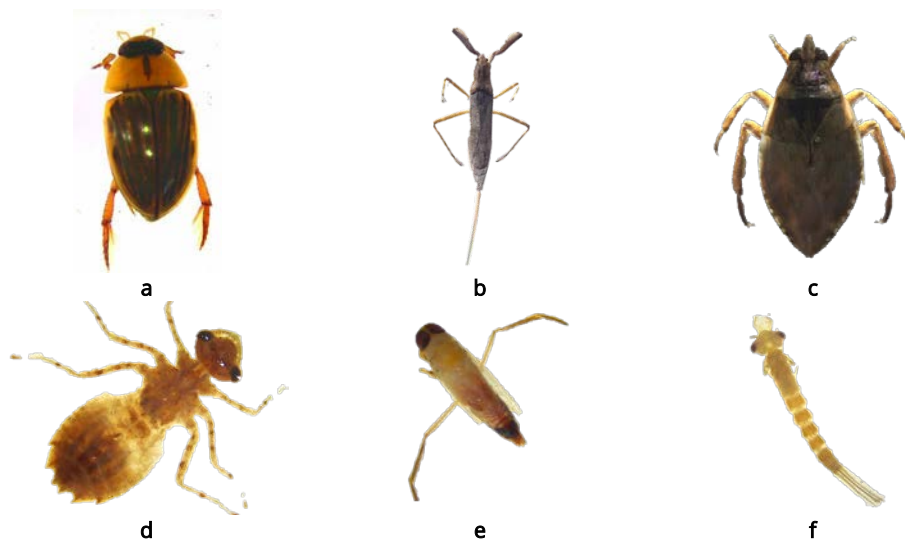
## 2.4 Diseños estadísticos

Se realizó la prueba de normalidad Shapiro-Wilk, los resultados evidenciaron que las variables fisicoquímicas fueron paramétricas y las variables biológicas fueron no paramétricas; se realizó una matriz de correlación de Spearman, donde se analizaron variables con alta correlación bivariada y aquellas con alto nivel de confianza, por último, se realizó un análisis de componentes principales que permitieron agrupar las variables de acuerdo con su correlación múltiple. Se empleó el software IBM SPSS statistics 25.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

#### 3.1 Macroinvertebrados

El total de ejemplares de MAIA predadores recolectados y determinados fue de 528 individuos, pertenecientes a 1 clase, 3 órdenes y 18 familias. El orden con mayor riqueza de especies fue el Hemiptera (8), seguido de Odonato (6) y el menor registro de especies se encontraron en los Coleópteros (4), como se evidencia en la Tabla 1. La proliferación de insectos aumenta por la vegetación litoral de los ecosistemas acuáticos, lo que ofrece condiciones ideales para que los insectos en estado adulto realicen su ovoposición, parte importante de su ciclo de vida [13]. En la Figura 4 se muestran algunas de las especies encontradas en la etapa de muestreo



**Figura 4.** Algunos MAIA encontrados. A. *Tropisternus sp.*, b. *Curicta sp.*, c. *Belostoma micantulum*, d. *Dythemis sp.*, e. *Buenoa sp.*, f. *Ischnura sp.*

Los lagos piscícolas antes de ser utilizados para las siembra de los alevinos, son puestos en mantenimiento y desinfección, este proceso sucedió días antes de realizar la primera campaña de muestreo y como se evidencia en la Tabla 1, puede explicarse la baja abundancia de organismos encontrados (Figura 5), contrario a lo que se evidenció en el muestreo 2 y 3, en esta fase de campo el ecosistema acuático contaba con un tiempo superior a un mes de haber sido sembrados los alevinos, lo que con lleva a que las condiciones ecosistémicas acuáticas favorezcan a la colonización por organismos adultos de la clase Insecta.

**Tabla 1.** Macroinvertebrados acuáticos depredadores encontrados, clase Insecta.

| Orden      | Familia        | Especie                     | Muestreo 1 |     |     | Muestreo 2 |     |     | Muestreo 3 |     |     |
|------------|----------------|-----------------------------|------------|-----|-----|------------|-----|-----|------------|-----|-----|
|            |                |                             | LS1        | LS2 | LV1 | LS1        | LS2 | LV1 | LS1        | LS2 | LV1 |
| Hemiptera  | Corixidae      | <i>Centrocorisa kollari</i> | 2          |     |     |            |     |     |            |     |     |
|            | Nepidae        | <i>Curicta sp.</i>          |            |     |     | 1          |     |     | 1          |     |     |
|            | Notonectidae   | <i>Buenoa sp.</i>           | 1          | 3   |     | 40         | 35  | 7   | 46         | 6   |     |
|            | Mesoveloidea   | <i>Williamsi sp.</i>        |            |     |     | 3          |     |     | 6 10 3     |     |     |
|            | Belostomatidae | <i>Belostoma micantulum</i> |            |     |     | 1          |     |     |            |     |     |
|            |                | <i>Lethocerus sp.</i>       |            |     |     |            |     |     | 3          |     |     |
|            | Gerridae       | <i>Trepobates terpidus</i>  |            |     |     | 8          |     |     | 2 8 2 6    |     |     |
|            | Mesoveliidae   | <i>Mesovelia mulsanti</i>   |            |     |     |            |     |     | 2          |     |     |
| Odonata    | Libellulidae   | <i>Dythemis sp.</i>         | 4          |     |     | 1          |     |     | 20         |     |     |
|            |                | <i>Tramea sp.</i>           | 1          |     |     |            |     |     |            |     |     |
|            |                | <i>Macrothemis sp.</i>      |            |     |     | 3          |     |     | 2 23       |     |     |
|            | Coenagrionidae | <i>Pantala flavescens</i>   |            |     |     | 1          |     |     | 1          |     |     |
|            |                | <i>Ischnura sp.</i>         | 13         |     |     | 4          |     |     | 7 17 4 1   |     |     |
|            |                | <i>Acanthagrion sp.</i>     | 1          |     |     | 12         |     |     | 8 19 3     |     |     |
| Coleoptera | Hydrophilidae  | <i>Hydrophilus sp.</i>      |            |     |     | 1          |     |     | 6 4 3 3    |     |     |
|            |                | <i>Tropisternus sp.</i>     | 7          | 7   | 6   | 13         | 38  | 30  | 29         | 11  | 20  |
|            | Dytiscidae     | <i>Berosus sp.</i>          |            |     |     | 1          |     |     | 1          |     |     |
|            |                | <i>Thermonectus sp.</i>     | 1          |     |     |            |     |     | 3 5        |     |     |

|                     |    |     |     |
|---------------------|----|-----|-----|
| Total de Organismos | 47 | 225 | 256 |
| Total de Especies   |    |     | 18  |
| Total de Familias   |    |     | 11  |

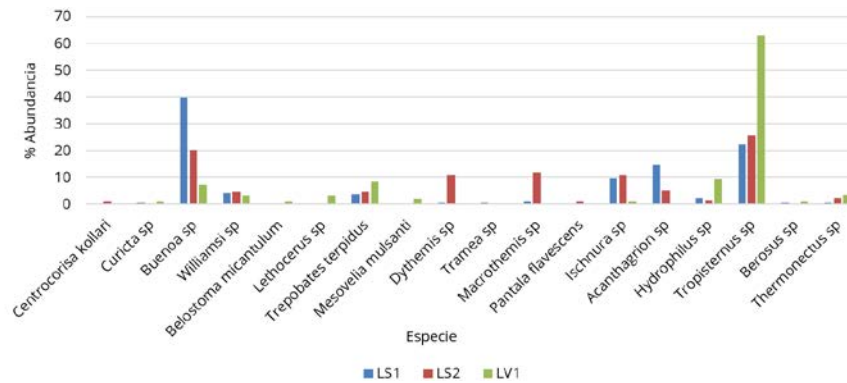


Figura 5. Porcentaje de abundancia de MAIA

En los tres muestreos efectuados se observa que la especie con mayor abundancia y representatividad en los tres lagos fue el *Tropisternus sp.* (65,12% LV1), seguido del *Buenoa sp.* (40% LS1), este comportamiento de la abundancia permite suponer que los lagos ofrecen las mejores condiciones para el establecimiento y desarrollo de la fauna de estas especies; en contraste con *Centrocorisa kollari* y *Mesovelia mulsanti* que no superan el 1% y su presencia se reportó en una campaña de muestreo.

Para el índice de Shannon no existe un valor máximo, no obstante, el valor mínimo es cero, se interpreta que valores menores a 2 son ecosistemas con una diversidad de especies relativamente baja, es decir, de los cuatro lagos muestreados el LS2 representa relativamente una diversidad moderada con 2,02. Por otro lado, el índice de dominancia de Simpson tiene un rango de 0 a 1, en el cual los valores cercanos a 1 indican homogeneidad y dominancia de una especie sobre las demás pertenecientes a una comunidad [7]. En este estudio se observó que la mayor diversidad se relaciona al LS2 probablemente se deba a la presencia de vegetación ribereña y al ser el lago con mayor tamaño (2.538 m<sup>2</sup>), estos factores influyen en la riqueza de especies [6, 14, 15].

### 3.2 Bioensayos

Para la proyección del impacto económico generado por los MAIA predadores se tuvo en cuenta el lago con mayor riqueza de especies LS2 como se evidencia en la Figura 6.

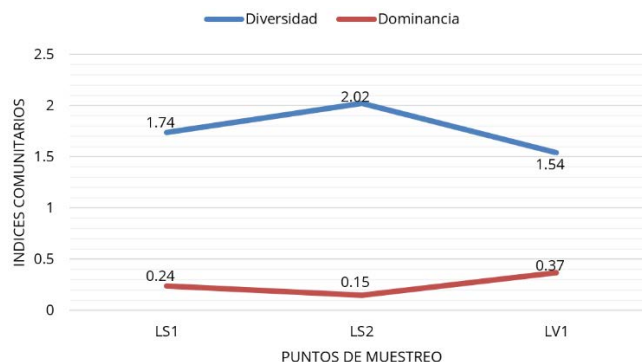


Figura 6. Diversidad y Dominancia de MAIA

Durante el bioensayo en peceras se observó (Figura 7) que la especie con mayor actividad depredadora fue *Lethocerus sp.* (6 alevines/día), las morfoespecies *Pantala flavescens* y *Tropisternus sp.* en estado larval depredaron a 2 alevines/día respectivamente. De todas las especies empleadas para el bioensayo no todas registraron predación en el lapso de 24 horas sobre los alevines, como las ninfas de *Acanthagrion sp.* y larvas de *Buenoa sp.* que son depredadoras activas dentro de un ecosistema acuático [15], su comportamiento se pudo ver afectado por la acción del aireador de la pecera lo cual generó ruido constante y movimientos en el agua.



Figura 7. Macroinvertebrados acuáticos que depredaron durante el bioensayo. a. *Lethocerus sp.*, b. *Tropisternus sp.* en estado larva, c. *Pantala flavescens*

### 3.3 Pérdidas económicas a causa de organismos encontrados en las alevineras

Dentro del ecosistema acuático léntico, el hábitat de los macroinvertebrados depredadores se observó que era sobre el perímetro hasta medio metro de distancia hacia el centro del lago y con una profundidad no mayor a un metro; para el caso del LS2 cuya área total es de 2.538 m<sup>2</sup>, el área efectiva fue de 94 m<sup>2</sup>, dato de referencia que se empleó para calcular la cantidad estimada de organismos como se evidencia en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores de pérdidas económicas por depredación en el lago LS2 de La Sirena, (datos en pesos colombianos)

| MAIA Predador             | organismos estimados (en 94 m <sup>2</sup> ) | Índice de predación Alevín/día | Pérdidas diarias de alevines | Alevines depredados 30 días | Etapas de alevinaje | Anuales (7 siembras) |
|---------------------------|--|--------------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------|----------------------|
| <i>Lethocerus sp.</i>     | 14,1   | 6                              | 84,6                         | 2.538                       | \$ 177.660          | \$ 1.243.620         |
| <i>Pantala flavescens</i> | 4,7  | 2                              | 9,4                          | 282                         | \$ 19.740           | \$ 138.180           |
| <i>Tropisternus sp.</i>   | 51,7   | 2                              | 103,4                        | 3.102                       | \$ 217.140          | \$ 1.519.980         |
| <i>Buena sp.</i>          | 28,2   | 1,5                            | 42,3                         | 1.269                       | \$ 88.830           | \$ 621.810           |
|                           |  |                                | Total                        | 7.191                       | \$ 503.370          | \$ 3.523.590         |

Para la proyección de las pérdidas económicas fue necesario hallar el índice de depredación de Tilapias por especie de MAIA predador y el costo del alevín en el mercado (\$70 COP); durante el bioensayo se registró que la morfoespecie *Lethocerus sp.* consumió 6 alevines/día, siendo el organismo más voraz, seguido por *Tropisternus sp.* con una tasa de depredación de 2 alevines/día y con la mayor abundancia registrada (51,7).

Esta última especie generó las mayores pérdidas económicas (\$217,140 COP) para la granja piscícola durante la etapa de alevinaje (30 días) en el LS2, en el transcurso del año se realizan 7 siembras de alevinos, lo que podría ocasionar una pérdida de COP \$1.519.980 producidos solo por la especie de larva de coleóptero, pero si se hace la estimación con las 4 especies que mostraron actividad predatoria durante el bioensayo, se llega a calcular un impacto total de COP \$3.523.590 (Tabla 2).

Las náyades de *Pantala flavescens* mostraron el menor índice de depredación por día y pérdidas económicas, solo depredó a 2 alevines/día, sin embargo, en un estudio realizado por investigadores de la Universidad de Caldas reportan que puede depredar hasta 5 alevines [15]. En el mismo caso tenemos que el *Buena sp.* es capaz de depredar hasta 1,5 alevín/día de acuerdo con investigaciones anteriores [6].

### 3.4 Calidad del agua

Los parámetros de calidad de agua son la principal herramienta de diagnóstico en los procesos de las masas de agua, el adecuado manejo de estas características son de suma importancia para el crecimiento apropiado de los cultivos en la piscicultura; los valores de referencia usados en la investigación se enfocaron en el criterio ambiental y de producción acuícola, para el primer criterio se utilizaron estudios y normas con enfoques en daños a los ecosistemas (Tabla 3), y por su lado, en el segundo criterio se referencian datos con afectaciones al desarrollo de la Tilapia.

Los resultados de los parámetros monitoreados durante las tres campañas de muestreo se pueden observar en la Tabla 4.



**Tabla 3.** Límites de referencia para parámetros importantes en el agua (uso para protección de la vida acuática) [12]

| Parámetros                | Unidad                                 | Rango            | Referencias  |
|---------------------------|--|------------------|--|
| pH                        |  | 6,5-8,5          | Normas de calidad del agua superficial para Moldavia. Clase II OECD (2007)   |
| Temperatura               | °C                                     | 20-40            | NOM-001-SEMARNAT-1996  |
| Oxígeno Disuelto          | mg/L                                   | ≥ 5              | Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89   |
| Conductividad Específica  | μS/cm                                  | 150-200          | Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua. Presidencia de la República de Ecuador (2002) |
| Sólidos Disueltos Totales | mg/L                                   | 120-600          | Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua. Presidencia de la República de Ecuador (2002) |
| SST                       | mg/L                                   | 25 ≤ SST<br>≤ 75 | CONAGUA (2010)   |
| DBO <sub>5</sub>          | mg/L                                   | 5                | Normas de calidad del agua superficial para Moldavia. Clase II OECD (2007)   |
| DQO                       | mg/L                                   | 7                | Normas de calidad del agua superficial para Moldavia. Clase II OECD (2007)   |
| Fósforo Total             | mg<br>PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L | ≤ 0,1<br>< 0,010 | Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89. Clase I ECE (1993)<br>UNECE (1994) Clase I                 |
| N-NO <sub>3</sub>         | mg/L                                   | 3                | Normas de calidad del agua superficial para Moldavia. Clase II OECD (2007)   |

**Tabla 4.** Resultados de parámetros fisicoquímicos en estanques de alevines

| Lagos                                | LS1   |       |       | LS2   |       |       | LV1   |        |       |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
|                                      | 1     | 2     | 3     | 1     | 2     | 3     | 1     | 2      | 3     |
| Campañas de muestreo                 |       |       |       |       |       |       |       |        |       |
| OD (ppm)                             | 7,45  | 6,05  | 5,79  | 12,7  | 9,52  | 5,91  | 10,4  | 10,5   | 10,1  |
| pH                                   | 9,06  | 6,29  | 6,94  | 10,8  | 7,78  | 6,97  | 9,38  | 8,63   | 7,49  |
| DBO (ppm)                            | 1,86  | 2,32  | 1,80  | 8,33  | 10,0  | 1,32  | 10,1  | 3,10   | 2,37  |
| T H <sub>2</sub> O (°C)              | 29,3  | 26,8  | 34,4  | 32,9  | 27,5  | 33,9  | 31,0  | 26,9   | 35,6  |
| Δ T (°C)*                            | 4,70  | 6,10  | 5,17  | 6,06  | 7,98  | 5,88  | 3,02  | 6,4    | 7,80  |
| PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (ppm)  | 0,45  | 0,49  | 0,62  | 0,55  | 0,493 | 1,24  | 0,520 | 0,327  | 0,560 |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)   | 0,003 | 0,040 | 0,093 | 0,142 | 0,293 | 0,073 | 0,148 | 0,087  | 0,153 |
| Turbidez (NTU)                       | 26,8  | 12,1  | 28,6  | 69,3  | 70,0  | 56,80 | 50,0  | 17,8   | 45,2  |
| SDT (ppm)                            | 115   | 89,5  | 130   | 197   | 95,5  | 108   | 118   | 83,047 | 93,5  |
| Alcalinidad (ppm CaCO <sub>3</sub> ) | 86,7  | 100   | 115   | 122   | 152   | 115   | 95,0  | 103,3  | 117   |
| Cu (ppm)                             | 0,147 | 0,227 | 0,313 | 0,253 | 0,520 | 0,267 | 0,293 | 0,513  | 0,400 |
| Conductividad (μS/cm)                | 199   | 326   | 367   | 205   | 352   | 363   | 177   | 168    | 358   |

\* Diferencia entre la temperatura ambiente y del agua *in situ*

Los valores evidencian que los parámetros oxígeno disuelto OD, nitratos, temperatura y sólidos disueltos totales TDS se encuentran dentro de los límites para la protección de la vida acuática descritos en la Tabla 3, los valores promedios para los parámetros fueron 8,71 ppm O<sub>2</sub>, 0,11 ppm NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 30,9 °C y 114 ppm respectivamente. Por otro lado, el pH, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), los fosfatos y la conductividad eléctrica CE sobrepasaron al menos una vez los límites e intervalos descritos en la Tabla 3, los resultados promedios en estas medidas fueron 8,15, 4,58 ppm O<sub>2</sub>, 0,58 ppm PO<sub>4</sub><sup>2-</sup> y 279 μS/cm respectivamente.

Es importante resaltar el comportamiento de los fosfatos los cuales superaron en todos los lagos los límites establecidos, ubicándose cinco veces su promedio por encima de la referencia de la Tabla 3, los valores hallados pueden causar eutrofización, bajas concentraciones de oxígeno en las noches y daños a los ecosistemas acuáticos [16], estos valores al igual estuvieron por encima del promedio encontrado en la investigación realizada en el embalse de Palair (0,024 ppm) ubicado a lo largo del río Paleru, un afluente del río Krishna en el sur de la India [17]; el origen de este nutriente en la piscicultura puede provenir del exceso de dieta de los peces, el derrame accidental de alimento y las heces de los peces [18,19].

Los valores de pH oscilaron entre 6,29 y 10,78, resaltando que en la última campaña de muestreo los valores estuvieron siempre en el rango establecido en la Tabla 3, este comportamiento puede estar asociado al recambio del agua de los lagos durante la última campaña de muestreo; por otro lado, en la primera campaña de muestreo todos los valores de pH estuvieron por encima de 9,0; los valores altos de pH (>9) regularmente se presentan en tardes soleadas cuando las condiciones favorecen la fotosíntesis rápida [20]. Aunque en todos los lagos se encontraron valores por encima de lo recomendado para la conservación de la vida acuática, ningún valor superó el punto crítico de muerte en la piscicultura (>11); el valor inusualmente alto de pH (10,78) puede estar asociado a un muestreo en las horas de la tarde en aguas de contenido medio-alto de alcalinidad total (122 ppm como CaCO<sub>3</sub>) que favorecen la fotosíntesis rápida, este valor

alcalino puede generar necrosis de la aleta dorsal y caudal, lo que genera lesiones de córnea y puede causar ceguera a los peces [20].

La temperatura recomendada para el cultivo de Tilapia está entre 18-34 °C, por encima de los 37 °C se presenta un decrecimiento significativo en la producción [20], los valores hallados en la actual investigación se ubicaron en el rango establecido anteriormente (26,8 y 35,6 °C), asimismo ningún valor superó la tolerancia letal (>42 °C) [21] y al mismo tiempo, respetó los límites para la protección de la vida acuática (Tabla 3).

La alcalinidad no tiene un rango óptimo, la importancia del seguimiento es debido a las interacciones con otros parámetros como el pH [20]. Algunas investigaciones realizadas en larvas de Tilapia del Nilo concluyeron que valores de alcalinidad de 32,6 ppm CaCO<sub>3</sub> durante 42 días, alcanzaron las mejores tasas de crecimiento en el experimento [22]; el rango encontrado en la presente investigación fue entre 86,7 y 151,7 ppm CaCO<sub>3</sub> cuya clasificación se ubica en un nivel medio.

Estos valores pueden mejorar la productividad en sistemas piscícolas porque las aguas de mayor alcalinidad generalmente tienen un pH que favorece la rápida descomposición de la materia orgánica por parte de los microorganismos [20]; el promedio en la campaña 1 fue el más bajo (101,1 ppm CaCO<sub>3</sub>) y durante ese mes de muestreo se registró el valor más alto de lluvias en la zona de estudio (11,9 mm), esta correlación es descrita en [20], en donde afirman que después de que las aguas lleguen al equilibrio con los suelos del fondo, los cambios significativos en la alcalinidad ocurren solo cuando el agua es diluida, por lo tanto la alcalinidad disminuirá durante períodos de lluvia excesiva.

El oxígeno disuelto se encuentra en las concentraciones adecuadas para la vida acuática (Tabla 3), se hallaron valores desde 5,79 hasta 12,71 ppm O<sub>2</sub>; es difícil de encontrar referencias para la especie *Oreochromis sp.*, las concentraciones dependen de variables como el pH y la temperatura, un estudio realizado para *Oreochromis niloticus*, concluyó que el valor mínimo de OD es desde 0,1 - 0,5 ppm, el valor óptimo entre 6 y 6,5 ppm, en un rango de pH entre 3,7 - 11 y optimizado entre 5,5 - 9,0 [21].

LS2 y LV1 presentaron valores de DBO por encima de lo recomendado en la Tabla 3, la materia orgánica biodegradable cuantificada en el parámetro tiene origen en el alimento y heces que se encuentran en los lagos, las concentraciones halladas clasifican al agua superficial como aceptable, las cuales evidencian algún tipo de presión por contaminación; investigadores en Tailandia desarrollaron un modelo bioenergético de crecimiento de Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivados en jaulas en aguas residuales, en el estudio determinaron el nivel crítico en DBO, el cual fue de 20 ppm [23], el valor anterior se puede tomar como referencia y sugiere que las concentraciones en el presente estudio, no representan peligro para los alevinos.

El rango encontrado en la CE fue desde 168 hasta 367 µS/cm, los valores en la mayoría de los muestreos sobrepasan el límite establecido en la Tabla 3, lo que sugiere una contaminación de origen iónico [24]; la CE en aguas superficiales poco contaminadas es debida principalmente a los iones Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup>, pero debido a que en el presente estudio no se realizó el análisis de dureza en el agua, es imposible asociarlos directamente a estos iones; el valor de Sperman calculado en el análisis estadístico entre la CE y los fosfatos (0,8\*\*) evidenció una correlación altamente confiable producto de la presencia de fosfatos en las muestras, este comportamiento fue reportado en una investigación realizada en China, en donde la CE de los afluentes y efluentes de las instalaciones rurales de tratamiento de aguas residuales domésticas de ocho condados de la ciudad de Jiaying fueron analizadas mediante la correlación con contaminantes, de esta manera pudieron establecer correlaciones positivas entre la CE y el fósforo total [25].

El problema más común con la toxicidad de los metales en la acuicultura resulta del uso del sulfato de cobre y otros productos químicos a base de cobre para el control de algas en estanques; aunque la concentración límite de cobre en aguas superficiales está determinada por la dureza, es claro que el rango de concentraciones halladas en el presente estudio (0,15 - 0,52 ppm Cu) superan los límites permisibles para organismos como el Camarón, Carpa, Bagre y Trucha arcoíris [26], lo que mostró problemas potenciales para el ecosistema; por su parte, las concentraciones de cobre en este estudio no representan problema

para el cultivo de Tilapia, ya que pueden soportar en su estado juvenil LC<sub>50</sub> de 3,6 ppm a 96 horas de exposición, que descarta problemas asociados a este metal [27].

En general el índice de calidad de agua muestra presiones ejercidas en la masa de agua debida a la actividad piscícola, los valores calculados del ICA (Tabla 5), se observan que los lagos LS2 y LV1 en las campañas 1 y 2 presentan clasificación *Media*, por su parte el lago LS1 fue el único que clasificó en la categoría *Buena* en las tres campañas de muestreo; los parámetros que incidieron principalmente en la categorización *Media* fue la alteración en los valores de DBO, OD y pH, los cuales tienen el factor de ponderación más altos en la fórmula del cálculo del índice.

**Tabla 5.** Índice de calidad de agua ICA

|            | Alevineras Estudiadas | Valor | Escala de clasificación del ICA-NSF |
|------------|-----------------------|-------|-------------------------------------|
| Muestreo 1 | LS1                   | 78,6  | Buena                               |
|            | LS2                   | 61,5  | Media                               |
|            | LV1                   | 62,7  | Media                               |
| Muestreo 2 | LS1                   | 81,4  | Buena                               |
|            | LS2                   | 65,3  | Media                               |
|            | LV1                   | 63,1  | Media                               |
| Muestreo 3 | LS1                   | 78,2  | Buena                               |
|            | LS2                   | 73,1  | Buena                               |
|            | LV1                   | 71,4  | Buena                               |

### 3.5 Análisis estadístico

Al realizar la correlación de Spearman con respecto a la diversidad se encontraron que los parámetros OD y pH presentaron comportamiento inversamente proporcional (-0,683\* y -,750\*, respectivamente) y las variables de comportamiento directamente proporcional fueron: Conductividad (0,883\*\*) y las especies *Williamsi sp.* (0,780\*), *Macrothemis sp.* (0,822\*\*), *Ischnura sp.* (0,724\*) y *Acanthagrion sp.* (0,705\*). De la misma forma, la correlación con respecto a la Dominancia solo se encontró que presentan comportamiento inversamente proporcional con las siguientes variables: Fosfatos (-0,750\*), alcalinidad (-0,695\*), conductividad (-0,817\*\*), *Macrothemis sp.* (-0,733\*), *Ischnura sp.* (-0,826\*\*).

En el análisis de componentes principales se destacan 5 grupos de variables que explican el 77.2% del total de la muestra, para el grupo 1 se evidenció que la diversidad y las especies *Williamsi sp.*, *Macrothemis sp.*, *Acanthagrion sp.*, *Buenoa sp.*, y *Pantala flavescens* se ven favorecidas por la conductividad y el valor del ICA; el grupo 2 registró que las variables alcalinidad, nitratos, cobre y temperatura explican la cantidad de organismos por especies; el grupo 3 mostró que los fosfatos, turbidez y TDS aumenta la abundancia de *Dythemis sp.*, por el contrario presentan correlación negativa con *Berosus sp.*; el grupo 4 registró que el *Ischnura sp.* no se ve favorecida con la presencia de *Thermonectus sp.*, *Mesovelina mulsanti* y *Hydrophilus sp.* y finalmente, el grupo 5 evidenció que las especies *Centrocorisa kollari* y *Belostoma micantulum* tienen un comportamiento inversamente proporcional entre ellas.

## 4. CONCLUSIONES

En la granja Piscícola Botero S.A., La Sirena y Villa Dana se registraron 18 especies: *Centrocorisa kollari*, *Curicta sp.*, *Buenoa sp.*, *Williamsi sp.*, *Belostoma micantulum*, *Lethocerus sp.*, *Trepobates terpidus*, *Mesovelina mulsanti*, *Dythemis sp.*, *Tremea sp.*, *Macrothemis sp.*, *Pantala flavescens*, *Ischnura sp.*, *Acanthagrion sp.*, *Tropisternus sp.*, *Berosus sp.*, *Thermonectus sp.* y *Hydrophilus ensifer*, de las cuales *Pantala flavescens*, *Lethocerus sp.*, *Tropisternus sp.* y *Buenoa sp.* mostraron índices de depredación durante los bioensayos.

Aunque la diversidad de MAIA predadores de alevines se encontró en un rango moderado con dominancia baja y que sugiere una buena condición ecológica para un ecosistema, en la piscicultura esta situación causa impactos económicos desfavorables para la etapa de alevinaje que son poco estudiados y conocidos por los productores de la región y del país, de tal forma que lo ideal para estos ambientes controlados sería encontrar valores bajos o nulos tanto de diversidad como de abundancia de MAIA; sin embargo, el

mantenimiento inadecuado de los lagos en las piscícolas propicia el desarrollo de hábitats para la proliferación de diferentes insectos predadores.

Según con lo anterior cabe decir que la estimación de las pérdidas económicas para la etapa de alevinaje con esta área propicia del hábitat (94m<sup>2</sup>), condiciones climáticas, épocas reproductivas, hábitos y factores fisicoquímicos, a un piscicultor por medianos y pequeños productores que con limitaciones tecnológicas y logísticas atienden una parte importante del mercado nacional [28] le podría estar causando un impacto económico de COP \$3.523.590 anualmente en sus cultivos de tilapia.

El índice de calidad de agua solo evidenció una correlación significativa con las variables biológicas y fue con la especie *Acanthagrion sp.* (0,722\*); por su parte, las variables fisicoquímicas que más impactaron en el valor del ICA fueron la DBO, OD y pH, las alteraciones encontradas en el presente estudio fueron fundamentales en la clasificación de las masas del agua (Buena a Media); aunque ninguno de los parámetros fisicoquímicos representó impacto crítico en el cultivo de la Tilapia, desde el enfoque de la conservación de la vida acuática, las actividades asociadas a la alimentación de los peces y el uso de agroquímicos, tuvieron como consecuencia alteraciones no deseables en los parámetros DBO, fosfatos, pH, conductividad y cobre.

## REFERENCIAS

- [1] Alfonso L. y Sevilla R. (2010). Diseño e implementación de un sistema de mezcla para inyección de gas en motores de combustión interna a Diesel. Trabajo de grado de pregrado. Universidad Antonio Nariño. Colombia.
- [2] Dirección de cadenas pecuarias, pesqueras y acuícolas. (2021). Acuicultura en Colombia cadena de la acuicultura. Recuperado: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Acuicultura/Documentos/2021-03-1%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- [3] Sánchez M. y García D. (2018). Determinación del índice BMWP/Col, mediante la utilización de macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad de agua, en el cauce del río Guachicos, que surte el acueducto del municipio de Pitalito. Trabajo de grado de pregrado. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Colombia.
- [4] Pacheco B. (2010). Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos del Orden Hemiptera en El Salvador. Editorial Universitaria UES.
- [5] Bautista J. y Ruiz J. (2011). Calidad de agua para el cultivo de Tilapia en tanques de geomembrana. Dirección de Fortalecimiento a la Investigación. Universidad Autónoma de Nayarit. México.
- [6] Lara H. y Caicedo Y. (2018). Caracterización de los macroinvertebrados predadores en estanques de alevinaje en las piscícolas Arizona I y II de la vereda Arizona del municipio de Baraya, Huila. Trabajo de grado. Corporación Universitaria del Huila. Colombia.
- [7] Gutiérrez S. (2018). Manual de prácticas de campo y laboratorio: captura, procesamiento y análisis de organismos en ambientes lóticos. Editorial Gente Nueva.
- [8] Roldán G. (2003). La bioindicación de la calidad del agua: Los macroinvertebrados acuáticos y el método B.M.W.P/Colombia. Editorial Universidad de Antioquia. Colombia.
- [9] Roldan G. (1988). Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Universidad de Antioquia. Colombia.
- [10] Merritt R. y Cummins K. (1984). An introduction to the aquatic insects of North America. Kendall Hunt.
- [11] Mccafferty W. y Provonsha A. (1981). Aquatic Entomology. Science Books.
- [12] Hahn C. et al. (2002). Importancia económica de la mortalidad de larvas y alevinos de Tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*, Ciclidae, Trewavas, 1981) por depredación de *Pantala flavescens* (Odonata: Libellulidae). Omega.
- [13] Archangelsky M. et al. (2009). Coleoptera. Fundación Miguel Lillo. Argentina.
- [14] Dodson S. et al. (2000). The relationship in lake communities between primary productivity and species richness. Ecology 81(10), 2662-2679.
- [15] Hahn C. y Grajales A. (2009). Importancia del orden Odonata para la producción de peces en ambientes controlados. Revista electrónica de ingeniería en la producción acuícola 4(4), 1-13.
- [16] Da Silva J. et al. (2020). Influence of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fish farming in net cages on the nutrient and particulate matter sedimentation rates in Umari reservoir, Brazilian semi-arid. Aquaculture Reports 17(100358), 1-17.
- [17] Sajina A. et al. (2021). Influence of cage farming and environmental parameters on spatio-temporal variability of fish assemblage structure in a tropical reservoir of Peninsular India. Limnologia 91, 125925.
- [18] Read P. et al. (2003). Management of environmental impacts of marine aquaculture in Europe. Aquaculture 226(1-4), 139-163.
- [19] Nimptsch J. et al. (2015). Tracing dissolved organic matter (DOM) from land-based aquaculture systems in North Patagonian streams. Science of The Total Environment 537, 129-138.

- [20] Boyd C. y Tucker C. (1998). Pond Aquaculture Water Quality Management. DEDAF.
- [21] El Sayed A. (2020). Tilapia culture. Elsevier.
- [22] Torres N. y Rocha O. (2004). Water alkalinity influence on the growth of Nile Tilapia larvae, *Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758 (Perciformes, Cichlidae). Acta Scientiarum. Ciencias Biológicas Maringá 26(2), 163-167.
- [23] Dampin N. et al. (2012). Fish growth model for Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Wastewater Oxidation Pond, Thailand. Procedia Environmental Sciences,13, 513-524.
- [24] Canli E. y Canli M. (2015). Low water conductivity increases the effects of copper on the serum parameters in fish (*Oreochromis niloticus*). Environmental Toxicology and Pharmacology 39(2), 606-613.
- [25] Yu Q. et al. (2019). Electrical conductivity in rural domestic sewage: An indication for comprehensive concentrations of influent pollutants and the effectiveness of treatment facilities. International Biodeterioration & Biodegradation 143, 104719.
- [26] Centro de Calidad Ambiental. (1989). Acuerdo por el que se establecen los criterios ecológicos de calidad del agua ce-cca-001/89. Recuperado: <http://legismex.mty.itesm.mx/acu/acca001.pdf>
- [27] Chen W. et al. (2012). Assessing the effects of pulsed waterborne copper toxicity on life-stage tilapia populations. Science of The Total Environment 417-418, 129-137.
- [28] Programa de transformación productiva. (2015). Plan de Negocios Sectorial de la Piscicultura de Colombia. Recuperado: [fedeaqua.org](http://fedeaqua.org).

# Estrategias pedagógicas para fabricar pitillos biodegradables como alternativa ecológica para la reducción del impacto ambiental

Omar Castañeda Antolínez<sup>1</sup>  
Eddy Catheryne Cifuentes Rodríguez<sup>2</sup>

Luis Alfredo Gómez Linares<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Universidad Popular del Cesar

<sup>3</sup>Universidad del Atlántico

Colombia

Se presentan los resultados de una investigación que tuvo como objetivo proponer estrategias pedagógicas para crear pitillos con material renovable disponible en la ciudad de Villavicencio, Colombia. Se realiza en una investigación de carácter descriptiva y de campo, bajo la modalidad de proyecto factible; se adoptó el diseño no experimental de tipo transversal o transeccional y se siguió el método cuantitativo. La población estuvo conformada por 5 directivos, 20 profesores y 147 estudiantes, con una muestra de 46 participantes, a los que se aplicó un cuestionario en escala Likert de 21 preguntas con opción de respuesta. Se determinó su validez mediante el juicio de especialistas y confiabilidad mediante prueba piloto, empleando coeficiente Alfa de Cronbach, arrojando 0,85 y 0,87 respectivamente, considerándose de magnitud muy alta. Para el análisis de la información se utilizó la técnica porcentual. Los resultados evidencian que en su labor el profesor carece medianamente de estrategias pedagógicas para la creación de objetos con material renovable, razón por la cual se presenta desconocimiento en cuanto al uso de los materiales biodegradables. De lo anterior se concluye que el profesor adolece de estrategias pedagógicas que promuevan la formación de valores ecológicos y debe implementar acciones en pro de la educación ambiental, por lo tanto, se proponen estrategias pedagógicas para la creación de pitillos con material renovable disponible en la ciudad de Villavicencio. La idea es sensibilizar al personal docente, estudiantes y padres de familia sobre la importancia del cuidado de la naturaleza a través del uso racional de los recursos naturales, como medio para la preservación del ambiente, con las cuales puedan identificar los materiales biodegradables existentes en la institución educativa objeto de estudio y coadyuvar en la promoción de valores ecológicos, a través de diversos experimentos de las diferentes fases del ciclo de vida de los materiales.

---

<sup>1</sup> Magíster en Pedagogía Ambiental para el Desarrollo Sostenible.

Contacto: [castanedaantolinez@gmail.com](mailto:castanedaantolinez@gmail.com)

<sup>2</sup> Magíster en Pedagogía Ambiental para el Desarrollo Sostenible.

Contacto: [ekaciro4@gmail.com](mailto:ekaciro4@gmail.com)

<sup>3</sup> Magíster en Ciencias de la Educación, Doctor en Ciencias de la Educación, Posdoctor en Gerencia de la Educación Superior.

Contacto: [algoli\\_05@hotmail.com](mailto:algoli_05@hotmail.com)

## 1. INTRODUCCIÓN

La actual era de la educación direcciona la mirada a las acciones antrópicas respecto al ambiente, con reflexiones sobre sus conductas en los procesos de reproducción, desintegración, procedimiento en fuente productora, envío y manejo final de residuos, lo cual en aras de la defensa del ambiente conlleva a señalar al ser humano como responsable de dichos manejos; por esta razón, se desarrollan acciones de participación activa que se enmarcan en procesos de reducción, reutilización y reciclaje de residuos, opciones viables para innovar y emprender nuevas formas de producción alternativas, fomentando su reutilización, creando y fortaleciendo la conciencia de manejo adecuado de desechos y especial cuidado de los ecosistemas.

El incremento demográfico acelerado ha generado el crecimiento urbano, que trae consigo una serie de variantes condicionantes que llevan a forjar consecuencias alarmantes representadas en el cambio climático, por lo que se han fijado directrices sobre el manejo adecuado de residuos en el logro de responsabilidad social y empresarial a través de la concienciación ambiental, ya que las ventajas de implementar sus prácticas en relación con el medio ambiente radica en prevenir potenciales accidentes que lo afecten con costosas consecuencias para todos los involucrados; evitar graves sanciones y multas por parte de las autoridades que pueden llegar hasta el cierre de operaciones; mejorar la imagen y asegurar la supervivencia de la empresa a largo plazo; al igual que posicionarse para competir en los mercados globalizados de hoy en día. Es claro que, reducir la generación de residuos evita costosas inversiones en sus sistemas de manejo y tratamiento y costos de operación asociados [9].

En este orden de ideas, es oportuno mencionar que han surgido multiplicidad de opciones orientadas a minimizar los impactos causados producto del manejo inadecuado y mala disposición de desechos y residuos sólidos, así como la sustitución de materiales no biodegradables o plásticos de un solo uso como el caso de los pitillos, lo cual ha venido generando un impacto positivo en muchas ciudades del mundo.

A pesar de los esfuerzos que se vienen articulando a nivel global es evidente la desinformación que aún prevalece en muchas partes del globo terráqueo con respecto al tema de contaminación generado por solo uno de los agentes causantes: el uso de pitillos; es así como grandes cadenas hoteleras, restaurantes, aerolíneas, se siguen apegando a su lema de higiene y comodidad para justificar su oferta al consumidor de este tipo de utensilios, sin darle la oportunidad de que escoja entre hacer uso de un pitillo de plástico o uno elaborado con material biodegradable, con lo que al menos se generaría la necesidad de informarse en cuanto a la diferenciación entre uno y otro, dejando en sus manos el interés por indagar acerca del tema.

En Colombia se vienen adoptando medidas para estar en sintonía con la responsabilidad social generada a partir de acciones conservacionistas, así es posible evidenciar en varios departamentos del país la adopción de normas y conductas pro ambiente en las que se viene descartando el uso de plásticos de un solo uso, dando cabida a la utilización de utensilios elaborados con materiales biodegradables.

Un ejemplo de ello es la expedición que firmó el alcalde de Bogotá, en el que se establecen medidas para reducir progresivamente la adquisición y consumo de plásticos de un solo uso en entidades del Distrito y así, mitigar los impactos de estos elementos en el medioambiente y reducir la contaminación por la inadecuada disposición de residuos, buscando que todas las entidades del Distrito, incluidas las alcaldías locales, antes de control como Personería, Contraloría y Veeduría, y el Concejo de Bogotá reduzcan, de manera gradual y sin generar impactos económicos negativos, la demanda de plásticos, para minimizar la generación de residuos, mejorar las condiciones ambientales y promover el desarrollo de alternativas sostenibles [1].

Villavicencio no ha escapado de la dramática realidad producto de altos índices de contaminación en los que predomina el uso de plásticos; desde Secretaría del Ambiente y Empresa de Servicios Públicos, aseo municipal han tomado acciones orientadas a enfrentar los planes de manejo existentes, en aras de frenar la problemática y compleja falta de cultura ambiental que caracteriza a la ciudadanía, producto de desinformación, falta de compromiso consigo mismo, con el entorno e inadecuado manejo de la llamada basura. Es así, como desde esta capital, Villavicencio, el gobierno departamental está en la tarea de acogerse

al Plan Nacional para la Gestión Sostenible de los plásticos de un solo uso 2021, emanado desde el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, para mejorar la calidad de vida de los habitantes del departamento y cuidar y preservar el ambiente y sus ecosistemas.

Las mencionadas situaciones no son ajenas en la Institución Educativa COFREM Caja de Compensación Regional del Meta, ya que allí se visibiliza a diario el uso ilimitado de pitillos durante las horas de descanso, en el comedor a la hora del almuerzo, donde los estudiantes y algunos profesores, hacen uso hasta de 3 pitillos al día, pues ni en la cafetería ni en el comedor, hay control sobre su uso. Destaca el detalle que COFREM se encuentra ubicado en Villavicencio Departamento del Meta en la zona urbana; como institución educativa de carácter privado, presta servicio a estudiantes preescolares, primaria y bachillerato, con un enfoque humanístico e integral y una trayectoria de más de 40 años al servicio de toda la comunidad, como se aprecian en las Figura 1.

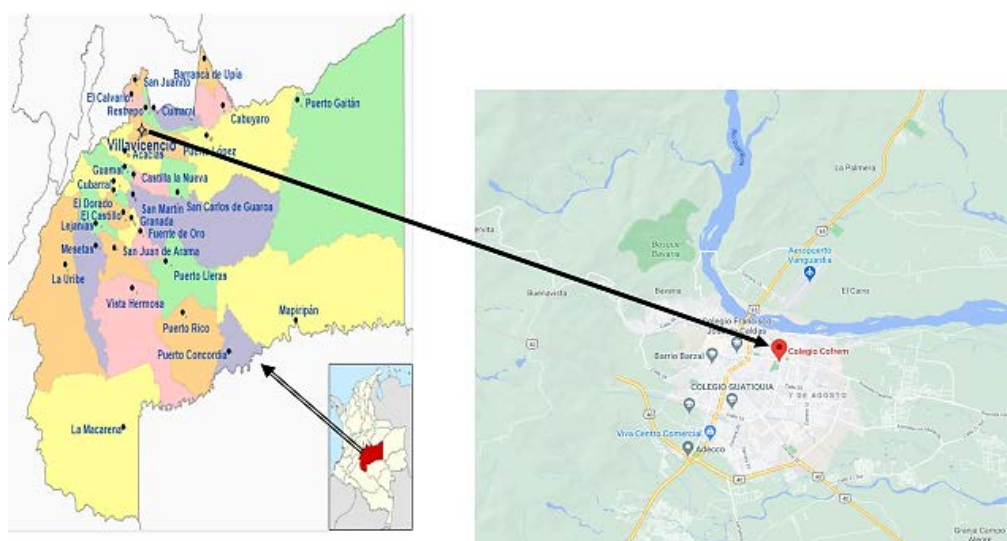


Figura 1. Localización de la Institución educativa COFREM

Con base en la situación antes planteada, surgió la siguiente interrogante: ¿Qué estrategias eco-pedagógicas implementar en adquisición de conciencia ambiental con la creación de pitillos ecológicos biodegradables, Institución Educativa COFREM, Villavicencio, Meta? La misma dio origen al objetivo general de Proponer estrategias eco-pedagógicas para adquisición de conciencia ambiental con la creación de pitillos ecológicos biodegradables, Institución Educativa COFREM, Villavicencio.

## 2. MARCO REFERENCIAL

Como antecedentes se muestra a manera de referencia en el contexto mundial el de Iñiguez, en España, intitulado “Estudio de la contaminación marina por plásticos y evaluación de sus contaminantes derivados por tratamiento”, cuyo objetivo fue analizar las formas de tratamiento de los residuos plásticos sobre los daños que ocasionan cuando se depositan en el mar y la preocupación que su alto impacto para las especies marinas que los consumen y mueren intoxicados entre otras complicaciones, como a la salud humana [5].

Presenta un bosquejo de la forma como la acumulación de residuos y desechos impacta en el aspecto económico dado que las playas contaminadas debilitan el potencial turístico que puedan tener, destacando que entre los distintos tipos de basura que llegan al mar se cuentan papel, vidrio, metal y el plástico de manera predominante; de esta manera, partiendo de las estadísticas de la cantidad de residuos plásticos en el mar hace una clasificación de los tipos de plásticos encontrados, centrando la mayor atención en los polímeros para examinar similitudes y diferencias entre estos a fin de determinar su tiempo de degradación. La investigación se sustentó en un enfoque mixto, con un diseño de tipo transversal apoyándose en la técnica de la observación sistemática, revisión documental y experimentación.

En la misma línea se reporta el estudio, realizado en España e intitulado Los futuros profesores ante el problema de la contaminación de los mares por plásticos y el consumo; su objetivo general fue indagar



sobre las ideas, actitudes y competencias didácticas que muestran los futuros profesores cuando se enfrentan a los hábitos de consumo de la sociedad actual. Desarrollado a partir del enfoque cualitativo que mediante la técnica de encuesta tipo cuestionario, Grado de Primaria, Universidad Murcia, participaron 60 futuros profesores, niños entre 7 y 8 años, preguntándose sobre dificultades para identificación de causa-efecto acumulativos de actividades generadas por residuos que impactan la biodiversidad marina, sin valorar la asunción de compromisos y responsabilidades conducentes a cambios en hábitos de reducción del uso plástico, analizando sostenibilidad [6].

Los resultados conducen a que los estudiantes a partir de situaciones problemáticas desde la contaminación por residuos plásticos comiencen a generar conciencia y cultura ambiental.

Desde el ámbito nacional se destaca el trabajo realizado por Frade y Parra, denominado Análisis de impacto en sustitución de pitillos de plástico por biodegradables en empresa de servicios alimenticios, caso centro de convenciones el Cubo, Bogotá; a través de este, se hizo un estudio sobre el uso de pitillos en centro de convenciones Cubo, Bogotá, analizando el impacto que tendría la utilización de pitillos plásticos biodegradables en vez de los convencionales pitillos de plástico. Su desarrollo tuvo en cuenta datos sobre la cantidad de pitillos que son utilizados en un solo día sobre la base que el lugar cuenta con varias locales y plazoletas de comidas y bebidas [3].

La metodología usada fue de enfoque mixto, dado que combinó el enfoque cuantitativo y cualitativo usando un método descriptivo probabilístico, valiéndose de la asistencia de personal del estrato medio alto para que la muestra obtenida se constituyera con un muestreo aleatorio simple. Las conclusiones muestran que a pesar de tanta publicidad a través de diferentes medios aún existe mucha desinformación en cada una de las personas, sin embargo, existe la voluntad de asumir diferentes alternativas a pesar de que estas generan dudas ya que son poco tradicionales. Los aportes que ofrece es que muestra cifras alarmantes en torno a la contaminación ambiental en Colombia y los gastos que implica, mayores a los que se invierten en educación y salud, impactando el turismo colombiano y como alternativa ecológica el pitillo biodegradable que minimiza el impacto, generando conciencia ambiental desde la escuela.

### **3. MARCO CONCEPTUAL**

#### **3.1 Conceptualización y gestión adecuada de residuos sólidos**

Según Iñiguez, el residuo es todo material que pierde utilidad luego de cumplir su misión inicial para determinado trabajo y del cual el proveedor tiene necesidad de desprenderse, en este sentido, suelen representar una pérdida de recursos tanto materiales como de energía que generalmente tras su eliminación llega a tener impacto medioambiental. Los residuos de plástico son elementos de la cotidianidad: bolsas, botellas [5].

El plástico es un material que se utiliza en todas partes, por todo el mundo en todas las actividades, pero que este no termina de comprender las repercusiones de uso, relacionado con el consumo desaforado, perjudicando los ecosistemas [6]. Por su parte, el Ministerio del Ambiente, los define como sustancias en estado sólido o semisólido de los que se dispone, según normatividad nacional o por riesgos causados tanto a salud como ambiente, incluye residuos de eventos naturales [8].

Según lo establece el Decreto 1713, son aparatos, materiales o sustancias sólidas que quedan del gasto en actividades familiares, mecánicas, productivas, corporativas, que son abandonados, dispuestos de aprovecharse o transformarse nuevamente, con costo económico o darle término [2].

#### **3.2 Cultura ambiental como promotora de la educación ambiental**

Mundialmente, se habla de ambiente todo el tiempo para crear conciencia y cultura que demuestre el compromiso de cambiar hábitos perjudiciales sumándose a la causa de aceptación e implementación de pitillos comestibles. En este sentido, Frade y Parra, consideran que la educación ambiental es instrumento idóneo en construcción de cultura ambientalista individual y colectiva con la mirada puesta en alcanzar el

desarrollo sostenible mediante procesos reflexivos biofísicos y sociales, económicos, políticos y culturales. En este contexto, la educación ambiental es un proceso dinámico y participativo que persigue la generación de conciencia que propenda a la identificación con la problemática ambiental identificando relaciones hombre-naturaleza, promoviendo armonía mediante desarrollo sostenible [3].

En consonancia con esto y de acuerdo con Rengifo, la educación ambiental *es un proceso que reconoce valores y aclara conceptos centrados en fomentar las actitudes, destrezas, habilidades y aptitudes necesarias para comprender y apreciar las interrelaciones entre el ser humano, su cultura y la interrelación con la naturaleza* [11]. Es así que, la educación ambiental desde los procesos de enseñanza y aprendizaje propenden a la adquisición de valores, conciencia ambiental y conductas ecológicas bioéticas de conformidad con desarrollo sostenible

Así, la educación se ajusta a requerimientos socioculturales en cada contexto, constituyendo un instrumento esencial para atender las necesidades singulares de las comunidades; por ello Valdez, asevera que *la educación es un proceso de vinculación y concienciación cultural, moral y conductual* [12].

Se desprende del anterior planteamiento que la responsabilidad del profesor se ve incrementada, pues su acción debe apuntar hacia la concreción de acciones transformadoras de la realidad, atendiendo a las necesidades del contexto y en procura de solucionar las problemáticas en torno al tema ambiental. Al respecto, Polo, sostiene que los profesores representan un papel relevante en las acciones ambientales, y son los llamados a incentivar valores ecológicos como respeto, estimación y apreciación por el ambiente; promoviendo destrezas de impulso educativo y cultural en formación de la bioética, eco-valores, y desarrollo de la moral ambiental [10].

Visto de esta forma, el educador ambientalista se convierte en un agente de cambio que trabaja en pro de fomentar la práctica de valores ambientales positivos; para ello requiere sustentar su labor en la investigación interdisciplinaria, debiendo, además, en el espacio del aula resaltar el respeto por el ambiente y por el otro, como una vía para rescatar los valores de convivencia. Así pues, abordar la conciencia ambiental implica reconocer el complejo entramado de relaciones que se da entre los procesos tecnológicos, ambientales, culturales y sociales; así como asignar el justo valor de responsabilidad que como ciudadanos se tiene en la generación de las problemáticas ambientales.

De esta manera, el quehacer educativo debe abordarse desde una visión más amplia, al tiempo que lo dirige a hacer un recorrido por el panorama histórico de construcción de la EA, valoración esta que, como lo sugiere Valdez, debe realizar *desde un enfoque más crítico y poder así no solo entender su presente sino además evitar el posible encasillamiento paulatino de la conciencia ambiental como una disciplina aislada, e impedir su tránsito hacia nuevas propuestas* [12].

En concordancia con lo anterior Londoño, sostiene que: La educación ambiental es propicia para generar entornos educativos reflexivos y críticos, funge por ciudadanos analíticos, con la capacidad de comprender su entorno y con asertividad suficiente para transformar positivamente su territorio hasta el logro del buen vivir. Además, de evolucionar las maneras de concebir la vida, la manera de relacionarse, las formas de contemplar, valorar y conservar el patrimonio ambiental [7].

Esto equivale a decir que la conciencia ambiental desarrollada desde los espacios académicos es una herramienta para impulsar la cultura ambiental, pues supera el papel instrumental de la transmisión de conocimientos para ubicarse como elemento que promueve la transformación de las conductas y consolida la conciencia sobre la necesidad de asumir comportamientos proambientales.

### **3.3 Pitillos ecológicos biodegradables**

Hablar de plásticos biodegradables es hacer referencia a aquellos plásticos que han sufrido cambios significativos en cuanto a su estructura química bajo condiciones ambientales específicas que resultan en la pérdida de algunas propiedades; ya que la degradación es resultado de la acción de microorganismos existentes en la naturaleza como bacterias, hongos y actinomicetos. Los plásticos biodegradables son

aquellos que están fabricados con materias primas renovables, como trigo, maíz o maicena, aceite de soja, patatas, plátanos o yuca.

Los pitillos son considerados residuo plástico de un solo uso, empleado para el empaque de alimentos o bebidas de acuerdo con estadísticas de Greenpeace, ocupa el quinto lugar en la lista de agentes contaminantes dado que cerca de 439.000 unidades son encontradas en las playas; estos tubitos o pajillas utilizado en cafeterías, heladerías, que tienen un tiempo de uso de 10 a 20 minutos, son partículas que pueden navegar durante cientos de años convirtiéndose en un problema debido a su alto uso y a su material no biodegradable *plástico* que tarda muchos años para descomponerse (se calcula que un pitillo tarda en degradarse aproximadamente entre 400 y 500 años) [4].

De acuerdo con informes presentados por la directora de Greenpeace Colombia, los elementos plásticos aumentaron en 2018, usando 2 mil toneladas de pitillos; aun cuando hay lugares en los que su uso está prohibido tal es el caso del Departamento de Boyacá. Es tan grave el asunto que, algunas empresas y colectivos, se han dado a la tarea de comenzar a cambiar los hábitos de consumo de las personas con frases como: *sin pitillo por favor* o *sin pitillo*; así restaurantes y heladerías vienen dándole fuerza a esta campaña responsablemente ambientales en la búsqueda de disminuir el uso del pitillo en sus locales comerciales.

Los pitillos son tubos fabricados en plástico y son resistentes a temperaturas diferentes; los hay duros y blandos, resistentes al agua y de todos los colores, con buen número de compradores, con la excusa de impedir transmisión de enfermedades producidas por recipientes para bebidas; lamentablemente estos elementos son los que más contaminan el ambiente y dañan ecosistemas y a sus especies, ya que su eliminación es poco probable, pues se cree que por ser tan pequeños e insignificantes, no causan daño alguno. Los materiales biodegradables son aquellas sustancias y productos que pueden descomponerse en ambientes naturales debido a la acción de plantas, animales, microorganismos y hongos

#### 4. MÉTODO

Para el horizonte metodológico se tuvo en cuenta el enfoque cuantitativo y el paradigma positivista buscando el análisis y vinculación de datos, como esencia de argumentación con sus respectivos elementos; además, se optó por la investigación de campo, que se realiza directamente en el medio donde se presenta el fenómeno de estudio. Los participantes fueron 147 estudiantes de secundaria, 20 profesores y 5 directivos. Como técnica para recoger la información se aplicó una encuesta con instrumento formulario de 21 preguntas Escala Likert con tres opciones de respuestas: Siempre (S), algunas veces (AV) y nunca (N).

#### 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

##### 5.1 Conceptualización, y manejo adecuado de residuos sólidos

A la luz de los resultados expuestos en la Tabla 1, podemos observar que en el ítem 1 el 40% y 50% de los profesores y estudiantes encuestados aseveraron que nunca se brindan talleres pedagógicos referidos a clasificar residuos en su constitución, utilidad económica, origen y riesgos para los ecosistemas del Centro Educativo de la Caja de Compensación COFREM de Villavicencio, mientras que el 40% de los directivos afirmaron que algunas veces se llevan a cabo jornadas referidas al tema en estudio. Esto evidencia una condición desfavorable, porque la mayoría de los profesores no incluye estos talleres para dar una visión general del manejo de los residuos. El manejo de residuos debe realizarse separando estos en peligrosos y no peligrosos para el máximo aprovechamiento de los mismos en su uso posterior. De ahí la importancia de incluir el presente tema de forma reiteradas en los talleres pedagógicos en Villavicencio se encuentra vulnerable ante la contaminación por residuos sólidos.

En relación al ítem 2, se observa que los profesores, en un 40% expresaron que algunas veces mantiene seguimiento en el desarrollo de las actividades escolares para favorecer un proceso de enseñanza aprendizaje relacionado al uso adecuado de los residuos plásticos para la disminución del impacto ambiental, mientras que los directivos en un 40,0% señalaron que siempre y algunas veces se presenta esta situación. En contraposición los estudiantes en 43,47% señalaron que nunca. De allí que es indispensable

que se forme a la comunidad estudiantil en la gestión apropiada de los residuos. Por su parte, Leiva, (2019), agrega "el manejo de residuos sólidos es una actividad que involucra manipuleo, acondicionamiento, transporte, transferencia, tratamiento, disposición final de los mismos" (p.324). De esta forma el seguimiento permite crear conciencia en cuanto al manejo de los residuos sólidos en los alrededores de la institución.

**Tabla 1.** Resultados porcentuales de la muestra, mediante la dimensión conceptualización, clasificación y adecuación de residuos sólidos

| Ítems  | Profesores N=20 |      |      | Directivos N=5 |      |      | Estudiantes N=46 |       |       |
|--|-----------------|------|------|----------------|------|------|------------------|-------|-------|
|  | S%              | AV%  | N%   | S%             | AV%  | N%   | S%               | AV%   | N%    |
| 1<br>Brinda talleres pedagógicos sobre clasificación residuos en su constitución, utilidad económica, origen y riesgos para ecosistemas, Centro Educativo Caja Compensación COFREM, Villavicencio    | 30,0            | 30,0 | 40,0 | 20,0           | 40,0 | 40,0 | 23,91            | 26,08 | 50,0  |
| 2<br>Mantiene seguimiento en desarrollo de actividades escolares favoreciendo proceso enseñanza- aprendizaje relacionado al uso adecuado de residuos plásticos para disminución de impacto ambiental | 25,0            | 40,0 | 35,0 | 40,0           | 40,0 | 20,0 | 21,73            | 34,78 | 43,47 |
| 3<br>Da a conocer información de uso racional de materiales biodegradable incentivando sentido de pertenencia y cuidado ambiental en institución educativa y alrededores                             | 45,0            | 30,0 | 25,0 | 20,0           | 60,0 | 20,0 | 19,56            | 30,43 | 50,0  |

En lo concerniente al ítem 3, el 45,0% de los profesores dicen que siempre veces da a conocer información en cuanto al uso racional de los materiales biodegradables que incentive sentido de pertenencia y cuidado del ambiente en la institución educativa y sus alrededores, mientras que el 60% de los directivos expresaron que algunas veces se presenta esta situación, en cambio un 50% de los estudiantes perciben que esto nunca sucede. Por lo tanto, las cifras obtenidas tienden a evidenciar que gran parte de los profesores cumplen ocasionalmente con dichas actividades fundamentales para promover valores ecológicos.

Al respecto, Valdez, asevera que *la educación es un proceso de vinculación y concienciación cultural, moral y conductual* [12]. De allí que es importante la difusión de actividades que den a conocer los materiales biodegradables que dejan menos impacto ambiental en los hábitats terrestres.

## 5.2 Cultura ambiental como promotora de la educación ambiental

Por su parte los valores de la Tabla 2 muestran que frente el ítem 4, el 50% de los profesores encuestados señalaron que algunas veces facilita acciones de autogestión dirigida a la solución de problemas ambientales en la comunidad educativa, en cambio los estudiantes y directivos aseveraron en 60% y 54,34% respectivamente que nunca lo hacen. Esto evidencia una condición desfavorable, porque los profesores solo algunas veces han planificado actividades de autogestión para promover el espíritu conservacionista de la comunidad escolar para la difusión de valores ecológicos.

**Tabla 2.** Resultados porcentuales de la muestra, mediante la dimensión cultura ambiental como promotora de la educación ambiental

| Ítems   | Profesores N=20 |      |      | Directivos N=5 |      |      | Estudiantes N=46 |       |       |
|---|-----------------|------|------|----------------|------|------|------------------|-------|-------|
|   | S%              | AV%  | N%   | S%             | AV%  | N%   | S%               | AV%   | N%    |
| 4<br>Facilita acciones de autogestión dirigidas a la solución de problemas ambientales en la comunidad educativa  | 25,0            | 50,0 | 25,0 | 20,0           | 20,0 | 60,0 | 10,86            | 34,78 | 54,34 |
| 5<br>Incentiva la participación de los estudiantes y padres, madres de familia para la gestión adecuada de los residuos sólidos para promover la práctica de valores ecológicos | 25,0            | 40,0 | 35,0 | 20,0           | 40,0 | 40,0 | 13,04            | 32,60 | 54,34 |

Tal como refiere Rengifo, la educación ambiental *es un proceso que reconoce valores y aclarar conceptos centrados en fomentar las actitudes, destrezas, habilidades y aptitudes necesarias para comprender y apreciar las interrelaciones entre el ser humano, su cultura y la interrelación con la naturaleza* [11]. De allí la importancia de incluir la autogestión para enfatizar la participación activa en la prevención y solución de los problemas ambientales.

En lo que respecta al ítem 5, los profesores encuestados consideran en 40% que algunas veces incentivan la participación de los estudiantes y padres, madres de familia para la gestión adecuada de los residuos sólidos para promover la práctica de valores ecológicos, lo que coincide con 40% de los directivos, al contrario los estudiantes piensan 54,34,0% que nunca ocurre, en este aspecto lo que sin lugar a dudas influye en el hecho escolar de forma desfavorable, ya que si solo este porcentaje es el que algunas veces guía las acciones, entonces es necesario reforzar el tema; en efecto, Polo dice que el papel del profesor predomina en el manejo adecuado de los recursos naturales y es directamente responsable de incluir en sus espacios académicos valores de cuidado y preservación ambiental, mediante estrategias innovadoras, como agente de cambio en la práctica de valores ecológicos [10].

### 5.3 Pitillos ecológicos biodegradables

Con respecto al ítem 6, se aprecia en la Tabla 3 que tanto profesores, directivos y estudiantes coinciden en 45%, 60%, y 43,47% respectivamente, que nunca el profesor incluye actividades que permitan reconocer las consecuencias en los ecosistemas del uso de pitillos plásticos. Tal resultado, es poco favorecedor para la promoción de valores ecológicos, por cuanto los profesores no siempre dan la relevancia a las actividades pedagógicas que generen en una ética social en pro de la disminución del uso de plásticos, de allí que también es indispensable que los entes gubernamentales y grupos ecológicos apoyen en el desarrollo de dichas actividades.

**Tabla 3.** Resultados porcentuales de la muestra, mediante la dimensión pitillos ecológicos biodegradables

| Ítems   | Profesores N=20 |      |      | Directivos N=5 |      |      | Estudiantes N=46 |       |       |
|---|-----------------|------|------|----------------|------|------|------------------|-------|-------|
|   | S%              | AV%  | N%   | S%             | AV%  | N%   | S%               | AV%   | N%    |
| 6 Incluye actividades que permitan reconocer consecuencias en ecosistemas por uso de pitillos plásticos | 20,0            | 35,0 | 45,0 | 20,0           | 20,0 | 60,0 | 15,21            | 41,30 | 43,47 |
| 7 Propicia experiencias significativas sobre impacto de residuos plásticos o polietileno en naturaleza  | 25,0            | 40,0 | 35,0 | 20,0           | 60,0 | 20,0 | 6,52             | 39,19 | 54,34 |

Tal como refiere Rengifo, cuando explican que los pitillos plásticos son tubos pequeños hechos de plástico, resistentes a variadas temperaturas, rígidos o blandos, resistentes al agua y de diversos colores. De allí que se debe generar acciones que disminuyan el uso de los pitillos con este material, en virtud de que tarda demasiado tiempo en descomponerse y esto ocasiona que sea uno de los elementos más contaminantes a nivel mundial [11].

Para el ítem 7, el 40% y 60% de profesores y directivos respectivamente dicen que algunas veces propician experiencias significativas sobre el impacto de los residuos plásticos o polietileno en la naturaleza, en cambio 54,34% de estudiantes perciben que esto nunca sucede. Por lo tanto, las cifras obtenidas tienden a evidenciar que gran parte de los profesores cumplen regularmente con las dichas experiencias en pro de la disminución del uso del plástico. En este sentido, Frade y Parra, consideran que el consumo masivo de productos plásticos como los pitillos plásticos se convierte en una amenaza ambiental por su inadecuado manejo. De ahí que, es importante guiar a los estudiantes en el correcto manejo de los plásticos al cuidado de la naturaleza con criterios, contenidos, métodos en un sentido formativo completo [3].

## 6. CONCLUSIONES

Con relación a caracterizar el área de estudio, se evidenció que tiene una moderada presencia, ya que los profesores muy pocas veces planifican actividades pedagógicas o generan investigaciones con sus

estudiantes, necesarias para consolidar el conocimiento de la reseña histórica y descripción geográfica de la institución objeto de estudio, donde abundan los recursos naturales. De esta forma, es necesario profundizar en la aplicación de estrategias que incentiven investigaciones con respecto al tema de estudio.

En cuanto a identificar los materiales biodegradables disponibles en la ciudad de Villavicencio a utilizar en la creación de pitillos ecológicos, se evidenció, que algunas veces los profesores orientan con sus estudiantes, investigaciones, experiencias, talleres pedagógicos sobre residuos sólidos y materiales biodegradables que se encuentran en la ciudad de Villavicencio y en la institución educativa objeto de estudio, observando variedad de especies que la comunidad educativa debe aprender a identificar. Se logró el objetivo propuesto, pues tanto profesor como estudiantes mostraron gran interés por el conocimiento del tema.

Frente a determinar cómo usan en la Comunidad Educativa Caja de Compensación Regional COFREM, los materiales biodegradables disponibles en la ciudad de Villavicencio, se observó que algunas veces se da la integración de actividades que permiten determinar cómo se usan en la comunidad estudiantil. Sin embargo, falta profundización en el tema, y direccionamiento de la forma de usarlos. Por esta razón es necesario que se motive la adquisición de cultura ambiental mediante la educación ambiental, motivando a la comunidad educativa en la apropiación de valores ambientales, adecuados hábitos de manejo de residuos y reutilización, y la familiarización con materiales biodegradables, útiles para la creación y producción de pitillos ecológicos en la institución objeto de estudio.

## REFERENCIAS

- [1] Alcaldía de Bogotá. (2021). Decreto 317. Reglamenta las medidas para reducir progresivamente la adquisición y consumo de plásticos de un solo uso en entidades del Distrito.
- [2] Presidencia de la República. (2002). Decreto 1713. Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos. Colombia.
- [3] Frade A. y Parra C. (2018). Análisis del impacto de sustituir pitillos plásticos por biodegradables en una empresa de servicios de alimentos & bebidas, caso centro de convenciones el cubo. Bogotá.
- [4] Greenpeace. (2021). Página web sitio oficial.
- [5] Iñiguez M. (2019). Estudio de la contaminación marina por plásticos y evaluación de sus contaminantes derivados por tratamiento. Press.
- [6] Jaén M. et al. (2019). Los futuros maestros ante el problema de la contaminación de los mares por plásticos y el consumo. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias 16 (1), 1-20.
- [7] Londoño N. (2018). Entramado de relaciones sociedad-naturaleza para conservar la vida. Proyecto Ambiental Escolar Institución Educativa El Bagre. Tesis de Maestría. Universidad Pontificia Bolivariana.
- [8] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). En convenio con el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. Piensa un minuto antes de actuar: Gestión integral de residuos sólidos.
- [9] Pérez J. et al. (2016). La responsabilidad social empresarial y su enfoque ambiental: una visión sostenible a futuro. Revista Universidad y Sociedad 8(3), 169-178.
- [10] Polo A. (2018). Programa de educación ambiental en la disposición de los residuos sólidos en los estudiantes del 3 grado de educación secundaria. Trujillo 2017. Disertación Doctoral. Universidad César Vallejo.
- [11] Rengifo B. et al. (2012). La educación ambiental es una estrategia pedagógica que contribuye a la solución de la problemática ambiental en Colombia. En XII Coloquio Internacional de Geocrítica.
- [12] Valdez R. (2013). Educación ambiental en la escuela secundaria pública: Una evaluación desde la teoría de las representaciones sociales en un caso de estudio en Saltillo, Coahuila. Universidad de Nuevo León.

# Desempeño de un estabilizante electroquímico derivado de aceites minerales residuales en un suelo limo arcilloso

Andrés Betancur<sup>1</sup>  
Eliana Llano<sup>2</sup>  
Gloria Restrepo<sup>3</sup>  
*Universidad de Antioquia*  
Colombia

Las vías rurales en Colombia son un reto por las difíciles condiciones topográficas, los limitados recursos económicos disponibles y la presencia de suelos expansivos. En los últimos años se ha incrementado el interés por estabilizantes no tradicionales como los iónicos o electroquímicos, tales como aceites sulfonados o sales cuaternarias de amonio, porque presentan ventajas desde lo técnico y económico frente a los estabilizantes tradicionales como el cemento y la cal, pero que aún carecen de suficientes estudios y protocolos rigurosos para masificar su uso. En este trabajo se realizó la estabilización en laboratorio de un suelo natural clasificado como limo arcilloso; empleando un estabilizante electroquímico de aceite sulfonado con sales cuaternarias de amonio, que fue preparado en laboratorio a partir de residuos de hidrocarburos naftalénicos. Se evaluó el desempeño del estabilizante empleando seis dosificaciones diferentes, con los ensayos de resistencia mecánica, capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica y ascenso capilar. Se observa una mejoría de las propiedades del suelo en todos los ensayos con todas las dosificaciones, y se encontraron dosificaciones óptimas para cada propiedad medida.

---

<sup>1</sup> Ingeniero Químico.

Contacto: [adavid.betancur@udea.edu.co](mailto:adavid.betancur@udea.edu.co)

<sup>2</sup> Ingeniera Química, Ingeniera Industrial y Doctora en Ingeniería de Materiales.

Contacto: [eliana.llano@udea.edu.co](mailto:eliana.llano@udea.edu.co)

<sup>3</sup> Ingeniera Química y Doctora en Química.

Contacto: [gloria.restrepo1@udea.edu.co](mailto:gloria.restrepo1@udea.edu.co)

## 1. INTRODUCCIÓN

En Colombia, la red vial terciaria corresponde a 142.284 km de los 204.855 km totales de la red de carreteras del país, y se constituye en un enorme desafío de ingeniería por las difíciles características de superficie de rodadura, drenaje e inestabilidades geotécnicas del territorio nacional. A lo largo de los años el país ha tenido un deficiente sistema de gestión de la infraestructura vial y muchos municipios no se han preocupado por contar con los recursos económicos suficientes y con la capacidad técnica, administrativa y financiera para atender adecuadamente las vías terciarias de sus entornos rurales, lo que se ve reflejado en que solo el 6% de la red vial terciaria tenga capa de rodadura [1-3].

Adicional a las difíciles condiciones geotécnicas propias de Colombia y a los limitados recursos que normalmente se asignan a las vías rurales, se tiene otro reto, muy común de la ingeniería de vías, que es el deterioro causado por las arcillas y suelos expansivos, altamente perjudiciales para las estructuras que se construyan sobre ellos, tales como pavimentos, edificios y redes de servicios públicos, debido a que se expanden y se contraen considerablemente ante las variaciones del contenido de agua [4, 5].

Una solución frecuente a este problema es a través de la estabilización química, la cual normalmente se realiza empleando cemento, cal o cenizas volantes, cuyos procesos están basados en la presencia de calcio, y con los cuales se tiene mucha experiencia en la ingeniería de vías. Sin embargo, en los suelos con alto contenido de sulfatos, la estabilización con materiales a base de calcio presenta reacciones colaterales que conducen a la formación de minerales como la etingrita y taumasita, causando daños asociados a expansión volumétrica [6, 7]. Existe una serie de estabilizantes químicos de suelos no tradicionales, los cuales no están elaborados a base de calcio, y normalmente son productos líquidos concentrados que se diluyen en agua al momento de la aplicación en campo, reduciendo costos de transporte, además de que son productos de fácil aplicación, la cual consiste en un riego simple antes de realizar la compactación del suelo.

Dentro de estos estabilizantes no tradicionales se encuentran los estabilizantes iónicos o electroquímicos tales como los aceites sulfonados y las sales cuaternarias de amonio que funcionan a través de una variedad de mecanismos entre los cuales se destacan el intercambio catiónico, quelación de cationes intercambiables, encapsulamiento de las partículas de arcilla, repulsión del agua no drenable y la alteración del potencial electroquímico de la doble capa difusa [6, 8, 9].

A pesar de las numerosas ventajas desde el punto de vista técnico y económico de los estabilizantes electroquímicos, aún no existe un uso muy grande de este tipo de agentes en comparación con el uso que aún se le da a materiales como el cemento, la cal y las cenizas; y se ha observado que dicho fenómeno se debe a obstáculos tales como la falta de información proveniente de suficientes estudios rigurosos y a la no existencia de metodologías estandarizadas en laboratorio y en campo para la evaluación y predicción del desempeño de los estabilizantes no tradicionales [6]; por ello en los últimos 20 años esta carencia de información ha incrementado gradualmente el interés de los investigadores por conocer la forma cómo funcionan este tipo de estabilizantes.

[8] proporcionó uno de los primeros y más amplios estudios de la manera cómo diferentes estabilizantes químicos no tradicionales interactúan con los minerales arcillosos a nivel molecular, y en el caso de los aceites sulfonados explicó cómo los iones involucrados en el proceso se movilizan y generan cambios en el potencial eléctrico de la doble capa difusa. [10] emplearon un agente químico de intercambio de iones de hidrógeno para estabilizar arcillas expansivas, y encontraron que el potencial zeta de las arcillas fue disminuido un 32% al ser estabilizado con el agente químico en solución, y esto redujo el potencial de expansión de las arcillas.

[10] investigaron el mecanismo de estabilización de un estabilizante iónico como el d-limoneno sulfonado, obtenido en laboratorio, encontrando que el aditivo químico afecta el enrejado de las partículas de arcilla formando una estructura arcillosa con mayor grado de meteorización y menos expansiva [6]. Greening y Page-Green evaluaron de forma amplia el desempeño de 7 hidrocarburos sulfonados disponibles en el mercado como estabilizantes de suelos, y demostraron que a pesar de lo que defienden muchos proveedores de estabilizantes químicos de suelos, estos no son efectivos en todo tipo de suelos, y más aún,



los productos mostraron diferencias significativas entre sí en el desempeño en cada tipo de suelo, esto a pesar de que todos son de la misma naturaleza química [10].

[5, 12, 13] encontraron que el desempeño de la estabilización electroquímica depende en gran medida de la radiación UV que incide sobre los suelos tratados, y establecieron un comparativo del curado a condiciones naturales frente a condiciones simuladas en una cámara de envejecimiento acelerado. [9] demostraron el poder estabilizante de las sales cuaternarias de amonio por sí solas como aditivo para suelos, también clasificadas como un estabilizante electroquímico.

[14] publicaron una metodología de laboratorio que permite evidenciar lo mejor posible el desempeño de un estabilizante tipo aceite sulfonado muy conocido en el mercado llamado CON-AID Super. [15] estudiaron la evolución del desempeño mecánico de un suelo de una vía rural de bajo presupuesto en Malasia compuesta de un material tipo laterita, estabilizado en laboratorio con aceite sulfonado, encontrando que la resistencia mecánica del suelo estabilizado aumenta con el tiempo y que este tipo de estabilizantes necesitan de un período de unos pocos meses para alcanzar su resistencia máxima [15].

[4] evaluó el efecto de varios tipos de estabilizantes al estabilizar una arcilla expansiva, y encontraron que los estabilizantes iónicos funcionan a través de un mecanismo de intercambio catiónico que conduce al aumento de las concentraciones de cationes en el agua de poro del suelo tratado. Hasta ahora no se ha evaluado el desempeño simultáneo de aceites sulfonados y sales cuaternarias de amonio para estabilizar suelos provenientes de vías rurales de bajo presupuesto o terciarias. En este trabajo se evaluó el desempeño a escala de laboratorio de un estabilizante electroquímico compuesto por un aceite sulfonado y por sales cuaternarias de amonio, el estabilizante se sintetizó en laboratorio a partir de una mezcla de aceites e hidrocarburos naftalénicos residuales, esta mezcla se sulfonó con ácido sulfúrico, y luego fue aditivado con sales cuaternarias de amonio.

El desempeño del estabilizante se evaluó en un suelo natural clasificado como un limo arcilloso; y se llevó a cabo a través de pruebas de resistencia a la compresión simple, capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica y ascenso capilar, con diferentes dosis de estabilizante en el suelo. Se observó que el estabilizante preparado mejoró todas las propiedades del suelo natural en todas las dosificaciones estudiadas, pero para cada propiedad medida se encontraron una o dos dosificaciones que mejoraban en mayor grado el desempeño del suelo respecto a la mejoría obtenida con las demás dosificaciones.

## 2. MÉTODO

### 2.1 Toma de muestras y caracterización del suelo natural

La muestra de suelo natural fue tomada de una vía rural (Figura 1), el apique se realizó siguiendo las especificaciones técnicas de la normativa nacional [16], a una profundidad de 20 cm.



**Figura 1.** Sitio de muestreo del suelo para estabilizar

El suelo fue caracterizado de acuerdo a los procedimientos normalizados para humedad [17], análisis granulométrico por tamizado [18], índice de plasticidad [19, 20], densidad máxima seca y humedad óptima [21], pH [22], capacidad de intercambio catiónico [23], contenido de sales solubles [24], resistencia mecánica mediante compresión confinada [25], y densidad real empleando un picnómetro por desplazamiento de gas AccuPyc II 1340 [26]. Los resultados de la caracterización se muestran en la Tabla 1 y los resultados de los análisis granulométricos del suelo se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 1.** Caracterización general del suelo muestreado

| Parámetro   | Resultado |
|---|-----------|
| Humedad natural (%)   | 37,35     |
| Límite líquido  | 90        |
| Límite plástico   | 62        |
| Índice de plasticidad   | 28        |
| Densidad máxima seca (Kg/m <sup>3</sup> )                             | 1395      |
| Humedad óptima (%)  | 33        |
| Capacidad de intercambio catiónico (meq/100 g s.s.)                   | 54,71     |
| pH  | 5,1       |
| Contenido de sales solubles (%)                                       | 0,57      |
| Densidad real (g/cm <sup>3</sup> )                                    | 2,760     |
| CBR (antes de inmersión) (%)  | 86,7      |
| CBR (después de inmersión) (%)  | 25,3      |
| Porcentaje de expansión CBR(Ensayo modificado-antes de inmersión) (%) | 1,31      |
| Resistencia a la compresión no confinada (simple) (KPa)               | 666,84    |

**Tabla 2.** Granulometría del suelo muestreado

| Malla   | Pasante (%) |
|---------|-------------|
| 3/8"    | 100         |
| No. 4   | 98,56       |
| No. 10  | 98,01       |
| No. 40  | 96,16       |
| No. 200 | 90,21       |

## 2.2 Preparación del estabilizante electroquímico

Se realizó la selección de un aceite mineral residual que era un subproducto de la industria de hidrocarburos naftalénicos de la ciudad de Medellín, Colombia. El aceite fue sulfonado en laboratorio empleando ácido sulfúrico concentrado y el aceite sulfonado final fue purificado y luego aditivado con sales cuaternarias de amonio. Este producto se aplica disuelto en agua, y se usa la cantidad de agua necesaria para garantizar que se lleva el suelo a la humedad óptima y con la dosis de estabilizante electroquímico deseada. De esta manera a la solución que se prepara con el estabilizante obtenido en laboratorio se le llama Solución de Estabilizante Electroquímico SEE.

## 2.3 Ensayos de estabilización

Se realizó la estabilización del suelo de acuerdo con lo implementado por otros investigadores al evaluar otros estabilizantes electroquímicos presentes en el mercado, y se evaluaron seis dosificaciones diferentes del estabilizante puro medido en volumen de estabilizante por masa de suelo seco, tomándose valores en el rango de 10-2 mL estabilizante/ Kg suelo seco, que son los empleados en otros estabilizantes electroquímicos presentes en el mercado [14].

Las dosis empleadas fueron: 0,036; 0,047; 0,057; 0,067; 0,08; 0,105 mL estabilizante/Kg suelo seco, y adicionalmente se evaluó usando 0 mL estabilizante/Kg suelo seco, es decir, solamente usando agua como ensayo de referencia. Y se evaluó el desempeño a través de la resistencia mecánica medida por el ensayo de compresión inconfiada [25], capacidad de intercambio catiónico [23], conductividad eléctrica [27] y ascenso capilar no confinado en el tiempo, como se describe posteriormente en esta sección. Los pasos de la metodología de estabilización usada son:

1. Se separó la porción granulométrica de suelo según lo exige cada ensayo de la siguiente manera: Pasante malla 4 para resistencia mecánica por compresión no confinada, capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica y ascenso capilar en el tiempo.
2. Posteriormente se humectó el suelo con la SEE hasta dos puntos porcentuales por encima del valor de humedad óptima natural del suelo que fue del 33%.
3. Se sometió el suelo aditivado a un proceso de curado y homogenización de humedad dentro de bolsas herméticas durante 48 horas.

4. Después del almacenamiento por 48 horas, las muestras estabilizadas fueron acondicionadas para los diferentes en sayos de la siguiente manera:

- Resistencia mecánica: Las muestras estabilizadas fueron moldeadas en forma de probetas cilíndricas de acuerdo a lo exigido por la respectiva norma [25], después de lo cual se sometieron a un proceso de secado al aire libre hasta la verificación de un cambio de pendiente en la curva de humedad contra tiempo de cada probeta moldeada, en este punto fueron falladas y se les determinó por compresión simple su resistencia mecánica.
- Capacidad de intercambio catiónico y conductividad eléctrica: Las muestras estabilizadas fueron secadas al aire y se les midió su capacidad de intercambio catiónico y conductividad eléctrica.
- Ascenso capilar en el tiempo: Las muestras estabilizadas fueron moldeadas en forma de probetas cilíndricas de forma similar a las de resistencia mecánica, pero con una altura de 5 cm. Luego fueron secadas en un horno a 60 °C por 24 horas, para luego medir su ascenso capilar en el tiempo al ser introducidas en recipientes cristalizados con 60 mL de agua, como se observa en la Figura 2, y tomar la altura máxima alcanzada por el agua absorbida por la probeta de suelo en intervalos de 15 segundos los primeros 1,5 minutos y luego cada 30 segundos hasta 7 minutos de ascenso capilar.



Figura 2. Ensayo de ascenso capilar

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En la Tabla 3 se presentan los resultados del desempeño de la estabilización del suelo usando la SEE, en los ensayos de resistencia mecánica, capacidad de intercambio catiónico y conductividad eléctrica con las diferentes dosificaciones de estabilizante electroquímico.

Tabla 3. Desempeño de la estabilización con un agente electroquímico a diferentes dosificaciones

| Dosis de estabilizante (mL estabilizante/Kg suelo seco) | Resistencia a la compresión no confinada (KPa) | Capacidad de intercambio catiónico (meq/ 100 g suelo seco) | Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) |
|---|--|--|---|
| 0 (Suelo natural)                                       | 666,84   | 54,71  | 52,0  |
| 0,036   | 1251,15  | 46,14  | 48,2  |
| 0,047   | 1456,27  | 18,68  | 45,6  |
| 0,057   | 1390,35  | 17,98  | 48,5  |
| 0,067   | 1697,75  | 14,06  | 47,4  |
| 0,080   | 1638,00  | 24,12  | 46,8  |
| 0,105   | 1538,02  | 19,42  | 50,7  |

En la Figura 3 se presentan los resultados del ascenso capilar en el tiempo para las diferentes dosificaciones de estabilizante electroquímico

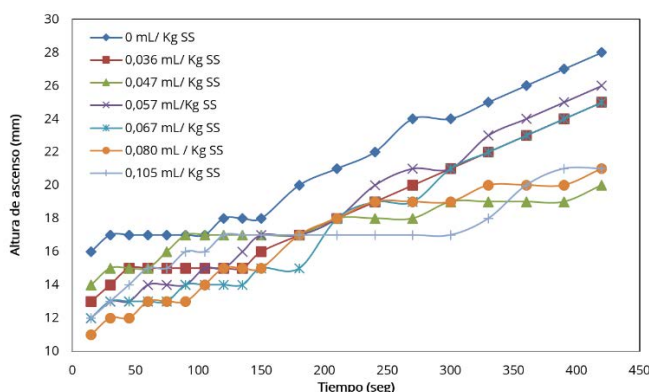


Figura 1. Ascenso capilar en el tiempo para diferentes dosificaciones de estabilizante electroquímico

La clave para la estabilización química de suelos consiste en remover la mayor cantidad de cationes intercambiables de la *atmósfera iónica* que rodea las partículas de arcilla, también llamada doble capa difusa. Para lograr esto, se requiere de un producto que atraiga los cationes y el agua ionizada de los alrededores de las partículas de arcilla con una fuerza mayor que la ejercida por la superficie de los coloides de la arcilla que están cargados negativamente de forma natural debido a su estructura molecular y cristalográfica, luego de lo cual dichos cationes pueden adoptar la forma de sólidos no solubles en agua o combinados con moléculas orgánicas que no les permitan regresar al seno de la solución.

Debido a esto se emplean agentes como los aceites sulfonados y las sales cuaternarias de amonio, que son al mismo tiempo compuestos orgánicos e ionizables, razón por la cual también son denominados estabilizantes iónicos [8, 9]. Las dosificaciones empleadas en este estudio fueron escogidas en rangos cercanos a los valores usados en productos comerciales muy conocidos [14], además de tener en cuenta que, para los estabilizantes iónicos en solución acuosa, dicha solución debe ser altamente diluida, ya que la ionización del estabilizante aumenta con el grado de dilución del mismo [8].

Los estabilizantes iónicos o electroquímicos como los aceites sulfonados, atacan los sitios disponibles para intercambio catiónico de los suelos y las arcillas, así como los cationes libres de los suelos. Teóricamente este proceso conduce a la reducción del agua adsorbida en las arcillas, y provoca que la resistencia mecánica del suelo sea menos susceptible a las variaciones del contenido de humedad [11].

Como se observa en la Tabla 3, la resistencia mecánica del suelo natural de 666,84 KPa es prácticamente duplicada con todas las dosificaciones evaluadas de estabilizante electroquímico, y se obtiene una resistencia máxima de 1697,75 KPa para la dosificación de 0,067 mL de estabilizante puro/Kg de suelo seco, y también un muy buen valor de resistencia de 1638,00 KPa con la dosificación de 0,080 mL de estabilizante puro/Kg de suelo seco, lo cual verifica el buen desempeño en esta propiedad para el estabilizante preparado en el laboratorio a partir de la mezcla de hidrocarburos residuales, y muestra estas dos dosificaciones como las más apropiadas si la característica de mayor interés a mejorar es la resistencia mecánica.

Los estabilizantes iónicos como los aceites sulfonados y sales cuaternarias de amonio son también conocidos como estabilizantes electroquímicos debido a la forma como alteran el potencial electroquímico natural de la doble capa difusa de los minerales arcillosos de los suelos: Por su naturaleza electrolítica, un gran porcentaje de las moléculas del producto surfactante ionizan produciendo cationes H<sup>+</sup> generalmente, y aniones orgánicos, estos últimos generan un potencial eléctrico con dirección hacia el exterior de las láminas de arcilla, potencial que fuerza los cationes intercambiables a moverse hacia afuera de dichas láminas y de su doble capa difusa, disminuyendo la capacidad de intercambio catiónico de la arcilla ya que extrae y retiene dichos cationes, y formando probablemente compuestos con dichos aniones, o bien sólidos no solubles que no les permiten regresar al seno de la solución [4, 8], lo cual a su vez disminuye la conductividad eléctrica del suelo.

Esta disminución de la capacidad de intercambio catiónico y de la conductividad eléctrica se ve acentuada además por el probable blindaje que los otros cationes y moléculas no ionizadas provenientes del estabilizante realizan a la superficie de las láminas de arcilla al ocupar y bloquear las posiciones de intercambio liberadas por los cationes de intercambio extraídos y disminuyendo la movilidad y con ello la conductividad de los cationes intercambiables remanentes en la doble capa difusa, la cual disminuye su espesor debido a una reducción de la densidad de carga de la superficie de las partículas de arcilla en el suelo, resultando en una mayor tendencia de dichas partículas a aglomerarse, y haciéndolo de forma permanente, ya que las moléculas del estabilizante se unen fuertemente a la superficie de las láminas de arcilla y repelen, por la hidrofobicidad de su parte orgánica, a las moléculas de agua circundantes [4, 10].

En la Tabla 3 se presentan los resultados de capacidad de intercambio catiónico CIC y conductividad eléctrica para todas las dosis evaluadas en este estudio. Se observa cómo los mayores valores de CIC y conductividad eléctrica son los del suelo natural, y ambas propiedades se ven reducidas en todas las dosis empleadas, y en el caso de la CIC se obtiene los mayores porcentajes de reducción empleando dosificaciones de 0,057 y 0,067 mL de estabilizante puro/Kg de suelo seco con valores de 17,98 y 14,06 meq/100 g de suelo seco, siendo esta última la de menor valor y por ende la más deseable para esta propiedad; mientras que en el

caso de la conductividad eléctrica las estabilizaciones con menor valor de esta propiedad son las de 0,047 y 0,080 mL de estabilizante puro/Kg de suelo seco con valores de 45,6 y 46,8  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , siendo la primera dosificación la más adecuada para dicha propiedad.

De acuerdo con lo anterior, las dos propiedades que hacen a los aceites sulfonados útiles para estabilización de suelos es que tienen la habilidad de desplazar los cationes intercambiables de las arcillas y convertirlas en un material a prueba de agua a través de un desplazamiento del agua adsorbida y previniendo la readsorción [15]. En la Figura 3 se presentan los resultados de los ensayos de ascenso capilar en el tiempo, propiedad cuyo desempeño depende en gran medida de la capacidad del suelo de dejarse permear y adsorber las moléculas de agua en el entorno circundante de las láminas de su fracción arcillosa.

Se observa cómo el agua asciende en mayor magnitud en la muestra de suelo natural, y el ascenso capilar es menor en todo momento para todas las dosificaciones de estabilizante electroquímico evaluadas, con variaciones en la dosificación con menor ascenso capilar a través de los diferentes intervalos de tiempo medidos, así durante los primeros 105 segundos la dosificación con menor ascenso es la de 0,080 mL de estabilizante puro/Kg de suelo seco, luego hasta los 180 segundos es la dosificación de 0,067 mL de estabilizante puro/Kg de suelo seco, posteriormente hasta los 330 segundos es la dosificación de 0,105 mL de estabilizante puro/Kg de suelo seco, y finalmente hasta los 420 segundos la dosificación de 0,047 mL de estabilizante puro/Kg de suelo seco es la de menor ascenso capilar.

Dicha variación en la dosificación con menor ascenso capilar en el tiempo probablemente se da por las irregularidades que pueden presentarse en la distribución del suelo en cada probeta evaluada, pero que tienden a ser despreciables en la medida que el tiempo evaluado sea mayor, esto significa que para el estudio realizado la dosificación de 0,047 mL de estabilizante puro/Kg de suelo seco es la que se comportó mejor en relación con la propiedad de ascenso capilar en el tiempo.

Las cuatro propiedades medidas presentan una clara mejoría del suelo natural muestreado al ser estabilizado con todas las dosificaciones del estabilizante electroquímico preparado en el laboratorio a partir de la mezcla de residuos de aceites minerales e hidrocarburos similares, lo cual significa que técnicamente es viable desarrollar un producto para el aprovechamiento de dichos residuos en el mejoramiento de infraestructura vial.

#### **4. CONCLUSIONES**

Fue posible realizar la estabilización en laboratorio de un suelo natural clasificado como limo arcilloso, empleando un estabilizante electroquímico preparado en laboratorio a partir de una mezcla de residuos aceites minerales e hidrocarburos naftalénicos, y se evaluó el desempeño del estabilizante empleando seis dosificaciones diferentes. Se observó la mejoría del suelo para todas las dosificaciones estudiadas y en todas las cuatro propiedades medidas: resistencia mecánica, capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica y ascenso capilar.

Para cada propiedad se encontraron dosificaciones que mejoraron en mayor grado el desempeño de suelo natural: Así en resistencia mecánica las dosificaciones de mejor desempeño fueron 0,067 y 0,080 mL estabilizante/Kg suelo seco; en la capacidad de intercambio catiónico fueron 0,067 y 0,057 mL estabilizante/Kg suelo seco; en la conductividad eléctrica fueron 0,047 y 0,080 mL estabilizante/Kg suelo seco; y en ascenso capilar fue 0,047 mL estabilizante/Kg suelo seco.

Se observó con ensayos de laboratorio que técnicamente es viable desarrollar un producto para el mejoramiento de infraestructura vial realizando el aprovechamiento de residuos de la industria de los aceites minerales e hidrocarburos naftalénicos.

#### **Agradecimientos**

Los autores agradecen a la Universidad de Antioquia, al grupo de investigación Procesos Físicoquímicos Aplicados y al semillero Semillas ConCiencia por el apoyo para llevar a cabo esta investigación.

## REFERENCIAS

- [1] León M. (2016). Anuncian inversiones en 142 mil kilómetros de vías terciarias. Portafolio.
- [2] ACIEM. (2013). Vías terciarias para la competitividad e impulso del producto interno bruto. Asociación Colombiana de Ingenieros.
- [3] Sandoval H. (2015). Vías terciarias tendrán recursos como las de cuarta generación. El Tiempo.
- [4] Zhao H. et al. (2014). Effects of Chemical Stabilizers on an Expansive Clay. *KSCE Journal of Civil Engineering* 18(4), 1009-1017.
- [5] Camacho J. et al. (2008). Curado natural y acelerado de una arcilla estabilizada con aceite sulfonado. *Ingeniería & Desarrollo* (24), 48-62.
- [6] Katz L. et al. (2001). Mechanisms of Soil Stabilization with Liquid Ionic Stabilizer. *Transportation Research Record* 1757, 50-57.
- [7] Mitchell J. y Dermatas D. (1992). Clay Soil Heave Caused by Lime-Sulfate Reactions. *Innovations and Uses for Lime*. ASTM 113, 41-64.
- [8] Scholen D. (1995). Stabilizer Mechanisms in Nonstandard Stabilizers. En 6th International Conference on Low-Volume Roads. Washington.
- [9] Junco J. y Tejada E. (2011). Aditivo químico obtenido de sales cuaternarias empleado para la estabilización de suelos arcillosos de subrasantes de carreteras. *Revista de Arquitectura e Ingeniería* 5(2).
- [10] Sarkar S. et al. (2000). Injection stabilization of expansive clays using a hydrogen ion exchange chemical. *Advances in Unsaturated Geotechnics*.
- [11] Greening P. y Page P. (2003). Evaluation of Sulphonated Petroleum Products as soil stabilisers and compaction aids.
- [12] Camacho J. et al. (2006). Evaluación de aditivos usados en el tratamiento de arcillas expansivas. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina* 16(2), 45-53.
- [13] Camacho J. et al. (2010). Efecto de la radiación UV en arcillas expansivas tratadas con aceite sulfonado. *Ingeniería y Competitividad* 12(2), 41-50.
- [14] Rivera J. et al. (2011). Comportamiento del aditivo químico CON-AID Super ® en distintos tipos de suelos, combinación con otros materiales de estabilización. Universidad Tecnológica Nacional. Argentina.
- [15] Zolfeghari S. et al. (2013). An evaluation of the tropical soils subjected physicochemical stabilization for remote rural roads. *Procedia Engineering* 54, 817-826.
- [16] INVIAS. (2007). Investigación de suelos y rocas para propósitos de ingeniería. Instituto Nacional de Vías. Colombia.
- [17] INVIAS. (2013). Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) del suelo, roca y mezclas de suelo -agregado. Instituto Nacional de Vías. Colombia.
- [18] INVIAS. (2013). Análisis granulométrico de suelos por tamizado. Instituto Nacional de Vías. Colombia.
- [19] INVIAS. (2013). Determinación del límite líquido de los suelos. Instituto Nacional de Vías. Colombia.
- [20] INVIAS. (2013). Límite plástico e índice de plasticidad de suelos. Instituto Nacional de Vías. Colombia.
- [21] INVIAS. (2013). Relaciones de peso unitario-humedad en los suelos, equipo modificado. Instituto Nacional de Vías. Colombia.
- [22] INVIAS. (2013). pH de los suelos. Instituto Nacional de Vías. Colombia.
- [23] ICONTEC. (2014). NTC 5268. Calidad del suelo. Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
- [24] CEDEX. (1999). NTL-114. Determinación del contenido en sales solubles de los suelos. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. España.
- [25] INVIAS. (2013). Compresión inconfiada en muestras de suelos. Instituto Nacional de Vías. Colombia.
- [26] ASTM. (2010). ASTM B923. Standard Test Method for Metal Powder Skeletal Density by Helium or Nitrogen Pycnometry.
- [27] Fernández L. et al. (2006). Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados. Instituto Mexicano del Petróleo, Instituto Nacional de Ecología.

# Desarrollo de películas biodegradables a base de almidón de papa incorporado con aceite esencial de molle, extracto etanólico de propóleo y chaco

Christian Apaza Cusiatau<sup>1</sup>

Joaquín Castañón Vilca<sup>2</sup>

Briguit Ortiz Quispe<sup>3</sup>

Marcia Quequezana-Bedregal<sup>4</sup>

Elizabeth Medrano de Jara<sup>5</sup>

Evelyn Gutiérrez-Oppe<sup>6</sup>

*Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*  
Perú

El desarrollo de materiales biodegradables a base de diferentes polímeros naturales ha comenzado a tener importancia desde un punto de vista científico tanto como en lo social. Por tal motivo, en la búsqueda mejorar las propiedades de barrera, así como la capacidad de inhibición antimicrobiana de dichos nuevos materiales, los cuales son la clave para una potencial implementación dentro de la industria, se busca añadir distintos aditivos dentro de la matriz polimérica principal. El presente trabajo tiene como finalidad obtener películas biodegradables a base de almidón de papa con la adición de aceite esencial de molle, extracto etanólico de propóleo y chaco (arcilla), y evaluar su efecto sobre las propiedades de barrera y antimicrobianas. Las pruebas experimentales desarrolladas dieron como resultado que valores mayores de PVA se obtuvieron con 0,5% de aceite esencial de molle, 4% de extracto etanólico de propóleo y 4% de chaco; mientras que la película con mayor inhibición al *S. aureus* fue la que tenía 1% de aceite esencial de molle, 4% de extracto etanólico de propóleo y 4% de chaco.

---

<sup>1</sup> Bachiller en Ingeniería Química.

Contacto: [capazacu@unsa.edu.pe](mailto:capazacu@unsa.edu.pe)

<sup>2</sup> Bachiller en Ingeniería Química.

Contacto: [jcastanonv@unsa.edu.pe](mailto:jcastanonv@unsa.edu.pe)

<sup>3</sup> Bachiller en Ingeniería Química.

Contacto: [bortizq@unsa.edu.pe](mailto:bortizq@unsa.edu.pe)

<sup>4</sup> Doctora en Ciencias y Tecnologías Medioambientales.

Contacto: [emedrano@unsa.edu.pe](mailto:emedrano@unsa.edu.pe)

<sup>5</sup> Doctora en Ciencias y Tecnologías Medioambientales.

Contacto: [mquequezanab@unsa.edu.pe](mailto:mquequezanab@unsa.edu.pe)

<sup>6</sup> Ingeniera Química y Doctora en Ciencias.

Contacto: [egutierrezop@unsa.edu.pe](mailto:egutierrezop@unsa.edu.pe)

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad en el mercado consumidor de productos agrícolas se requiere que los alimentos sean seguros, saludables, con un procesamiento mínimo y que cuente con un sistema de distribución en base a la vida útil de los productos; por lo que se han ido desarrollando nuevas tecnologías de empaques que incorporan sustancias naturales con actividad antimicrobiana y antioxidante [1, 2].

Los sistemas de los empaques activos buscan inhibir el crecimiento microbiano que son potencialmente peligrosos para la salud, además de mantener la calidad y cumplir con los requerimientos de inocuidad de los productos exportados [3].

Esto se debe a que las películas activas tienen la capacidad de reducir la transferencia de humedad, dióxido de carbono, oxígeno y aroma, siendo la propiedad de barrera una de las que valida esa capacidad [4].

No obstante, cuando se exponen a determinadas condiciones ambientales de almacenamiento, éstos se encuentran propensos a experimentar cambios físicos, químicos y biológicos indeseables y para superar esos cambios se les puede añadir a las películas distintos aditivos de fuentes naturales con el fin de mejorar sus propiedades de barrera y antimicrobianas [5].

En el diseño de los envases activos, uno de los principales intereses es la incorporación de aditivos naturales con capacidades antioxidantes y antimicrobianas, de manera que al adherirse a la superficie del producto se liberen e interactúen con este [6]. Dentro de estos podemos encontrar aceites esenciales y resinas naturales [7, 8].

El Aceite Esencial de *Schinus molle* presenta propiedades antimicrobianas y antioxidante, demostrando ser una alternativa altamente potencial para la aplicación en los alimentos [9], ya que es efectivo contra bacterias Gram positivas debido a la presencia de monoterpenos y sesquiterpenos [10], que actúan aglomerándose en la bicapa lipídica de las bacterias, debido a su carácter lipofílico, modificando su permeabilidad y ocasionando su ruptura [11], también se ha registrado que la incorporación de aceites esenciales puede mejorar las propiedades mecánicas y funcionales de los empaques debido a su capacidad volátil y aceitosa que modifica el grado de hidrofobicidad de los empaques [12, 13].

Así mismo se reporta que la incorporación de aceites esenciales en los envases activos es beneficioso para la salud ya que puede sustituir a los conservantes químicos [14, 15]. Por otro lado, la aplicación de resinas naturales como el propóleo, ha demostrado ser eficiente para la conservación de diferentes alimentos, ya que logra extender hasta tres veces la vida útil del alimento; al igual que el Aceite Esencial de Molle, es efectivo contra bacterias Gram Positivas a bajas concentraciones y para las bacterias Gram Negativas en altas concentraciones [16], además de ello debido a sus componentes lipídicos actúan como barrera frente a la humedad [17].

El almidón de papa, así como sus residuos, son los más utilizados como materia prima para la obtención de envases biodegradables; por ser abundantes, renovables y de bajo costo; sin embargo, presenta deficientes propiedades funcionales por lo que la incorporación de una arcilla bentonita dentro de la matriz polimérica permitirá mejorar las propiedades de barrera al vapor de agua debido a su carácter hidrófilo [18].

Es importante resaltar que, la capacidad de absorber moléculas de vapor de agua y gases determinan las características de los empaques; llamándose a estas, propiedades de barrera. Estas propiedades pueden ser utilizadas para comprender los mecanismos de transferencia de masa y la interacción de solutos y polímeros dentro de los envases [19].

Debido a que los componentes activos del Chaco, tienen efecto en la permeabilidad al vapor de agua y actividad antimicrobiana, el objetivo de la presente investigación fue desarrollar películas biodegradables y activas a base de almidón de papa (*Solanum tuberosum*) reforzadas con Chaco y evaluar la interacción del Aceite Esencial de Molle y Extracto Etanólico de Propóleo con la matriz polimérica, sobre las propiedades de barrera y antimicrobiana.



## 2. MÉTODO

### 2.1 Materiales y reactivos

El almidón fue extraído de los residuos de papa (*Solanum tuberosum*) de la variedad única adquiridas de un productor local de la provincia de Arequipa, el glicerol de la marca Sigma Aldrich © (pureza 99%) fue usado como plastificante para la solución filmogénica, el aceite esencial de molle (*Schinus molle*) fue extraído de los frutos del Molle en el distrito de Sabandía de la región de Arequipa, el Chaco fue adquirido de la comunidad de Azángaro en Puno, el Propóleo se obtuvo de los apicultores de la región y el agua destilada fue usada como un líquido polar. El agente emulsificante, Tween 80, fue adquirido por Merck©.

### 2.2 Extracción de almidón de papa

El almidón nativo fue extraído de la papa de variedad Única, por ser la más comercial dentro del mercado actual, que consistió en, pesar, lavar, pelar y cortar en trozos pequeños, los cuales se trituraron en una licuadora empleando una solución de Metabisulfito de Sodio al 0,075% en proporción de 1:1, luego se procedió a filtrar utilizando tela nylon. Lo retenido en la tela nylon nuevamente se colocó en la licuadora y se añadió agua en proporción de 1:1, y se filtró varias veces utilizando tela nylon. Los filtrados se dejaron sedimentar 2 h a temperatura ambiente hasta obtener una capa firme de almidón en el fondo [20]. Finalizada la primera sedimentación, se inició el proceso de lavado, retirando el sobrenadante, y en el mismo recipiente se agregó agua en proporción 1:1 con respecto al almidón sedimentado, agitando manualmente la mezcla almidón-agua. Se realizaron varios lavados hasta obtener al almidón libre de impurezas. El almidón húmedo se llevó a secado en estufa Memmert SN-55 a 40°C por 24h. El almidón seco se molió y se pasó por malla Tyler N° 100.

### 2.3 Extracción de extracto etanólico de propóleo

El propóleo se dispersó en una solución de etanol al 80%, luego fue llevada a un baño ultrasónico para su extracción durante 25 minutos a 65 °C. Terminada la extracción, se centrifugó con una centrifuga Ohaus Frontier™ serie 5000, a 4000 rpm durante 10 minutos para separar la cera en el fondo del tubo. El sobrenadante fue filtrado en papel filtro Whatman N°1 usando una bomba de vacío. El filtrado se concentró al vacío a 40 °C en un evaporador rotatorio RSLAB modelo RS 100-PRO y finalmente secado en estufa Memmert SN-55 a 40°C por 24h. El propóleo obtenido fue utilizado para preparar la solución de Extracto Etanólico de Propóleo, con una relación de propóleo: etanol de 1:30 g/mL., el cual se almacenó a 4 °C en una botella ámbar para su conservación [21], [22].

### 2.4 Extracción del aceite esencial de molle

Se recolectaron semillas de *Schinus molle* L. en etapa intermedia de madurez [23], basada en su coloración verde-rojiza, las cuales fueron secadas 15 días a temperatura ambiente y en ausencia de luz solar directa. Después fueron lavadas con agua para eliminar cualquier suciedad del polvo, resto de azúcares y residuos presentes en su superficie, para reducir su tamaño se utilizó un molino manual con la finalidad de obtener mayor área superficial para la extracción, y obtener rendimientos óptimos de Aceite Esencial de *Schinus molle* L. El proceso de extracción se desarrolló mediante hidroddestilación. Finalmente, el aceite esencial extraído fue envasado en frascos de vidrio color ámbar para evitar su volatilización, degradación y deterioro a causa de los rayos UV y oxígeno del aire.

### 2.5 Desarrollo de experimentos usando diseño de mezclas

El diseño utilizado para esta investigación fue un Diseño Factorial Multifactor, ya que se busca ver la influencia que tienen los componentes (Aceite Esencial de Molle, Extracto Etanólico de Propóleo y Chaco), sobre la Permeabilidad al Vapor de Agua (PVA) y su capacidad de Antimicrobiana con *S. aureus* y *E. coli*. Por lo tanto, se asignó diferentes niveles a cada componente. Para el Aceite Esencial de Molle 3 niveles: 0%, 0,5% y 1%; para el Extracto Etanólico de Propóleo 0%, 2% y 4% y finalmente 0%, 4% y 8% para el Chaco. Todas las muestras fueron analizadas a condiciones ambientales de la ciudad de Arequipa, Perú.

## 2.6 Obtención de película de aceite esencial de molle, extracto etanólico de propóleo y chaco

La solución filmogénica base fue preparada con 2,5% (p/v) de almidón en agua destilada y 50x4% (p/p) de glicerol (en relación a la masa seca de almidón). Se inició disolviendo el almidón en agua bajo agitación y calentamiento continuo a 60 °C durante 20 minutos para garantizar la gelatinización; luego se adicionó el glicerol en la proporción mencionada a 70°C por 10 minutos. Seguidamente se adicionaron, las concentraciones de los aditivos, según el diseño de experimentos utilizado.

A la solución filmogénica base se le incorporó el Extracto Etanólico de Propóleo bajo agitación constante a 80 °C y por 10 min [24]; seguidamente se adicionó el Chaco previamente activado en el equipo de ultrasonido por 10 min; después de enfriar la solución a 40°C se adicionó el Aceite Esencial de Molle con el Tween 80 en agitación durante 10 min. Todas las soluciones filmogénicas fueron tratadas por el método de casting y secadas en estufa con circulación de aire a 40 °C por 16 h, finalmente las películas fueron retiradas y se almacenaron para su posterior caracterización.

## 2.7 Evaluación de la permeabilidad al vapor de agua

La evaluación de la Permeabilidad al Vapor de Agua PVA se desarrolló en base al método ASTM-96-00. Para ello se utilizó una sección circular de 8 mm de diámetro de cada película y se midió su espesor con el micrómetro digital Mitutoyo IP65. Las muestras se colocaron en la parte superior de un vial de 2 mL con 1 mL de solución de Nitrato de Potasio (KNO<sub>3</sub>) sobresaturado, e introducidas en un desecador con temperatura y humedad conocidas y registradas por un termohigrómetro marca Boeco SH-110, mientras que la variación del peso de los viales fue registrada cada hora en una balanza analítica Radwag AS 60/220.R2 plus durante 8 horas. La diferencia de presión parcial de vapor de agua que existe en ambos lados de la película nos proporciona la fuerza impulsora para el flujo de vapor de agua a través de la película y es lo que se evalúa por triplicado a partir de la pendiente, relación peso-tiempo según la ecuación (1).

$$PVA = \frac{(G/t)}{P_{sat} \times (RH_1 - RH_2) \times A} \times z \quad (1)$$

Donde: PVA es la permeabilidad al vapor de agua (g/s\*m\*Pa); G/t es la pendiente de la relación peso versus tiempo (g/h); z es el grosor de la película (m); A es el área expuesta de la película (m<sup>2</sup>); P<sub>sat</sub> es la presión de saturación a la temperatura de trabajo (Pa); RH<sub>1</sub> y RH<sub>2</sub> son la humedad relativa de la película.

## 2.8 Análisis microbiológico

Se aplicó el método de difusión en agar [25]. Para lo cual se utilizó una placa para la bacteria Gram-positiva *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923) y otra placa para la bacteria Gram-negativa *Escherichia coli* (ATCC 25922) para determinar el diámetro de la zona de inhibición. En diferentes placas de agar Mueller-Hinton (MHA) se inocularon sobre la superficie 0,1 mL de *S. aureus* (1,5\*10<sup>8</sup> UFC/mL) y *E. coli* (1,5\*10<sup>8</sup> UFC/mL). Las muestras circulares de las películas fueron expuestas a luz ultravioleta en una cámara UV durante 30 minutos a 254 nm para descontaminarlas. Las muestras con 8 mm de diámetro fueron colocadas sobre la superficie del medio inoculado y se incubaron a 37 °C por 24 h. Transcurrido el tiempo de incubación, se midieron los halos de inhibición (mm) usando un vernier. Las pruebas se realizaron por triplicado para cada película y para la muestra control [26].

## 2.9 Análisis estadístico

La evaluación de los resultados de todas las etapas se realizará mediante un Análisis de Varianza ANOVA con un valor de significancia igual a 0,05. Luego las medias serán comparadas con un Test de Tukey para precisar exactamente donde se encuentran las diferencias estadísticas. Asimismo, también se aplicará la técnica agrupamiento, k-means, con la finalidad de poder observar que patrones se encuentran en los datos de PVA por cada película y tener posibles grupos con un comportamiento similar. Para el desarrollo de diseño experimental (Diseño Factorial Multifactor) se utilizó el software Minitab 19 y también para el

análisis estadístico de los resultados de la actividad antimicrobiana de las películas, mientras que para el análisis de datos obtenidos del PVA se utilizó el lenguaje R mediante el software RStudio.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

#### 3.1 Elaboración de películas biodegradables con aceite esencial de molle, extracto etanólico de propóleo y chaco

Se lograron obtener películas de almidón de papa, con adición de Extracto Etanólico de Propóleo y Chaco, flexibles, translúcidas y textura homogénea (Figura 1). Las películas que contenían 4% de Extracto Etanólico de Propóleo en su composición mostraron una coloración amarillo verdoso tenue probablemente debido a la composición química del propóleo [27], resultados similares se obtuvieron en películas a base de yuca, con extracto etanólico de propóleo y cera de abejas [27] y películas a base de poli(ácido láctico) incorporado con aceite esencial de *Thymus vulgaris* y extracto etanólico de propóleo mediterráneo, en el cual reportaron que el extracto etanólico de propóleo tuvo un mayor efecto en el cambio de color de las películas que el aceite esencial de *Thymus vulgaris*. El color de las películas en productos recubiertos es de gran importancia puesto que se relaciona directamente con la apariencia del alimento [28].



Figura 1. Película obtenida del almidón de papa, aceite esencial de molle, extracto etanólico de propóleo y chaco

#### 3.2 Permeabilidad al vapor de agua PVA

Los resultados obtenidos para el PVA se muestran en la Tabla 1, para esto, se utilizó la siguiente codificación, Aceite Esencial de Molle (M), Extracto Etanólico de Propóleo (P) y Chaco (C), asimismo, también se muestra la agrupación de medias obtenida mediante la Prueba de Tukey. Como se puede observar, la muestra 0.5M 4P 4C, es la película con mayor valor de PVA, mientras que la película con menor valor de PVA es la muestra control (0M 0P 0C), siendo estas películas diferentes, ya que, ambas películas pertenecen a diferentes agrupaciones según el test de Tukey (a y d, respectivamente) con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 1. Promedio del PVA por formulación de película con la comparación de Tukey

| Resultados de PVA (g/s*m*Pa) *10 <sup>-10</sup> |             |        |       |
|---|-------------|--------|-------|
| Película  | Formulación | PVA    | Grupo |
| 1   | 0,5M 4P 4C  | 6,2411 | a     |
| 2   | 0,5M 0P 4C  | 5,8631 | ab    |
| 3   | 0,5M 4P 0C  | 5,9475 | ab    |
| 4   | 0,5M 2P 0C  | 5,794  | abc   |
| 5   | 0,5M 0P 0C  | 5,4358 | abcd  |
| 6   | 0,5M 0P 8C  | 5,3891 | abcd  |
| 7   | 0,5M 2P 4C  | 5,0343 | abcd  |
| 8   | 0,5M 2P 8C  | 5,2114 | abcd  |
| 9   | 0,5M 4P 8C  | 5,4599 | abcd  |
| 10  | 0M 0P 8C    | 4,734  | abcd  |
| 11  | 0M 2P 0C    | 5,1777 | abcd  |
| 12  | 0M 4P 0C    | 5,0141 | abcd  |
| 13  | 0M 4P 4C    | 5,2436 | abcd  |
| 14  | 0M 4P 8C    | 5,2585 | abcd  |
| 15  | 1M 0P 0C    | 5,7311 | abcd  |
| 16  | 1M 0P 8C    | 5,0862 | abcd  |
| 17  | 1M 2P 0C    | 5,1445 | abcd  |
| 18  | 1M 2P 4C    | 4,8755 | abcd  |

|    |          |        |      |
|----|----------|--------|------|
| 19 | 1M 2P 8C | 5,2448 | abcd |
| 20 | 1M 4P 0C | 5,078  | abcd |
| 21 | 1M 4P 4C | 5,4743 | abcd |
| 22 | 1M 4P 8C | 5,7823 | abcd |
| 23 | 0M 0P 4C | 4,5204 | bcd  |
| 24 | 0M 2P 4C | 4,4988 | bcd  |
| 25 | 0M 2P 8C | 4,3106 | cd   |
| 26 | 0M 0P 0C | 4,2481 | d    |

Esto demuestra que, la agregación de dichos aditivos en las películas aumenta significativamente los valores de PVA comparadas con las muestras elaboradas con almidón de papa, lo cual nos permite inferir que las películas son apropiadas para mantener el equilibrio de humedad y evitar la pérdida de peso del producto a empacar. También se puede observar que el valor medio de la concentración de Aceite Esencial de Molle (0.5%) es la concentración que presenta valores más altos de PVA.

En la Figura 2 se muestra la correlación que tienen cada uno de los componentes sobre la PVA, en donde se puede observar que, el Aceite Esencial de Molle tiene una correlación positiva al igual que la cantidad de Extracto Etanólico de Propóleo, esto significa que es de esperar que estos dos componentes aumenten la PVA dentro de la película, mientras que el Chaco tiene un efecto débil sobre la permeabilidad e incluso negativo.

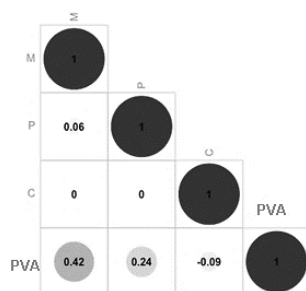


Figura 2. Correlación del PVA entre los componentes de la formulación

El efecto de estos factores o componentes se pueden comparar con los resultados obtenidos del ANOVA realizado al diseño factorial, dicho análisis se le aplicó a una regresión lineal, lo cual permitió poder evaluar la significancia de cada uno de los componentes y especialmente si existe interacción entre estos; dichos resultados se muestran en la Tabla 2 que fueron obtenidos mediante el uso de R en RStudio.

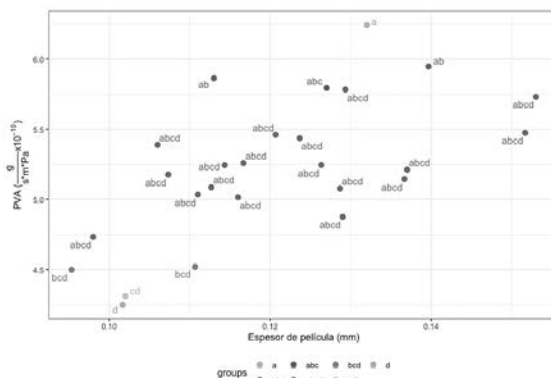
Tabla 2. Resultados del ANOVA para la PVA

| Componentes                     | Grados de Libertad | Suma de Cuadrados | Suma de Media de Cuadrados | Valor F | p(>F)                 |
|---------------------------------|--------------------|-------------------|----------------------------|---------|-----------------------|
| Aceite Esencial Molle (M)       | 2                  | 9,2702            | 4,6351                     | 15,8073 | 4,33*10 <sup>-6</sup> |
| Extracto Etanólico Propóleo (P) | 2                  | 3,2366            | 1,6183                     | 5,519   | 0,0067                |
| Chaco (C)                       | 2                  | 0,2006            | 0,1003                     | 0,3422  | 0,7118                |
| M:P                             | 4                  | 0,9497            | 0,2374                     | 0,8097  | 0,5246                |
| M:C                             | 4                  | 0,7053            | 0,1763                     | 0,6013  | 0,6634                |
| P:C                             | 4                  | 2,0031            | 0,5008                     | 1,7078  | 0,1623                |
| M:P:C                           | 7                  | 2,6862            | 0,3837                     | 1,3087  | 0,2649                |
| Residuales                      | 52                 | 15,2478           | 0,2932                     |         |                       |

En la Tabla 2 se puede observar que tanto el Aceite Esencial de Molle M, como el Extracto Etanólico de Propóleo P, son significativos para la PVA, ya que ambos tienen un valor p menor a 0,05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula. Para el caso del Chaco no se puede establecer que éste sea significativo, ya que, el valor obtenido es mayor al valor de significancia, de la misma manera se puede observar que las interacciones entre los componentes no son significativas dado que para todas las interacciones el valor p obtenido es mayor a 0,05.

En la Figura 3 se muestra la relación entre el espesor y el PVA de cada película, observándose una pendiente positiva entre estas dos variables, es decir, conforme se aumenta el espesor, el PVA también tiene una

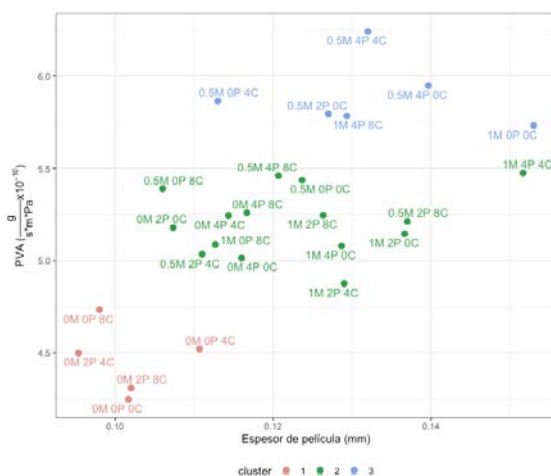
tendencia a aumentar, además, en esta misma gráfica también se puede observar los grupos obtenidos por el test de Tukey (Tabla 1), reflejando que, aquellas películas que comparten el mismo conjunto de letras (grupo) son estadísticamente similares, ya que, el valor p obtenido para estas películas es superior al nivel de significancia (0,05). Los resultados obtenidos evidencia que la mayoría de las películas desarrolladas son similares estadísticamente ya que pertenecen al grupo "abcd" y se encuentran en un rango cercano de PVA, mientras que, existen dos significativamente diferentes, que son las películas 0,5M 4P 4C (grupo a, mayor) y 0M 0P 0C (grupo d, menor), luego las películas que pertenecen a los grupos "ab", "cd" y "bcd".



**Figura 3.** Relación entre el espesor de la película con el PVA agrupado de acuerdo a la prueba de Tukey

No obstante, a simple vista se pueden lograr diferenciar agrupaciones un poco definidas entre los tratamientos, al momento de hacer la comparación entre el espesor y el PVA de las películas, existiendo películas que tienen baja, media y alta permeabilidad, esto significa que, si se busca industrializar dichas películas para que tengan una aplicación de empaque, se pueden manejar 3 clasificaciones, que, pueden tener distintas finalidades según sea la necesidad del mercado. Para esto se aplicó un k-means, que es una técnica de agrupamiento o de clasificación de los datos; lográndose obtener 3 clústeres que permiten discriminar de forma más definida la presencia de dichas agrupaciones de películas.

En la Figura 4 se muestran los resultados de dicho proceso de agrupación (k-means) siendo diferente al análisis con el test de Tukey dado que son técnicas con diferentes objetivos, por lo tanto, se logran observar claramente 3 grupos, que se pudieron clasificar en: "baja PVA" de color rojo, "media PVA" de color verde y de "alta PVA" de color azul. Observándose que la mayoría de las películas desarrolladas en esta investigación se encuentran en un rango de 5 a  $5,5 \times 10^{-10}$  g/m<sup>2</sup>sPa perteneciendo al grupo de "media PVA", mientras que las de "baja PVA" van en un rango de 4 a  $4,8 \times 10^{-10}$  g/m<sup>2</sup>sPa y las de "alta PVA" van de  $5,7$  a  $6,3 \times 10^{-10}$  g/m<sup>2</sup>sPa.



**Figura 4.** Resultados de PVA agrupados por k-means

Como se puede observar en la Figura 4 dichos grupos permiten establecer rangos de PVA lográndose clasificar cual es el resultado del PVA para nuevas formulaciones de películas que se deseen experimentar, pudiéndose satisfacer diferentes necesidades del mercado según sea requerido. Estas agrupaciones tienen

similaridad con los siguientes resultados, donde las películas desarrolladas con almidón de papa y diferentes concentraciones de glicerol y sorbitol, tienen resultados que se pueden agrupar de la misma manera, estando incluso en la misma magnitud que es  $10^{-10}$ , ya que, tienen un grupo de películas que pueden ir de 4 a  $5 \times 10^{-10}$  g/m<sup>2</sup>sPa otras de 5 a  $6 \times 10^{-10}$  g/m<sup>2</sup>sPa y por ultimo las que tienen la más alta permeabilidad que van de 7 a  $9,6 \times 10^{-10}$  g/m<sup>2</sup>sPa [29].

Sin embargo, los valores obtenidos de PVA en esta investigación son menores, ya que estos autores reportaron que para películas elaboradas con almidón de maíz se pueden obtener valores mínimos de 2 hasta  $12 \times 10^{-9}$  g/m<sup>2</sup>sPa [30].

De todo lo anterior se puede demostrar que la película que tiene mayor permeabilidad es 0.5M4P4C y la que tiene menor permeabilidad sin contar el blanco sería 0M2P8C, además se evidencia que la presencia del Chaco en este tipo de mezclas, es decir, junto con Aceite Esencial de Molle y Extracto Etanólico de Propóleo, no tiene significancia sobre la variación del PVA. Finalmente, también se evidencia que las películas obtenidas pueden tener clasificaciones que se pueden adecuar a diferentes usos dentro del mercado.

### 3.3 Actividad Antimicrobiana

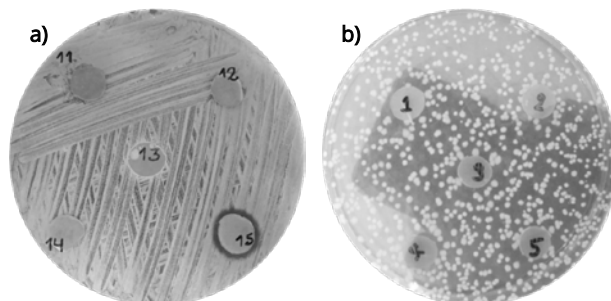
Los resultados de la actividad antimicrobiana se muestran mediante la formación del halo inhibitorio alrededor de los discos de las películas preparadas con Aceite Esencial de Molle (M), Extracto Etanólico de Propóleo P y Chaco C, tal como se observa en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Resultados de Diámetros de Inhibición

| Película | Formulación | Diámetro de Inhibición<br>contra <i>S. aureus</i> (mm) | Diámetro de Inhibición<br>contra <i>E. coli</i> (mm) |
|----------|-------------|--|--|
| 1        | 0,5M 4P 4C  | 12,5   | 0,0  |
| 2        | 0,5M 0P 4C  | 0,0  | 0,0  |
| 3        | 0,5M 4P 0C  | 12,0   | 0,0  |
| 4        | 0,5M 2P 0C  | 0,0  | 0,0  |
| 5        | 0,5M 0P 0C  | 0,0  | 0,0  |
| 6        | 0,5M 0P 8C  | 0,0  | 0,0  |
| 7        | 0,5M 2P 4C  | 11,0   | 0,0  |
| 8        | 0,5M 2P 8C  | 10,0   | 0,0  |
| 9        | 0,5M 4P 8C  | 12,5   | 0,0  |
| 10       | 0M 0P 8C    | 0,0  | 0,0  |
| 11       | 0M 2P 0C    | 11,5   | 0,0  |
| 12       | 0M 4P 0C    | 13,0   | 0,0  |
| 13       | 0M 4P 4C    | 12,5   | 0,0  |
| 14       | 0M 4P 8C    | 13,5   | 0,0  |
| 15       | 1M 0P 0C    | 0,0  | 0,0  |
| 16       | 1M 0P 8C    | 0,0  | 0,0  |
| 17       | 1M 2P 0C    | 10,0   | 0,0  |
| 18       | 1M 2P 4C    | 10,0   | 0,0  |
| 19       | 1M 2P 8C    | 10,5   | 0,0  |
| 20       | 1M 4P 0C    | 11,5   | 0,0  |
| 21       | 1M 4P 4C    | 19,0   | 0,0  |
| 22       | 1M 4P 8C    | 11,0   | 0,0  |
| 23       | 0M 0P 4C    | 0,0  | 0,0  |
| 24       | 0M 2P 4C    | 10,5   | 0,0  |
| 25       | 0M 2P 8C    | 11,5   | 0,0  |
| 26       | 0M 0P 0C    | 0,0  | 0,0  |

Con relación al efecto inhibitorio contra el *S. aureus*, la Película 21 que está compuesta por 1M 4P 4C vista en la Figura 5a, presenta 19 mm de halo inhibitorio, aquí se demuestra que la presencia del Extracto Etanólico de Propóleo es significativa por tener un valor p igual a 0,000 ( $p < 0.05$ ), tal como se observa en la Tabla 4, sin embargo, la incorporación de Aceite Esencial de Molle y Chaco no tuvieron efecto significativo en la actividad antimicrobiana ( $p > 0.05$ ), lo que posiblemente sea debido a la baja concentración presente en las películas.

Por otro lado, con relación al efecto inhibitorio contra *E. coli*, vista en la Figura 5b, se observa que aunque no presentaron un halo de inhibición alrededor del disco, no mostraron crecimiento bacteriano por debajo de la superficie de la película, lo que representa el efecto inhibitorio ligeramente menor en comparación contra la *S. aureus*, tal como lo menciona en un estudio donde demostraron que el Extracto Etanólico de Propóleo tuvo mejor actividad antimicrobiana contra el *S. aureus* y en mayor concentración contra *E. coli* [31].



**Figura 5.** Actividad antimicrobiana en los discos de las películas contra: a) *S. Aureus* y b) *E. coli*.

**Tabla 4.** Resultados del ANOVA de diámetros de Inhibición contra *S. aureus*

| Componentes                     | Grados de Libertad | Suma de Cuadrados | Suma de Media de Cuadrados | Valor F | p(>F) |
|---------------------------------|--------------------|-------------------|----------------------------|---------|-------|
| Aceite Esencial Molle (M)       | 2                  | 16,89             | 8,444                      | 1,06    | 0,395 |
| Extracto Etanólico Propóleo (P) | 2                  | 635,09            | 317,544                    | 39,96   | 0,000 |
| Chaco (C)                       | 2                  | 19,40             | 9,699                      | 1,22    | 0,351 |
| M:P                             | 4                  | 15,09             | 3,773                      | 0,47    | 0,754 |
| M:C                             | 4                  | 24,93             | 6,233                      | 0,78    | 0,570 |
| P:C                             | 4                  | 13,51             | 3,378                      | 0,43    | 0,787 |
| Residuo                         | 7                  | 55,62             | 7,946                      |         |       |

Los principales agentes de deterioro en los alimentos son las bacterias y los mohos siendo los causantes de las diferentes enfermedades relacionadas con los alimentos. El propóleo es un potencial inhibidor de microorganismos patógenos debido a la presencia de compuestos aromáticos, flavonoides y ácidos fenólicos. Se reportaron películas a base de gelatina con incorporación de extracto etanólico de propóleo que mostraron actividad inhibitoria relacionadas con el diámetro de la zona de inhibición, indicando mayor presencia de polifenoles estables en las biopelículas debido al aumento de la concentración de extracto etanólico de propóleo [32].

Los compuestos fenólicos del extracto etanólico de propóleo presentan propiedades antimicrobianas las cuales permiten la capacidad inhibitoria sobre los microorganismos, siendo verificado en otro estudio donde se desarrollaron películas de almidón de yuca y extracto etanólico de propóleo, las cuales presentaron actividad inhibitoria contra *S. aureus* y *E. coli* [33]. De otro lado, películas de almidón de maíz con extracto etanólico de propóleo demostraron una mayor zona de inhibición al aumentar la cantidad de extracto etanólico de propóleo [34]; los componentes del propóleo descomponen la membrana celular de los microorganismos inhibiendo la duplicación de las células bacterianas [35].

Así mismo, un estudio presentó mayor capacidad inhibitoria en la superficie de contacto debajo de los discos en películas de quitosano con incorporación de extracto etanólico de propóleo, lo que fue evidente contra *Staphylococcus aureus*, *Salmonella Enteritidis*, *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosase* [36]; otro estudio desarrollado en películas de almidón nativo de yuca incorporadas con extracto etanólico de propóleo y cera de abeja, presentó una notable actividad fúngica contra *Aspergillus Níger* con zonas de inhibición alrededor de 25 mm, demostrándose de esta manera, que el extracto etanólico de propóleo puede presentar una amplia aplicación como películas activas para envases de alimentos [37].

#### 4. CONCLUSIONES

Se lograron obtener películas biodegradables a base de almidón de papa con la adición de tres aditivos, Aceite Esencial de Molle, Extracto Etanólico de Propóleo y Chaco, en condiciones ambientales de la ciudad de Arequipa, Perú.

Se pudo demostrar que para la PVA la presencia del Chaco no es significativa, mientras que tanto el Aceite Esencial de Molle como el Extracto Etanólico de Propóleo si son significativos además que tiene un efecto de aumento en la Permeabilidad al Vapor de Agua, por otro lado, la película que tuvo la mayor PVA fue la película 0.5M 4P 4C y la de menor PVA fue 0M 2P 8C; asimismo, mediante la técnica de k-means se lograron discriminar 3 grupos definidos que se logran clasificar como “alta PVA”, “media PVA” y “baja PVA”.

Asimismo, en cuanto a la actividad antimicrobiana, se pudo establecer que el Chaco no presentó un efecto estadísticamente significativo. La formulación que tuvo mayor efecto de inhibición sobre *S. aureus* fue la película 1M 4P 4C, se podría atribuir a la mayor proporción de Extracto Etanólico de Propóleo que presenta. Respecto a la inhibición contra *E. coli* no se presentaron halos de inhibición, sin embargo, debajo de la superficie de la película no hubo crecimiento bacteriano.

Cabe mencionar que la película con mayor poder de inhibición (1M 4P 4C) tiene una PVA de  $5.4743 \times 10^{-10}$  g/h aceptable.

### Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa por el aporte y financiamiento del proyecto IBA-IB49-2020-UNSA, de donde salen estos resultados que pueden servir de aporte para el desarrollo tecnológico y eco amigable de la sociedad.

### REFERENCIAS

- [1] Adilah A. et al. (2018). Utilization of mango peel extracts on the biodegradable films for active packaging. *Food Packag Shelf Life* 16, 1–7.
- [2] Smaoui S. et al. (2022). Application of essential oils in meat packaging: A systemic review of recent literature. *Food Control* 132, 108566.
- [3] Sung S. et al. (2013). Antimicrobial agents for food packaging applications. *Trends Food Sci Technol* 33, 110–123.
- [4] Kokoszka S. et al. (2010). Protein and glycerol contents affect physico-chemical properties of soy protein isolate-based edible films. *Innov Food Sci Emerg Technol* 11, 503–510.
- [5] Hong S. y Krochta J. (2006). Oxygen barrier performance of whey-protein-coated plastic films as affected by temperature, relative humidity, base film, and protein type. *J Food Eng* 77, 739–745.
- [6] Guo M. et al. (2017). Antimicrobial edible coatings and films from micro-emulsions and their food applications. *Int J Food Microbiol* 263, 9–16.
- [7] Atarés L. y Chiralt A. (2016). Essential oils as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging. *Trends Food Sci Technol* 48, 51–62.
- [8] Calo J. et al. (2015). Essential oils as antimicrobials in food systems – A review. *Food Control* 54, 111–119.
- [9] Martins M do R. et al. (2014). Antioxidant, antimicrobial and toxicological properties of *Schinus molle* L. essential oils. *J Ethnopharmacol* 151, 485–492.
- [10] Hosni A. et al. (2011). Efficacy of chlorine dioxide as a disinfectant for *Bacillus* spores in drinking-water biofilms. *J Environ Eng.* 137, 569–574.
- [11] Zhang H. et al. (2009). Antimicrobial activity of a food-grade fully dilutable microemulsion against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Int J Food Microbiol* 135, 211–215.
- [12] Qin Y. et al. (2017). Development of active packaging film made from poly (lactic acid) incorporated essential oil. *Prog. Org. Coat.* 103, 76–82.
- [13] Abdollahi M. et al. (2019). Carboxymethyl cellulose-agar biocomposite film activated with summer savory essential oil as an antimicrobial agent. *Int J Biol Macromol* 126, 561–568.
- [14] Atarés L. y Chiralt A. (2016). Essential oils as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging. *Trends Food Sci Technol* 48, 51–62.
- [15] Adilah A. et al. (2018). Utilization of mango peel extracts on the biodegradable films for active packaging. *Food Packag Shelf Life* 16, 1–7.
- [16] Sánchez L. et al. (2009). Characterization of edible films based on hydroxypropylmethylcellulose and tea tree essential oil. *Food Hydrocoll* 23, 2102–2109.
- [17] Ramos M. et al. (2016). Gelatin-based films and coatings for food packaging applications. *Coatings* 6, 41.
- [18] Slavutsky A. et al. (2012). Water barrier properties of starch-clay nanocomposite films. *Braz J Food Technol* 15, 208–218.
- [19] Bertuzzi M. et al. (2007). Physicochemical characterization of starch based films. *J Food Eng* 82, 17–25.
- [20] Vargas G. et al. (2016). Functional properties of potato (*Solanum tuberosum*) starch and its chemical modification by acetylation. *Sci Agropecu* 7, 223–230.



- [21] Oroian M. et al. (2020). Influence of ultrasonic amplitude, temperature, time and solvent concentration on bioactive compounds extraction from propolis. *Ultrason Sonochem* 64, 105021.
- [22] Yusof N. et al. (2020). Ultrasound- assisted extraction propolis and its kinetic study. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng* 736, 022089.
- [23] Hosni A. et al. (2011). Efficacy of chlorine dioxide as a disinfectant for *Bacillus* spores in drinking-water biofilms. *J Environ. Eng.* 137, 569–574.
- [24] Correa Z. et al. (2019). Physicochemical characterization and antimicrobial activity of edible propolis-chitosan nanoparticle films. *Prog Org Coat* 137, 105326.
- [25] Eswaranandam S. et al. (2006). Antimicrobial activity of citric, lactic, Malic, or tartaric acids and Nisin-incorporated soy protein film against *listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* O157:H7, and *salmonella gaminara*. *J Food Sci* 69, FMS79–FMS84.
- [26] Pelissari F. et al. (2009). Antimicrobial, mechanical, and barrier properties of cassava starch- chitosan films incorporated with oregano essential oil". *J Agric Food Chem* 57, 7499–7504.
- [27] Pérez L. et al. (2020). Development and characterization of edible films based on native cassava starch, beeswax, and propolis. *NFS j* 21, 39–49.
- [28] Yahyaoui M. et al. (2016). Development of novel antimicrobial films based on poly (lactic acid) and essential oils". *React Funct Polym* 109, 1–8.
- [29] Ballesteros L. et al. (2020). Effect of glycerol and sorbitol concentrations on mechanical, optical, and barrier properties of sweet potato starch film. *NFS j* 20, 1–9.
- [30] Arifin B. et al. (2016). Chitosan and lauric acid addition to corn starch-film based effect: Physical properties and antimicrobial activity study. *International Journal of Chemical Sciences* 14, 529–544.
- [31] Bertotto C. (2022). Development of a biodegradable plastic film extruded with the addition of a Brazilian propolis by-product. *Lebenson Wiss Technol* 157(113124), 113124.
- [32] Bodini R. et al. (2013). Properties of gelatin-based films with added ethanol–propolis extract. *Lebenson Wiss Technol* 51, 104–110.
- [33] De Araújo G. et al. (2015). Physical, antimicrobial and antioxidant properties of starch-based film containing ethanolic propolis extract, *Int. J. Food Sci. Technol.* 50(9), 2080–2087.
- [34] Eskandarinia A. et al. (2018). Physicochemical, antimicrobial and cytotoxic characteristics of corn starch film containing Propolis for wound dressing. *J Polym Environ* 26(8), 3345–3351.
- [35] Mustafa P. et al. (2020). PVA/starch/propolis/anthocyanins rosemary extract composite films as active and intelligent food packaging materials, *J. Food Saf* 40(1), e12725.
- [36] Siripatrawan U. y Vitchayakitti W. (2016). Improving functional properties of chitosan films as active food packaging by incorporating with propolis, *Food Hydrocoll.* 61, 695–702.
- [37] Pérez L. et al. (2020). Development and characterization of edible films based on native cassava starch, beeswax, and propolis. *NFS j* 21, 39–49.

# Proceso para la obtención de fibras de celulosa a partir del subproducto cascarilla de arroz (*oryza sativa*)

María Linares-Zegarra<sup>1</sup>

Winnie Olazábal-Ticona<sup>2</sup>

Elizabeth Medrano de Jara<sup>3</sup>

Marcia Quequezana-Bedregal<sup>4</sup>

Edgar García-Hernández<sup>5</sup>

Evelyn Gutiérrez-Oppe<sup>6</sup>

<sup>1-4,6</sup> *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*  
Perú

<sup>5</sup> *Tecnológico Nacional de México*  
México

La cascarilla de arroz es un abundante residuo lignocelulósico de la agroindustria, disponible y muy poco utilizable. Este trabajo tiene como objetivo la obtención y caracterización de fibras de celulosa en tres procesos: deslignificación, eliminación de residuos lignocelulósicos y eliminación de hemicelulosa. La cascarilla de arroz es molida, procesada mediante tratamiento alcalino con hidróxido de potasio KOH en concentraciones de 4,5 y 6% p/v, blanqueada con hipoclorito de sodio NaClO en concentración de 2 y 3% v/v y neutralizada con ácido acético CH<sub>3</sub>COOH en concentraciones de 0,5, 3 y 5% v/v. Las muestras fueron caracterizadas por espectroscopía de infrarrojo con transformada de Fourier FTIR, microscopía electrónica de barrido SEM y microscopía óptica en 40 y 100 aumentos. Se obtuvo rendimientos de 29 a 45% de celulosa. Los resultados ayudaron a determinar el procedimiento óptimo que consistió en 5% KOH, 5% NaClO y 5%CH<sub>3</sub>COOH, con un rendimiento de 33%.

---

<sup>1</sup> Bachiller en Ingeniería Química.

Contacto: [mlinarez@unsa.edu.pe](mailto:mlinarez@unsa.edu.pe)

<sup>2</sup> Bachiller en Ingeniería Química.

Contacto: [wolazabal@unsa.edu.pe](mailto:wolazabal@unsa.edu.pe)

<sup>3</sup> Doctor en Ciencias y Tecnologías Medioambientales.

Contacto: [emedrano@unsa.edu.pe](mailto:emedrano@unsa.edu.pe)

<sup>4</sup> Doctor en Ciencias y Tecnologías Medioambientales.

Contacto: [mquequezanab@unsa.edu.pe](mailto:mquequezanab@unsa.edu.pe)

<sup>5</sup> Doctor en Química.

Contacto: [edgar.gh@zacatepec.tecnm.mx](mailto:edgar.gh@zacatepec.tecnm.mx)

<sup>6</sup> Doctora en Ingeniería Química.

Contacto: [egutierrezop@unsa.edu.pe](mailto:egutierrezop@unsa.edu.pe)

# 1. INTRODUCCIÓN

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI [1], en el Perú la producción de arroz con cáscara en el 2021 tuvo un incremento de 26.2% con un total de 328 mil 734 toneladas, la cascarilla representa aproximadamente el 20% del peso del grano [2], por lo que su producción total es 65 mil 747 toneladas. Las singulares características de la cascarilla de arroz comparadas con otros residuos agrícolas, tales como su alto contenido en sílice (87-97 % en peso de  $\text{SiO}_2$ ), su elevada porosidad, su ligereza y su elevadísima superficie externa, la convierten en un valioso material para aplicaciones industriales [3].

Por ejemplo, ya se ha empleado en campos como: biofertilizante debido a que presenta grandes características en macro y micronutrientes para el suelo, material para la cría de animales para el uso en cama avícolas, pesebreras y para flores, material absorbente o agente de control de plagas ya que posee un porcentaje de humedad mucho menor que los métodos tradicionales con valores 20% menor que la paja a los 14 días de uso, aditivos en cemento para mejorar las propiedades mecánicas de durabilidad y compresión del cemento y producción de energía debido al poder calorífico que este posee [4-6]. La Figura 1 muestra algunas de las aplicaciones de la cáscara de arroz en diferentes campos industriales, aprovechando las características especiales de la cáscara de arroz.

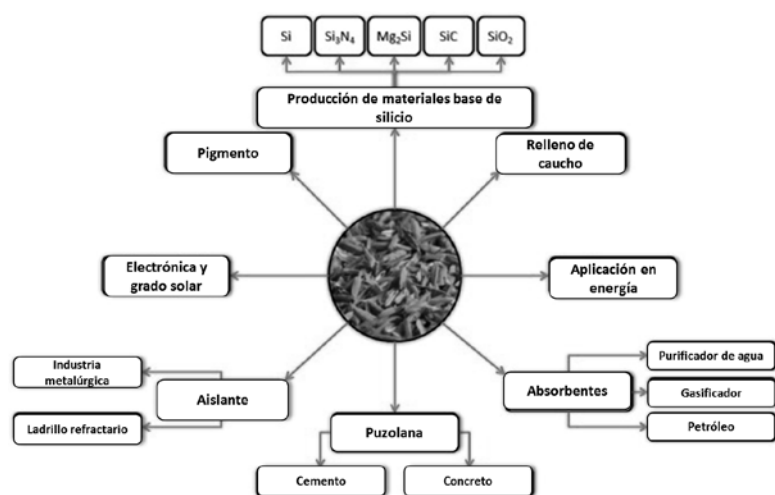


Figura 1. Esquema de aplicaciones de la cascarilla de arroz derivada [3]

La cascarilla de arroz es un subproducto de la molienda del grano de arroz y se convierte en una problemática ambiental cuando no logra una disposición final adecuada de este desecho agroindustrial. Comúnmente los pequeños agricultores optan por esparcirla en sus campos con la paja o quemarla como fuente de energía. Esta práctica, junto con otras prácticas agrícolas intensivas como la ganadería y el uso de fertilizantes químicos, produce la mayor parte del  $\text{CH}_4$  procedente de las actividades humanas [7].

Se han llevado a cabo muchos intentos para encontrar posibles usos que le den mayor valor agregado a la cascarilla de arroz, teniendo en cuenta su abundancia, composición y su bajo coste. La cascarilla de arroz es rica en celulosa (35-40%), hemicelulosa (15-20 %) y lignina (20-25 %) [8]; en la pared celular de la cáscara de arroz, la celulosa está presente en una compleja matriz lignocelulósica, que se encuentra rodeada de hemicelulosa y lignina [9] (Figura 2). Los polímeros de celulosa se unen mediante enlaces de hidrógeno, intermoleculares e intramoleculares y tienen una estructura de microfibrillas en la naturaleza [10].

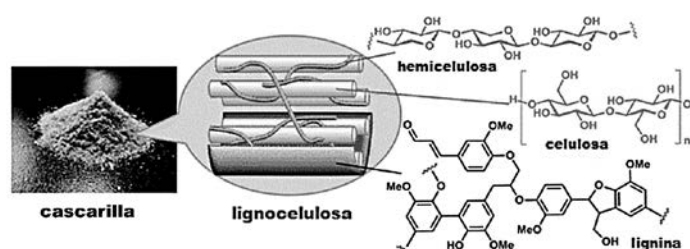


Figura 2. Red polimérica de los residuos provenientes de cascarilla de arroz [12]

La estructura cristalina está formada por la energía combinada de los enlaces de hidrógeno que la hace insoluble y no degradable. En asociación con la celulosa, la hemicelulosa se compone principalmente de arabinosa, galactosa, glucosa, manosa y xilosa. A diferencia de la celulosa, la hemicelulosa posee una forma ramificada y amorfa y tiende a ser hidrolizada por disolventes químicos.

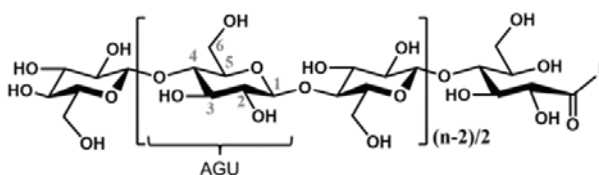
La lignina, compuesta por alcohol coniferílico, alcohol sinapílico y alcohol cumarílico, es un gran polímero tridimensional que endurece y cohesiona las fibras de la pared celular, por lo tanto, la cascarilla puede ser la fuente de celulosa más disponible a partir de residuos de cultivos agrícolas en el mundo [11].

A lo largo de los años se vienen desarrollando diferentes metodologías para la obtención de fibras de celulosa por lo que todos los procesos empleados para obtener celulosa presentan el mismo objetivo: liberar la celulosa de la lignina aumentando así el rendimiento de fibras utilizables.

En general, las fibras se pueden romper en polímeros pequeños usando ácidos o bases; en el tratamiento ácido, el ion hidronio derivado de la auto ionización del agua junto con el ácido acético proveniente de la división del grupo acetilo en la hemicelulosa lo que facilita la ruptura de los enlaces glucosídicos en la hemicelulosa para producir mono y oligosacáridos; mientras que el tratamiento alcalino, separa partes de las fibras naturales y como resultado del tratamiento, las sustancias lignocelulósicas se rompen, esto conduce a la disolución de la hemicelulosa y la lignina, que se produce con el hinchamiento de la celulosa [13-17].

Para aislar celulosa generalmente se aplica dos etapas, en primer lugar se realiza el acondicionamiento de la materia prima que consiste en el lavado, secado y molienda de la materia a usar; mientras que en el segundo paso se realiza el pre tratamiento y purificación, que consiste en tratamiento alcalino con hidróxido de potasio (KOH); este insumo es beneficioso porque permite que queden menos residuos en las muestras extraídas y actúan eficazmente en la eliminación y recuperación de la hemicelulosa [17], y el blanqueo con hipoclorito de sodio para eliminar la hemicelulosa y lignina de las paredes celulares y obtener celulosa de alta pureza [18].

En términos técnicos, se llama celulosa a las fibras de color blanco obtenidas al someter el material vegetal a los tratamientos de purificación que eliminan casi por completo los demás componentes de la planta, especialmente la lignina [19]. Químicamente, la celulosa extraída es un biopolímero lineal de unidades monoméricas repetidas de  $\beta$ -d - anhidroglucopiranosas unidas por enlaces covalentes ( $\beta$ -1,4) de acetal entre el C 1 y el C 4 de unidades adyacentes (Figura 3).



**Figura 3.** Representaciones esquemáticas de la estructura molecular de la celulosa. Los números plomos muestran el sistema de numeración de los átomos de carbono dentro de una unidad de anhidroglucosa AGU de celulosa [21]

Estos enlaces de cadena lineal se estabilizan mediante enlaces de hidrógeno dentro de la cadena entre los grupos hidroxilo y el oxígeno de las moléculas de glucosa adyacentes. Cada monómero lleva tres grupos hidroxilo (-OH), que hacen que la macromolécula se comporte como una sustancia química activa [20]. Los enlaces de hidrógeno entre cadenas y la interacción de van der Waals entre moléculas de glucosa adyacentes dan lugar a un ensamblaje paralelo de cadenas de celulosa para formar fibrillas elementales, que a su vez se agregan para formar microfibrillas más grandes.

Las propiedades más importantes de la celulosa son su biodegradabilidad, hidrofilia y quiralidad, se deben a los grupos hidroxilos altamente reactivos [22]. Cada estructura de anillos de glucosa tiene tres grupos hidroxilos que poseen una fuerte tendencia a formar intensos enlaces de hidrógeno y se asocian a la estructura microfibrillada multiescalar de la celulosa, a su naturaleza altamente cohesiva y al ensamblaje jerárquico de porciones ordenadas (cristalinas) y desordenadas (amorfas) de la biomacromolécula [23].

Las propiedades de la celulosa están relacionadas con la estructura molecular, por ello desde hace años su estudio despierta interés y se emplean técnicas como la Microscopía Electrónica de Barrido MEB con el fin de analizar la morfología de la celulosa obtenida [24]. Algunos estudios basados en estas técnicas demuestran que las aglomeraciones de fibras indican la presencia de materiales aglutinantes como las hemicelulosas y la lignina, el diámetro de las fibras oscila entre 3 y 20nm, sin embargo, depende de la fuente de celulosa [25, 26].

Adicional a lo anterior, las características del material celulósico son en gran medida dependientes de las interacciones entre y dentro de las cadenas de celulosa, por este motivo la Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier FTIR es empleada, puesto que, posibilita la determinación rápida, no invasiva y cualitativa de las interacciones covalentes y no covalentes dentro de la celulosa, lo que permite medir la cristalinidad del material, expresada como índices de cristalinidad después de haber pasado por procesos [27]. Diferentes estudios demuestran que la celulosa evidencia picos de absorción de grupos hidroxilos ( $3200-3600\text{ cm}^{-1}$ ), estiramiento de C-H de grupos  $-\text{CH}_2$  ( $2700-3000\text{ cm}^{-1}$ ), estiramiento de CO ( $1000-1300\text{ cm}^{-1}$ ), estiramiento de C-OC ( $1164\text{ cm}^{-1}$ ), enlaces glicosídicos ( $895\text{ cm}^{-1}$ ), determinando así las modificaciones de los conjuntos funcionales [2].

En esta investigación, se busca optimizar el método de obtención de celulosa a partir de cascarilla de arroz usando reactivos económicos /accesibles, obteniendo fibras de celulosa con un buen rendimiento y buenas características a partir de biomasa de residuos agrícolas de bajo costo, mediante las etapas alcalina, blanqueo y neutralización.

## 2. MÉTODO

### 2.1 Acondicionamiento de materia prima

La cascarilla de arroz se seleccionó y se sometió a lavado con agua destilada, posteriormente fue secada a temperatura ambiente por 24, horas luego se redujo el tamaño de partícula en una licuadora semi industrial LAR-25 SKYMSSEN.

### 2.2 Obtención de celulosa

- *Tratamiento alcalino.* La cascarilla de arroz se sometió a tratamiento alcalino con KOH al 4, 5 y 6% mezclando 20 g de cascarilla de arroz dentro de un matraz Erlenmeyer con la solución correspondiente de KOH a temperatura de reflujo durante 120 minutos y con agitación constante. El residuo del tratamiento se sometió a lavados sucesivos de agua destilada hasta obtener pH cercano a 7. Este procedimiento permitió la remoción de lignina, sílice y la eliminación del exceso de KOH [28].
- *Tratamiento de blanqueado.* Tras el tratamiento alcalino, el residuo fue sometido al proceso de blanqueamiento usando una solución de hipoclorito de sodio al 3% y 2% a  $85^{\circ}\text{C}$  durante 20 minutos con agitación constante, terminado el proceso, el residuo del blanqueamiento fue lavado con agua destilada hasta pH neutro.
- *Tratamiento neutralización.* Para la remoción de otros componentes macromoleculares, como la hemicelulosa. Se procedió a llevar a neutralización con ácido acético  $\text{CH}_3\text{COOH}$  al 0,50 ,3 y 5 % a  $85^{\circ}\text{C}$  durante 20 minutos con agitación constante, el residuo de la neutralización se filtró a vacío y fue llevado a secado en una estufa Memmert 30-1060 a  $50^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas [29].

Las combinaciones de base y ácido usadas se muestran a continuación en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Concentración en los tratamientos

| Tratamientos | Alcalino | Blanqueamiento | Neutralización           |
|--------------|----------|----------------|--------------------------|
|              | KOH      | NaClO          | $\text{CH}_3\text{COOH}$ |
| CL-12        | 4%       | 3%             | 5%                       |
| CL-13        | 6%       | 3%             | 3%                       |
| CL-14        | 5%       | 2%             | 0,50%                    |

En la Figura 4, se muestra la secuencia de las fases del proceso y al final la obtención de celulosa seca, se puede ver claramente a la celulosa y su color blanco característico, indicando que los componentes no celulósicos fueron eliminados tal como describen algunos autores [28]. En la Figura 5 se observan bloques de obtención de celulosa.

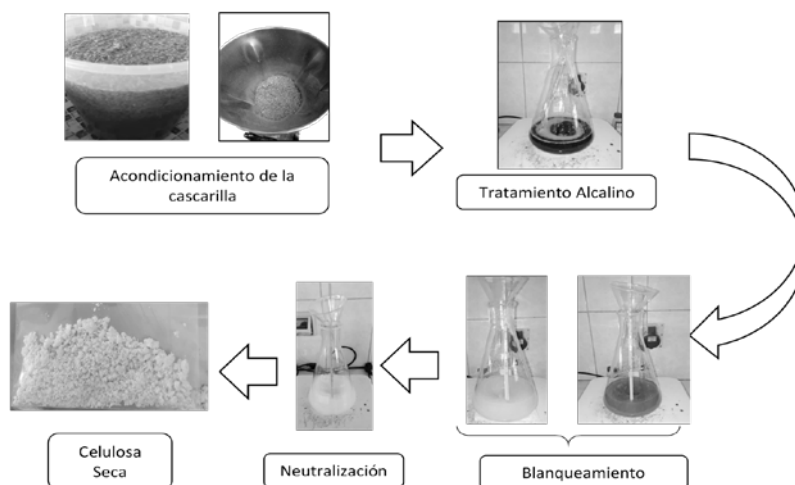


Figura 4. Obtención de celulosa a partir de cascarilla de arroz

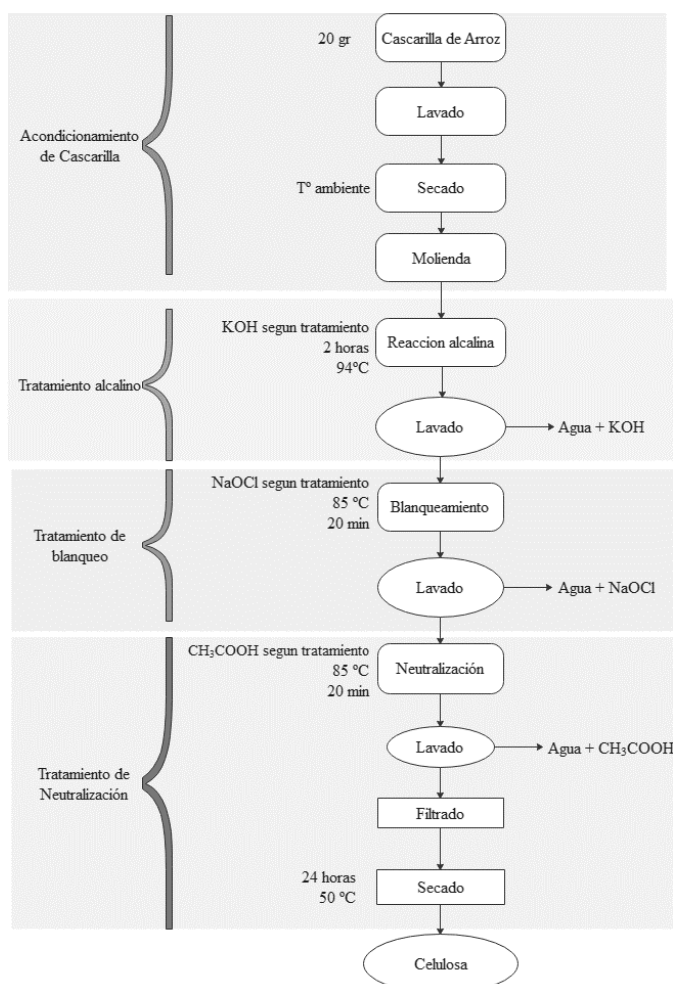


Figura 5. Diagrama de bloques de obtención de celulosa

### 2.3 Métodos de caracterización

- *Espectroscopia infrarroja con Transformada de Fourier* FTIR. La estructura química de la celulosa fue evaluada por Espectroscopia Infrarroja con Transformada de Fourier, se utilizó un equipo de espectroscopia FTIR Perkin Elmer spectrum two con 16 barridos en el rango 600-3800 cm<sup>-1</sup>.

- *Microscopía electrónica de barrido SEM*. La morfología de la celulosa fue evaluada usando un Microscopio Electrónico de Barrido marca JEOL modelo JSM-6010 LA en la que las muestras se preparan al vacío recubiertas con oro para evitar la carga estática y operadas a 20 kV.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

#### 3.1 Obtención de celulosa

De acuerdo a la Tabla 2 el máximo rendimiento de obtención de fibra de celulosa fue de la muestra CL-14 con un valor de 44,943% correspondiendo a lo reportado por [30] en cascarilla de arroz con rendimientos entre 29-41%. Estos rendimientos se dan debido a muchos lavados para alcanzar un pH neutro, de modo que la decantación provoca pérdidas de celulosa de la misma manera como menciona [29].

**Tabla 2.** Rendimiento de obtención de celulosa

| Muestras | Rendimiento |
|----------|-------------|
| CL-12    | 36,7%       |
| CL-13    | 29,2%       |
| CL-14    | 44,9%       |

La Figura 5 muestra la vista macroscópica de la celulosa obtenida, donde la calidad de las celulosas y las diferencias de color blanco en las muestras, pueden ayudar a deducir si el producto final es un material celulósico puro [28]. Estos cambios de color se producen por la eliminación de materiales no celulósicos y otras impurezas como la lignina, la hemicelulosa y compuestos macromoleculares de la cáscara de arroz [14]. De los tres tratamientos, la muestra CL-14 presenta el color aparentemente más oscuro, posiblemente por la baja concentración de los insumos en el blanqueamiento y la neutralización. Por otro lado, la muestra CL-13 presenta el color más blanco de los tres tratamientos, esta muestra comparte la misma concentración de 3% NaClO que la CL-12 [14].

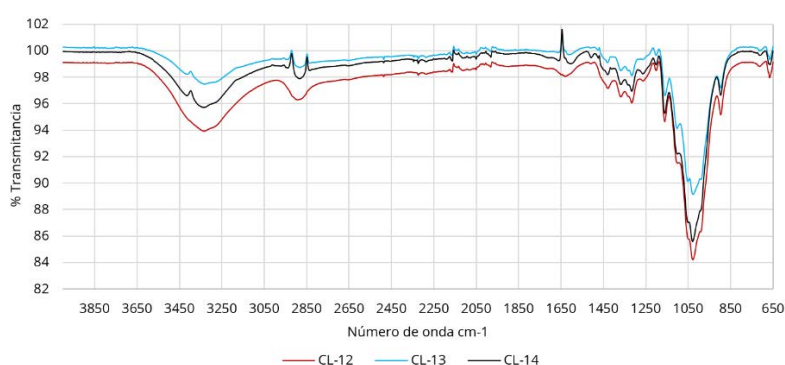


**Figura 6.** Fotografías tomadas de muestras de celulosa, extraídas de cascarilla de arroz: a) muestra CL-12, b) muestra CL-13 y c) muestra CL-14

#### 3.2 Caracterización de la celulosa

##### 3.2.1 Caracterización por Espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier FTIR

En la Figura 6 se compara las señales emitidas en el espectrofotómetro con transformada de Fourier de los diferentes tratamientos realizados.



**Figura 7.** Espectros FTIR de celulosa obtenida a partir de la cascarilla de arroz en cada tratamiento

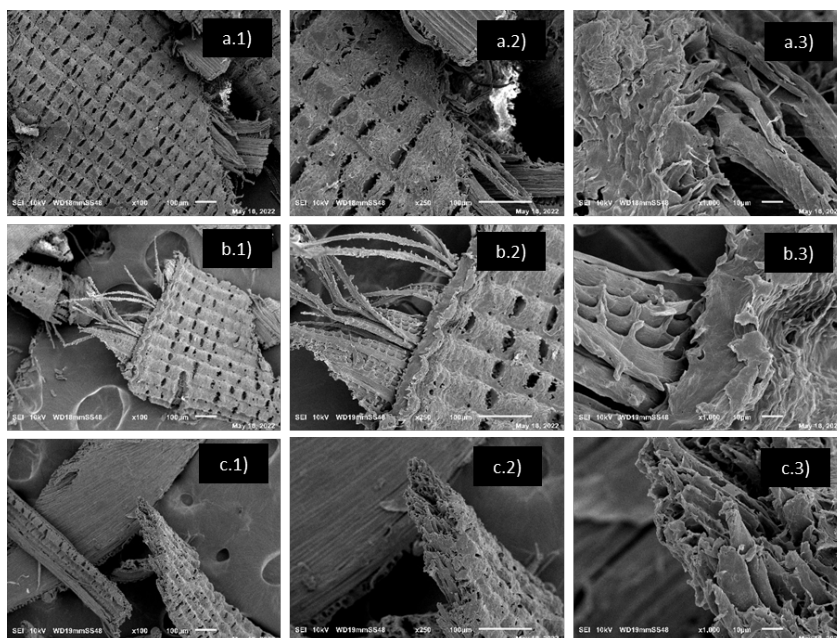
En los espectros FTIR de los tratamientos de obtención de celulosa se observan bandas características a las absorciones de la celulosa, hemicelulosa y la lignina, con predominio de las bandas de celulosa que es el componente mayoritario de la cascarilla de arroz. Se observan de manera importante las bandas entre 3500-3390  $\text{cm}^{-1}$  atribuidas a las vibraciones de los grupos  $-\text{OH}$  asociados a la estructura de la celulosa y lignina. La banda a 2920  $\text{cm}^{-1}$  es atribuida a C-H asociado a la estructura de la celulosa y hemicelulosa [31,32]. A 1739  $\text{cm}^{-1}$  se atribuye a la vibración Strech del grupo carbonilo ( $\text{C}=\text{O}$ ), asociado a los ésteres alifáticos de lignina y la hemicelulosa [33].

Las bandas entre 1320 y 1360  $\text{cm}^{-1}$  son atribuidas a los grupos C-H y C-O de anillos aromáticos de polisacáridos o residuos de lignina. La banda a 1060  $\text{cm}^{-1}$  se atribuye a los C-O-C del anillo piranósico vibración tipo esqueleto, relacionado a la lignina, celulosa y hemicelulosa [34]. Se observa mayor reducción en la transmitancia de los picos, en las bandas entre 3500-3390  $\text{cm}^{-1}$  y 1320 y 1360  $\text{cm}^{-1}$ , esto se asocia a un menor contenido de lignina en el tratamiento con hidróxido de potasio al 6%, muestra CL-13

### 3.2.2 Caracterización morfológica por microscopía electrónica de barrido SEM

Las propiedades de la celulosa están ligadas a la estructura molecular y supramolecular, por lo cual su estudio ha sido motivo de interés durante años [2]. En la Figura 5 se aprecia las fibras de celulosa obtenida a partir de la cascarilla de arroz y de acuerdo con [25] las aglomeraciones de fibras indican la presencia de aglutinantes como la hemicelulosa y la lignina. En las Figuras 5b se presentan pocas fibras libres, aglomeraciones de fibras y reducción del diámetro de las aglomeraciones, esta disminución se produce debido a los tratamientos que se hicieron para eliminar los componentes no celulósicos de la cascarilla de arroz, la remoción de estos componentes posibilitó que las fibras se separaran individualmente.

Esta separación se produce por la separación de la pared celular primaria de las fibras debido a la remoción de la hemicelulosa y la lignina en la que se puede observar la presencia de residuos de lignina y hemicelulosa. Por otro lado, en las Figuras 5a y 5c se observa que las fibras de celulosa no se separaron correctamente, no presentan fibras libres y siguen aglutinadas con la lignina y hemicelulosa, hubo cierta remoción de compuestos celulósicos debido a que no presenta una superficie lisa como menciona [35, 36].



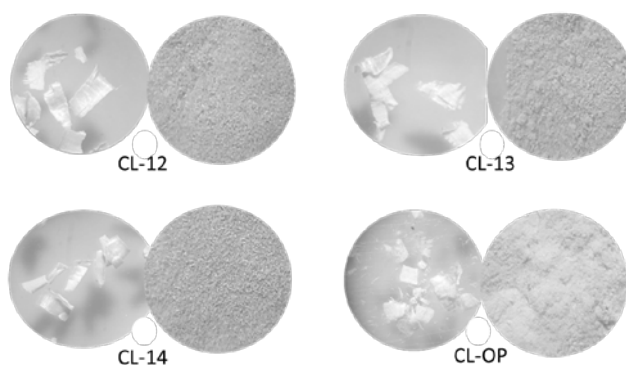
**Figura 8.** Microfotografías SEM de muestras de celulosa: a.1) CL-12, b.1) CL-13 y c.1) CL-14 con 100x de aumento; a.2) CL-12, b.2) CL-13 y c.2) CL-14 con 250x de aumento; a.3) CL-12, b.3) CL-13 y c.3) CL-14 con 1000x de aumento

A partir de los tratamientos se estima que si se aumenta la concentración de insumos en cada etapa se obtendrá mayor rendimiento de las fibras de celulosa. Diversos autores emplean para el tratamiento alcalino, hidróxido de sodio NaOH en concentraciones 2%, 3,5 % 4% y 5%, [14, 16, 29, 37], autores que emplean el hidróxido de potasio KOH lo hacen en una concentración de 5% [18, 28]. Para la etapa de



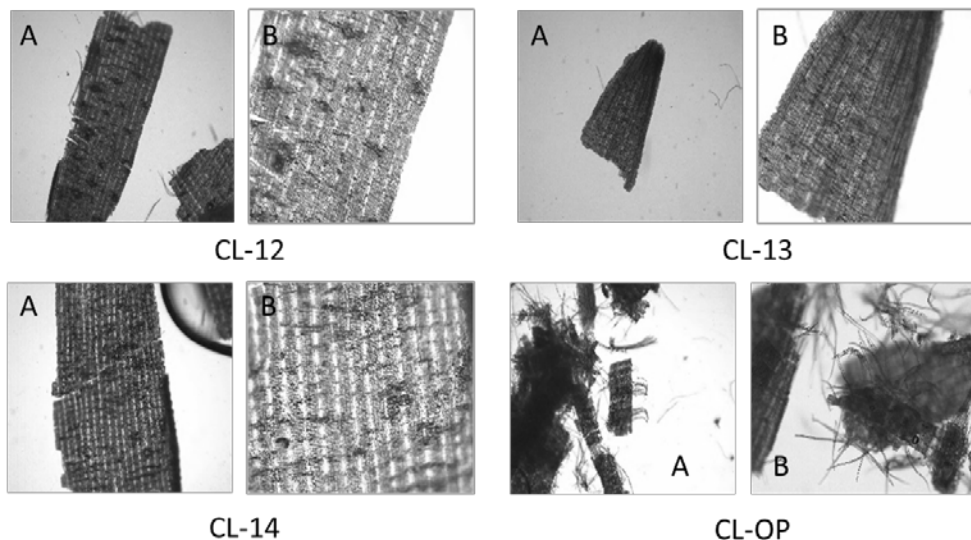
blanqueamiento se emplea el hipoclorito de sodio en bajas concentraciones alrededor de 1% y 3% como menciona [28, 29, 37] y en caso especial en concentraciones muy altas como 15% [38], en este trabajo se empleó hipoclorito de sodio al 3% obteniendo un blanqueo óptimo. Finalmente, para la neutralización se empleó 3% de CH<sub>3</sub>COOH como reactivo eco-amigable en reemplazo del ácido clorhídrico HCl 0,65% [29].

En base a los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente, a pesar de que el tratamiento CL-14 ofrezca un mayor rendimiento, las características del producto obtenido muestran que no hubo una separación completa de la lignina. Esto se pudo corroborar con el análisis SEM aplicado a las muestras, donde el CL-13 y el CL-12 mostraron una mejor separación de la lignina. A partir de ello, se realizó una nueva formulación para optimizar el tratamiento con los siguientes porcentajes 5% de hidróxido de potasio, 5% de hipoclorito de sodio y 5% de ácido acético denominado tratamiento optimo CL-OP. Este tratamiento se comparó con los tratamientos CL-12, CL-13 y CL-14. Esta nueva formulación permitió un rendimiento del 33% estando dentro del rango obtenido para estas muestras. En la figura 7 se observan una comparación de vistas macroscópicas y microfotografías tomadas a 32x en Estereomicroscopio Carl Zeiss Stemi DV4



**Figura 9.** Fotografías tomadas con Estereomicroscopio con 32x de aumento y fotografías macroscópicas de muestras de celulosa, extraídas de cascarilla de arroz

De acuerdo con [14, 28] la celulosa obtenida debe presentar un color blanquecino e hilos de celulosa [36] por lo que las muestras obtenidas deberían presentar estas características, la muestra CL-OP presenta estas características comparada con las 3 muestras anteriores, en cuanto al color se destacan CL-OP y CL-13. Para una vista más objetiva se empleó un microscopio óptico Leica DM750 para poder comparar los 4 tratamientos. En la Figura 10 se presenta microfotografías tomadas en microscopio óptico en 4x y 10x, en el tratamiento CL-OP se aprecian las fibras de celulosa obtenidas en comparación con los tratamientos CL-12, CL-13 y CL-14 donde no se aprecian estas, indicando que en estos tratamientos no se logró obtener la designificación apropiada observándose la hemicelulosa y lignina continúan como la matriz lignocelulósica.



**Figura 10.** Microfotografías tomadas con microscopio de celulosa con los tratamientos: A) 4x de aumento y B) 10x

Con el tratamiento CL-OP se ha obtenido celulosa con presencia de fibras liberadas, presenta mejores características físicas; como se aprecia en los tratamientos CL-12, CL-13 y CL-14. Esta celulosa se podría llegar a emplear en diferentes grados de estudio como expresan [8,21,39].

#### 4. CONCLUSIONES

Se concluye que es posible obtener fibras de celulosa con reactivos y materia prima eco-amigable. El mejor tratamiento usando la formulación: 5% de KOH, 5% de NaClO y 5% de CH<sub>3</sub>COOH con un rendimiento de 33% de celulosa, cuyas características fueron mejor calidad de blanqueado a nivel macroscópico y presencia de fibras liberadas observadas a nivel microscópico.

A partir de los resultados obtenidos se deduce que a mayor concentración de KOH en el tratamiento alcalino presenta mayor remoción de lignina, a mayor concentración de NaClO mejora el color de la celulosa y elimina los residuos lignocelulósicos debido a su capacidad oxidante.

Finalizando, en la etapa de neutralización a mayor cantidad de ácido acético mejor remoción de compuestos macromoleculares y por lo tanto mayor liberación de las fibras de celulosa.

#### Agradecimientos

Los autores desean agradecer a PROCENCIA con el proyecto 072-2021 por financiar el proyecto, a la Universidad Nacional de San Agustín por brindar los espacios para realizar las pruebas, al Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Zacatepec por su apoyo en la caracterización de las muestras.

#### REFERENCIAS

- [1] Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2022). Producción de Arroz Cáscara Creció 26,2% en Diciembre del Año 2021. Recuperado: <https://m.inei.gob.pe/>
- [2] Zambrano G. et al. (2021). Aprovechamiento de la cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) para la obtención de fibras de celulosa. *Revista Polo del Conocimiento* 6(4), 415-437.
- [3] Soltani N. et al. (2015). Review on the physicochemical treatments of rice husk for production of advanced materials. *Revista Chemical Engineering Journal* 264, 899-935.
- [4] Lozano C. (2020). Alternativas de usos de la cascarilla de arroz (*Oriza sativa*) en Colombia para el mejoramiento del sector productivo y la industria. Trabajo de grado. Universidad Nacional Abierta y a Distancia
- [5] Tayeh B. et al. (2021). Recycling of rice husk waste for a sustainable concrete: A critical review *Revista Journal of Cleaner Production* 312.
- [6] Steven S. et al. (2021). Routes for energy and bio-silica production from rice husk: A comprehensive review and emerging prospect. *Revista Renewable and Sustainable Energy Reviews* 149.
- [7] Sinha S. y Singh J. (2020). Effective technologies and lifestyle changes to reuse and control waste generation from natural and anthropogenic activities for sustainable future. *Revista Int. Res. J. Environmental Sci.* 9, 51-61.
- [8] Gao Y. et al. (2018). A full utilization of rice husk to evaluate phytochemical bioactivities and prepare cellulose nanocrystals. *Revista Scientific reports* 8(1), 1-8.
- [9] Mussatto S. y Teixeira J. (2010). Lignocellulose as raw material in fermentation Processes. En *Current Research, Technology and Education, Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology*.
- [10] Carpita N. y McCann M. (2000). The cell Wall. En *Biochemistry and molecular biology of plants*. Editorial Buchanan.
- [11] Wang Z. et al. (2015). Kinetic and equilibrium studies of hydrophilic and hydrophobic rice husk cellulosic fibers used as oil spill sorbents. *Revista Chem. Eng. J.* 281, 961-969.
- [12] Ruiz K. (2018). Optimización del proceso etanosolv para la obtención de celulosa biomásica y valoración de diferentes rutas de acetilación del material. *Disertación Doctoral*. Centro de Inves. en Materiales Avanzados.
- [13] Prasad P. (2012). Rice husk ash as a renewable source for the production of value added silica gel and its application: an overview. *Revista Bull Chem React Eng Catal* 7(1), 1-25.
- [14] Johar N. et al. (2012). Extraction, preparation and characterization of cellulose fibres and nanocrystals from rice husk. *Revista Industrial Crops and Products* 37(1), 93-99.
- [15] Wang Z. et al. (2016). A comparison of chemical treatment methods for the preparation of rice husk cellulosic fibers. *Revista International Journal of Environmental & Agriculture Research* 2(1), 2454-1850.
- [16] Neto W. et al. (2013). Extraction and characterization of cellulose nanocrystals from agro-industrial residue-Soy hulls. *Revista Industrial Crops and Products* 42, 480-488.
- [17] Kataoka L. et al. (2021). The influence of potassium hydroxide concentration and reaction time on the extraction cellulosic jute fibers. *Revista Journal of Natural Fibers* 1-13.

- [18] García D. y Zegarra R. (2020). Obtención de nanocelulosa de la cáscara de sandía (*Citrullus lanatus*) y sus imágenes de microscopía electrónico de barrido (S.E.M.). Trabajo de grado. Universidad Peruana Unión.
- [19] Rivera H. (2018). Obtención de celulosa mediante hidrólisis térmica a partir de biomasa residual procedente del banano (*musa acuminata*, aaa) y de la caña de azúcar (*saccharum officinarum*). Trabajo de grado. Universidad Central del Ecuador.
- [20] Sumira R. y Himjyoti D. (2022). Physicochemical characterization of carboxymethyl cellulose from differently sized rice husks and application as cake additive. *Revista LWT* 154.
- [21] Wang Y. et al. (2018). Functional nanomaterials through esterification of cellulose: a review of chemistry and application. *Revista Cellulose* 25(7).
- [22] Klemm D. et al. (2005). Cellulose: fascinating biopolymer and sustainable raw material. *Revista Angew. Chem. Int.* 44(22), 3358-3393.
- [23] Lavoine N. et al. (2012). Microfibrillated cellulose—its barrier properties and applications in cellulosic materials: a review. *Revista Carbohydr. Polym.* 90, 735-764.
- [24] Krishnamachari P. et al. (2011). Modified cellulose morphologies and its composites; SEM and TEM analysis. *Revista Micron* 42(8), 751-761.
- [25] Naveda R. et al. (2019). Remoción de lignina en el pretratamiento de cascarilla de arroz por explosión con vapor. *Revista de la Sociedad Química del Perú* 85(3), 352-361.
- [26] Gupta V. et al (2016). Cellulose: A review as natural, modified and activated carbon adsorbent. *Revista Bioresource technology* 216, 1066-1076.
- [27] Kruer N. et al. (2018). Characterization of cellulose crystallinity after enzymatic treatment using Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). *Revista Cellulose* 25(1), 37-48.
- [28] Battagazzore D. et al. (2014). Cellulose extracted from rice husk as filler for poly (lactic acid): preparation and characterization. *Revista Cellulose* 21(3), 1813-1821.
- [29] Hernández R. et al. (2021). Rice husk Var. 'Morelos A-2010' as an eco-friendly alternative for the waste management converting them cellulose and nanocelulose. *Revista International Journal of Environmental Analytical Chemistry*.
- [30] Hernández R. et al. (2023). Manejo de la cascarilla de arroz como residuo postcosecha y su conversión en nanocelulosa. *Revista Mundo Nano* 16(30), 1e-17e.
- [31] Tomcza F. et al. (2007). Studies on lignocellulosic fibers of Brazil: Part III—Morphology and properties of Brazilian curauá fibers. *Revista Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 38(10), 2227-2236.
- [32] Brígida A. et al. (2010). Effect of chemical treatments on properties of green coconut fiber. *Revista Carbohydrate Polymers* 79(4), 832-838.
- [33] Romanzini D. et al. (2012). Preparation and characterization of ramie-glass fiber reinforced polymer matrix hybrid composites. *Revista Materials Research* 15, 415-420.
- [34] Boonterm M. et al. (2016). Characterization and comparison of cellulose fiber extraction from rice straw by chemical treatment and thermal steam explosion. *Revista Journal of Cleaner Production* 134, 592-599.
- [35] Torres D. (2018). Caracterización de la cascarilla de arroz y extracción de celulosa. Trabajo de grado. Universidad de los Andes.
- [36] Canché G. et al. (2005). Production of cellulose from banana plant agricultural waste. *Revista Información tecnológica* 16(1), 83-88.
- [37] Hossain M. et al. (2018). Derivation of Nanocellulose from Native Rice Husk. *Revista Chemical Engineering Research Bulletin* 20(1), 19-22.
- [38] Islam M. et al. (2018). Potential aspect of rice husk biomass in Australia for nanocrystalline cellulose production. *Revista Chinese Journal of Chemical Engineering* 26(3) 465-476.
- [39] Gañán P. et al. (2017). Celulosa: Un polímero de siempre con mucho futuro. *Revista Colombiana de Materiales* 01-04.

# Efecto de la concentración de anhídrido acético en los grados de sustitución del almidón de arroz

Winnie Olazábal-Ticona<sup>1</sup>

María Linares-Zegarra<sup>2</sup>

Elizabeth Medrano de Jara<sup>3</sup>

Marcia Quequezana-Bedregal<sup>4</sup>

Edgar García-Hernández<sup>5</sup>

Evelyn Gutiérrez-Oppe<sup>6</sup>

<sup>1-4, 6</sup> *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*  
Perú

<sup>5</sup> *Tecnológico Nacional de México*  
México

El arroz de granillo es un residuo del arroz poco aprovechado en la agroindustria, por lo que en esta investigación se pretende dar un valor agregado mediante la extracción y modificación química del almidón por medio de la acetilación. Para ello se estudió el efecto del volumen del anhídrido acético sobre el porcentaje de acetilos y los grados de sustitución mediante el método A (Tamb, V=10,20 y 30 ml de anh. acético, t=120 min), y el método B (T=100°C, V=55,6 ml, t=5, 40 y 60 min), y los grados de sustitución obtenidos denotan límites para valorar en qué tipo de industria podrían ser utilizados como aditivos. Este efecto se observó en las caracterizaciones físicas realizadas al almidón, tales como poder de hinchamiento, solubilidad y capacidad de absorción de agua, y en los cambios estructurales del almidón mediante MEB. Los resultados mostraron que con el método A el máximo grado de sustitución es 0,38, mientras que con el método B se obtuvo 0,63. Esto muestra que el método A permite obtener almidón modificado para la industria alimentaria y el método B para envases desechables. En el MEB se pudo apreciar un cambio en la estructura de la molécula del almidón, tornándose más lisa y compacta a mayor grado de sustitución, probablemente debido a la fusión de gránulos. Por otro lado, se observó que el poder de hinchamiento, la capacidad de absorción y la solubilidad del almidón aumentaron a mayor grado de sustitución, pero fue mayor para el almidón acetilado obtenido por método A.

---

<sup>1</sup> Bachiller en Ingeniería Química.

Contacto: [wolazabal@unsa.edu.pe](mailto:wolazabal@unsa.edu.pe)

<sup>2</sup> Bachiller en Ingeniería Química.

Contacto: [mlinarez@unsa.edu.pe](mailto:mlinarez@unsa.edu.pe)

<sup>3</sup> Doctor en Ciencias y Tecnologías Medioambientales.

Contacto: [emedrano@unsa.edu.pe](mailto:emedrano@unsa.edu.pe)

<sup>4</sup> Doctor en Ciencias y Tecnologías Medioambientales.

Contacto: [mquequezanab@unsa.edu.pe](mailto:mquequezanab@unsa.edu.pe)

<sup>5</sup> Doctor en Química.

Contacto: [edgar.gh@zacatepec.tecnm.mx](mailto:edgar.gh@zacatepec.tecnm.mx)

<sup>6</sup> Doctora en Ingeniería Química.

Contacto: [egutierrez@unsa.edu.pe](mailto:egutierrez@unsa.edu.pe)

## 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años el aumento del uso de polímeros biodegradables en envases o empaquetamiento de productos alimenticios [1] ha motivado a numerosos investigadores a seguir desarrollando trabajos basados en polímeros naturales respetuosos con el medio ambiente. Existen diversas aplicaciones en la industria con polímeros nativos, sin embargo, surge cada vez la necesidad de mejorar sus propiedades funcionales modificando la estructura de estos por métodos químicos, optimizando al máximo las nuevas propiedades de los polímeros modificados. Es así que se presta especial atención a los estudios recientes sobre nuevos recursos del almidón, como almidones modificados, derivados del almidón y productos de sacarificación del almidón [2].

El arroz como fuente de almidón es el segundo cereal más producido en el mundo (actualmente se espera que la producción mundial de arroz en el año 2022 sea de 520,5 millones de toneladas) [3] y tiene como subproducto el arroz de granillo, el cual es extraído del descascarado del arroz; este último se constituye como un buen candidato para una modificación estructural debido a su alta disponibilidad y bajo precio.

El almidón en general se encuentra en gran variedad en tejidos de origen botánico, que incluyen frutos, semillas, hojas y tubérculos, siendo fuentes principales los cereales y tubérculos [4]. Estructuralmente, el almidón es un políglicano (polímero de unidades de D-glucosa), compuesto por una mezcla de polisacáridos conformada por amilosa (20%), amilopectina (80%), y una fracción minoritaria (de 1% a 2%) de conformación no glucosídica como lípidos y minerales, aunque esto depende de su origen botánico [5].

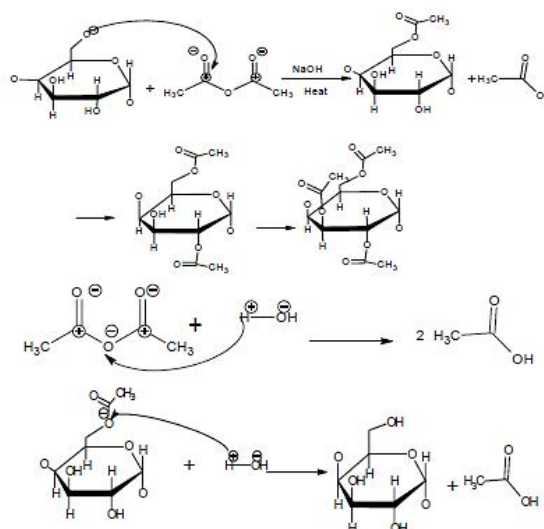
Los residuos de glucosa, están unidos entre sí a través de enlaces  $\alpha$ -1,4 y enlaces ramificados  $\alpha$ -1,6, para formar amilosa y amilopectina. La amilosa es principalmente lineal con muy pocas ramas, mientras que la amilopectina es ramificada. La proporción y la organización física de estos dos polímeros dentro de la estructura del gránulo le confieren propiedades físico-químicas y funcionales propias a cada almidón [6].

La modificación química se ha constituido en una estrategia eficiente para mejorar las propiedades funcionales de los almidones nativos y con ello permitir su uso en aplicaciones específicas, estas modificaciones están directamente relacionadas con las reacciones de los grupos hidroxilo del polímero de almidón [7] Por lo que la modificación del almidón mediante acetilación está siendo muy beneficiosa en los nuevos materiales, aunque hay muy pocos estudios, estos tienen mejores características, tales como: la capacidad de absorción de agua, incremento de la estabilidad térmica, además, a través de, una caracterización se puede observar que su estructura se vuelve amorfa y más compacta, dependiendo del grado de sustitución que obtenga el almidón tratado [8].

Los almidones que son modificados mediante acetilación llegan a obtener diferentes particularidades en comparación al almidón nativo alguno de esos cambios es la temperatura de gelatinización, la viscosidad, estabilidad de geles, reducción de la retrogradación como lo define [9], así como también nos podría indicar que los nuevos almidones acetilados se dispersan con mayor facilidad. El almidón acetilado es modificado con diferentes ácidos, en este estudio la acetilación será con anhídrido acético y con una base usada como catalizador. Según [10, 11] la reacción de acetilación es un patrón de una sustitución nucleofílica en un carbono insaturado del anhídrido acético.

Adicionalmente se explica que los tres diferentes grupos hidroxilo tienen diferentes reactividades. Por ejemplo: El primer -OH que se ubica en el carbono 6 de la molécula del almidón es más reactivo por lo que la modificación mediante acetilación es más fácil, en comparación a los carbonos 2 y 3 que tienen a los grupos -OH secundarios, el grupo -OH en el C2 es más reactivo que el C3.

Otra explicación dada por [12] es que la acetilación se puede observar como un tipo de reacción de esterificación que se lleva a cabo con anhídrido acético por lo que involucra la introducción de grupos acetilo más hidrofóbicos de la molécula, en la estructura del almidón, así, esta incorporación de grupos acetilos interrumpe la linealidad de la amilosa o fragmentos de amilopectina. Al finalizar la reacción, las moléculas del almidón ganan termo plasticidad, hidrofobicidad y compatibilidad con otros aditivos (Figura 1).



**Figura 1.** Reacción de acetilación de almidón con anhídrido acético en condiciones alcalinas [12, 13]

El almidón acetilado puede servir en diferentes áreas, por ejemplo, para el área alimentaria es conveniente usar como aditivo un almidón modificado de 0,01 a 0,2 que es un grado bajo; para envases en general un grado medio entre 0.2 a 1,5 y para productos desechables un grado de sustitución más alto cuando la sustitución llega entre 1,5 a 3 [14]. Por tanto, siendo la reacción de acetilación en la que ingresan los grupos acetilos más hidrófobos a la cadena del almidón cambiando su estructura [12] determinante en el grado de sustitución, en el presente trabajo se estudiará el efecto del anhídrido acético y se ira analizando cuales son las variaciones en la cadena del almidón y en la morfología estructural al aumentar la concentración.

## 2. MÉTODO

### 2.1 Materiales y reactivos

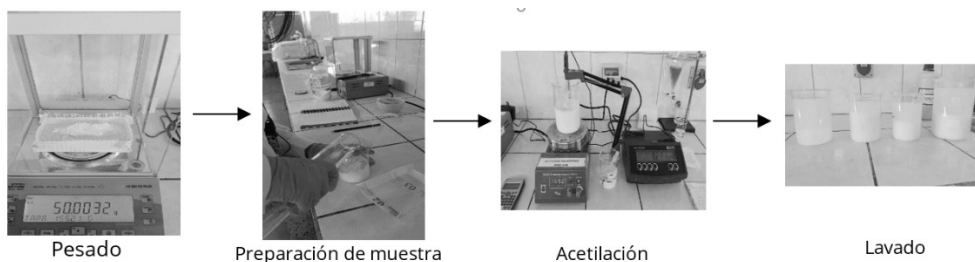
El almidón fue extraído del arroz de granillo subproducto del pilado del arroz (*Oryza sativa*), procedente de la provincia de Camaná - Arequipa, Perú. El anhídrido acético de Sigma Aldrich fue usado para realizar la acetilación, hidróxido de sodio de Sigma Aldrich fue usado como catalizador y ácido clorhídrico de Merck. Hidróxido de potasio de Merck, etanol 96°, fenolftaleína de Merck fueron usados para la determinación de los grados de sustitución.

### 2.2 Extracción de almidón de arroz

El almidón nativo fue extraído del arroz granillo subproducto del pilado de arroz (*Oryza sativa*) obtenido de la provincia de Camaná-Arequipa, Perú [15]. La extracción del almidón se realizó por molienda húmeda, en una licuadora Osteryzer, el granillo de arroz se remojo en proporción 1:3 con agua destilada durante 24 horas, el producto de la molienda húmeda se dejó sedimentar por 12 horas, se decantó y se procedió a realizar 3 lavados con agua destilada, el almidón obtenido fue llevado a secado en una estufa Memmert In 55 a 40°C por 24 horas. El almidón seco se pulverizó en una licuadora y se tamizó en malla Tyler #30.

### 2.3 Acetilación del almidón nativo [11, 14]

- *Método A:* Se dispersaron 50 gramos de almidón nativo con 120 ml de agua destilada en un agitador magnético con placa de calefacción Velp. AREC durante 60 minutos a 500 rpm, se adicionó anhídrido acético Sigma Aldrich gota a gota, para mantener el pH en el rango de 8-8,5 se adiciona hidróxido de sodio al 4%, comprobar el pH con un potenciómetro Hanna HI2211-01 durante 2 horas. Al terminar la reacción se usó ácido clorhídrico 0,5M reduciendo el pH a 4,5 [11]. El almidón modificado es sometido a un lavado con agua destilada y dos lavados con etanol 96°C para eliminar los residuos de anhídrido acético. Finalmente, el almidón obtenido fue llevado a secado en una estufa Memmert In 55 por 24 horas (Figura 2).



**Figura 2.** Procedimiento experimental de acetilación del almidón de arroz

- **Método B:** Se dispersaron 30 gramos de almidón nativo con anhídrido acético en una relación 1:2 (%p/p) a 350 rpm por 5 minutos, se adicionó 6ml de NaOH al 50%, incrementándose la temperatura hasta  $100 \pm 3$  °C de acuerdo a los tiempos mostrados en la Tabla 1 se mantuvo en reacción, al término del tiempo determinado se adiciona 250 ml de agua destilada a temperatura ambiente para detener la reacción. En seguida, el almidón modificado se sometió a un lavado con agua destilada y dos lavados con etanol 96° para eliminar los restos de anhídrido acético [16]. El almidón obtenido fue llevado a secado en una estufa Memmert In 55 por 24 horas. En la Tabla 1 se muestran los parámetros utilizados para la acetilación del almidón nativo en el método A y en el Método B y las variables usadas para cada método.

**Tabla 1:** Parámetros de acetilación del almidón nativo

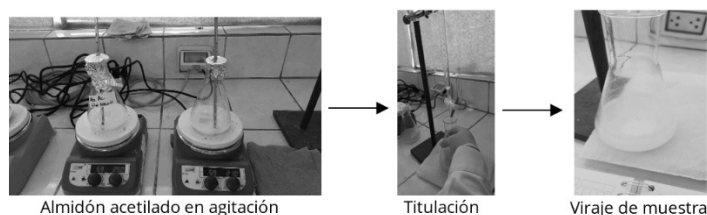
| Cod. Muestra | Volumen de Anhídrido Acético (mL) | Tiempo (min) |
|--------------|-----------------------------------|--------------|
| AAMA-1 (*)   | 10                                | 90           |
| AAMA-2       | 20                                | 90           |
| AAMA-3       | 30                                | 90           |
| AAMB-1 (**)  | 56                                | 5            |
| AAMB-2       | 56                                | 60           |
| AAMB-3       | 56                                | 40           |

(\*) Almidón Acetilado Método A -nro. de muestra

(\*\*) Almidón Acetilado Método B -nro. de muestra

## 2.4 Determinación de grupos acetilo Ac

Un gramo de almidón acetilado fue colocado dentro de un matraz de 250 ml, se adicionaron 50 ml de etanol al 75% y se llevó a dispersión mediante un agitador magnético con placa de calefacción por 30 minutos a  $50 \pm 2$  °C a 350 rpm, luego se dejó enfriar a temperatura ambiente para añadir 40 ml KOH (0.5M), se procedió a titular con HCl 0.5M usando fenolftaleína como indicador. Este procedimiento se efectuó también con almidón nativo para utilizarlo como blanco [17] (Figura 3).



**Figura 2.** Procedimiento de Porcentaje de acetilos

Se aplicó la ecuación 1 para el cálculo del porcentaje de acetilo (ecuación (1)).

$$\%Ac = \frac{(ml\ blanco - ml\ muestra) \times [M\ HCl \times f.\ corr] \times 0.043}{g\ de\ muestra} * 100 \quad (1)$$

Donde:

- ml blanco; se obtuvo a partir del viraje obtenido del almidón nativo
- ml muestra, se obtuvo a partir del viraje del almidón acetilado
- M HCl, Molaridad del Ácido clorhídrico
- f. corr, factor de corrección de la solución de ácido clorhídrico
- 0.043 = miliequivalentes del grupo acetilo  $CH_3-C=O$
- g de muestra, gramos de muestra inicial en la determinación de porcentaje de acetilación

## 2.5 Determinación de grados de sustitución GS

El grado de sustitución se define como el número de grupos oxidrilo OH que se reemplazan por grupos acetilo ( $\text{CH}_3\text{-C=O}$ ) en la unidad anhidra de glucosa UAG del almidón. Se calcula utilizando la ecuación (2).

$$GS = \frac{162 \times \%Ac}{4300 - 42 \times \%Ac} \quad (2)$$

Donde:

- 162 = peso molecular de la unidad de anhidra glucosa
- 4300 = 100 x peso molecular del grupo acetilo  $\text{CH}_3\text{-C=O}$
- 42 = (peso molecular del grupo acetilo  $\text{CH}_3\text{-C=O}$ ) - 1
- %Ac = porcentaje de acetilación

## 2.6 Poder de hinchamiento y solubilidad

Se siguió el método descrito por [18, 19] con algunas modificaciones. 0,6 gramos ( $M_0$ ) de almidón nativo y almidón acetilado se dispersaron con 30 ml de agua destilada en un agitador magnético con placa de calefacción a 1000 rpm y 30 min. Se trabajó a dos temperaturas 60°C y 80°C, las muestras se enfriaron hasta temperatura ambiente, y se centrifugó a 1500 rpm durante 30 min (DLab DM0636).

El sobrenadante se dispuso en placas Petri y fue llevado a 90°C por 4 horas hasta obtener peso contante ( $M_2$ ), el sedimento del almidón hinchado fue pesado ( $M_1$ ). El poder de hinchamiento PH y solubilidad se calcularon a partir de las ecuaciones (3) y (4) respectivamente.

$$PH = \frac{M_1 \text{ gel (g)}}{(M_0 \text{ almidón} - M_2 \text{ sobrenadante seco})(g)} \quad (3)$$

Donde:

- $M_0$ ; muestra inicial de almidón
- $M_1$  gel; muestra sedimentada de almidón
- $M_2$ ; sobrenadante seco de almidón

$$S(\%) = \frac{M_2 \text{ sobrenadante seco (g)}}{(M_0 \text{ almidón})(g)} \times 100 \quad (4)$$

Donde:

- $M_0$ ; muestra inicial de almidón
- $M_2$ ; sobrenadante seco de almidón

## 2.7 Capacidad de absorción de agua

La capacidad de absorción fue determinada siguiendo el método reportado por [18, 19] con la ecuación (5).

$$CAA = \frac{M_1 \text{ gel (g)}}{(M_0 \text{ almidón})(g)} \quad (5)$$

Donde:

- $M_0$ ; muestra inicial de almidón
- $M_1$  gel; muestra sedimentada de almidón

## 2.8 Microscopia electrónica de barrido MEB

La morfología de los gránulos del almidón fue analizada en un microscopio electrónico de barrido (JEOL, Modelo JSM-6010 con un voltaje de aceleración de 2 kV) se utilizó para investigar la microestructura y la superficie morfológica de los gránulos de almidón nativo y acetilado del arroz empleando aumentos de 100x, 500x y 2000x



### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

#### 3.1 Determinación de grupos acetilo %Ac y grados de sustitución GS

Los grados de sustitución se obtienen en función al porcentaje de acetilos, en la Tabla 2 se muestran las variables que cambiaron en cada método. Con respecto al método A se observa el gasto del hidróxido de sodio NaOH al 4%, ácido clorhídrico HCl 0.5 M adicionado y su efecto en el grado de sustitución. Respecto al método 2 se observa el cambio de tiempo de reacción y su efecto en el grado de sustitución.

**Tabla 2.** Grados de sustitución

|            |        | Acetilación |        |         |         |  |
|------------|--------|-------------|--------|---------|---------|--|
|            | Insumo | [C]         | V (ml) | t (min) | GS      |  |
| AAMA-1(*)  | AAC    | CC          | 10     | 90      | 0,2554  |  |
|            | NaOH   | 4 %         | 420    |         |         |  |
|            | HCl    | 0.5 M       | 300    |         |         |  |
|            |        |             |        |         |         |  |
| AAMA-2     | Insumo | [C]         | V (ml) | t (min) | GS      |  |
|            | AAC    | CC          | 20     | 90      | 0,3887  |  |
|            | NaOH   | 4 %         | 500    |         |         |  |
|            | HCl    | 0.5 M       | 350    |         |         |  |
|            |        |             |        |         |         |  |
| AAMA-3     | Insumo | [C]         | V (ml) | t (min) | GS      |  |
|            | AAC    | CC          | 30     | 90 min  | 0,3686  |  |
|            | NaOH   | 4 %         | 670    |         |         |  |
|            | HCl    | 0.5 M       | 430    |         |         |  |
|            |        |             |        |         |         |  |
| AAMB-1(**) | Insumo | [C]         | V (ml) | t(min)  | GS      |  |
|            | AAC    | CC          | 55.56  | 5       | 0,5519  |  |
|            | NaOH   | 50 %        | 6      |         |         |  |
|            | HCl    | -           | -      |         |         |  |
|            |        |             |        |         |         |  |
| AAMB-2     | Insumo | [C]         | V (ml) | t(min)  | GS      |  |
|            | AAC    | CC          | 55.56  | 60      | 0,63736 |  |
|            | NaOH   | 50 %        | 6      |         |         |  |
|            | HCl    | -           | -      |         |         |  |
|            |        |             |        |         |         |  |
| AAMB-3     | Insumo | [C]         | V (ml) | t(min)  | GS      |  |
|            | AAC    | CC          | 55.56  | 40      | 0,6274  |  |
|            | NaOH   | 50 %        | 6      |         |         |  |
|            | HCl    | -           | -      |         |         |  |
|            |        |             |        |         |         |  |

De acuerdo a la Tabla 2 las metodologías determinan distintos grados de sustitución. En el método A conforme se añade más volumen de anhídrido acético el porcentaje de acetilos que ingresan a la molécula del almidón incrementan. La muestra AAMA-1 tiene menor número de grados de sustitución, en consecuencia, se encuentra dentro del límite permisible de la FDA la cual puede usarse como aditivo en la industria alimentaria como lo definen en [20].

En el método B, conforme pasa mayor cantidad de tiempo el grado de sustitución aumenta, sin embargo, difiere de [16], puesto que no se obtuvo un grado de sustitución considerablemente alto por lo que no existe una diferencia entre las muestras, esto podría deberse al origen botánico del almidón y de cómo fue modificado [21]. De los ensayos realizados la muestra AAMB-2 obtuvo el mayor grado de sustitución (0,6374), por lo que aparentemente las condiciones más favorables serían con este último método para la fabricación de envases.

#### 3.2 Poder de hinchamiento, solubilidad y capacidad de absorción de agua

El poder de hinchamiento está relacionado con la unión asociativa dentro del gránulo de almidón [22]. Según [19] cuando aumentan los valores del poder de hinchamiento PH se debe al aumento de los grados de sustitución a diferentes temperaturas. La presencia de grupos acetilo en la molécula lleva a cabo la ruptura de enlaces de hidrogeno, lo que permite el ingreso de agua en el almidón, provocando mayor poder de hinchamiento. Al incrementar el granulo del almidón aumenta el porcentaje de solubilidad (S (%)) por una mejor captación de moléculas de agua debido a la ruptura de enlaces de hidrogeno que origina el almidón acetilado al debilitar de las fuerzas de enlace intergranular [22], lo que produce una mayor movilidad en la cadena polimérica del almidón [19].

Los grupos éster reemplazan a los grupos hidroxilos del almidón por lo que la interacción con agua disminuye [6] y demuestra una tendencia nucleofílica al aumentar sus valores de capacidad de absorción de agua CAA entre el almidón nativo y el almidón acetilado asegurando que hay retención de líquidos que ingresan a los gránulos del almidón lo que favorece la gelatinización [19]. En la Tabla 3 se puede observar con respecto al método A que, al aumentar los grados de sustitución en las muestras presentadas, el poder de hinchamiento, solubilidad y la capacidad de absorción de agua van en aumento determinando que la muestra AAMA-3 tiene mejor resultado en comparación a la muestra AAMA-2 que es una de las muestras con mayor (GS).

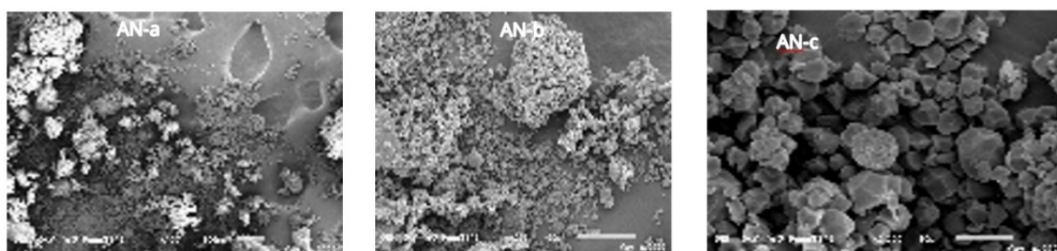
**Tabla 3.** Poder de hinchamiento PH, porcentaje de solubilidad S% y capacidad de absorción de agua CAA a diferentes temperaturas de almidón nativo y acetilados [19]

| Temperatura | Almidón     | PH (g/g) | S (%)   | CAA (g/g) |
|-------------|-------------|----------|---------|-----------|
| 60          | AN          | 7,3419   | 4,4091  | 7,0182    |
|             | AAMA-1 (*)  | 10,6136  | 6,2870  | 9,9463    |
|             | AAMA-2      | 13,5850  | 9,3483  | 12,3150   |
|             | AAMA-3      | 14,0234  | 12,6204 | 12,2536   |
|             | AAMB-1 (**) | 9,9614   | 9,3786  | 9,0272    |
|             | AAMB-2      | 12,9513  | 6,1231  | 12,1582   |
|             | AAMB-3      | 10,8560  | 6,0742  | 10,1965   |
| 80          | AN          | 7,5543   | 3,7327  | 7,2723    |
|             | AAMA-1 (*)  | 15,1460  | 14,5424 | 12,9434   |
|             | AAMA-2      | 14,3003  | 16,3458 | 11,9628   |
|             | AAMA-3      | 17,2559  | 16,0385 | 14,4883   |
|             | AAMB-1 (**) | 8,5379   | 7,5928  | 7,8896    |
|             | AAMB-2      | 9,8301   | 11,6214 | 8,6877    |
|             | AAMB-3      | 9,0167   | 9,1696  | 8,1899    |

El método B, da que la muestra AAMB-2 tiene mejores resultados de poder de hinchamiento, solubilidad y capacidad de absorción de agua y es la muestra con mayor grado de sustitución, pero en comparación al método A, sus valores son menores, esto podría deberse a que el tratamiento ejecutado en el Método B tiene como parámetro temperatura alta durante toda la reacción y habría afectado al tener una mejor captación del agua. Según [8] el tiempo de reacción y la temperatura baja del proceso no son significativas en interrumpir el incremento de PH, %S y CAA.

### 3.3 Determinación De La Morfología Estructural

En la Figura 5, se observa la estructura granular del almidón nativo en diferentes aumentos.

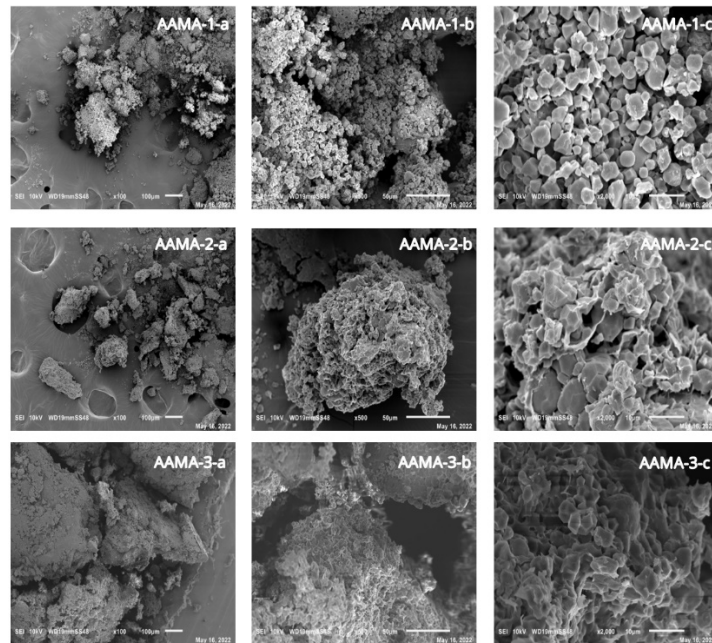


**Figura 3.** Aspecto granular en microscopia electrónica de barrido BEM en diferentes aumentos de almidón nativo de arroz: a) 100x, b) 500x, c) 2000x

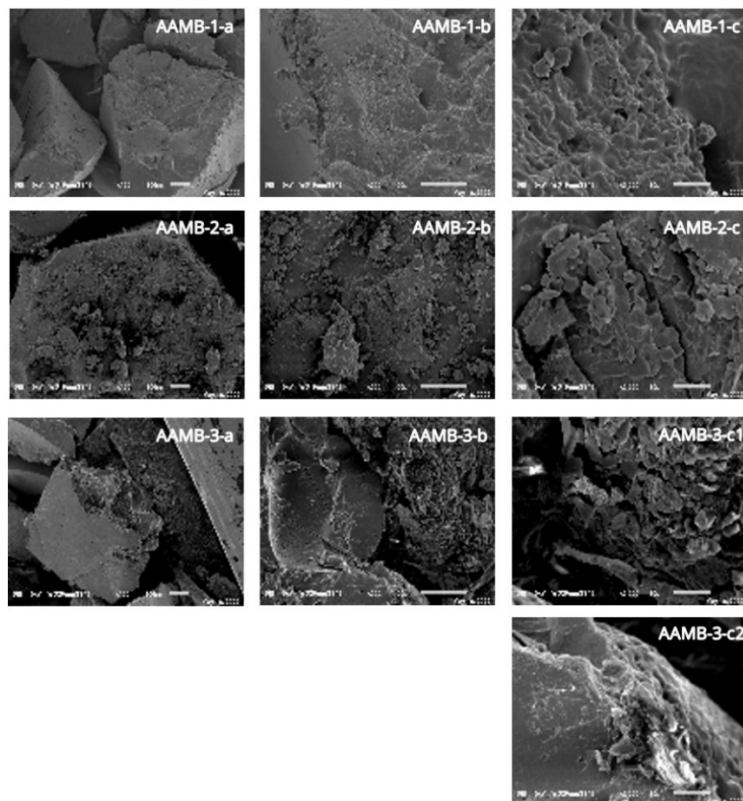
El estudio de la morfología de los gránulos del almidón modificado se realizó a través de un BEM donde se pueden observar los cambios estructurales que son causados por la acetilación diferenciándose del almidón nativo. Por ejemplo, en el método A (Figura 6) se ven los gránulos de almidón en grado bajo bastante dispersos y en formas poliédricas como lo confirman en [23], por lo que se asemejan bastante a la molécula del almidón nativo, pero conforme se aumenta el volumen de anhídrido como muestra AAMA-3, la molécula va teniendo un empaquetamiento en la que en su forma estructural va tornándose compacta.

En el método B (Figura 7), debido a que contiene una mayor cantidad de anhídrido acético, sus grados de sustitución son más altos comparados con el método A, de manera que su superficie estructural en los

gránulos la porosidad y su forma ligeramente poliédrica irregular, conforme se incrementa el volumen del anhídrido acético y el tiempo de reacción, comienza a tener coalescencia entre sus moléculas intragranulares, este comportamiento es semejante a lo encontrado en [23].



**Figura 4.** Aspecto granular en microscopia electrónica de barrido (BEM) en diferentes aumentos de almidón acetilado por el método A: a) 100x, b) 500x, c) 2000x



**Figura 5.** Aspecto granular en microscopia electrónica de barrido (BEM) en diferentes aumentos de almidón acetilado por el método B: a) 100x, b) 500x, c) 2000x

#### 4. CONCLUSIONES

Las metodologías empleadas confirman un cambio en la molécula del almidón, en el caso del método A, conforme se añade más anhídrido acético va aumentando el grado de sustitución. En el método B el tiempo no fue significativo en el grado de sustitución.

La acetilación modificó las características morfológicas del almidón, las cuales se observaron por el análisis SEM, volviéndolo más liso y compacto.

A mayor grado de acetilación hubo mayor poder de hinchamiento, solubilidad y capacidad de absorción de agua comparado con el almidón nativo de arroz.

### Agradecimientos

Los autores desean agradecer a PROCENCIA con el proyecto 072-2021 por financiar la presente investigación, a la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa por brindar los espacios para realizar las pruebas, al Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Zacatepec, Morelos, por su apoyo en las caracterizaciones de las muestras.

### REFERENCIAS

- [1] Rivera C. et al. (2019). Los empaques biodegradables, una respuesta a la conciencia ambiental de los Consumidores. *Realidad Empresarial* 7, 2-8.
- [2] Chen L. et al. (2007). Acetylated starch-based biodegradable materials with potential biomedical applications as drug delivery systems. *Current Applied Physics* 7(1), 90-93.
- [3] Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura. (2008). Nota informativa de la FAO sobre la oferta y la demanda de cereales. Recuperado de: <https://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/>.
- [4] Peñaranda O. et al. (2008). Revisión de la modificación química del almidón con ácidos orgánicos. *Revista ingeniería e investigación* 28(3), 47-52.
- [5] Montoya D. et al. (2015). Acetilación enzimática de almidones: una opción de valor agregado. *Tumbaga* 1(10).
- [6] Tupa M. (2019). Modificación organocatalítica de almidón para la obtención sostenible de derivados de alto valor agregado. Tesis de Maestría. Universidad de Buenos Aires.
- [7] Fang J. et al. (2004). The chemical modification of a range of starches under aqueous reaction conditions. *Carbohydrate Polymers* 55(3), 283-289.
- [8] Cedeño L. et al. (2021). Efecto de la acetilación sobre propiedades físicas del almidón de Banano (*Musa spp.* AAA subgrupo Cavendish). *Cumbres* 7(1), 9-20.
- [9] León G. et al. (2020). Modificación química de almidones mediante reacciones de esterificación y su potencial uso en la industria cosmética. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica* 39(5), 620-626.
- [10] Della D. (2007). Efecto del nivel de acetilación en las características morfológicas y moleculares del almidón de plátano (*Musa paradisiaca L.*). Tesis de Maestría. Instituto Politecnico Nacional. México.
- [11] Prieto J. et al. (2010). Acetilación y caracterización del almidón de cebada. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 6(1), 32-43.
- [12] León G. et al. (2020). Modificación química de almidones mediante reacciones de esterificación y su potencial uso en la industria cosmética. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica* 39(5), 620-626.
- [13] Xu Y. et al. (2004). Synthesis and characterization of starch acetates with high substitutio. *Cereal Chemistry* 81(6), 735-740.
- [14] Imre B. y Vilaplana F. (2020). Organocatalytic esterification of corn starches towards enhanced thermal stability and moisture resistance. *Green Chemistry* 22, 5017-5031.
- [15] Devi A. (2009). Physical properties of cryomilled rice starch. *Journal of Cereal Science* 49(2), 278-284.
- [16] Rendon R. (2009). Obtención y caracterización de almidón de plátano (*Musa paradisiaca L.*) acetilado a diferentes grados de sustitución. *Revista Afinidad* 67(548).
- [17] Mirmoghtadaie L. et al. (2009). Effects of cross-linking and acetylation on oat starch properties. *Food Chemistry* 116(3), 709-713.
- [18] Gani A. et al. (2014). Effect of g-irradiation on granule structure and physicochemical properties of starch extracted from two types of potatoes grown in Jammu & Kashmir, India. *Food Science and Technology* 58(1), 239-246.
- [19] Martínez P. et al. (2019). Propiedades fisicoquímicas, funcionales y estructurales de almidones nativos y acetilados obtenidos a partir de la papa (*solanum tuberosum*). *Sociedad Química Perú* 85(3), 338-351.
- [20] Colussi R. et al. (2014). Structural, morphological, and physicochemical properties of acetylated high-, medium-, and low-amylose rice starches. *Carbohydrate Polymers* 103, 405-413.
- [21] Rivas M. et al. (2009). Efecto del grado de acetilación en las características morfológicas, fisicoquímicas y estructurales del almidón de cebada. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 8(3), 291-297.
- [22] Rincón A. et al. (2007) Efecto de la acetilación y oxidación sobre algunas propiedades del almidón de semillas de Fruto de pan (*Artocarpus altilis*). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 57(3), 287-294.
- [23] Colussi R. et al. (2015). Acetylation of rice starch in an aqueous medium for use in food. *Food Science and Technology* 1076-1082.

# Estudio del efecto de la variación de las relaciones molares en propiedades de materiales a base de óxido de magnesio

Katy Denys Ramírez Moreno<sup>1</sup>  
Santiago Betancourt Parra<sup>2</sup>  
Natalia Jaramillo Quiceno<sup>3</sup>  
Gustavo Adolfo Hincapié Llanos<sup>4</sup>  
Luis Felipe Lalinde Castrillón<sup>5</sup>  
Catalina Álvarez López<sup>6</sup>  
*Universidad Pontificia Bolivariana*  
Colombia

Los impactos ambientales generados por la industria de la construcción, especialmente la industria de cementos y concretos, han incrementado el interés por parte de la comunidad científica para investigar y desarrollar alternativas cementantes, que sean menos agresivas con el medio ambiente y que puedan remplazar parcial o totalmente el cemento Portland en la fabricación de morteros o composites. Una alternativa es usar materiales a base de óxido de magnesio, los cuales son productos bajos en carbono, por lo que pueden ser buenos candidatos para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. Esta investigación se basó en la preparación de un material alternativo, en la que se usaron diferentes relaciones molares MgO:MgCl<sub>2</sub> (12.5:1, 14.8:1, 16.1:1, 18.8:1), manteniendo constante la relación molar H<sub>2</sub>O:MgCl<sub>2</sub> (15:1). Una vez se obtuvo el material se evaluaron propiedades de resistencia a la compresión, absorción de agua, morfología, y estructura mineralógica del material. Se comprobó la capacidad cementante del material y se encontró que la variación de las mezclas ejerce una alta influencia en las propiedades evaluadas, en especial, la mezcla preparada con una relación molar MgO:MgCl<sub>2</sub> 12.5:1. Se resalta que la investigación experimental realizada permite la obtención de materiales con propiedades mecánicas competitivas, comparados con morteros de cemento Portland convencionales.

---

<sup>1</sup> Ingeniera Civil, Magíster en Ingeniería de Materiales y Estudiante de Doctorado en Ingeniería.

Contacto: [katy.ramirez@upb.edu.co](mailto:katy.ramirez@upb.edu.co)

<sup>2</sup> Ingeniero Mecánico y Doctor en Ingeniería.

Contacto: [santiago.betancourt@upb.edu.co](mailto:santiago.betancourt@upb.edu.co)

<sup>3</sup> Ingeniera Industria y Magíster en Ingeniería de Materiales y procesos.

Contacto: [Natalia.jaramilloq@upb.edu.co](mailto:Natalia.jaramilloq@upb.edu.co)

<sup>4</sup> Ingeniero Químico y Magíster en Ingeniería.

Contacto: [gustavo.hincapie@upb.edu.co](mailto:gustavo.hincapie@upb.edu.co)

<sup>5</sup> Ingeniero Civil y Doctor en Ingeniería de la Construcción.

Contacto: [Felipe.lalinde@upb.edu.co](mailto:Felipe.lalinde@upb.edu.co)

<sup>6</sup> Ingeniera Agroindustrial y Doctora en Ingeniería.

Contacto: [catalina.alvarezl@upb.edu.co](mailto:catalina.alvarezl@upb.edu.co)

## 1. INTRODUCCIÓN

El cemento Sorel, también llamado cemento de oxiclورو de magnesio, cemento magnesiano o MOC, fue reportado como descubrimiento en 1867 por Stanislas Sorel [1, 2], poco después del cemento Portland. Se forma mezclando óxido de magnesio en polvo con una solución concentrada de cloruro de magnesio, dado que la disolución de cloruro de magnesio es a su vez una mezcla de  $MgCl_2$  y agua, para el fraguado son necesarios tres componentes:  $MgO$  (magnesita cáustica calcinada),  $MgCl_2$  (cloruro de magnesio), y  $H_2O$  (agua) [1, 3, 4].

Este cemento, químicamente ligado y secado al aire, tiene muchas propiedades superiores al cemento Portland ordinario, como fraguado rápido, alta resistencia mecánica, buena resistencia a la abrasión y al fuego, baja conductividad térmica, y excelente capacidad de unión para una amplia gama de rellenos [5].

En virtud de estas ventajas, el cemento MOC se ha utilizado convencionalmente para la fabricación de suelos industriales, muelas abrasivas, y una variedad de paneles con diferentes funciones específicas, como decoración, protección contra incendios, y aislamientos acústicos y térmicos [5].

Varios autores han reportado formas de preparar las mezclas las cuales se pueden agrupar como se indica en la tabla 1. La ruta sólida consiste en hacer una mezcla del óxido de magnesio con el cloruro de magnesio, y luego añadir el agua [6]; y la ruta líquida, consiste en disolver el cloruro de magnesio en agua y luego añadir el óxido de magnesio [1, 3, 5, 7-13].

La presente investigación se centra en el proceso de preparación de un material cementante base óxido de magnesio, en el que se evaluó desde diferentes relaciones molares  $MgO:MgCl_2$  (12.5:1, 14.8:1, 16.1:1, 18.8:1) sobre propiedades físicas y mecánicas como el contenido de humedad, porcentaje de absorción, densidad y resistencia a compresión. LA relación molar  $H_2O:MgCl_2$  (15:1) se mantuvo constante.

## 2. MÉTODO

### 2.1 Materiales

Las materias primas usadas para preparar el material a base de óxido de magnesio fueron óxido de magnesio, cloruro de magnesio hexahidratado y agua. El óxido de magnesio puro fue adquirido en Pressis Ltda. (Medellín - Antioquia). El fabricante procesa su propio óxido de magnesio sintético de alta pureza ( $MgO > 98.0\%$ ), asegurando propiedades y composición química. El óxido de magnesio impuro fue adquirido en Industrias EMU s.a. (Itagüí - Antioquia), el cual lo identifican como magnesita, magnesia o magnesita calcinadas (pureza del 89.54%). El cloruro de magnesio hexahidratado ( $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ) fue adquirido en Químicos JM (Medellín - Antioquia). El agua utilizada fue agua de grifo de la ciudad de Medellín.

### 2.2 Metodología

Las muestras se prepararon de acuerdo a lo reportado en la literatura, donde se evidenció que existen dos formas para la preparación de las pastas: 1) haciendo una mezcla sólida que consiste en mezclar el óxido de magnesio con el cloruro de magnesio, y luego añadir el agua [6]; y 2) haciendo una mezcla líquida que consiste en disolver el cloruro de magnesio en agua y luego añadir el óxido de magnesio [1, 5, 7-11, 13]. Para el desarrollo del presente trabajo la forma empleada para la preparación fue haciendo primero la mezcla sólida, ya que ensayos preliminares permitieron determinar que el tiempo de fraguado era menor.

- *Preparación del material.* En la Tabla 1 se detalla las relaciones molares utilizadas; se prepararon 4 tipos de materiales acorde con la variación en la relación molar  $MgO:MgCl_2$  (12.5:1, 14.8:1, 16.1:1 y 18.8:1). La relación molar  $H_2O:MgCl_2$  se mantuvo constante (15:1). Se mezclaron el óxido de magnesio y el cloruro de magnesio, ambos en forma de sólido en polvo hasta homogenizar; luego se agregó el agua. Las mezclas fueron vertidas manualmente en moldes plásticos de forma cilíndrica, elaborados en PVC de 1,5 pulgadas de diámetro y 3 pulgadas de altura; luego fueron dejadas al aire libre.

**Tabla 1.** Relaciones molares utilizadas

| MOC | MgO:MgCl <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> O:MgCl <sub>2</sub> |
|-----|-----------------------|------------------------------------|
| 1   | 12.5:1                | 15:1                               |
| 2   | 14.8:1                | 15:1                               |
| 3   | 16.1:1                | 15:1                               |
| 4   | 18.8:1                | 15:1                               |

### 2.3 Caracterización

- *Picnometría de helio.* Se determinó la densidad del óxido de magnesio puro e impuro utilizando un picnómetro de Helio. El ensayo se realizó a una temperatura de aproximadamente 20 °C y como condición general, se llenó la celda del porta muestras en un 80-90% [14].
- *Área superficial.* El área superficial del óxido de magnesio se calculó por el método BET, el cual se basa en el cálculo del número de moléculas de adsorbato, en este caso de nitrógeno, adsorbidas en monocapa, es decir, el número de moléculas necesarias para cubrir la pared del sólido con una única capa. Las isothermas informan directamente el volumen adsorbido a una determinada presión y permiten también calcular el área superficial del sólido, el tamaño y forma de poro y su distribución, los calores de adsorción, entre otros criterios [15]. En la Tabla 2 se presentan las condiciones de desgasificación de las muestras para la fase de evacuación y para la fase de calentamiento; y en la Tabla 3 las condiciones del análisis de adsorción/desorción de nitrógeno; teniendo en cuenta la presión del gas y la temperatura.

**Tabla 2.** Condiciones de desgasificación

| Fase de evacuación               |            | Fase de calentamiento      |           |
|----------------------------------|------------|----------------------------|-----------|
| Parámetro                        | Valor      | Parámetro                  | Valor     |
| Temperatura de evacuación        | 90 °C      | Velocidad de calentamiento | 10 °C/min |
| Velocidad de calentamiento       | 10 °C/min  | Temperatura                | 130 °C    |
| Velocidad de evacuación          | 5.0 mmHg/s | Tiempo                     | 420 min   |
| Evacuación no-restrictiva desde: | 5 µmHg     | Presión                    | 100 mmHg  |
| Nivel de evacuación              | 10 µmHg    |                            |           |
| Tiempo de evacuación             | 60 min     |                            |           |

**Tabla 3.** Condiciones de análisis de adsorción/desorción de N<sub>2</sub> a 77 K

| Parámetro  | Valor                     |
|--|---------------------------|
| Adsorbato  | Nitrógeno                 |
| Evacuación no-restricta desde                              | 5 mmHg                    |
| Objetivo de vacío  | 10 µmHg                   |
| Tiempo de evacuación                                       | 0.1 h                     |
| Dosis: Presión baja modo de dosis incremental              | 25 cm <sup>3</sup> /g STP |
| Tiempo de evacuación para la medición del espacio libre    | 0.5 h                     |
| Tiempo de equilibrio                                       | 30 s hasta 1 (P/P°)       |
| Medición de la presión absoluta (P°)                       | 180 min                   |
| Cálculo de la P <sub>sat</sub> con un valor estimado de P° | 640 mmHg                  |
| Gas de relleno al inicio y al finalizar el análisis        | N <sub>2</sub>            |
| Número de puntos adsorción hasta 0,35 (P/P°)               | 8                         |
| Número de puntos adsorción hasta 1,0 (P/P°)                | 10                        |
| Número de puntos desorción                                 | 22                        |

A las probetas cilíndricas, se les realizaron los siguientes ensayos: 1) compresión a los 7 días (ASTM C39), densidad ([16]), 2) porcentaje de humedad (ASTM D1348-94), y 3) porcentaje de absorción de agua (ASTM C1585). Para determinar las fases presentes y la morfología de los materiales obtenidos, se realizaron pruebas de difracción de rayos X DRX, y microscopía electrónica de barrido SEM, respectivamente.

- *Resistencia a compresión.* Para determinar la resistencia mecánica de los materiales obtenidos se realizaron pruebas de compresión. Los ensayos se llevaron a cabo sobre probetas cilíndricas de 1,5 pulgadas de diámetro por 3 pulgadas de altura. Los ensayos se realizaron a los 7 días posteriores a la conformación de los materiales. Se usó una máquina Universal de ensayos, marca INSTRON, modelo 5582, con una celda de carga de 100 KN, una velocidad de 2 mm/min. La prueba se llevó a cabo a

temperatura ambiente (25,7 °C) y una humedad relativa de 38%. De cada relación molar se ensayaron 3 probetas.

- *Porcentaje de humedad.* Las muestras se pesaron y luego se secaron en un horno de convección forzada, a una temperatura de 105 °C durante 24 h. Las muestras secas se pesaron para calcular el porcentaje de pérdida de peso, como se muestra en la ecuación (1).

$$\% \text{ de humedad} = \frac{W_i - W_f}{W_i} * 100 \quad (1)$$

Donde  $W_i$  es peso inicial de la muestra y  $W_f$  es peso de la muestra después de secar al horno después de 24 h.

- *Porcentaje de absorción de agua.* Las muestras se pesaron, y posteriormente se sumergieron en agua corriente por 24 h a temperatura ambiente. La absorción de agua se determinó usando la ecuación (2).

$$\% \text{ de absorción} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} * 100 \quad (2)$$

Donde  $W_1$  es peso de la muestra después de secar al horno después de 24 h, y  $W_2$  el peso de la muestra después de sumergida en agua por 24 h.

- *Densidad.* Los valores de las densidades se obtuvieron como la media de tres probetas, calculada cada una de ellas como la masa (g) de la probeta, dividida por el volumen de la misma  $\text{cm}^3$ ; de acuerdo a lo realizado en [16]
- *Difracción de rayos X DRX.* La identificación de las fases cristalinas formadas en los materiales se analizó mediante DRX. Los ensayos se realizaron en un Difractómetro de Rayos X (DRX) Malvern-PANalytical Modelo Empyeen 2012, con detector Pixel 3D y fuente de Cu ( $\lambda=1.541874$ ) a 45kV y 40mA; Goniómetro: Omega/2 theta y configuración de la plataforma: Reflexión Transmisión Spinner girando a 4 rpm. El paso fue de  $0,05^\circ$  y un tiempo por paso de 52 s.
- *Microscopia electrónica de barrido SEM.* Las muestras fracturadas en el ensayo de compresión fueron pulidas y recubiertas con oro antes de las observaciones. Se usó un microscopio electrónico de barrido marca JEOL (JCM - 6000 Plus). Se estudió la morfología de las muestras, y en algunas zonas, mediante espectroscopia de dispersión de energía EDS, se analizó la composición elemental de las diferentes zonas observadas.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

#### 3.1 Densidad y el área superficial de las muestras de MgO

En la Tabla 4 se muestran los valores de la densidad, el área superficial y el volumen total adsorbido de las muestras de óxido de magnesio. Se puede evidenciar que, la densidad del MgO puro es mayor que la del óxido de magnesio impuro. Se ha argumentado que las impurezas de este tipo de óxido pueden afectar considerablemente el valor de la densidad, debido a que producen cambios microestructurales en los arreglos cristalinos que incrementan el volumen ocupado y por lo tanto disminuyen la densidad [17].

**Tabla 4.** Densidad y área superficial del óxido de magnesio

| Nombre     | Densidad ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) | $S_{\text{BET}}$ ( $\text{m}^2/\text{g}$ ) | V TOT ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) |
|------------|-------------------------------------|--|----------------------------------|
| MgO puro   | 3,48                                | 0,7  | 6,53                             |
| MgO impuro | 2,78                                | 3,3  | 30,10                            |

Con relación al área superficial, se observa un comportamiento contrario, es decir, las muestras de óxido de magnesio impuro presentan los mayores valores. Sin embargo, estas áreas superficiales son bajas si se comparan con las obtenidas por otros investigadores [5, 17, 18] . La Figura 1 muestra las isotermas adsorciones/desorción de nitrógeno a 77 K de óxido de magnesio fino y granular.



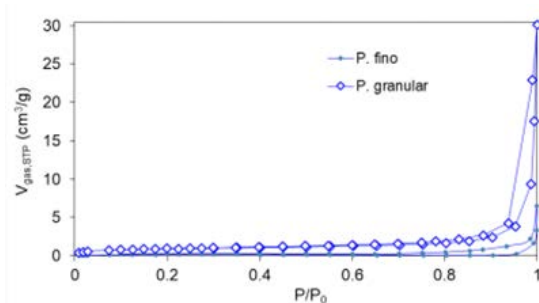


Figura 1. Isotermas de adsorción/desorción de nitrógeno a 77 K

### 3.2 Propiedades de los materiales obtenidos

En la Tabla 5 se resumen los resultados de los ensayos realizados. Las figuras 2 y 3 muestran los resultados de los ensayos de resistencia a compresión a los 7 días y densidad, y absorción de humedad y contenido de humedad respectivamente, de acuerdo con la relación molar evaluada. Se observa que la resistencia a la compresión de las mezclas después de 7 días de curado al aire cambia con las diferentes relaciones molares evaluadas.

Tabla 5. Consolidados resultados obtenidos

|                                   | 18.8:1     | 16.1:1     | 14.8:1     | 12.5:1     |
|-----------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| Resistencia a la compresión (MPa) | 5.77±0.06  | 9.14±0.08  | 16.18±0.45 | 23.85±1.24 |
| Densidad (g/cm <sup>3</sup> )     | 1.59±0.05  | 1.57±0.01  | 1.66±0.03  | 1.92±0.05  |
| Absorción de agua (%)             | 19.29±0.49 | 14.06±0.73 | 11.07±0.48 | 10.35±0.28 |
| Contenido de humedad (%)          | 6.5±0.54   | 6.2±0.29   | 5.7±0.27   | 4.9±0.22   |

Respecto a la resistencia a compresión, se puede observar en la Figura 2 que con una menor relación molar MgO:MgCl<sub>2</sub> de 12.5:1 la resistencia a compresión fue de 23,85 MPa; la cual fue disminuyendo a medida que aumentaba dicha relación molar; para 14.8: fue de 16.18 MPa, para 16.1 fue de 9.14 MPa y la más baja resistencia se presenta para la mezcla MgO:MgCl<sub>2</sub> de 18.8:1 5.77 MPa. De otra parte, en lo referente a la densidad mostrado en la figura 3, se observa una leve diferencia entre las relaciones molares trabajadas, siendo mayor para aquellos con una relación 12.5:1 con un valor de 1.92 g/cm<sup>3</sup>; se puede afirmar que esto influye en los resultados de la resistencia a la compresión; como se pudo observar; este desarrolla mayor resistencia.

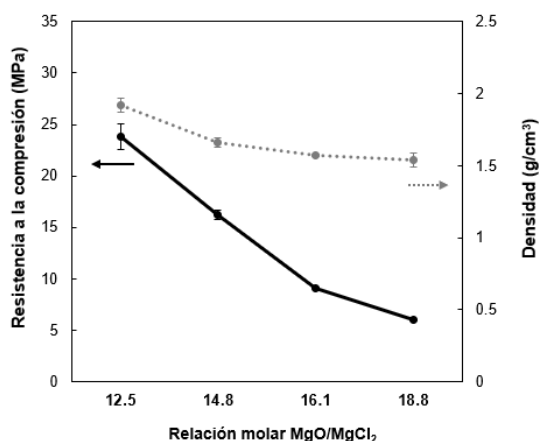


Figura 2. Resistencia a compresión 7 días y densidad

En cuanto al porcentaje de absorción de las diferentes mezclas representado en la figura 3; este presenta un comportamiento contrario al que se observó en la resistencia a la compresión, donde la relación molar 18.8:1 presenta el mayor porcentaje de absorción (19,29 %), mientras que para la relación 12.5:1 el valor es de 10.35%. Estos dos resultados guardan una estrecha coherencia, y evidencian que los cambios que se presentan entre las diferentes relaciones molares tienen una influencia clara sobre la afinidad del material con el agua. Este comportamiento resulta importante para el desempeño de los materiales, ya que su exposición al agua tiende a disminuir la resistencia, lo cual coincide con lo reportado [19].

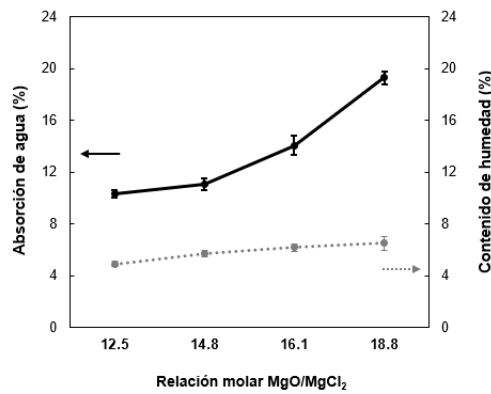


Figura 3. Absorción de agua y contenido de humedad

En la Figura 4, se muestran los difractogramas para las muestras con las diferentes relaciones molares analizadas (MOC 1, MOC 2, MOC 3 y MOC 4). Se observa que en todos los MOC, los picos de mayor intensidad se presentan en los valores de 2theta de 42,5 correspondiente a difracciones típicas de compuestos de MgO y MgCO<sub>3</sub> y en 2 theta de 62,5 correspondiente a MgO. Según las intensidades y ángulos de difracción se puede afirmar que, para estas relaciones molares utilizadas, los compuestos de magnesio tienden a estructurarse formando la fase 5, también se observa la presencia de la fase Mg(OH)<sub>2</sub>; también se aprecia la fase 3. Para todas las muestras se aprecia predominancia de la fase 5. Los resultados indican que las mezclas evaluadas forman sólidos de estructuras policristalinas. Variaciones propias de compuestos de magnesio (óxidos, carbonatos, hidróxidos, etc.) que coinciden con los hallazgos de [3, 5, 10, 11, 20–22].

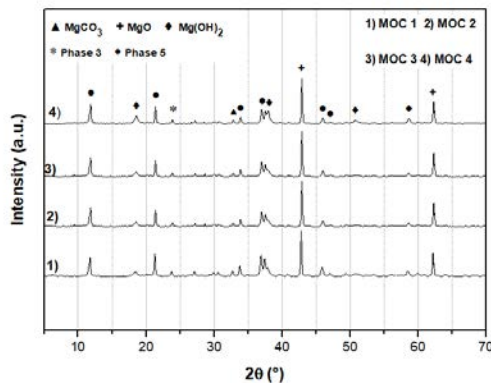


Figura 4. Difractogramas: 1) MOC 1, 2) MOC 2, 3) MOC 3, 4) MOC 4.

Estos resultados presentan un comportamiento similar al reportado por otros autores [19, 20], donde se ha observado que, relaciones MgO/MgCl<sub>2</sub> >5 y MgCl<sub>2</sub> de 6-15, favorecen la formación de fase 5, siendo esta el principal producto de reacción de los materiales, y responsable de las mejores propiedades mecánicas [19]. También se ha reportado que para obtener dominancia de cristales de fase 5 en una pasta MOC, la relación molar MgO:MgCl<sub>2</sub> debe estar entre 11-17 y la relación molar H<sub>2</sub>O:MgCl<sub>2</sub> entre 12-18 [24],

La Figura 5 muestra los resultados de análisis SEM de la relación molar 12.5:1; presenta la imagen en un punto y una ampliación. Se evidencia principalmente las formas características de la fase, forma de agujas o filamentos; acorde con lo reportado en [10, 11, 22, 18].

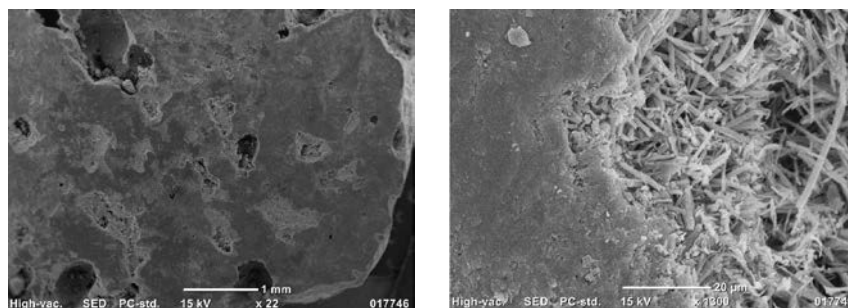


Figura 5. Imágenes SEM MOC 1

La Figura 6 muestra los resultados de análisis SEM de la relación molar 14.8:1; presenta la imagen en un punto y una ampliación. Se evidencian las formas características de la fase 3 y 5 reportadas en [10, 11, 22, 18]. La fase 3 aparece en forma de cristales escamosos, mientras que la fase 5 aparece en forma de agujas.

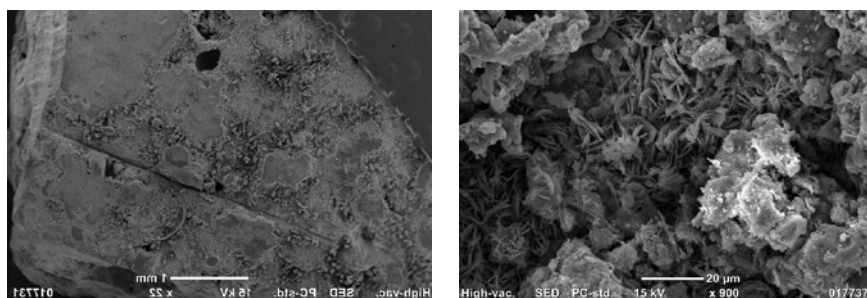


Figura 6. Imágenes SEM MOC 2

La Figura 7 muestra los resultados de análisis SEM de la relación molar 16.1:1; presenta la imagen en un punto y una ampliación. Al igual que lo presentado en la relación molar 14,8, se evidencian las formas características de la fase 3 y 5 reportadas en [10, 11, 22, 18]. La fase 3 aparece en forma de cristales escamosos, mientras que la fase 5 aparece en forma de agujas.

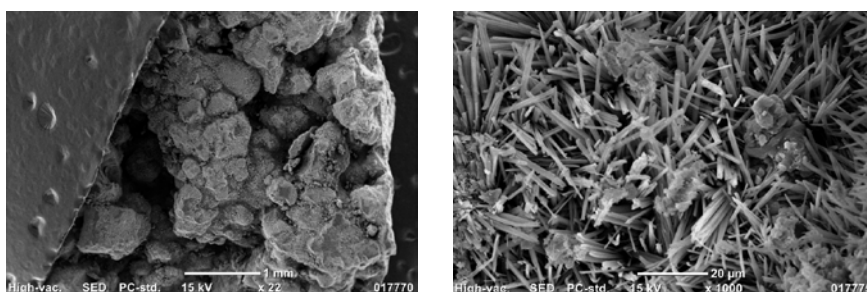


Figura 7. Imágenes SEM MOC 3

La Figura 8 muestra los resultados de análisis SEM de la relación molar 18.8:1; presenta la imagen en un punto y una ampliación. Se evidencian las formas características de la fase 3 y 5 reportadas en [10, 11, 22, 18]. La fase 3 aparece en forma de cristales escamosos, mientras que la fase 5 aparece en forma de agujas. En la Tabla 6 se muestra el comparativo resultados DRX y SEM

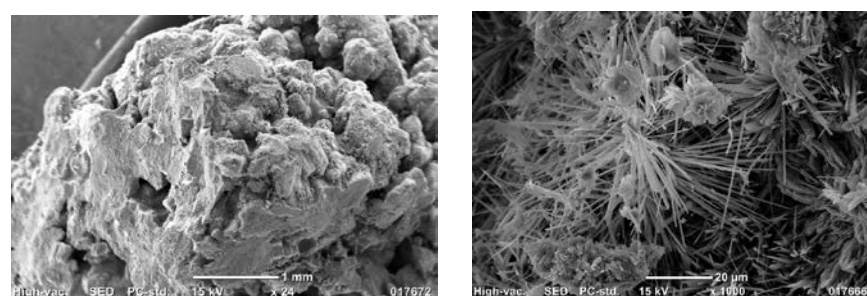


Figura 8. Imágenes SEM MOC 4

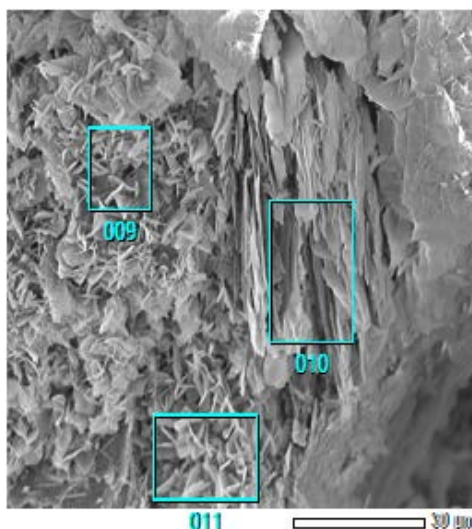
Tabla 6. Comparativo resultados DRX y SEM

| Relación Molar        |                                    | Fases                               |                                     | Composición            |                                       | Morfología |        |         |
|-----------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|------------|--------|---------|
| MgO:MgCl <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> O:MgCl <sub>2</sub> | Fases DRX                           | Fases SEM                           | Mineral DRX            | Elemental EDS                         | Porosa     | Agujas | Escamas |
| 12.5:1                |                                    | Fase 5, Mg(OH) <sub>2</sub>         | Fase 5                              | MgO, MgCO <sub>3</sub> | C                                     | X          | X      |         |
| 14.8:1                |                                    | Fase 3, fase 5, Mg(OH) <sub>2</sub> | Fase 3, fase 5                      | MgO, MgCO <sub>3</sub> | O                                     | X          | X      | X       |
| 16.1:1                |                                    | Fase 3, fase 5, Mg(OH) <sub>2</sub> | fase 5                              | MgO, MgCO <sub>3</sub> | Na                                    |            | X      |         |
| 18.8:1                | 15:01                              | Fase 3, fase 5, Mg(OH) <sub>2</sub> | Fase 3, fase 5, Mg(OH) <sub>2</sub> | MgO, MgCO <sub>3</sub> | Mg-<br>Al-<br>Si-<br>Cl-<br>Ca-<br>Fe |            | X      | X       |

Para verificar los elementos constitutivos de los MOC, se tomó una de las muestras y se realizó el análisis elemental (EDS). La Tabla 7 y la Figura 9 muestran los resultados del EDS tomado en los puntos 009-010 y 011 de la figura correspondiente a relación molar  $\text{MgO}:\text{MgCl}_2 - \text{H}_2\text{O}:\text{MgCl}_2$  18.8:1 - 15:1. Se observa que esta presenta elementos como Carbono, Oxígeno, Magnesio, Aluminio, Cloro, Calcio y pequeñas cantidades de Hierro.

**Tabla 7.** Porcentaje en masa de elementos de la relación  $\text{MgO}:\text{MgCl}_2 - \text{H}_2\text{O}:\text{MgCl}_2$  18.8:1-15:1. Puntos 009-010-011

|     | C     | O     | Na   | Mg    | Al   | Si    | Cl   | Ca   | Fe   | Total |
|-----|-------|-------|------|-------|------|-------|------|------|------|-------|
| 009 | 13,56 | 58,83 | 0,00 | 23,67 | 0,15 | 2,16  | 1,02 | 0,55 | 0,06 | 100   |
| 010 | 9,78  | 51,43 | 0,00 | 21,31 | 0,12 | 16,27 | 0,79 | 0,29 | 0,00 | 100   |
| 011 | 13,59 | 57,26 | 0,09 | 23,40 | 0,24 | 2,79  | 1,63 | 0,99 | 0,01 | 100   |



**Figura 9.** EDS 18.8:1 - 15:1

#### 4. CONCLUSIONES

En este estudio se consiguió obtener un material con características cementantes a base de óxido de magnesio al 89,54 %, y se logró comprobar la predominancia de la fase 5 en las cuatro relaciones molares analizadas.

Se evidenció que la relación molar  $\text{MgO}:\text{MgCl}_2$  tiene una alta influencia sobre las propiedades y que una relación 12.5:1, presenta la mejor resistencia a compresión después de 7 días de curado al aire.

Al tiempo que, bajo estas condiciones, el material presenta una menor humedad y capacidad de absorción de agua. Finalmente, se resalta que la investigación experimental realizada permite la obtención de materiales con propiedades mecánicas competitivas si se comparan con morteros de cemento Portland convencional.

#### REFERENCIAS

- [1] Tapia M. (2015). Comportamiento a alta temperatura de paneles de cemento de magnesio. Tesis de maestría. Universidad Politécnica de Cataluña. España.
- [2] Lavandero R. y Gonzalez E. (2011). Propuesta Propuesta de fabricación en Cuba de materiales de construcción no tradicionales, con énfasis en la producción de cementos especiales. En IX Congreso cubano de geología Geología y prospección de materiales no metálicos. La Habana, Cuba.
- [3] Li Z. y Chau C. (2007). Influence of molar ratios on properties of magnesium oxychloride cement. Cement and Concrete Research 37, 866-870.
- [4] Jurišová J. et al (2015). Characteristics of Sorel cement prepared from impure materials. Acta Chimica Slovaca 8 (2), 87-90.
- [5] Hu C. et al. (2016). Micromechanical investigation of magnesium oxychloride cement paste. Construction and Building Materials 105, 496-502.

- [6] Pereiro G. y Guitian F. (2006). Procedimiento de obtención de materiales porosos aglomerados con cementos de periclasa. Patente WO 2006/035091 A1. Santiago de Compostella, España. US 7,998,547 B2.
- [7] Feigin M. a y Sing T.(2011). Magnesium oxide-based construction board. PatenteUS 7,998547 B2. Estados Unidos.
- [8] Xu B. et al. (2016). Influence of curing regimes on mechanical properties of magnesium oxychloride cement-based composites. *Construction and Building Materials* 102, 613-619.
- [9] Li Z. y Chau C. (2007). Influence of molar ratios on properties of magnesium oxychloride cement. *Cement and Concrete Research* 37 (6), 866–870.
- [10] Gomes C. y y De Oliveira A (2018). Chemical phases and microstructural analysis of pastes based on magnesia cement. *Construction and Building Materials* 188, 615–20.
- [11] Zhang X. et al. (2017). Effect of 5-phase seed crystal on the mechanical properties and microstructure of magnesium oxychloride cement. *Construction and Building Materials* 150, 409–417.
- [12] Gomes C. y De Oliveira A (2018). Chemical phases and microstructural analysis of pastes based on magnesia cement. *Construction and Building Materials* 188, 615–20.
- [13] Ye Q. et al. (2018). Tuning the phase structure and mechanical performance of magnesium oxychloride cements by curing temperature and H<sub>2</sub>O / MgCl<sub>2</sub> ratio. *Construction and Building Materials* 179, 413–419.
- [14] De Santiago C. y Raya M. (2008). Análisis del peso específico y porosidad de materiales porosos mediante picnometría de Helio. *Boletín de la Sociedad española mecánica suelos e Ingeniería Geotécnica* 156, 19-27.
- [15] Zubieta C. (2010). Materiales mesoporosos ordenados en la eliminación de contaminantes en efluentes textiles. *Disertación doctoral. Universidad Nacional del Sur. Argentina.*
- [16] Serrano T. et al. (2012). Morteros aligerados con cascarilla de arroz: Diseño de mezclas y evaluación de propiedades. *Dyna* 175, 128-136.
- [17] Avarado E. (1998). Producción de polvos de óxido de magnesio a partir de diferentes precursores. *Disertación doctoral. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, México.*
- [18] Jin F. (2020). Magnesium oxychloride cement. En *Magnesia Cements*. Elsevier.
- [19] Qu Z. (2020). Super-hydrophobic magnesium oxychloride cement (MOC): From structural control to self-cleaning property evaluation. *Materials and Structures* 53 (2), 1-10.
- [20] Sonat C. (2017). Recycling and reuse of reactive MgO cements – A feasibility study. *Construction and Building Materials* 157, 172-181.
- [21] Kurosawa R. et al. 2021). Fourier-transform infrared analysis of the dehydration mechanism of Mg(OH)<sub>2</sub> and chemically modified Mg(OH)<sub>2</sub>. *The Journal of Physical Chemistry* 10 (125), 5559–5571.
- [22] Sirota V. et al. (2018). Preparation of crystalline Mg(OH)<sub>2</sub> nanopowder from serpentinite mineral. *International Journal of Mining Science and Technology* 28 (3), 499–503.
- [23] Jin F. (2020). Magnesium oxychloride cement. Elsevier.
- [24] Guo Y. et al. (2020). Effect of fly ash on mechanical properties of magnesium oxychloride cement under water attack. *Structural Concrete* 21(3), 1181–99.
- [25] Ye Q. et al. (2018). Tuning the phase structure and mechanical performance of magnesium oxychloride cements by curing temperature and H<sub>2</sub>O/MgCl<sub>2</sub> ratio. *Construction and Building Materials* 179, 413–419.
- [26] Zgueb R. et al. (2018). Improvement of the thermal properties of Sorel cements by polyvinyl acetate: Consequences on physical and mechanical properties, *Energy and Buildings* 169, 1–8.

# Medición de la huella de carbono y remoción de CO<sub>2</sub> para plantear estrategias de reducción y mitigación en una empresa de silvicultura y compensación forestal

María Angélica López Mesa<sup>1</sup>

Andrés Rey Piedrahita<sup>2</sup>

Jennifer Alejandra Castellanos Garzón<sup>3</sup>

*Unidad Central del Valle del Cauca*

Colombia

El desarrollo de actividades antropogénicas que generan gases de efecto invernadero ocasiona contaminación atmosférica que se relaciona, entre otras, con el calentamiento global. Las empresas conscientes de la importancia de mitigar los efectos de la contaminación se han visto en la necesidad de medir la generación de gases de sus procesos, con el objetivo de intervenir e implementar alternativas de reducción, mitigación y compensación. El objetivo de esta investigación es medir la huella de carbono y remoción de CO<sub>2</sub> para plantear alternativas de reducción y mitigación efectivas en la empresa Kiwe Yu S.A.S, ubicada en Tuluá Colombia, y que se dedica a la silvicultura y compensación forestal. En el estudio se evaluó la captura de carbono por los árboles sembrados en el desarrollo de su actividad laboral. Para la medición de la huella se contabilizaron las emisiones de CO<sub>2</sub> y se tomó como fundamento la norma ISO 14064-1:2006, que detalla los principios y requisitos para el diseño, desarrollo y gestión de inventarios de los gases de efecto invernadero GEI para empresas. Se desarrollaron tres fases: 1) identificación de los procesos de la empresa, definición de los límites organizacionales y operacionales e identificación y clasificación de las fuentes emisoras de GEI; 2) registro de los factores de emisión de las fuentes definidas para la cuantificación de emisiones, cuantificación de remociones, se estimó la biomasa área, biomasa raíz, captura de carbono y conversión de carbono a CO<sub>2</sub> equivalente; y 3) identificación de las estrategias para contribuir a la disminución de emisiones de GEI. Se encontró que la huella de carbono total generada fue de 75,746 ton CO<sub>2</sub>e, con una remoción de 23,769 ton CO<sub>2</sub>. El alcance uno relacionado con las emisiones directas tuvo un aporte del 44,78% por generar 33,916 ton CO<sub>2</sub>e; el alcance dos correspondiente a las emisiones indirectas por electricidad adquirida tuvo el aporte del 0,27% por emitir 0,204 ton de CO<sub>2</sub>e, y el tercer alcance relacionado con otras emisiones indirectas tuvo un aporte del 54,96% del total generado, por emitir 41,627 ton CO<sub>2</sub>e. Se identificó que la fuente con mayor aporte en la generación de gases fue la combustión móvil, causado por el transporte externo diario de los colaboradores, con emisiones de 38,718 ton CO<sub>2</sub>e, seguido por la combustión de diésel y gasolina corriente, generada por el transporte interno de maquinaria y colaboradores para la prestación del servicio, con una contribución de 30,755 ton CO<sub>2</sub>e.

---

<sup>1</sup> Ingeniera Ambiental.

Contacto: [maria.lopez03@uceva.edu.co](mailto:maria.lopez03@uceva.edu.co)

<sup>2</sup> Ingeniero Electrónico, Magíster en Ingeniería Telemática, Magíster en Ciencias Computacionales y Doctor en Ingeniería.

Contacto: [arey@uceva.edu.co](mailto:arey@uceva.edu.co)

<sup>3</sup> Bióloga y Doctora en Ciencias Biomédicas.

Contacto: [jacastellanos@uceva.edu.co](mailto:jacastellanos@uceva.edu.co)

## 1. INTRODUCCIÓN

La revolución industrial y el crecimiento económico han provocado un aumento progresivo de la contaminación ambiental generando impactos negativos en el medio ambiente, de los cuales se destaca el cambio climático, consecuente de las emisiones de gases de efecto invernadero GEI, que se han acumulado en la atmósfera, las cuales son atribuidas a las actividades industriales, a la quema de combustible, la ganadería, agricultura, al consumo de combustibles fósiles, a la quema de biomasa y a la generación de electricidad [1]. Esta problemática ocasiona profundos impactos en los ecosistemas, entre ellos la disminución de la calidad del aire, disminución de la disponibilidad del recurso hídrico, aumento de las enfermedades, pérdida de la biodiversidad, desertificación de suelos, entre otro [2].

Debido a esto surge la necesidad de mitigar y compensar el daño ocasionado por las actividades antropogénicas, con el fin de alcanzar un desarrollo sustentable [3]. Es así como se crean diferentes tipos de herramientas con la capacidad de evaluar la incidencia de las actividades humanas sobre el medio ambiente. Una de las más usadas actualmente por las organizaciones es la medición de Huella de Carbono, esta permite cuantificar las emisiones de GEI que son ocasionadas por un proceso productivo, la cual a su vez permite implementar estrategias de gestión para el desarrollo de una industria sostenible, mejorando las condiciones ambientales locales y su competitividad a escala nacional e internacional, contribuyendo a la resolución de un grave problema global.

Asimismo, la manera más funcional de atenuar el cambio climático es a través de los bosques, ya que estos funcionan perfectamente como sumideros de carbono, pues absorben el dióxido de carbono que atrapa el calor a medida que crecen, al mismo tiempo que disminuyen la temperatura ambiental; a causa de esto las organizaciones han apostado a proyectos de compensación y reforestación.

Es así, como Kiwe Yu, por su actividad laboral, participa a nivel nacional en proyectos de compensación forestal, por lo cual integra diferentes tipos de ecosistemas y especies vegetales, aportando beneficios económicos, ambientales y sociales. Para la organización, medir la huella de carbono que se genera en cada uno de los procesos y la remoción de CO<sub>2</sub> por las plantaciones realizadas en los diferentes proyectos, es una necesidad basada en el compromiso ambiental que tiene con la sociedad.

La empresa cuenta con maquinaria de combustión en el desarrollo de sus prácticas laborales, y desarrolla actividades que emiten GEI. De este modo, el objetivo de este proyecto fue medir la huella de carbono y remoción de CO<sub>2</sub> para plantear alternativas de reducción y mitigación efectivas en la organización Kiwe Yu S.A.S, municipio de Tuluá, Valle del Cauca, lo que permitió identificar y determinar las principales emisiones de GEI al considerar las fuentes, logrando el reconocimiento de acciones voluntarias tempranas de mitigación de emisiones de GEI, enfocado principalmente en el CO<sub>2</sub>.

Desde el punto de vista metodológico, la finalidad del estudio es descriptivo debido a que los datos son utilizados con finalidades puramente descriptivas. La secuencia temporal es transversal, ya que los datos de cada sujeto representan un momento en el tiempo; y el inicio del estudio en relación con la cronología de los hechos es retrospectivo en vista de que su diseño es posterior a los hechos estudiados.

Con base en ello, inicialmente se identificaron los procesos llevados a cabo en la organización y los factores determinantes de las principales fuentes generadoras de emisiones de CO<sub>2</sub>; posteriormente se evaluaron los componentes que conforman las emisiones y capturas de CO<sub>2</sub> generadas por la organización y finalmente se establecieron alternativas que permiten reducir, mitigar y compensar las emisiones de CO<sub>2</sub> que se generan en el área de interés. Cada uno de estos se plantearon en forma de fase, así mismo se planteó la metodología y los resultados dándole cumplimiento a cada uno de ellos.

Una de las limitaciones en este estudio fue que exceptuando el CO<sub>2</sub> no se contabilizaron los demás gases de efecto invernadero establecidos en el protocolo de Kioto debido a que era mucho más complejo para su medición lo cual extendía el tiempo ejecución, debido a que era necesario recaudar más información. Otra limitación fue que para la contabilización de las emisiones generadas por transporte de colaboradores casa-trabajo-casa solo se encuestó el personal presente deduciendo de que hubiesen laborado durante todo el

año base, sin tener en cuenta otros colaboradores que laboraron en la organización a lo largo del año y que disponían de diferentes vehículos.

## 2. MÉTODO

Se realizó un estudio descriptivo transversal y retrospectivo. Para efectuar la medición de Huella de Carbono de la entidad Kiwe Yu S.A.S., se tomó como fundamento la norma ISO 14064-1:2006 Especificaciones y orientaciones, a nivel de la organización, para la cuantificación y la declaración de las emisiones y reducciones de gases de efecto invernadero [4], así como los lineamientos establecidos en la Guía metodológica para la aplicación de la norma UNE-ISO 14064-1:2006 para el desarrollo de inventarios de Gases de Efecto Invernadero GEI en organizaciones [5].

Para el inventario fueron medidas las emisiones de CO<sub>2</sub> como el principal gas de efecto invernadero en los alcances uno 1) y dos 2) que la norma sugiere cuantificar prioritariamente. El año base elegido para la medición fue el periodo comprendido entre julio del 2019 hasta junio del 2020, esta fecha se estableció a partir de la disponibilidad de datos en los libros contables de la empresa. Se realizaron tres fases de estudio:

### 2.1 Fase 1. Identificación de los procesos que se llevan a cabo en la organización Kiwe Yu S.A.S y de los factores que determinan las principales fuentes generadoras de emisiones de CO<sub>2</sub>

Se identificaron todas las actividades que se llevan a cabo en la organización, estas actividades se agruparon en los procesos por los cuales funciona la empresa, se solicitó el mapa de procesos y el organigrama corporativo.

Se definieron los límites del inventario, en dos sentidos, los límites organizacionales y los operacionales propuestos en la guía metodológica UNE-ISO 14064-1:2006 para conocer el escenario de definición, cuantificación y reporte de las emisiones de GEI generadas.

Operacional, financiero y cuota de participación accionaria. La selección del enfoque se realizó con base en: Disponibilidad de datos. capacidad de actuación para reducir las emisiones y claridad en el control operacional

Se identificaron las emisiones directas e indirectas y los sumideros de CO<sub>2</sub>, con el fin de realizar la clasificación de sus respectivos alcances. En la Tabla 1, se describen los tres alcances que se llevaron a cabo para la identificación de emisiones de CO<sub>2</sub> [6]. Para la determinación de las fuentes por emisiones directas o indirectas, se analizó si las emisiones se produjeron dentro de los límites de la organización como se definió anteriormente.

**Tabla 1.** Límites operacionales [6]

| Alcance 1   | Alcance 2   | Alcance 3  |
|---|---|--|
| Emisiones y remociones directas   | Emisiones indirectas por energía  | Otras emisiones indirectas   |
| Las emisiones son generadas por fuentes propias o controladas por la empresa. Por ejemplo, emisiones por combustión de vehículos, hornos y calderas. Además, se calcula la cantidad de dióxido de carbono extraído de la atmósfera por los sumideros. | Las emisiones son generadas por la energía eléctrica comprada y consumida por la empresa. | Las emisiones son generadas por otras fuentes. Esta es una categoría opcional. Por ejemplo, la producción de materiales adquiridos, el transporte de combustibles adquiridos y el uso de productos y servicios vendidos. |

#### 2.1.1 Identificación y clasificación de las fuentes emisoras

Tipo de combustible, equipos de consumo energético y la recopilación de los datos de consumo o actividad a través de los registros de la organización, posteriormente, se clasificó de acuerdo a los alcances 1, 2 y 3; para esto, se evaluó: Consumo de combustibles fósiles, emisiones por combustión móvil, emisiones por combustión de maquinaria, uso de aceites lubricantes, aplicación de productos fitosanitarios, emisiones por electricidad adquirida, emisiones por adquisición de bienes, emisiones por adquisición de insumos, viajes laborales, desplazamiento casa-trabajo-casa de colaboradores y remociones por plantaciones.



## 2.2 Fase 2. Evaluación de los componentes que conforman las emisiones y capturas de CO2 generadas por la organización Kiwe Yu S.A.S.

Obtención de la emisión de toneladas de GEI mediante la ecuación (1) a partir de un dato de la actividad que produce la emisión.

$$\text{Emisiones de GEIs (t GEI)} = \text{Dato de actividad} * \text{Factor de emisión} \quad (1)$$

Conversión de los datos de emisión en toneladas de GEI a unidades de toneladas de CO2-e, que se expresa en la ecuación (2).

$$\text{Emisiones (t CO2 eq)} = \text{Datos de emisión} * \text{Potencial de calentamiento global} \quad (2)$$

Para los factores de emisión se consultó en la literatura y en las entidades Nacionales e Internacionales de cambio climático, todos los factores de emisión que se requirieron de acuerdo a las fuentes de emisión de gases CO2 identificadas en la empresa. En este se detalla el potencial de calentamiento global en una proyección de 100 años relativo al CO2 para cada compuesto o GEI. Una vez hecho el cálculo unitario de las emisiones de cada fuente en unidades de toneladas de CO2-e, se procedió a realizar la sumatoria de todas las emisiones de la misma categoría (emisiones directas, emisiones indirectas por energía y otras emisiones indirectas).

### 2.2.1 Cuantificación de Remociones

- *Estimación de la Biomasa Aérea:* Mediante la ecuación (3) se estimó la biomasa aérea con un método llamado regresión lineal general, que permite obtener la cantidad de esta con pocas variables [7].

$$BA = e(-2,557 + 0,932 \ln((d * 100)^2 * h * \delta * t)) \quad (3)$$

Donde:

BA: Biomasa aérea total (Kg).

e: Base del logaritmo natural (2,557).

d: Diámetro a la altura del pecho o DAP (m).

h: Altura total del árbol (m).

$\delta$ : Densidad básica de la madera (t/m<sup>3</sup>).

t: Número de tallos.

- *Estimación de la Biomasa en raíces:* Mediante la ecuación (4) [8] se estimó la biomasa en las raíces.

$$BR = e(-4,273 + 2,633 \ln(d * 100)) \quad (4)$$

Donde:

BR: Biomasa raíces total.

e: Base del logaritmo natural (-4,273).

d: Diámetro a la altura del pecho o DAP (m).

- *Estimación de la Captura de Carbono:* Se utilizó la fracción de carbono FC = 0,47, con el fin de transformar el porcentaje de la biomasa vegetal que corresponde al carbono, se estima que es aproximadamente un 50% según lo trabajado en la metodología de [9] para la biomasa forestal aérea, el cual se expresa en la ecuación (5). En el caso de la biomasa en raíces se emplea la FC=0,5 propuesto por [10], como se aprecia en la ecuación (6).

$$CBA = BA * 0,47 \quad (5)$$

$$CBR = BR * 0,5 \quad (6)$$

Donde:

CBA: Carbono fijado (aérea)

CBR: Carbono fijado (raíces)

BA: Biomasa aérea

BR: Biomasa Raíces

Finalmente, se realizó una sumatoria con la ecuación (7) del carbono fijado en la biomasa aérea y el carbono fijado en la biomasa de las raíces.

$$CT = CBA + CBR \quad (7)$$

- *Estimación de Captura de CO<sub>2</sub>*: Como se expresa en la ecuación (8) la conversión de Carbono a CO<sub>2</sub>, se hizo a través de la relación del peso molecular del CO<sub>2</sub> y el peso del átomo del C [11].

$$CO_2 = C * \left(\frac{44}{12}\right) \quad (8)$$

Una vez hecho el cálculo de la captura de carbono de cada especie en unidades de toneladas de CO<sub>2</sub>, se procedió a realizar la sumatoria de todas las remociones de CO<sub>2</sub>.

### 2.3 Fase 3. Establecimiento de alternativas que permitan disminuir, mitigar y compensar las emisiones de CO<sub>2</sub> que se generan en el área de interés

Se identificaron las áreas donde se requería trabajar para conseguir su reducción; de esta forma se consultó y se eligió una serie de estrategias de gestión y acciones de compensación con el fin de disminuir las cantidades emitidas de CO<sub>2</sub>. Se realizó una descripción detallada de cada una de las estrategias mediante una tabla compuesta con los siguientes campos:

- *Título*: Nombre del documento.
- *El alcance*: Determinación clara, sencilla y concreta de la audiencia, o departamentos dentro de la empresa a la cual está dirigida o se pretende incorporar el programa o la propuesta establecida, a lo largo del desarrollo del proyecto en cuestión, cuyo cumplimiento es directamente por este.
- *Responsable*: Área o persona que tiene la responsabilidad de implementar la estrategia, siendo consciente de sus obligaciones al mismo tiempo que actúa conforme a ellas.
- *Documento de referencia*: Documento guía con el que se obtienen los resultados, este facilita el establecimiento de las estrategias adecuadas que a implementar en la empresa.
- *Fuente de emisión*: Son las actividades o procesos que lleva a cabo la empresa y emiten de forma directa o indirecta gases de efecto invernadero a la atmósfera, afectando la calidad del aire en el área local o regional.
- *Objetivo*: Son los lineamientos que permiten alcanzar un fin o una meta, en este caso una estrategia, estos son medibles, realistas y limitados en el tiempo. Para ello, se utilizan diversos métodos, actividades y contenidos que sirven a dicho propósito.
- *Descripción*: Discurso escrito en el que se define una idea general de la estrategia planteada. Esta aporta información con distintos grados de detalle posible para que la audiencia reciba de forma clara y acertada lo que se quiere dar a conocer.
- *Beneficios de la estrategia*: Detrás del beneficio principal que es reducir la huella de carbono producida, la empresa recibe otros beneficios específicos que dependen de cada estrategia, en cuanto a ahorro económico y de insumos, igualmente en cuanto a mejoras en la producción.
- *Actividades*: Acciones necesarias para lograr los objetivos y metas planteadas en la estrategia, estas consisten en la ejecución de ciertos procesos o tareas mediante la utilización de los recursos humanos, materiales, técnicos, y financieros asignados a la actividad con un costo determinado.
- *Potencial de reducción*: Cuantificación de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero de forma directa o indirecta por la acción de una actividad.

- *Seguimiento y control*: Conjunto de acciones que se llevan a cabo para la comprobación de la correcta ejecución de las actividades establecidas en la estrategia en la planificación del mismo.
- *Indicador*: Este hace referencia a aquellos elementos que tienen por objeto el apuntar o señalar algo, en este caso, un dato o información que sirva para conocer o valorar las características, la intensidad y el cumplimiento de la estrategia.
- *Meta*: Fin al que se dirigen las acciones, esperando un resultado, este es evaluado en el tiempo. De manera general, se identifica con los objetivos que se marcan.
- *Recursos*: Se incluye todo lo necesario para llevar a cabo las actividades de la estrategia, es decir, personas, equipos, instalaciones, dinero requerido o materiales.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

#### 3.1 Fase 1. Procesos realizados en la organización Kiwe Yu S.A.S. y factores determinantes de las fuentes generadoras de emisiones de CO<sub>2</sub>

Se identificaron los siguientes procesos representativos: Dirección estratégica, sistema de gestión integrado, gestión de tratamientos silviculturales, gestión de asistencia técnica, gestión de comercialización de insumos y gestión contable, gestión del talento humano y gestión de compras.

Los límites organizacionales para la empresa, se establecen bajo el enfoque de control operacional, ya que este es el que mejor representa las actividades de la organización, al tener control sobre las políticas de operación, con respecto a los procesos donde se realiza un control exhaustivo de cada actividad. Además, es el enfoque que permite un mayor potencial de reducción de GEI. Para la definición de los límites operacionales, se identificaron las emisiones directas e indirectas asociadas a sus operaciones, considerando de esta manera el nivel de alcance definidos en [12]. En la Tabla 2 se definen las emisiones para la empresa.

**Tabla 2.** Identificación de emisiones GEI

| <i>Alcance I</i>  |  |
|---|--|
| Emisiones directas por combustión móvil                       | Emisiones procedentes del consumo de gasolina para el transporte de máquinas, herramientas y colaboradores para la prestación del servicio<br>Emisiones procedentes del consumo de diésel para el transporte de máquinas, herramientas, colaboradores para la prestación del servicio y recolección de residuos vegetales. |
| Emisiones directas por combustión de maquinaria               | Emisiones procedentes del consumo de gasolina para el uso de motosierras y guadañ<br>Emisiones procedentes del consumo de diésel para el uso del chipper.  |
| Emisiones directas por aplicación de productos fitosanitarios | Emisiones procedentes del uso de insecticidas.<br>Emisiones procedentes del uso de fungicidas.   |
| Remociones por plantaciones                                   | Remoción de CO <sub>2</sub> por compensaciones forestales.   |
| <i>Alcance II</i>   |  |
| Emisiones de la generación de electricidad                    | Emisiones procedentes del consumo eléctrico en las instalaciones por el uso de bombillas, equipos de cómputo y aparatos eléctricos.  |
| <i>Alcance III</i>  |  |
| Emisiones por adquisición de bienes                           | Emisiones derivadas del transporte de los equipos adquiridos para la producción.   |
| Emisiones por adquisición de insumos                          | Emisiones derivadas del transporte de EPPs y herramientas adquiridas para los colaboradores de la organización.  |
| Viajes laborales  | Emisiones derivadas de los viajes de trabajo de los colaboradores  |
| Desplazamientos casa-trabajo-casa                             | Emisiones derivadas de los desplazamientos casa-trabajo- casa de los colaboradores   |
| Consumo de insumos  | Emisiones debidas al consumo de papel.   |

##### 3.1.1 Identificación y clasificación de las fuentes emisoras.

Respecto al valor de consumo de combustible se evidenció que los altos costos se dan por los proyectos de compensaciones forestales ejecutados en distintas regiones del país. Respecto al uso de las motosierras y podadoras de altura que son máquinas usadas en la actividad de poda y tala de árboles, se utilizan en promedio 15 al mes, este dato es directamente proporcional con la cantidad de colaboradores en operación que consumen 251,192 galones al año.

Respecto al uso de aceites lubricantes, la organización opta por entregar un galón mensual para cada cuadrilla de operación. Esta información fue proporcionada por el coordinador operativo. Manejan cinco cuadrillas mensuales con un promedio de consumo de 14,19375 litros/mes. En relación años productos fitosanitarios que son utilizados en el vivero para el mantenimiento de los árboles, se encontró que para el manejo de 1.500 árboles utilizan los siguientes productos: Lorsban y amistar. Para 2019-2020 la aplicación del fungicida se realizó cada tres meses.

Respecto a la energía eléctrica, esta es suministrada por la empresa de servicios públicos privados CELSIA, en la Tabla 3 se exponen los datos de consumo mensual correspondiente al año base según las facturas archivadas en las carpetas de contabilidad. Las emisiones se calcularon por consumo en kW/h.

**Tabla 3.** Consumo de energía eléctrica adquirida

| Año  | Mes        | Consumo (kWh) |
|------|------------|---------------|
| 2019 | Julio      | 85            |
| 2019 | Agosto     | 85            |
| 2019 | Septiembre | 85            |
| 2019 | Octubre    | 98            |
| 2019 | Noviembre  | 104           |
| 2019 | Diciembre  | 110           |
| 2020 | Enero      | 96            |
| 2020 | Febrero    | 122           |
| 2020 | Marzo      | 104           |
| 2020 | Abril      | 112           |
| 2020 | Mayo       | 121           |
| 2020 | Junio      | 116           |
|      | Promedio   | 103           |
|      | Total      | 1238          |

Igualmente, se presentan cada uno de los aparatos eléctricos y electrónicos (Tabla 4) que se encuentran en funcionamiento en las instalaciones de oficina de la sede principal de la organización.

**Tabla 4.** Fuentes de consumo de energía eléctrica

|   | Tipo   | Cantidad |
|---|--|----------|
| Grandes Electrodomésticos                                   |  |          |
| Frigoríficos, congeladores y otros equipos de refrigeración | Congelador Horizontal ELECTROLUX Dual 200 Litros Brutos EFCC20C Blanco | 1        |
| Pequeños Electrodomésticos                                  |  |          |
| Estufas eléctricas  | Cubierta de Empotrar MABE 60cm Inoxidable - MG6044SA-0CON              | 1        |
| Equipos informáticos y de comunicaciones                    |  |          |
| Impresoras  | Impresora Multifuncional Epson EcoTank L6191                           | 1        |
|   | Dell   | 2        |
| Computadores  | Lenovo   | 2        |
|   | hp   | 2        |
| Portátiles  | Lenovo   | 1        |
|   | Dell   | 1        |
| Proyector   | Proyector Led Video Beam 1500 Lumens Full Hd                           | 1        |
| Laminadora de documentos                                    | Laminadora 8302  | 1        |
| Router  | Arris TG2482 Cable Voice Gateway                                       | 1        |
| Ventiladores  | Ventilador de mesa Kalley K-MV40N                                      | 1        |
| Aparatos de alumbrado                                       |  |          |
| Luminarias de Led   | Bombilla LED en formato bulbo 9W                                       | 7        |
|   | Bombilla halógena ahorradora 70W                                       | 1        |

Los datos de las emisiones por adquisición de bienes fueron obtenidos de los libros contables de la organización, donde se encontraron los recibos de compras realizadas durante todo el año base; se tomó la ciudad de origen y el destino final para calcular los kilómetros recorridos por el camión, encontrando un recorrido de 1396,4 Km de recorrido total.

Para las emisiones por adquisición de insumos de transporte (elementos de protección personal y herramientas). Los datos fueron obtenidos de las facturas de compras expuestas en los libros contable, encontrando un total de 91,8 Km recorridos. El consumo de papel total durante el año de estudio fue de 38

resmas, los viajes laborales sumaron un total de 3553 Km recorridos. Para relación a los desplazamientos casa-trabajo-casa de colaboradores, se realizó una encuesta sobre el medio de transporte y la distancia diaria recorrida para 30 colaboradores de la organización, se encontró que seis de ellos residen fuera de la ciudad de Tuluá, 13 colaboradores siempre usan medios de transporte como la bicicleta o la caminata.

Para las remociones por plantaciones, se realizó una lista de todas las especies arbóreas plantadas en los diferentes proyectos, igualmente el número de individuos sembrados, el diámetro a la altura del pecho y el tamaño promedio, para esto se dividió en dos grupos: menor o igual a 1,5 metros de altura y mayor a 1,5 metros. La información se extrajo de los informes de compensaciones forestales, proporcionado por el coordinador forestal y la densidad básica de la madera se consultó en la literatura y en la academia.

En relación a los árboles plantados, se encontró que la planta *Clitoria fairchildiana* no se presenta la densidad básica de la madera en la literatura, por lo cual se realizó un promedio con las densidades básicas de algunas plantas pertenecientes a la misma familia. De igual manera para las plantas *Anadenanthera peregrina*, *Anadenanthera sp*, *Clusia rosea*, *Erythrina edulis* y *Tithonia diversifolia* no se encontró las densidades básicas, así que se le asignó una densidad básica de otra especie, pero del mismo género.

### 3.2 Fase 2: Medición de las emisiones y las remociones de CO2 ocasionadas por la empresa

Los factores de emisiones de gases de efecto invernadero que se consultaron debido a las fuentes emisoras identificadas fueron los siguientes (no se presentan datos):

- Factores de emisión para los combustibles
- Factores de emisión para lubricantes
- Factores de emisión para las actividades agropecuarias
- Factores de emisión para fuentes móviles
- Factores de emisión para consumo de papel

Teniendo los datos de actividad de cada fuente y los factores de emisión de CO2, se realizó el cálculo de la huella de carbono generada por la organización. Es importante aclarar que no se calculó el nivel de incertidumbre, ya que según los requisitos que expone la guía utilizada en este proyecto, la entidad no aplica para ello. En la Tabla 5 se presentan las emisiones totales generadas en el alcance 1.

**Tabla 5.** Emisiones para el alcance 1

| Combustión móvil  |                                 |                         |
|---|---------------------------------|-------------------------|
| Descripción   | Consumo Anual (m <sup>3</sup> ) | Emisiones GEI (t CO2e)  |
| Consumo de gasolina corriente para el transporte de los colaboradores y la maquinaria | 2,599                           | 6,074                   |
| Consumo de gasolina corriente para el transporte administrativo                       | 1,999                           | 4,672                   |
| Consumo de diésel para el transporte de los colaboradores y la maquinaria             | 8,017                           | 20,009                  |
|   | Total                           | 30,755                  |
| Combustión por maquinaria   |                                 |                         |
| Consumo de gasolina corriente para el uso de motosierras (prestación del servicio)    | 0,951                           | 2,079                   |
| Consumo de diésel para el uso del chipper (trituration de residuos orgánicos)         | 0,254                           | 0,678                   |
|   | Total                           | 2,756                   |
| Uso de lubricantes  |                                 |                         |
|   | Consumo Anual (L)               | Emisiones GEI (t CO2e)  |
| Consumo de aceite para motores de motosierras   | 147,615                         | 0,388                   |
| Uso de productos fitosanitarios   |                                 |                         |
|   | Consumo Anual (m3)              | Emisiones GEI (t CO2 e) |
| Aplicación de insecticidas a pequeños y medianos árboles                              | 0,00159                         | 0,013                   |
| Aplicación de fungicidas a pequeños y medianos árboles                                | 0,000255                        | 0,003                   |
|   | Total                           | 0,016                   |
|   | Total alcance I                 | Emisiones GEI (t CO2e)  |
|   |                                 | 33,916                  |

En la Tabla 6 se presentan las emisiones de gases de efecto invernadero (toneladas de CO2 equivalente) para el alcance 2.

**Tabla 6.** Emisiones para el alcance 2

| Emisiones indirectas por electricidad   |                        |                        |
|---|------------------------|------------------------|
| Edificio/ Instalación   | Consumo anual (kWh)    | Emisiones GEI (t CO2e) |
| Consumo de energía eléctrica de las instalaciones de oficina de la sede principal Valle Norte | 1238                   | 0,204                  |
| Total   |                        | 0,204                  |
| Total alcance II  | Emisiones GEI (t CO2e) | 0,204                  |

Así mismo se exponen las emisiones totales para el alcance 3 y las emisiones para cada una de las fuentes evaluadas en este (Tabla 7).

**Tabla 7.** Emisiones para el alcance 3

| Otras emisiones indirectas   |  |                         |                         |
|--|--|-------------------------|-------------------------|
| Combustión móvil   |  |                         |                         |
| Descripción  | Tipo de Vehículo                                 | Distancia (km)          | Emisiones GEI (t CO2 e) |
| km recorridos del transporte de los bienes adquiridos                        | Camión (transporte para servicio de encomiendas) | 1396,400                | 0,712                   |
| km recorridos del transporte de los insumos adquiridos (EPPs y herramientas) | Camión   | 2204,200                | 1,124                   |
| km recorridos por viajes extras laborales                                    | Buseta (transporte público interurbano)          | 3553,500                | 0,149                   |
| Desplazamiento casa-trabajo-casa de los colaboradores                        | Automóvil  | 4240,000                | 1,463                   |
|  | Moto 4 tiempos >150                              | 125080,000              | 34,445                  |
|  | Camioneta  | 5300,000                | 2,810                   |
| Total  |  |                         | 40,703                  |
| Consumo de insumos   |  |                         |                         |
| Descripción  | Consumo de resmas anual                          | Emisiones GEI (t CO2 e) |                         |
| Consumo de papel tamaño carta  | 38   | 0,924                   |                         |
| Total  |  | 0,924                   |                         |
| Total alcance III  | Emisiones GEI (t CO2 e)                          | 41,627                  |                         |

De acuerdo a los datos obtenidos anteriormente expuestos, las emisiones para el alcance 1 por emisiones directas fue de 33,916 ton CO2 e, las emisiones para el alcance 2 por energía eléctrica fue de 0,204 ton CO2 e y las emisiones para el alcance 3 por otras emisiones indirectas fue de 41,627 ton CO2 e. Generando una huella de carbono total de 75,746 ton CO2 e para el año 2019-2020.

### 3.2.1 Emisiones directas

Para las emisiones directas provenientes del consumo de combustible gasolina corriente del parque automotor, se generaron 10,746 ton CO2 e, lo que equivale al 14,19% del total de emisiones generadas en Kiwe Yu S.A.S. Igualmente, para las emisiones directas provenientes del consumo de combustible diésel del parque automotor de la entidad, se generó 20,009 ton CO2 e, lo que equivale al 26,42% del total de emisiones. Para las emisiones del consumo de combustible gasolina corriente para el uso de motosierras, se generó 2,079 ton CO2 e, lo que equivale al 2,74% del total emitido.

Así mismo las emisiones del consumo de combustible diésel para el uso del chipper se obtuvo un total de 0,678 ton CO2 e, lo que equivale al 0,90% del total de emisiones generadas por la organización. Debido al consumo de lubricantes para los motores de las motosierras se generó 0,388 ton CO2 e, lo que representa el 0,51% de las emisiones totales. Por el uso del insecticida las emisiones fueron de 0,013 ton CO2 e, con una equivalencia de 0,02% del total emitido, de igual manera, las emisiones procedentes del uso del fungicida es de 0,003 ton CO2 e, con una equivalencia de 0,004% del total producido.

### 3.2.2 Emisiones indirectas por energía

Las emisiones producidas por el consumo de energía eléctrica en KIWE YU S.A.S es de 0,204 toneladas CO2 equivalente a un porcentaje de 0.27% sobre el total de emisiones generadas por la entidad. Otras emisiones indirectas son las pertenecientes a los km recorridos por el transporte de los bienes de capital como la

maquinaria obtenida para la prestación del servicio, es de 0,712 ton CO<sub>2</sub> e, lo que equivale al 0,94% y para las emisiones del transporte de insumos adquiridos (EPPs y herramientas) es un total de 1,124 ton CO<sub>2</sub> e, lo que equivale al 1,49% del porcentaje total de emisiones generadas.

Otras emisiones generadas por los km recorridos de los viajes laborales extras, corresponde a 0,149 toneladas CO<sub>2</sub> Equivalente a un porcentaje de 0,20% sobre el total de las emisiones. Para las emisiones producidas por el desplazamiento casa-trabajo-casa de los colaboradores de la organización, evidencian 38,718 ton CO<sub>2</sub> e, lo que equivale al 51,38% del porcentaje total de las emisiones. Finalmente, las emisiones generadas por el consumo de papel tamaño carta durante todo el año base, corresponde un total de 0,924 ton CO<sub>2</sub> e, lo que equivale al 1,23% del porcentaje total de las emisiones.

Se observó que para el año 2019-2020 las emisiones indirectas (alcance 3) fueron las responsables de la mayor generación de CO<sub>2</sub> equivalente en la entidad, con un porcentaje de 54,96% emitidos principalmente por la fuente al desplazamiento casa- trabajo-casa de los colaboradores principalmente por combustión de las motocicletas.

En segundo lugar, se encuentra un aporte significativo del 44.78% por emisiones directas (alcance 1), debido al alto consumo de diésel y de gasolina corriente para la movilidad de las cuadrillas encargadas de las actividades forestales al igual que el transporte de la maquinaria para el desarrollo de estas.

En último lugar se posiciona el alcance 2, por emisiones indirectas por energía eléctrica, su aporte fue relativamente bajo con <1% ya que las instalaciones de oficina son pequeñas lo cual no genera grandes consumos eléctricos.

Estos resultados no se comparan con años anteriores, ya que es el primer año que se calcula la huella de carbono en la entidad.

### 3.2.3 Cuantificación de remociones

Luego de calcular la huella de carbono (2019-2020) se calculó la remoción de CO<sub>2</sub> por compensaciones forestales realizadas por la entidad en el territorio Nacional, Se observó que la especie que más dióxido de carbono capturó fue la *Tabebuia rosea* con 3,118 ton, esto debido a que fue la especie más sembrada con 221 árboles; seguido de la especie *Handroanthus serratifolius*, que, aunque se encuentran otras especies con mayor número de individuos sembrados, presentó mayor biomasa aérea, ya que es una de las que se encontró con mayor altura, esto le brinda una alta capacidad de absorción de 2,078 ton.

En el tercer lugar se encuentra la especie *Acacia mangium*, con 149 árboles sembrados, lo cual logró capturar 2,057 ton CO<sub>2</sub>. Las especies que mayor captura de carbono efectuaron fueron Jacaranda caucana, *Anacardium excelsum*, *Crescentia cujete*, *Ceiba speciosa*, *Senna spectabilis*, y *Psidium guajava*; de las cuales las primeras cuatro se asocian al volumen de árboles sembrados. Por el contrario, la especie *Crescentia cujete* presentó alta absorción de CO<sub>2</sub> debido únicamente a la cantidad de biomasa aérea y la especie *Ceiba speciosa* presentó alta absorción de CO<sub>2</sub> debido a la cantidad de biomasa raíz y biomasa aérea.

La remoción de CO<sub>2</sub> que han ejercido las especies sembradas para las compensaciones forestales es del 31,38% sobre las emisiones totales de CO<sub>2</sub> generadas por la entidad. Lo cual indica que el 68,62% de las emisiones se deben mitigar a partir de la implementación de otras estrategias.

### 3.3 Fase 3. Formulación de alternativas para la reducción y compensación de emisiones de CO<sub>2</sub>

Según los datos obtenidos en la medición de huella de carbono, se consultó una serie de alternativas para las fuentes con mayor porcentaje de emisión de GEI, las cuales fueron combustión móvil por transporte interno, combustión por maquinaria y combustión móvil por el transporte diario de los colaboradores. Hay que aclarar que las fuentes por el uso de productos fitosanitarios, el consumo de energía eléctrica, el consumo de papel, entre otras, no se tuvieron en cuenta porque su emisión es muy baja, añadiendo que la organización ya cuenta con programas de ahorro de papel y ahorro de energía.

La fase de análisis del proceso de toma de decisiones en este caso de las alternativas se realizó de forma cualitativa, que se basa primordialmente en el razonamiento. Las alternativas que se plantearon fueron:

- Estrategia de reducción huella de carbono Alcance 1 – Mantenimiento automotriz: corto plazo.
- Estrategias de reducción huella de carbono Alcance 1 – Sustitución del parque automotor por vehículos menos contaminantes: largo plazo.
- Estrategias de reducción huella de carbono Alcance 1 – Mantenimiento técnico de maquinaria: corto plazo.
- Estrategias de reducción huella de carbono Alcance 3 – Cambio del modelo de transporte incentivando al uso de la bicicleta como medio alternativo y ecológico: corto plazo.
- Estrategias de reducción huella de carbono – Gestión de la información: mediano plazo.

#### 4. CONCLUSIONES

Esta investigación proporciona la cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero y estrategias encaminadas hacia su disminución, siendo una línea base para posteriores informes de huella de carbono en el campo de las actividades forestales (como poda, tala y plantación de árboles); esto le permitirá a la organización conocer los límites de emisión para registrar de manera efectiva los datos requeridos para calcular la huella de carbono.

Con el cálculo de huella de carbono se determinó, que, considerando únicamente el dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, es suficiente para realizar la medición para la entidad, ya que este gas es generado principalmente en los procesos de combustión, siendo esta la mayor fuente de emisión de gases en los procesos que lleva a cabo la organización.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la organización son mayores a las remociones por los sumideros, siendo las emisiones netas (emisiones menos absorciones) de 51,977 ton CO<sub>2</sub> e, con lo cual se determina que no cumple con el programa Colombia carbono neutral y se requiere implementar las estrategias de reducción y mitigación propuestas en este trabajo.

El segundo gran aporte de emisiones en la huella de carbono identificado fue dado por las emisiones directas determinadas en el alcance uno 1), principalmente por la combustión de diésel en el transporte interno de la organización con 20 ton CO<sub>2</sub>e.

Las emisiones del alcance dos 2) consideradas emisiones indirectas dadas por el consumo de energía eléctrica, no constituyen, según los resultados de este trabajo un porcentaje representativo, con un 0,27% del total de gases generados.

Según las encuestas realizadas a los colaboradores de la organización, se encontró que el vehículo más usado es la motocicleta; el cual genera el mayor aporte de emisiones de GEI en la organización a causa del proceso de combustión, debido al uso de este para el transporte de los colaboradores con la ruta casa-trabajo-casa, establecido en el alcance tres 3).

Para el cálculo en la medición de huella de carbono, no fue posible contabilizar las emisiones producidas por el compostaje de residuos orgánicos (hojarasca y madera triturada) que se elabora en el vivero de la organización, debido a que el protocolo excluye del inventario las emisiones provenientes de los procesos físicos o químicos a partir de la descomposición de la biomasa.

Con base en la medición del CO<sub>2</sub> capturado por los sumideros, se observó que las tres especies que más CO<sub>2</sub> absorben son *Tabebuia rosea*, *Handroanthus serratifolius*, y *Acacia mangium*, por lo cual es pertinente incluirlas en los proyectos de compensación forestal para su siembra, contribuyendo al mismo tiempo en la regulación climática.



## REFERENCIAS

- [1] PNUMA. (2007). Informe anual del PNUMA. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- [2] Comisión Europea. (2019). Cambio climático: Consecuencias del cambio climático. Recuperado: <https://ec.europa.eu/>
- [3] Naciones Unidas. (1998). Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de la Naciones Unidas sobre el cambio climático. ONU.
- [4] ISO. (2006). ISO 14064-1:2006, Gases de efecto invernadero – Parte 1: Especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero.
- [5] Ihobe, IDOM y Creara Consultores. (2012). Guía metodológica para la aplicación de la norma UNE-ISO 14064-1:2006 para el desarrollo de inventario de gases de efecto invernadero en organizaciones. Editorial Ihobe.
- [6] OECC. (2016). Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Recuperado: <https://www.miteco.gob.es/>
- [7] Brown S. (1989). Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest science* 35, 881-902.
- [8] Sierra C. et al. (2003). Ecuaciones de biomasa en raíces en bosques primarios intervenidos y secundarios. *Pres.*
- [9] Rodríguez B. (2018). Biomasa y fijación de carbono en el campus. Universidad Autónoma de Occidente.
- [10] Pachauri R. (2007). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al cuarto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Equipo de redacción principal. Suiza.
- [11] OECC y Ministerio para la transición ecológica. (2019). Guía para la estimación de absorciones de Dióxido de carbono. Versión 4. OCDE.
- [12] GHG Protocol. (2020). GreenHouse Gas Protocol. Recuperado: <https://ghgprotocol.org/>

# Estudio descriptivo sobre los efectos de la radiación electromagnética no ionizante en las plantas

Guillermo Fernando Valencia Plata<sup>1</sup>

Félix Roberto Gómez Devia<sup>2</sup>

*Universitaria Agustiniana*

Colombia

En este capítulo se presenta el resultado de un estudio descriptivo para encontrar el estado del arte con relación a los efectos que tiene la radiación no ionizante en las plantas. Se hace énfasis en parámetros como frecuencia y potencia de la señal irradiada, periodos de irradiación y características a analizar de las plantas. Se analizaron cinco artículos relacionas con plantas como el pimiento morrón, uvas, adelfa blanca, algodón de tierras altas y semillas en general, que se seleccionaron debido a que fueron realizados no solo por botánicos, sino también por ingenieros, de esta forma se tiene el punto de vista de profesionales de áreas diferentes, lo cual brinda una visión más completa de este tipo de experimentos. Gracias a este estudio descriptivo no solo se identificó que la frecuencia más utilizada es la de 1800 MHz, que las medidas más comunes son las del peso del tallo y raíz, cantidad de semillas germinadas, grosor de las hojas, entre otras, y también se identificó que los efectos de la irradiación no siempre van a ser nocivos y no deseados, sino que, cuidando factores como el tiempo de exposición, frecuencia y potencia, se pueden obtener resultados benéficos para el proceso de cultivo de ciertas plantas.

---

<sup>1</sup> Ingeniero Electrónico, Especialista en Pedagogía y Magíster en Seguridad Informática.

Contacto: [guillermo.valenciap@uniagustiniana.edu.co](mailto:guillermo.valenciap@uniagustiniana.edu.co)

<sup>2</sup> Ingeniero Electrónico, Especialista en Docencia universitaria y Magíster en Administración de Tecnologías de Información.

Contacto: [felix.gomez@uniagustiniana.edu.co](mailto:felix.gomez@uniagustiniana.edu.co)

## 1. INTRODUCCIÓN

A finales de 2019 el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones MinTIC publicó la hoja de ruta para el desarrollo de 5G en Colombia, identificando los rangos de frecuencias factibles, así: bandas inferiores (< 1 GHz), bandas medias (1 - 6 GHz) y bandas superiores (> 6 GHz, correspondientes a las bandas milimétricas identificadas en la CMR-19). Además, presentó el plan de trabajo para fomentar el primer despliegue de la red de 5G antes de 2022 alineado a la importancia en Colombia de la conectividad y despliegue de infraestructura TIC [1], considerando las bandas de 700 MHz y 3,5 GHz (3,3 – 3,7 GHz) como un elemento clave para lograrlo. De acuerdo con este plan, el proceso de asignación de espectro de 3,5 GHz sería en la segunda mitad de 2021, la banda de 700 MHz fue asignada el 20 de diciembre de 2019.

Cabe mencionar que actualmente la banda de 3.5 GHz se encuentra libre y aún no ha sido asignada a ninguno operador, por lo anterior es posible irradiar en esta banda teniendo en cuenta que estos permisos aún no han sido dados a ningún operador y tampoco se está prestando ningún servicio.

Para el despliegue de 5G será necesaria la instalación de más antenas y tal como se menciona en un artículo de la British Broadcasting Corporation BBC [2], la sociedad en general se pregunta que riesgos puede traer esto a las personas y a los ecosistemas, esto último teniendo en cuenta que se van a irradiar señales con frecuencias más altas a las que se usan actualmente en 4G.

En relación con lo anterior, hay que tener en cuenta que las radiaciones se clasifican en ionizantes y no ionizantes. La radiación ionizante según la Organización Mundial de la Salud OMS [3] es un tipo de energía liberada por los átomos en forma de ondas electromagnéticas conocidas como rayos gamma o rayos X (1 - 1000 EHz) y partículas alfa y beta o neutrones, los elementos que emiten radiación ionizante se denominan radionúclidos.

La radiación ionizante puede afectar el funcionamiento de órganos y tejidos, y producir efectos tales como enrojecimiento de la piel, caída del cabello, quemaduras por radiación o síndrome de irradiación aguda. La radiación no ionizante, de la cual hacen partes las señales de telecomunicaciones, según el Instituto Nacional del Cáncer NIH [4] es un tipo de radiación que no tiene suficiente energía para eliminar un electrón de un átomo o molécula. La radiación no ionizante incluye la luz visible, infrarroja y ultravioleta, y las ondas de radio.

Es por todo lo anterior que se busca analizar la respuesta de las plantas a la radiación no ionizante generada por las comunicaciones móviles, esto teniendo en cuenta que las Naciones Unidas UN [5] afirma que más del 80% de la dieta humana está compuesta por plantas y es por esto último, entre otras cosas, que existe un objetivo de desarrollo sostenible que trata sobre la gestión sosteniblemente los bosques, la lucha contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad.

Más específicamente, en el ODS llamado hambre cero se habla sobre la proporción de la superficie agrícola en que se practica una agricultura productiva y sostenible [6], en relación con esto en el programa de Ingeniería en Telecomunicaciones de la Universitaria Agustiniense se está desarrollando un proyecto relacionado con asegurar la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos, ya que se podrían ver afectados por la implementación del sistema de comunicaciones móviles de quinta generación.

Se decidió analizar la respuesta de la arveja a la irradiación de las redes móviles de 5G por varias razones, una de ellas es que esta es la segunda en importancia en Colombia después del frijol [7], principalmente se produce en Nariño y Cundinamarca, otra razón son las características que deben tener los cultivos [8], tales como distancia entre las plantas, humedad necesaria del terreno, tiempo que toma en crecer la planta, entre otras, todas estas hacen que sea mejor hacer las pruebas con la arveja en vez del frijol.

Al seleccionar la segunda legumbre más importante en Colombia, se garantiza la importancia de los hallazgos que se vayan a obtener y esto también apoya la necesidad evidenciada por [9] en la misión de sabios, específicamente en el volumen tres dedicado a la ciencia y tecnología vista como un fundamento para la bioeconomía.

Para diseñar y llevar a buen término un experimento en el cual se pueda determinar la respuesta de la arveja a la irradiación de una red de telefonía móvil de quinta generación en la frecuencia de 3.5 GHz, se revisó literatura de experimentos similares desde el punto de vista de las telecomunicaciones y la botánica.

## 2. MÉTODO

Se realizó un estudio descriptivo para encontrar en la literatura el estado del arte con relación a los efectos que tiene la radiación no ionizante en las plantas, específicamente resulta importante conocer la forma en que se ha irradiado las plantas, haciendo hincapié en los parámetros:

- Frecuencia de la señal irradiada
- Potencia de la señal irradiada
- Periodos de irradiación
- Características analizadas de las plantas

Los datos para el análisis se recogieron desde el estudio de artículos publicados por ingenieros y botánicos para tener ambos puntos de vista al momento de diseñar y realizar el experimento que permita determinar la respuesta de la arveja a la irradiación electromagnética no ionizante proveniente de las redes móviles de 5G en bandas medias. Para lo anterior se usó un método de investigación mixto [10].

Se usó esta metodología ya que permitirá dar respuesta a preguntas: ¿cómo se debe realizar el experimento en cuanto a aspectos botánicos y de telecomunicaciones? ¿Qué características analizar de las plantas que han sido expuestas a campos electromagnéticos no ionizantes? entre otras.

Las técnicas aplicadas son la revisión de literatura, estudio de casos y el análisis de documentos, con el fin de ayuda a entender los experimentos que realizaron cada uno de los autores de los artículos, debido a que cada uno de ellos analizó los efectos en plantas diferentes, esto permitirá extrapolar los aspectos que se deben tener en cuenta al momento de aplicar el experimento a un cultivo de arvejas. Los resultados obtenidos fueron analizados mediante un proceso de triangulación con el fin de contrastar la visión de los diferentes autores y los resultados que ellos obtuvieron.

Los objetivos de este estudio son la identificación de las características de las plantas y de las señales que tuvieron en cuenta al momento de diseñar los experimentos, la revisión de las actividades que realizaron, a nivel biológico y tecnológico, durante el desarrollo del experimento para garantizar la obtención de resultados exactos y precisos, y finalmente la comprensión de los métodos usados para la obtención y análisis de los datos de los experimentos.

## 3. RESULTADOS

Con base en la aplicación de la metodología anteriormente descrita se encontraron cinco estudios en los que se muestran resultados de experimentos de irradiación a diferentes plantas. Los artículos seleccionados para el análisis, la triangulación y valoración de los experimentos diseñados, y de los resultados que estos obtuvieron son [11] a [15].

### 3.1 Germinación del pimiento morrón

Investigadores de tres diferentes universidades de la India hicieron un experimento con *Capsicum annuum* (familia de las solanáceas), comúnmente conocido como pimiento morrón, el cual se cultiva como hortaliza en toda la India [11]. Escogieron las semillas del pimentón morrón debido a su amplia disponibilidad, bajo precio, rápida germinación y velocidad de crecimiento en todas las estaciones.

Tomaron 100 semillas sanas y viables de pimiento morrón, y las dividieron por igual en dos materas de tierra de 15 centímetros de diámetro con tierra fertilizada, tal como se ilustra en la Figuras 1. La matera de tierra de la Figura 1(a) la mantuvieron en un entorno natural de baja radiofrecuencia, mientras que la segunda la colocaron junto a un teléfono móvil GSM cuyo SAR medio de 10g es de 1,48 W/Kg para el modelo fantasma de tejido humano.



**Figura 1.** Montaje de materas con semillas de pimiento Morrón [11]

Además de los elementos mencionados anteriormente, los investigadores usaron un medidor de potencia de mano y una antena tipo dipolo diseñada para funcionar a 1.75 GHz. Estos elementos se pueden observar en la Figura 2.



**Figura 2.** Medidor de potencia y antena tipo dipolo [11]

Para irradiar la materia los investigadores realizaron llamadas telefónicas desde el teléfono que se encuentra junto a la materia, en promedio estas llamadas duraban 5 horas y 40 minutos cada día, durante las demás horas del día, el celular se mantiene prendido. Con el medidor de potencia, el cual usa la antena dipolo que diseñaron, se mide la potencia de las señales que irradian a ambas materas, encontrando que durante la configuración de las llamadas que se realizaron, la potencia medida en la proximidad de la materia irradiada es superior en 35 dbm a la potencia medida en la proximidad de la materia que se encuentra en un entorno natural, pero durante las llamadas esta diferencia es solo de 20 dbm en promedio, recibiendo la materia irradiada más potencia que la que encuentra en un entorno natural. Cabe mencionar que las potencias medidas son inferiores a los máximos permitidos en India. En la Tabla 1 se encuentran las mediciones realizadas por los investigadores en diferentes situaciones.

**Tabla 1.** Comparación de la potencia medida cerca a la materia de control y la materia irradiada en 1750 MHz

|  | Pico de potencia (dbm) |                  | Promedio de potencia (dbm) |                  |
|--|------------------------|------------------|----------------------------|------------------|
|  | Plano vertical         | Plano horizontal | Plano vertical             | Plano horizontal |
| Matera en entorno natural                            | -39                    | -41              | -39                        | -41              |
| Matera irradiada durante la configuración de llamada | 1.06                   | -3               | -3                         | -7               |
| Matera irradiada durante el tono de espera           | -8                     | -19              | -13                        | -22              |
| Matera irradiada durante la llamada                  | -16                    | -26              | -19                        | -30              |
| Matera irradiada cuando no hay llamada               | -39                    | -41              | -39                        | -41              |

Las materas son observadas en intervalos constantes durante 50 días para realizar mediciones de parámetros tales como germinación de las semillas, crecimiento del árbol joven, longitudes mayores y longitudes medias, longitud de las hojas más grandes, arrugas de las nuevas hojas nuevas, entre otros. En la Tabla 2 se encuentran las mediciones realizadas al finalizar los 50 días, y se puede concluir lo siguiente.

- La cantidad de semillas germinadas en la materia irradiada es el 65,78% de la cantidad de la materia en ambiente natural.
- La longitud de las plantas en la materia irradiada es del 119,66% con relación a la longitud de las plantas de la materia en ambiente natural.
- Se evidenciaron hojas arrugadas en la materia irradiada pero no en la materia en ambiente natural.

**Tabla 2.** Comparación de la potencia medida cerca a la materia de control y la materia irradiada en 1750 MHz

| Día | Cantidad de semillas germinadas |                   | Altura media de las plantas (cm) |                   |
|-----|---------------------------------|-------------------|----------------------------------|-------------------|
|     | Materia en entorno natural      | Materia irradiada | Materia en entorno natural       | Materia irradiada |
| 1   | 0                               | 0                 | 0                                | 0                 |
| 6   | 6                               | 4                 | 0,1                              | 0,4               |
| 10  | 19                              | 6                 |                                  |                   |
| 15  | 36                              | 22                | 4                                | 3,5               |
| 22  | 45                              | 27                | 5,25                             | 5,5               |
| 36  | 39                              | 27                | 7,5                              | 9                 |
| 42  | 38                              | 27                | 8,5                              | 9,5               |
| 50  | 38                              | 25                | 11,7                             | 14                |

Además de lo que se evidencia en la Tabla 2, las hojas de las plantas de la materia irradiada son más grandes que las de la materia en entorno natural, siendo la más grande de 8,2 cm de larga comparada con 5,8 cm.

### 3.2 Análisis de la SAR en un racimo de uvas

Para el análisis de la SAR los investigadores tomaron cinco uvas de cada tipo de uva y después midieron la masa y el volumen de esas uvas con una balanza electrónica y un vaso de cristal, respectivamente, y finalmente hallaron que la densidad media del material era de 1120 Kg/m<sup>3</sup>. A continuación midieron las propiedades dieléctricas de las muestras usando el kit de sonda dieléctrica Agilent 85070E junto con un analizador de red vectorial de mesa del laboratorio de microondas del departamento de Ingeniería Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad de Jadavpur [12].

Realizaron mediciones de las propiedades dieléctricas hasta 8,5GHz, esto debido a la limitación de frecuencia del analizador vectorial de redes. Las propiedades dieléctricas de la rama de uva no pudo ser medida debido a que su tamaño es muy pequeño, específicamente tenía un diámetro de 20 mm, pero teniendo en cuenta que esta contiene menos agua que los frutos de la uva, su recuento dieléctrico era más bajo que el de las uvas, por lo que procedieron a estimar sus propiedades dieléctricas a partir de las de los frutos de la uva. Los parámetros de permitividad y tangente de pérdida de las muestras de uva se pueden observar en Tabla 3, siendo  $\epsilon_r$  la permitividad y  $\tan \delta$  la tangente de pérdida.

**Tabla 3.** Mediciones de las propiedades dieléctricas da la uva

|      | GSM 947,5 GHz |               | GSM 1482,5 GHz |               | Wi-Fi 2450 GHz |               |
|------|---------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|
|      | $\epsilon_r$  | $\tan \delta$ | $\epsilon_r$   | $\tan \delta$ | $\epsilon_r$   | $\tan \delta$ |
| Uva  | 69,28         | 0,22          | 64,89          | 0,23          | 63,17          | 0,26          |
| Rama | 49,28         | 0,17          | 44,89          | 0,18          | 43,17          | 0,21          |

A continuación, los investigadores revisaron las directrices de exposición a las radiofrecuencias las cuales son una décima parte de las directrices de la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante ICNIRP en las zonas accesibles al público en general. La tasa de absorción específica SAR máxima permitida para los seres humanos es de 1,6 W/Kg promediados sobre 1g de tejido contiguo desde los 2W/Kg promediados sobre 10g de tejido contiguo. Con esta información procedieron a calcular el SAR en un racimo de uvas usando el solver transitorio disponible en CST Microwave Studio 2010.

En este software el racimo de uvas típico se compone de una sola estructura de ramas junto con veintiún uvas, todas las uvas tienen forma esférica, pero son de tres tamaños diferentes. La masa de las uvas individuales grandes, medianas y pequeñas es de 1,98g, 1,05g y 0,43g respectivamente.

Los datos de SAR los evaluaron en el racimo de uvas mencionado anteriormente en las mismas frecuencias que se encuentran en la Tabla 3 según las directrices de exposición a RF de la India que se mencionaron anteriormente. Cabe resaltar que la intensidad de campo de RF máxima permitida aumenta con el aumento de la frecuencia de la radiación, como se observa en la Tabla 4.

El racimo de uvas se expone a ondas planas de polarización lineal normalmente durante 100 ns en el análisis transitorio, que es inferior al intervalo de tiempo GSM TDMA. Las intensidades de pico de campo eléctrico

las fijaron en  $\sqrt{2}$  veces a la de las intensidades R. M. S. de campo eléctrico prescritas para la zona pública en las directrices de la ICNIRP. Los resultados de SAR son elevados en GSM 1842,5 MHz y Wi-Fi 2450 MHz; este incremento de SAR se produjo debido a mayor intensidad de campo de radiofrecuencia permitida y a un mayor número de formaciones de nodos dentro del racimo de uvas a frecuencias más altas. Fue interesante observar que los valores de SAR en el racimo de uvas típico son mucho más altos que los valores de SAR en un modelo de uva individual expuesta a condiciones de exposición a RF similares.

**Tabla 4.** Directrices de la ICNIRP de exposición a radio frecuencia en las zonas accesibles al público en general

| Frecuencia | Densidad de potencia  | R. M. S. de Campo eléctrico | Pico de Campo eléctrico |
|------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 947,5 MHz  | 0,47 W/m <sup>2</sup> | 13,31 V/m                   | 18,82 V/m               |
| 1842,5 MHz | 0,92 W/m <sup>2</sup> | 18,63 V/m                   | 26,35 V/m               |
| 2450 MHz   | 1 W/m <sup>2</sup>    | 19,41 V/m                   | 27,46 V/m               |

En las directrices de exposición a las radiofrecuencias de la ICNIRP se menciona una exposición media a las radiofrecuencias durante 6 minutos; sin embargo, las ondas planas se emiten desde las torres de comunicaciones inalámbricas de forma continua durante todo el año. Por lo tanto, los datos SAR encontrados no se reducirían en ninguna circunstancia.

### 3.3 Respuesta de la adelfa blanca a una exposición a largo plazo de radiación no ionizante

Investigadores griegos analizaron la respuesta de la adelfa blanca a una exposición prolongada de radiación no ionizante emitida por la unidad base de un sistema de Telecomunicaciones Digitales Inalámbricas Europeas DECT a 1882 MHz [13], para esto tomaron semillas de Nerium oleander las cuales fueron imbuidas y cultivadas a 22 °C (70% de humedad) con un ciclo de luz/oscuridad de 16 h/8 h y 110  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$  de iluminación de radiación fotosintéticamente activa PAR suministrada por tubos fluorescentes de tungsteno de color blanco frío de tungsteno. Posteriormente las sembraron en macetas de 70 × 70 mm. Se utilizaron dos grupos de nueve materas para cada experimento y en cada una se plantaron dos plantas. Cada grupo de materas la colocaron en una bandeja y cada bandeja se incubó en una de las dos cámaras de cultivo de plantas con temperatura controlada.

La iluminancia total en la superficie de las materas, medida directamente con un luxómetro portátil era de 5600 lx. El aire se suministró, en cada una de las cámaras a una potencia de 4 l/min para cada cámara. Una de las cámaras albergaba la unidad base de un aparato telefónico DECT, esta estaba en modo transmisión pulsada 24 horas al día, 7 días a la semana a 1882 MHz. La temperatura era de 22,0 °C en ambas cámaras y fue monitoreada constantemente con un registrador de datos industrial de dos canales usando un termómetro de impresión con una sensibilidad aproximada de 43  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$  a través de una sonda Tipo T en forma de aguja.

Para asegurar que todas las plantas que estaban siendo irradiadas en la cámara recibieran aproximadamente la misma energía electromagnética EM, giraban la bandeja 90° en el sentido de las manecillas del reloj, a las 09:00 cada mañana, de modo que las plantas cambiaran su posición, ya fuera cerca, lateralmente o a través de la unidad de base, durante el mismo tiempo de duración del experimento. Mientras el dispositivo DECT transmitía en una de las cámaras, se midió la radiación dentro de cada una de ellas con un analizador de espectro NARDA SRM3000. La intensidad del campo eléctrico correspondiente (media y pico), en cada cámara, así como para el fondo, se midió durante un periodo de 6 minutos según la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante ICNIRP y las mediciones se pueden observar en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Intensidad de campo eléctrico medio y pico

| Cámara    | Media    | Pico máximo |
|-----------|----------|-------------|
| Control   | 0,24 V/m | 2,49 V/m    |
| Irradiada | 2,85 V/m | 4,80 V/m    |

Las plantas, en cada réplica, se dejaron crecer durante cinco semanas. A continuación, retiraron las materas de cada cámara y procedieron a tomar muestras, tal como se puede observar en la Figura 3 (a) y 3(b).



**Figura 3.** Adelfas blancas después del experimento de 5 semanas [13]

Para cotejar los resultados del primer experimento y eliminar cualquier posible argumento sobre el efecto térmico de la radiación, los investigadores realizaron un segundo experimento, también durante 5 semanas, con un montaje idéntico. Después de 5 semanas, las plantas del segundo experimento fueron recortadas y tratadas exactamente igual que las del primer experimento.

Dado que los resultados de los dos primeros experimentos resultaron inesperados y sorprendentes para los investigadores, repitieron el cultivo, en condiciones idénticas, dos veces más para obtener estadísticas adecuadas, llegar a una conclusión sólida y demostrar de forma convincente que los efectos observados son consecuencia de la radiación no ionizante a largo plazo. Investigaron la biomasa de las plantas, la estructura de sus hojas, sus pigmentos, la concentración de proteínas y el estrés oxidativo después de cada uno de los cuatro experimentos en total y a continuación se indican los resultados que obtuvieron.

En cuanto a las hojas de control, tienen una estructura similar a las silvestres ya que su epidermis adaxial tiene solo dos capas de células epidérmicas mientras que la gruesa cutícula está ausente. El parénquima en empalizada de doble capa está suelto y poco desarrollado. Las criptas aparecen bien desarrolladas en la epidermis abaxial, mientras que las estomas están presentes en su interior. Los tricomas están presentes, como se esperaba. En cambio, las hojas expuestas de los cuatro experimentos, después de 5 semanas de cultivo, en comparación con las de la materia de control, presentan diferencias en los principales rasgos estructurales característicos. La epidermis está siempre compuesta por una sola capa de células, que carece de cutícula.

El mesófilo es bastante similar al de las hojas de control mientras que, la mayor diferencia tiene que ver con la estructura de la epidermis abaxial y la reforma casi total de las criptas. Las criptas de las hojas expuestas, en comparación con las de las hojas de control, parecen ser poco profundas y en algunos casos inexistentes, mientras que solo unos pocos y cortos tricomas aparecen ocasionalmente recubriendo el borde de su apertura en lugar del interior. Además, las estomas se descubren dentro de las cavidades calvas o aparecen extendidos justo en la superficie de la epidermis abaxial.

Las micrografías electrónicas de barrido SEM, de las hojas expuestas, revelan una distribución aleatoria de las criptas superior a la de las hojas de control, el borde apenas definido de su apertura y la ausencia casi total de tricomas dentro de la cavidad muy poco profunda. Las estomas desprotegidas, alojados dentro de la cripta poco profunda, pueden observarse fácilmente y algunas de ellas aparecen únicamente en la superficie de la epidermis.

No observaron una diferencia considerable en cuanto a la estructural del tallo. La medición del peso seco total de las plantas en ambas cámaras (control y expuesta), tras 5 semanas de cultivo, reveló importantes diferencias en la biomasa total entre los dos grupos de plantas. En la fase terminal, las plantas expuestas son más productivas. El peso seco de sus tallos (brotes y hojas) supera el peso seco correspondiente de las plantas de control, mientras que sus raíces son más pesadas que las de sus homólogas de control también. Los valores de la biomasa total de las partes aéreas y de las raíces se pueden observar en la Tabla 6.

Otros parámetros como el grosor de la hoja, el grosor del tejido epidérmico adaxial, el número de criptas/mm<sup>2</sup> y la profundidad de su cavidad se indican en la Tabla 7. Estos datos indican que las hojas de control son un 30% más gruesas, mientras que su epidermis adaxial es más del doble de gruesa que la de las hojas expuestas. En cuanto a las criptas, el número de estas de estas cavidades parece aumentar en las hojas de las plantas expuestas, pero estas numerosas cavidades parecen significativamente poco profundas con una profundidad reducida en torno al 70% en comparación con de las criptas en las hojas de control.



**Tabla 6.** Valores de biomasa del tallo y la raíz de la adelfa blanca

| Experimento | Matera    | Tallo (g) | Raíz (g) |
|-------------|-----------|-----------|----------|
| 1           | Control   | 1,598     | 0,345    |
|             | Irradiada | 2,147     | 0,437    |
| 2           | Control   | 1,618     | 0,375    |
|             | Irradiada | 2,204     | 0,490    |
| 3           | Control   | 1,723     | 0,382    |
|             | Irradiada | 2,211     | 0,573    |
| 4           | Control   | 1,492     | 0,301    |
|             | Irradiada | 2,101     | 0,431    |

**Tabla 7.** Mediciones de los grosores de hojas y epidermis, tamaño y profundidad de las criptas

| Experimento           | Matera    | Grosor de las hojas | Grosor de la epidermis | Criptas/mm <sup>2</sup> | Profundidad de las criptas |
|-----------------------|-----------|---------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 1                     | Control   | 233 ±18 $\mu$ m     | 52 ±2 $\mu$ m          | 18 ±4                   | 111 ±16 $\mu$ m            |
|                       | Irradiada | 172 ±11 $\mu$ m     | 18 ±1 $\mu$ m          | 29 ±5                   | 9 ±3 $\mu$ m               |
| 2                     | Control   | 254 ±24 $\mu$ m     | 49 ±3 $\mu$ m          | 23 ±2                   | 99 ±19 $\mu$ m             |
|                       | Irradiada | 189 ±16 $\mu$ m     | 21 ±2 $\mu$ m          | 32 ±3                   | 13 ±6 $\mu$ m              |
| 3                     | Control   | 245 ±21 $\mu$ m     | 55 ±3 $\mu$ m          | 22 ±5                   | 98 ±23 $\mu$ m             |
|                       | Irradiada | 201 ±19 $\mu$ m     | 19 ±4 $\mu$ m          | 29 ±4                   | 20 ±9 $\mu$ m              |
| 4                     | Control   | 262 ±27 $\mu$ m     | 51 ±2 $\mu$ m          | 19 ±2                   | 93 ±11 $\mu$ m             |
|                       | Irradiada | 204 ±12 $\mu$ m     | 21 ±2 $\mu$ m          | 30 ±5                   | 19 ±7 $\mu$ m              |
| Media de control      |           | 248,5 ±12,4 $\mu$ m | 51,75 ±2,5 $\mu$ m     | 20,5 ±2,3               | 100,25 ±7,6 $\mu$ m        |
| Media de la irradiada |           | 191,5 ±14,5 $\mu$ m | 19,75 ±1,5 $\mu$ m     | 30,25 ±1,41             | 15,25 ±5,19 $\mu$ m        |

Al final del artículo los investigadores señalan que las plantas estresadas, después de su exposición a largo plazo a una baja frecuencia-EMR, presentan una deformación en la estructura foliar casi única de esta especie. Además de la inexplicable reducción de las capas celulares epidérmicas, experimentan la nivelación de las criptas, la eliminación de los tricomas y la exposición de las estomas. Estas alteraciones estructurales coinciden con un aumento significativo de las especies reactivas de oxígeno ROS, la reducción de la absorbencia de pigmentos y el aumento de la expresión de la enzima dopa descarboxilasa DDC.

### 3.4 Cebado de semillas

A diferencia de los artículos que se han tratado hasta esta parte del trabajo, en [14] no realizaron investigación para conocer qué pasa con las plantas cuando son irradiadas por campos eléctrico no ionizantes, sino que la realizan sabiendo el efecto beneficioso que esto tiene al hacerse sobre semillas para mejorar la productividad de las plantas y por lo tanto lo que buscan es destacar el conocimiento actual de los métodos físicos no ionizantes de cebado de semillas y su aplicabilidad para combatir los retos actuales para lograr la resiliencia agroecológica. Los métodos analizados están relacionados con las siguientes bandas de frecuencias:

- Radiación UV (30 PHz a 750 THz)
- Microondas (300 MHz a 300 GHz)
- Ultrasonido (20 a 100 kHz)

La radiación ultravioleta UV constituye aproximadamente el 10% del total de las radiaciones electromagnéticas procedentes del Sol. Además, la cantidad de radiación UV solar que llega a la superficie de la Tierra está aumentando, ya que la capa de ozono de la estratosfera se está agotando debido al aumento de los gases de efecto invernadero. Las radiaciones UV solares que llegan a la superficie de la Tierra se clasifican en tres categorías según la longitud de onda:

1. Entre 320 y 400 nm (UV-A)
2. Entre 280 y 310 nm (UV-B)
3. Menor a 280 nm (UV-C)

La radiación UV-A representa aproximadamente el 6,3% de la radiación solar que llega a la Tierra, y es un componente menos dañino que el resto de las longitudes de onda de la radiación UV. La radiación UV-B

representa solo el 1,5% del total del espectro solar que llega a la superficie de la Tierra y se considera perjudicial para los organismos vivos. En el rango UV del espectro electromagnético, la porción altamente energética y dañina es la UV-C, aunque rara vez se presenta en la radiación solar que se encuentra en la superficie de la Tierra. Se han observado varias respuestas fisiológicas, incluyendo alteraciones en el crecimiento, mejora de los pigmentos fotosintéticos, composición del sabor o calidad del fruto, aumento del nivel de foto protección, regulación de los sistemas de defensa de la planta para reforzar la producción del cultivo y aumento de la producción de metabolitos secundarios como resultado del cebado UV.

El cebado de semillas con bajos niveles de radiación UV se ha señalado como un método ecológicamente seguro para mejorar la producción y el rendimiento de los cultivos, así como para inducir la tolerancia a diversas tensiones en las plantas cultivadas. Una dosis baja de radiación UV ( $0,004-4 \text{ Wm}^{-2}$ ) estimuló la tasa de germinación, la acumulación de biomasa, el peso fresco y seco de los brotes y las raíces, una mayor cantidad de pigmentos que conducen a una mayor fotosíntesis, el aumento de la producción de varios metabolitos, la activación de las enzimas antioxidantes, y también los antioxidantes no enzimáticos que dieron lugar a una mejor tolerancia contra diferentes estreses abióticos.

Los efectos de la radiación UV-A en las semillas de frijol mungo (*Vigna radiata* L.) es una mejora de la tasa de germinación y el rendimiento de las plántulas, especialmente el crecimiento del área foliar, la longitud de las raíces y los brotes y el peso seco. Aunque el porcentaje final de germinación no se ve afectado, existe una tasa de germinación acelerada en la judía mungo (*Vigna mungo* L.) bajo la exposición previa a la siembra a la irradiación UV-B.

El cebado con UV-B en las semillas de arroz y en las plántulas de 4 días también actúa como inductor de la memoria del estrés. Una exposición de 4 y  $6 \text{ kJm}^{-2}$  de radiación UV-B induce un aumento de la actividad de la fenilalanina amoníaco liasa (PAL) junto con una mayor acumulación de flavonoides y antocianinas que sirven como tolerancia al estrés mediado por la UV-B y como eliminador de ROS celular. El contenido de cera en las hojas también se incrementó en el cebado con UV-B.

Una dosis baja de radiación UV-B ( $4 \text{ kJm}^{-2}$ ) reduce los efectos negativos de la sequía al promover la síntesis de prolina, aumentando el total de azúcares solubles, los aminoácidos y la síntesis de proteínas, y mejorando el proceso de eliminación de antioxidantes mediante el aumento de la actividad del superóxido dismutasa sod, la catalasa CAT y la ascorbato peroxidasa APX. La tasa de fotosíntesis también se ha informado que es mayor en las plantas tratadas con UV-B.

El tratamiento con UV-C se utiliza principalmente por su importante acción bactericida y germicida, también es cierto que la exposición de las semillas a una dosis baja de radiación UV-C ( $3,6 \text{ kJ m}^{-2}$ ) provoca la resistencia del huésped contra la enfermedad de la podredumbre negra de la col. Las semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) al ser expuestas a tratamientos de UV-C de  $0,82$  y  $3,42 \text{ kJm}^{-2}$  durante 1 y 4 minutos, resulta en una mayor tolerancia al estrés salino que podría atribuirse a una mayor actividad antioxidante en los tejidos de las hojas de las plántulas.

Las plantas de fresa de 40 días de edad al ser expuestas a  $0,6 \text{ kJm}^{-2}$  de radiación UV-C, revelan un mecanismo de defensa activo contra la enfermedad de la mancha foliar (causada por *Mycosphaerella fragariae*) asociado a la producción promovida de ROS y al barrido. Las actividades de las enzimas de barrido como SOD, CAT, APX y GR se mejoraron para hacer frente a la rápida estimulación de la actividad de ROS tras la exposición a la radiación UV-C. Así, se cree que la radiación UV-C está implicada en el desarrollo de ROS en la planta mediante la regulación de una serie de procedimientos de transducción de señales y la activación de factores de transcripción, concretamente FvPINS, PINS1 y FaNES.

La radiación no ionizante causada por las microondas estimula los sistemas biológicos tanto de forma térmica como no térmica. Las frecuencias no letales de microondas se pueden usar para la desinfección de semillas antes de la siembra lo cual es útil para aumentar duración del almacenamiento. Las microondas suelen ser absorbidas por cualquier material, como alimentos, animales y plantas que contienen agua, provocando un movimiento iónico dentro de la célula, la rotación del dipolo y la distorsión de la órbita de electrones que finalmente resulta en un calentamiento rápido y selectivo. Sin embargo, los mecanismos

fundamentales detrás del efecto de la radiación de microondas en las células vivas incluyen la emisión de bifotones y el aumento de temperatura en la superficie y en la parte interna de la de la célula. Por lo tanto, las microondas pueden inducir diferentes efectos biológicos diferentes en función de su intensidad de campo, frecuencia, modulación y duración de las exposiciones. La energía absorbida provoca la regulación al alza o a la baja de enzimas hidrolíticas como la amilasa y la proteinasa en los cotiledones, y otros procesos fisiológicos o bioquímicos durante la germinación conducen a diferentes cambios en los parámetros de germinación y crecimiento de las semillas.

La radiación de microondas de 700 W de potencia de salida y una longitud de onda de 125 mm a una potencia variable de 2,45 GHz y una densidad de potencia de 126 mW.cm<sup>-2</sup> durante 10 s promueve el crecimiento de los cultivos, mejoró los aspectos fisio-bioquímicos, así como el rendimiento del grano de trigo (*Triticum aestivum* L.) en condiciones de sequía y naturales. El modo de acción de la radiación de microondas implica la acumulación del contenido de prolina y la eliminación de las especies reactivas del oxígeno que ayuda a mantener el contenido relativo de agua y un mayor potencial osmótico en las plantas, lo que resulta en una mejor eficiencia en el uso del agua bajo el estrés por sequía.

El porcentaje de infección de las semillas de trigo debido al patógeno transmitido por las semillas (*Fusarium graminearum*) se ha reducido por debajo del 7% tras la irradiación de microondas en comparación con el control (36%), pero la calidad de las semillas no se ha reducido por debajo del umbral comercial del 85% de germinación de las semillas.

Un nivel umbral de energía de microondas y el tiempo de exposición pueden mejorar la germinación, el crecimiento de las plántulas y la acumulación de biomasa, pero un mayor aumento de la frecuencia de microondas, la energía o la densidad genera una reducción en el porcentaje de germinación de las semillas y el vigor de las plántulas. Exponer las semillas de *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench (Okra) con radiación de microondas de 9,3 GHz durante 0, 10, 20, 30, 40, 50 y 60 minutos con un intervalo de 2 h estimula los parámetros de germinación junto con una mayor concentración de la enzima  $\beta$ -1,3-glucanasa que dio lugar a una mayor protrusión de la radícula.

Además, el tratamiento con microondas ha surgido como una alternativa no química para el control de las malas hierbas en los invernaderos de hortalizas y ornamentales. Pero los impactos de las microondas en las semillas dependen de las especies de plantas o de los genotipos, la duración de la exposición, la frecuencia de las ondas y la densidad de potencia. Sin embargo, un enfoque tan prometedor de control de las malas hierbas a través de los tratamientos con microondas debería depender del diseño de nuevos enfoques sin productos químicos en la agroindustria y el control de enfermedades en el almacenamiento de semillas y sistemas de almacenamiento y producción de semillas.

Las ondas de ultrasonido tienen también varias aplicaciones en la agroindustria para mejorar procesos como el secado, la extracción, la emulsión y antiespumante. Aparte de estos, en la disciplina de la ciencia agrícola, en particular en la tecnología de las semillas y la industria alimentaria, la tecnología de los ultrasonidos se ha convertido en una nueva y prometedora herramienta ya que el uso del tratamiento con ultrasonidos para vigorizar las semillas ha demostrado ser una técnica segura, fácil, útil y que ahorra tiempo para romper la latencia de las semillas. Hay varias influencias positivas de la ultra sonicación en las semillas de judía Adzuki (*Vigna angularis*), al hacer un baño de ultrasonidos de 300 W de potencia a frecuencias de 40 y 80 kHz a 25 °C durante 10 minutos se obtiene una mayor germinación de las semillas con una mayor hidratación como resultado de los cambios en la microestructura del del hilio y de la superficie de la cubierta de la semilla.

Las frecuencias mencionadas también tuvieron efectos estimulantes sobre el crecimiento de los brotes, ya que la actividad de la  $\alpha$ -amilasa es más alta que la del control durante la germinación de las semillas. El brote de las semillas tratadas se observó con mayor contenido de polifenoles, flavonoides y saponinas y las actividades antioxidantes de FRAP y DPPH también aumentaron en los brotes de las semillas tratadas. La ultra sonicación a 40 y 80 kHz fue capaz de reducir los recuentos microbianos, como los coliformes y los mohos en los brotes.

El tratamiento de las semillas antes de la siembra con ultrasonidos estimula la germinación en diferentes especies de plantas, específicamente la técnica de cebado ultrasónico (20 kHz a 30 °C) puede mejorar el porcentaje de germinación junto con la reducción en el tiempo requerido para la germinación de semillas de cebada de bajo vigor, y puede inducir un cultivo temprano y sincronizado de cultivo. Las semillas de sorgo tratadas con ultrasonidos (a 40% de amplitud durante 5 minutos) producen brotes con una mayor actividad de radicales y acumulación fenólica, junto con un con un mayor porcentaje de digestibilidad proteica in vitro.

También se ha visto que los tratamientos ultrasónicos influyen positivamente en el porcentaje de germinación de las semillas envejecidas y el crecimiento de las plántulas en la festuca alta (*Festuca arundinacea*) y el centeno silvestre ruso rye (*Psathyrostachys juncea* Nevski). En semillas de *Arabidopsis thaliana* envejecidas de forma natural o deterioradas artificialmente, el tratamiento ultrasónico corto (< 1 minuto) de 45 kHz da como resultado un aumento significativo de la tasa y el porcentaje de germinación.

Finalmente, los investigadores afirman que las técnicas de cebado físico no ionizante tienen el potencial de ser un enfoque eficaz para optimizar los rendimientos agrícolas y lograr la seguridad alimentaria en todo el mundo. Sin embargo, los agentes físicos suelen ser peligrosos para los organismos vivos, por lo que es necesario profundizar en la investigación para mejorar la calidad de las semillas mediante un método físico en lugar de utilizar productos químicos. Otras investigaciones adicionales deben dirigirse a determinar el protocolo específico relativo a la dosis, la tasa de dosis y la duración de la exposición que, sin duda, difiere entre las especies de cultivo, genotipos, así como las condiciones ambientales para los diferentes tipos de técnicas de imprimación física.

### 3.5 Efectos en el algodón de tierras altas

En [15] realizaron una serie de experimentos para investigar posibles alteraciones estructurales o bioquímicas en las plantas de algodón de tierras altas (*Gossypium hirsutum*) tras una exposición de 21 días a la radiación no ionizante en la frecuencia de 1882 MHz emitida por la unidad base de un sistema DECT inalámbrico.

Las semillas de *Gossypium hirsutum* se imbuyeron y se incubaron a 25°C (70% de humedad) en la oscuridad. Las semillas germinadas se transfirieron y se sembraron en 50 mm de Jiffy-7 Peat Pellets. Se colocaron dieciséis gránulos de Jiffy-7, con una semilla germinada cada uno, en cada una de las dos jaulas de Faraday con dimensiones de 40 cm × 40 cm × 25 cm, las cuales estaban cubiertas con una malla de 0,8 mm y un alambre de acero inoxidable de 0,1 mm y se comprobaron tras su construcción, su capacidad para aislar cualquier radiación emitida desde el interior, mientras que ambas jaulas, al ser del tipo Faraday, son a prueba de radiación.

Las jaulas tenían una fuente de luz incorporada que producía una radiación de 2500 lx en la superficie de las Jiffies. Ambas jaulas se colocaron en una incubadora ventilada y de temperatura regulable donde permanecieron a 20°C durante tres semanas (1er experimento). En el centro de una de las dos jaulas se colocó la unidad base de un aparato telefónico DECT (General, modelo 123). La base DECT estaba en un modo de transmisión pulsado las 24 horas del día, 7 días a la semana, a 1882 MHz, mientras que el programa de luz/oscuridad de la cámara se ajustó a un ciclo de 16/8.

El experimento se repitió una vez más con una configuración idéntica, pero con una temperatura diferente, regulada a 30°C. Se seleccionaron las temperaturas de la incubadora de 20°C y 30°C, ya que la germinación y el crecimiento de *G. hirsutum* varían en función de la temperatura y que las temperaturas mencionadas marcan los límites del crecimiento óptimo de la planta. El montaje descrito se observa en la Figura 4.

La radiación se midió en las dos jaulas, mientras el dispositivo DECT transmitía dentro de una de ellas, con un analizador de espectro NARDA SRM3000 (Alemania). La intensidad del campo eléctrico correspondiente (media y pico), en cada configuración experimental, se midió durante un período de 6 minutos según las directrices de la ICNIRP, estas mediciones se encuentran en la Tabla 8. Se realizaron mediciones suplementarias de baja precisión en la jaula de control, con un medidor de campo de banda ancha (TES-92,

50 MHz-3,5 GHz) en el valor de 490,1 mV/m. En la jaula cercana (expuesta), la radiación alcanzó el valor de 27,46 V/m la cual es 55 veces mayor.



Figura 4. Jaulas de Faraday terminando la tercera semana

Tabla 8. Intensidad de campo promedio y pico máximo

| Jaula     | Promedio  | Pico máximo |
|-----------|-----------|-------------|
| Control   | 0,073 V/m | 0,490 V/m   |
| Irradiada | 2,072 V/m | 27,460 V/m  |

Las plantas se compararon morfológicamente y se observó que las semillas germinadas que no se desarrollaron hasta convertirse en plantas jóvenes fueron superiores en número en el grupo expuesto. Solo unas pocas semillas no se desarrollaron en la jaula de control, en el primer experimento. Ninguna en el segundo experimento. Comparando las plantas crecidas de la jaula de control, desde las primeras etapas de su vida, observaron que producen más hojas y más grandes en ambos experimentos.

Sus homólogas expuestas parecían tener un retraso en el crecimiento y sus hojas eran menos numerosas y más pequeñas. La parte aérea de todas las plantas (control y expuestas) fue siempre más pesada que la raíz. El enfoque cuantitativo de las diferencias en las dos jaulas se presenta en la Tabla 9 a través de los valores de peso seco (biomasa) de las partes aéreas (tallo y hojas), las raíces y las semillas germinadas que no crecieron, para los dos grupos, en cada uno de los dos experimentos.

Tabla 9. Peso en seco de las matas de algodón de tierras altas después de tres semanas de crecimiento

| Experimento     | Jaula     | Sobre la tierra | Raíz          | No desarrolladas |
|-----------------|-----------|-----------------|---------------|------------------|
| Primero a 20 °C | Control   | 1001,1±12,2 mg  | 105,1±8,6 mg  | 393,41±11,2 mg   |
|                 | Irradiada | 689,3±29,3 mg   | 42,9±21,9 mg  | 757,79±19,6 mg   |
| Segundo a 30 °C | Control   | 1753,9±14,9 mg  | 151,1±11,1 mg | -                |
|                 | Irradiada | 1155,7±31,2 mg  | 103,5±19,3 mg | 121,8±17,3 mg    |

Los resultados indicaron que las plantas de *Gossypium hirsutum* L. expuestas a la radiación presentan diferencias que tienen que ver con el desarrollo de la planta y la cosecha terminal (biomasa para la parte superior del suelo y las raíces), el desarrollo de las hojas, la estructura de las raíces, el número y la estructura de los cloroplastos y, por último, el contenido de pigmentos fotosintéticos (principalmente clorofilas).

Aunque los cotiledones de vida corta no se consideran una parte importante del cuerpo de la planta, especialmente después del establecimiento de la nueva planta y de la aparición del primer par de hojas fotosintéticamente activas, su resistencia a la radiación es interesante y probablemente tiene que ver con el hecho de que la construcción y la disposición de los tejidos ya están establecidas, dentro de cada cotiledón, desde la génesis del embrión. Por lo tanto, además del mayor número de pelos en los cotiledones de las plantas expuestas, parece bastante normal que no se observen otros cambios a nivel estructural.

Las plantas de algodón del grupo de control fueron mucho más productivas, en ambos experimentos. Las diferencias en la producción de biomasa se calcularon en un 68% para la parte sobre el suelo y en un 44% para la raíz para las plantas de control del primer experimento, en comparación con sus homólogas expuestas, y en un 65% para la parte sobre el suelo y en un 55% para la raíz para el segundo experimento, respectivamente.

Las hojas de las plantas de control son mucho más gruesas, siendo las del primer experimento 58% más gruesas y las del segundo experimento 33% más gruesa, menos compactas y poseen células epidermales más grandes. Se observan más cloroplastos en las células del mesófilo, un hecho que justifica la mayor biomasa terminal y la mayor cantidad de pigmentos fosintéticos. Los tricomas capitados, más multicelulares, están presentes tanto en la epidermis superior como en la inferior de las hojas expuestas.

#### 4. DISCUSIÓN

Esta revisión documental se realizó con el fin de identificar las características que debe tener el experimento que se desea hacer con arvejas siendo irradiadas por ondas electromagnéticas en la frecuencia de 3,5 GHz. Además, se desea conocer las características de las plantas que fueron analizadas durante y después del experimento. Las características identificadas en los artículos leídos con relación a la irradiación de las plantas se encuentran en la Tabla 10.

**Tabla 10.** Características de la irradiación de las plantas

| Característica       | Pimentón morrón | Uvas                                | Adelfa blanca | Algodón de tierras altas |
|----------------------|-----------------|-------------------------------------|---------------|--------------------------|
| Transmisor           | Celular         | Simulador                           | Teléfono DECT | Teléfono DECT            |
| Frecuencia           | 1750 MHz        | 947,5 MHz<br>1842,5 MHz<br>2450 MHz | 1882 MHz      | 1882 MHz                 |
| Potencia             | -2,985 dbm      | 18,82 V/m<br>26,35 V/m<br>27,45 V/m | 2,85 V/m      | 2,072 V/m                |
| Medidor de radiación | Agilest V3500A  | Simulador                           | NARDA SRM3000 | NARDA SRM3000            |
| Tiempo de exposición | 50 días         | 100 ns                              | 35 días       | 21 días                  |
| Tiempo de monitoreo  | 1 vez al día    | 100 ns                              | 6 min         | 6 min                    |

En general las frecuencias utilizadas fueron mayores a los 900 MHz, pero todos coincidieron en analizar frecuencias cercanas a los 1800 MHz ya que es una frecuencia que se usa para servicios de telefonía en diferentes partes del mundo y por lo tanto es una frecuencia a la que están expuestas la mayoría de las plantas. Es por esto por lo que con la implementación de 5G a nivel mundial, es importante analizar la frecuencia de 3.5 GHz. Las características identificadas en los artículos leídos con relación a las mediciones hechas a las plantas se encuentran en la Tabla 11.

**Tabla 11.** Mediciones hechas a las plantas irradiadas

| Medición / Observación          | Pimentón morrón | Uvas | Adelfa blanca | Algodón | Cebado de semillas |
|---------------------------------|-----------------|------|---------------|---------|--------------------|
| Cantidad de semillas germinadas | X               | -    | X             | X       | X                  |
| Altura de las plantas           | X               | X    |               |         | X                  |
| Grosor hojas                    |                 | -    | X             | X       | X                  |
| Tamaño de las hojas             | X               | -    | X             | X       | X                  |
| Peso del tallo                  |                 | -    | X             | X       | X                  |
| Peso de la raíz                 |                 | -    | X             | X       | X                  |

En la mayoría de los casos estudiados se midió la cantidad de semillas germinadas, el grosor de las hojas, tamaño de las hojas y peso del tallo y de la raíz.

#### 5. CONCLUSIONES

Resulta importante analizar la respuesta de las plantas al ser sometidas a señales usadas para redes de telefonía inalámbricas ya que estas son las que presentan mayores áreas de cobertura en las diferentes ciudades del mundo.

Siempre se debe usar un cultivo de control con el fin de poder comparar las mediciones realizadas a las plantas irradiadas.

Es necesario medir características tales como la cantidad de semillas germinadas, el grosor de las hojas, tamaño de las hojas y peso del tallo y de la raíz.

Los efectos que se han evidenciado en plantas irradiadas no siempre son negativos, pero para aprovechar estos efectos hay que realizar más investigaciones para determinar la frecuencia, potencia, tiempo de exposición, entre otros aspectos, para que los efectos sean benéficos.

Además, estas investigaciones deben ser específicas para cada planta, ya que con los mismos parámetros se pueden obtener resultados diferentes resultados en diferentes plantas.

## REFERENCIAS

- [1] CONPES. (2021). Conpes 4023. Consejo Nacional de Política Económica y Social.
- [2] BBC. (2019). ¿Tiene algún riesgo para la salud la nueva tecnología 5G para celulares? Recuperado: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-48991241>
- [3] OMS. (2016). Radiaciones ionizantes: Efectos en la salud y medidas de protección. Organización Mundial de la Salud.
- [4] NIH. (2022). Radiación no ionizante. Recuperado: <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/radiacion-no-ionizante>
- [5] ONU. (2022). Objetivo 15: Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras, detener la pérdida de biodiversidad. Naciones Unidas.
- [6] FAO. (2021). Indicador 2.4.1 - Proporción de la superficie agrícola en que se practica una agricultura productiva y sostenible. Recuperado: <https://www.fao.org/sustainable-development-goals/indicators/241/es/>
- [7] DANE. (2015). El cultivo de la arveja en Colombia. Departamento Nacional de Estadística.
- [8] Galindo J. (2020). Arveja (*Pisum sativum* L.). Manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca. Omega.
- [9] Poveda G. (2021). Garantizar la integridad de los ecosistemas de Colombia: Condición básica para preservar la biodiversidad y desarrollar la bioeconomía. Ediciones Uniandes.
- [10] Hernández R. (2018). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. McGraw-Hill.
- [11] Ardendu B. et al. (2016). Effects of non-ionizing electromagnetic radiation on capsicum annuum seed germination and subsequent sapling growth – A time study. En International conference on microelectronics, computing and communications.
- [12] Ardendu K. et al. (2016). SAR Analysis in a typical bunch of grapes exposed to radio frequency radiation in Indian scenario. En International Conference on Microelectronics, Computing and Communications.
- [13] Aikaterina S. et al. (2020). Response of young Nerium oleander plants to long term non ionizing radiation. Planta 1-17.
- [14] Kuntal B. et al. (2021). Seed priming with non ionizing physical agents: Plant responses and underlying physiological mechanisms. Plant Cell Reports 41, 53-73.
- [15] Aikaterina S. et al. (2017). The effect of the non ionizing radiation on exposed, laboratory cultivated upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) plants. Flora 226, 55-64.

# Modelo para diagnosticar el nivel de madurez tecnológico de las empresas antes de tomar la decisión de implementar nuevas tecnologías

Edgar Serna M.<sup>1</sup>

*Instituto Antioqueño de Investigación*  
Colombia

A raíz del nuevo contexto económico generado por la pandemia del Covid-19, en este trabajo se propone un modelo organizado en tres etapas: 1) reinventar, 2) encontrar el nivel de madurez, y 3) diagnosticar, para determinar el nivel de madurez tecnológico de las empresas, que les permitirá acercarse a una estructuración de sus sistemas antes de tomar la decisión de implementar nuevas tecnologías, sin lo cual puede que no logren una adecuada reactivación económica. En la integración podrán conectar de mejor forma los procesos internos de la gestión tecnológica, mejorando al mismo tiempo la comunicación y los procesos de negocio con los socios externos. La recomendación es que estas etapas se estructuren como procesos estratégicos, en la forma de un plan de acción y con visión compartida por todos los actores interesados.

---

<sup>1</sup> Ingeniero de Sistemas, Magíster en Ingeniería del Software, Doctor en Pensamiento Complejo, Teórico Computacional, Posdoctor en Integración de Nuevas Tecnologías y Gestión de la Innovación.  
Contacto: [eserna@fundacioniai.org](mailto:eserna@fundacioniai.org)



## 1. INTRODUCCIÓN

Sin tener que pensarlo mucho hay que aceptar que las nuevas tecnologías son el asunto más importante para las empresas en el Nuevo Orden Mundial. Si bien en la historia se ha vivido grandes momentos que afectaron el desarrollo empresarial, como las recesiones y las consecuentes crisis sociales y económicas, tampoco es necesario divagar mucho para identificar a la pandemia del Covid-19 como un momento que ha impactado tanto a las personas como a los Estados y las organizaciones, y su marca está lejos de terminar. Además, la globalización y la deslocalización son fuerzas clave que generan una reconfiguración de la estrategia y la estructura de las empresas para enfrentar estos momentos, y los próximos. Por otro lado, los efectos de la pandemia sobre la demografía mundial también provocan cambios profundos y duraderos en los mercados, en la producción y en la oferta de servicios.

En cualquiera de estos escenarios las nuevas tecnologías asumen un rol protagónico. La razón es que, a raíz del Covid-19, el desarrollo de lo digital está eliminando restricciones y creando nuevas y emocionantes posibilidades que afectan y afectarán en adelante el desenvolvimiento de las empresas en todo el mundo. Las redes sociales han hecho que los clientes finalmente sean escuchados, obligando a las empresas a dejar de lado las lentes estrechas de las encuestas y los grupos focales. La informática móvil demostró que es posible contar con empleados disponibles y productivos de forma ubicua. Con la ciencia de datos se llega a pronósticos, juicios y decisiones significativamente mejores. Asimismo, las nuevas tecnologías les ofrecen a las empresas la posibilidad de implementar estructuras organizacionales revolucionarias, procesos comerciales y ofertas para clientes completamente innovadores, a la vez que se pueden modificar rápidamente a medida que la Nueva Era progresa en el siglo.

Estos y muchos otros avances tecnológicos asombran a todos, pero el impacto más importante se aprecia en la manera cómo cambian la forma en que viven y trabajan las personas, facilitando la realización de procesos y actividades que parecían imposibles hace una década. La última vez que hubo tanta innovación tecnológica en el mundo empresarial fue durante la Revolución Industrial, cuando las máquinas doblaron la curva del comercio, el capitalismo y, de hecho, la historia humana [1]. Asimismo, en este siglo las nuevas tecnologías digitales están llevando a la humanidad a lo que en [2] denominan *la segunda era de las máquinas*.

A raíz de esta realidad los empresarios tienen que cuestionarse si ellos y sus empresas están listos para esta segunda era, pero al analizar los resultados de muchas investigaciones la respuesta puede ser que todavía no lo están; porque los hallazgos demuestran que, en la mayoría de los países, son pocas las empresas que utilizan las nuevas tecnologías para impulsar niveles significativamente más altos de utilidad y para mejorar la productividad, el rendimiento y la calidad. Por lo tanto, la mayoría de las empresas no alcanzan el dominio digital, lo cual no es alentador ya que ese logro es necesario para sobrevivir y prosperar en el Nuevo Orden Mundial.

A pesar de todo también hay buenas noticias, ya que las razones por las que estas empresas no logran el dominio digital no son muchas y no es difícil superarlas. De ahí la importancia de que realicen un diagnóstico adecuado para determinar su nivel de madurez en relación con la decisión de implementar y aprovechar las nuevas tecnologías. Si antes de dicho diagnóstico se aventuran a iniciar procesos de transformación digital, pueden convertirse en una de las tantas que luchan por volverse verdaderamente digitales, pero que no logran desarrollar verdaderas capacidades para trabajar de manera diferente, establecer una visión propia y ejecutarla. Aunque en los medios se difunde casos de apropiación tecnológica en grandes empresas de todo el mundo, hay que entender que no todas aprovechan adecuadamente las nuevas tecnologías, porque muchas han sido *lanzadas* por la Nueva Era a implementar ese proceso y, si bien continúan operando, todavía no se puede afirmar que hayan logrado el dominio digital.

En el mundo de los negocios es común hablar y debatir acerca de Fortune 500, y en muchos medios especializados dedican amplios espacios a analizar lo que implica esta lista de las empresas con los ingresos más altos sobre la economía en su conjunto, descubriendo tendencias e intentando llegar a conclusiones sobre las mismas. Por ejemplo, encontraron que 61 empresas en la lista de 1955 todavía estaban en la de 2015. Esto significaba que la estructura empresarial de hace cincuenta años era suficiente para que las

empresas se mantuvieran vigentes y productivas por más de sesenta años. Pero el Nuevo Orden Mundial les demostró que esa expectativa de vida se redujo drásticamente a solo una década [3]. Entonces, el aprendizaje es que *el rendimiento pasado no es un indicador de los rendimientos futuros*, por lo que los empresarios no pueden confiar ciegamente en sus estrategias comerciales de hoy, sin importar lo exitosas que sean, porque podrán no ser las adecuadas para mantenerse competitivos en una Nueva Era en la que lo digital está  *cubriendo*  al planeta.

Ahora bien, en este contexto las empresas deben preocuparse primero por averiguar si se están  *volviendo digitales* , no si ya han implementado cambios digitales. Deben cerciorarse, aunque es probable que sí, de cómo están influenciadas y afectadas por las nuevas tecnologías o de qué manera lo estarán pronto. Es decir, una empresa se comienza a convertir en digital cuando:

- Su administración y la forma en que toma decisiones clave están afectadas por los grandes datos o el análisis y la inteligencia artificial.
- Las acciones, interacciones y preferencias de consumo de sus clientes son dirigidos por la web social.
- La forma en que ofrece sus servicios a los clientes se orienta desde las aplicaciones móviles y la computación en la nube.
- El Internet de las cosas vincula sus productos a través de sensores y software con redes de máquinas más amplias y con la nube.
- La evolución de su cadena de suministro es impulsada por la robótica, los drones y la impresión 3D.
- Los algoritmos de computación cognitiva y la robótica influyen en cómo se reinventa y se adecua a cada momento.

Puede ser que, por lo menos, una de estas características se aplica a toda empresa, o lo harán prontamente, pero si el caso es que no, es probable que sí lo sea para los clientes y para los competidores. A medida que avanza el siglo la mayoría de las empresas encontrará que las nuevas tecnologías comienzan a impactar, de alguna manera y directa o indirectamente, su modelo de negocios. Vamos un poco al extremo y supongamos que la empresa dice no a todas las características anteriores, entonces tendrá que preocuparse, porque es probable que para sus competidores la respuesta sea sí. Porque ellos ven las cosas de manera diferente y logran mejores ventajas competitivas, las cuales es mejor tenerlas que envidiarlas.

Decidirse por el cambio no es fácil, pero en el Nuevo Orden Mundial es inevitable y necesario para que las empresas crezcan, supervivan y sean competidoras en la época de la postpandemia. Sin importar que sea una empresa Fortune 500 o no, lo importante es tener confianza en el éxito continuo, y desarrollar mentalidad y habilidades para integrar y aprovechar las nuevas tecnologías [4]. No importa a cuantas de las características anteriores la empresa respondió que sí, lo que necesita es comprender sistemáticamente el proceso y sus reglas, evaluar opciones y tomar decisiones rigurosas a corto, mediano y largo plazo. Pero antes de iniciarlo debe  *realizar un diagnóstico para determinar su nivel de madurez en relación con la decisión de implementar y aprovechar las nuevas tecnologías* , de ello depende el éxito de la empresa durante y luego de este período crucial.

## 2. REINVENTAR LA EMPRESA

El impacto de la disrupción y la transformación en los negocios tradicionales es una cuestión que recibe amplia atención de los medios, y la razón parece justificada, porque las nuevas tecnologías impactan profundamente el mundo en este siglo, revolucionando desde las interacciones sociales hasta las estructuras empresariales y la manera cómo se realizan los negocios, permitiendo que algunas empresas con visión de cambio logren un crecimiento exponencial. Pero no todo es lineal, porque al mismo tiempo surgen jugadores nuevos y ágiles con modelos de negocios innovadores y adaptados que rompen dicha linealidad. En consecuencia, si bien las nuevas tecnologías pueden representar una amenaza para la empresa tradicional, también le ofrecen enormes oportunidades para adaptarse a las oportunidades del Nuevo Orden Mundial.

Por otro lado, en este siglo en el mundo empresarial se ha anidado el término *digital* como sinónimo de disrupción y transformación, y probablemente muchas empresas iniciaron procesos y experimentaron en un esfuerzo por *digitalizarse*. Y puede ser que algunos hayan tenido éxito, pero muchos no. Entonces, si la meta de todo empresario es emular el éxito de quienes lo lograron, tendrán que buscar un impacto más transformador para su negocio, lo cual lo lleva obligatoriamente a tener que desarrollar habilidades para aprovechar al máximo las oportunidades únicas que brinda la Nueva Era [5], al tiempo que reinventa la gestión y administración de la empresa.

En el proceso hay que distinguir qué funciona bien y qué no en el modelo de negocios, y aceptar que las nuevas tecnologías le brindan un apoyo sustancial para mejorarlo. Es decir, hay que tratar a la estrategia digital como algo inseparable de la estrategia general de la empresa, liderar el cambio con mentalidad prioritaria y asegurarse de que esta estrategia abarque todos los procesos organizacionales, comenzado por el factor humano [6], porque la transformación debe empezar por *fortalecer la base* y *construir para el futuro* al mismo tiempo.

Pero no es necesario crear mucha neblina y misterio para reinventar la empresa, solo se necesita aprender de aquellos que los han logrado y no repetir los errores de quienes han fracasado, a la vez que definir lo que realmente le puede servir para su modelo de negocios, el personal y los clientes, porque cada empresa tiene su propio ADN. El siguiente marco para la reinención empresarial le ayudará a aprovechar lo que funciona y a identificar las áreas donde se deben desarrollar nuevas capacidades. El marco consta de cuatro dimensiones clave, tal como se observa en la Figura 1.

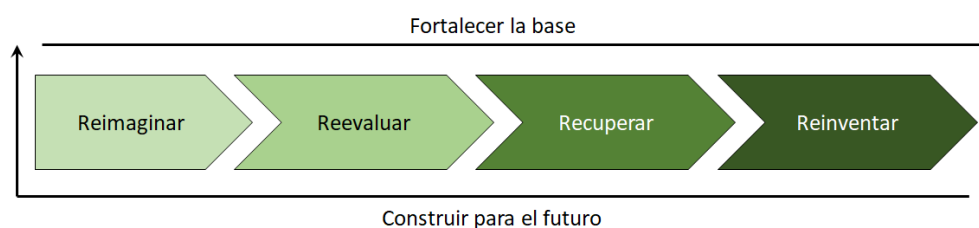


Figura 1. Marco de trabajo para la reinención empresarial

## 2.1 Reimaginar la empresa

A raíz de los progresivos y numerosos cambios que las nuevas tecnologías han generado este siglo en el mundo de los negocios, los empresarios están obligados a reflexionar y analizar la esencia de sus empresas, para lo cual deberán examinar el alcance, el modelo de negocios y el ecosistema que habitan. Al analizar el alcance empresarial hay que estar seguros de cuál es el negocio y en qué se debería invertir. La competencia en la Nueva Era generalmente emerge de forma lateral, de nuevos jugadores, por lo que es importante innovar el alcance de la empresa para mantenerla competitiva. Pero hay que centrarse en las competencias básicas, porque la experimentación puede ser destructiva para las nuevas aspiraciones [7].

En cuanto al modelo de negocios, el análisis se debe centrar en cómo es que la empresa crea y captura valor, porque a medida que los modelos cambian y la competencia directa e indirecta comienza a afectar el negocio, es posible que con el actual no pueda tener éxito y mantenerse vigente. Estos indicadores se deben analizar seriamente y es posible que la empresa note la necesidad de dejar de luchar sola y unirse a un ecosistema conformado tanto por socios como por competidores. Esto le ayudará a crear plataformas comerciales y a redefinir la imagen de la competencia. Pero hay que estar conscientes de que cambiar un modelo de negocios, dirigido por la venta de productos, a la creación de un ecosistema, obliga al empresario a modificar radicalmente su mentalidad empresarial y a crear estrategias diferentes e innovadoras para mantener y proyectar la empresa.

## 2.2 Reevaluar la empresa

Bien analizadas, implementadas y estructuradas, las nuevas tecnologías llegan a mejorar sustancialmente la eficiencia y la eficacia de los procesos empresariales y, en este siglo, dieron paso al surgimiento de la llamada era de la Industria 4.0, en la que se innova con tecnologías como la fabricación digital, la realidad

virtual y aumentada, la impresión 3D y las cadenas de suministro, lo cual redundará en el logro de la anhelada excelencia operativa. Al reevaluar la empresa hay que analizar cómo se aprovechan las nuevas tecnologías para mejorar la productividad, reducir la tasa de fallos y crear ventaja competitiva.

En esta Nueva Era las empresas innovadoras utilizan la tecnología digital para modificar la cadena de valor tradicional, especialmente en el proceso de la distribución, lo cual hace que, al reimaginar su modelo de negocios, inicien, por ejemplo, sus propios canales de comercio. El desafío aquí es aprender a gestionar el conflicto que surge entre los canales tradicionales y los nuevos, porque es posible que se abandone uno que es básico para clientes igualmente tradicionales, entonces se debe crear una sinergia entre estos canales para no permitir el desbalance.

### **2.3 Recuperar la empresa**

Uno de los cambios sobresalientes durante y en la postpandemia que han generado las nuevas tecnologías se refleja en la forma cómo los clientes buscan información y adquieren productos, lo cual ha generado al mismo tiempo nuevas oportunidades para que las empresas recopilen datos de las decisiones de los consumidores y sus preferencias, que pueden utilizar para crear nichos de mercado o para atraer a nuevos clientes.

Si bien este proceso parece algo automatizado, ni los avances en el neuromarketing han logrado mejorar las tasas de preferencia que los consumidores demuestran por los anuncios en la red. La cuestión es que todas las marcas quieren atraerlos, pero los mensajes utilizados no les presentan razones convincentes para hacerlo. Entonces, hay que innovar la manera con la que se pretende cautivar al consumidor en medio de este contexto tan competido, y la respuesta no es solamente implementar o desarrollar tecnologías y capturar datos; lo que las empresas deben hacer es ofrecer un valor único y diferenciador para llamar la atención de los consumidores sobre su producto. De esta manera se recupera la empresa, se convence a los clientes y se abren mercados.

### **2.4 Reinventar la empresa**

La pandemia del Covid-19 hizo que muchas empresas tuvieran que reducir los costos de administración para compensar la disminución de ingresos y ahora, en medio de la recuperación, los empresarios buscan reconstruirlas a cómo eran antes, lo cual no es una buena idea. La razón es que antes las empresas eran exitosas utilizando modelos de negocios amplios e iguales para todos los clientes, pero la situación hoy es otra, porque el mercado se ha segmentado. Esto ha hecho que los empresarios tengan que analizar y comprender cada segmento en el que pueden competir, entender las preferencias de los clientes y ofrecer servicios correctos a los clientes correctos y de la manera correcta. Esto genera la necesidad de reinventar las empresas y de reestructurar los modelos de negocios para adaptarlos a la nueva realidad de la postpandemia.

El asunto es que gestionar esa transición no es un proceso trivial, ya que, por un lado, se tiene el objetivo de fortalecer la base y, por el otro, se intenta construir para el futuro, todo al mismo tiempo, una situación que coloca al empresario frente al desafío de tener que administrar dos negocios en paralelo. Por lo tanto, no es raro que al principio disminuyan las utilidades y, si no se tiene la entereza y la determinación para seguir adelante, es posible que no se supere esta situación. Por eso, una idea clave para la reinversión empresarial es aprovechar las ventajas que ofrecen tecnologías como los grandes datos, la inteligencia artificial y el aprendizaje automático, con las que se pueden automatizar los procesos, a la vez que se ayuda a las personas a desarrollar las habilidades y las capacidades que la empresa necesita hoy y que necesitará en la Nueva Era [8].

## **3. DETERMINAR EL NIVEL DE MADUREZ**

Como ha quedado claro en este trabajo y en diferentes investigaciones y propuestas en todo el mundo, el uso eficiente y efectivo de las nuevas tecnologías les brinda a las empresas la oportunidad de alcanzar la recuperación económica en la era de la postpandemia. Pero muchos de los procesos de integración de estas

tecnologías se inician sin un estudio adecuado del estado de la empresa y de sus reales necesidades. Algunas pretenden implantarlas en procesos seleccionados del negocio, como en producción o logística, olvidando que la empresa es un sistema en el que todos los procesos se relacionan para materializar el modelo de negocios.

Se dijo antes que, a raíz de los efectos del Covid-19 en la economía, los empresarios deben reinventar el negocio para insertarlo en la Nueva Era y mantenerse competitivos en los escenarios económicos que surgieron a posterior. Por eso es que *Reimaginar, Reevaluar, Recuperar y Reinventar* la empresa, fortaleciendo la base y construyendo para el futuro, se convierten en el primer objetivo antes de tomar decisiones apresuradas para incorporar tecnologías sin un norte preciso.

Luego de ejecutar con juicio estas actividades, el siguiente paso es determinar el nivel de madurez de la empresa en relación con la decisión de implementar y aprovechar las nuevas tecnologías, y luego diagnosticar ese nivel y tomar decisiones. Lo cual requiere un análisis completo y extendido a todas las áreas de la empresa, incluyendo, por ejemplo, gestión de la producción, logística, gestión de la calidad, recursos humanos, responsabilidad social y ambiental, e innovación y proyección, entre otras.

Entonces, la segunda actividad es determinar el nivel de madurez de la empresa en relación con la decisión de implementar y aprovechar las nuevas tecnologías, como una actividad posterior a su reinención. El concepto de madurez fue propuesto por Crosby [9], que lo definió como un estado de plenitud, perfección y preparación y, aunque desde entonces se han estructurado y presentado diversos modelos de madurez, en general los objetivos de aplicarlos son los mismos: *diagnosticar y planificar*. El primero para determinar el factor de madurez y el segundo para definir el camino de desarrollo y las prácticas para aumentar el nivel de madurez del factor.

### 3.1 Modelo de madurez propuesto

El modelo de madurez que se propone en este trabajo es de naturaleza evolutiva, es decir, está conformado por una serie de etapas en las que el nivel de complejidad se va incrementando con la idea de lograr la *perfección*. El modelo está conformado por cinco etapas (niveles) con los que se evalúa la madurez de la empresa en relación con el deseo de implementar y aprovechar las nuevas tecnologías. Dicho nivel de madurez se describe en una escala progresiva de resultados: predispuesta, reactiva, apreciativa, organizada u optimizada. En la Tabla 1 se describen los niveles y características de la operacionalización del modelo de madurez de las empresas en relación con la decisión de implementar y aprovechar las nuevas tecnologías.

**Tabla 1.** Operacionalización del modelo de madurez propuesto

| Niveles                    | Predispuesto  | Reactivo   | Apreciativo   | Organizado   | Optimizado   |
|----------------------------|---|--|---|--|--|
| Administración de recursos | Las personas o las áreas, como agentes individuales, desarrollan sus propios recursos y responsabilidades en relación con la gestión y utilización de las nuevas tecnologías, que identifican como necesarias para realizar sus tareas. La empresa como un todo se mantiene al margen del proceso, lo que genera información, contenidos, volúmenes e innovación deficientes. | En respuesta a los resultados individuales la empresa crea centros para gestionar y administrar las tecnologías internas, e inicia actividades para estandarizar el proceso de gestión tecnológica, mediante la creación de definiciones y el mapeo de las nuevas tecnologías que posee. A raíz de esto se crean secciones locales en las que se integra el uso y apropiación tecnológica al interior de estos centros. Además, el recurso humano innova y desarrolla herramientas para aprovechar la tecnología al interior del centro. | Se crean alianzas entre centros para promover una integración y gestión tecnológica más efectiva. Al clarificar y unificar las definiciones y necesidades entre los centros se robustecen los esfuerzos de gestión y se mejoran los procesos involucrados. Se genera una especie de ecosistema entre centros en el que se comparten logros, necesidades y proyecciones alrededor de las nuevas tecnologías. | La empresa desarrolla mayor conocimiento alrededor de las tecnologías que pueden ser de su interés. Las cuales se mapean para analizar posibilidades conscientes de desarrollo o de adquisición. La empresa desarrolla una arquitectura estandarizada para facilitar la implementación y aprovechamiento de las nuevas tecnologías que adquiere o desarrolla. Se crea un mapa casi completo de las tecnologías en uso, teniendo la posibilidad de acceder a información detallada de su uso. | La empresa se compromete a mantener actualizado su mapeo tecnológico, a investigar las necesidades internas, a analizar los desarrollos externos y a mantener actualizada la información relacionada para estudios de adquisición y uso de los mismos. Los mapas tecnológicos interno y externo se refinan constantemente para mantenerlos al día en cuanto a cambios en ambos entornos. |

|                              |  |   |  |  |   |
|------------------------------|--|---|--|--|---|
| Administración analítica     | La empresa no tiene una definición estándar para las nuevas tecnologías; cada agente define las que necesita. Como resultado, las apreciaciones analíticas son deficientes y carecen de aplicabilidad. Los análisis que generan los agentes de forma individual carecen de armonía y compatibilidad. | La empresa estandariza los centros en relación con procedimientos para la regulación analítica, los despliegues, y la gestión del repositorio tecnológico. Este progreso contribuye a la apropiación efectiva de la tecnología en cada centro.  | Se logra que los centros compartan sus análisis con los demás. Se redefine el análisis conjunto a la vez que se mejora el desarrollo y uso de las nuevas tecnologías. Los repositorios de análisis tecnológico se incrementan y sofistican, a medida que los casos de éxito y de fracaso se comparten.                                   | La organización aprende a generar análisis sofisticados, con base en una mejor definición de las nuevas tecnologías y en el aprovechamiento de las mismas. Se estructura el repositorio tecnológico organizacional para promover y compartir los análisis, a los que se aplica ciclos de retroalimentación permanente.                   | La organización se empeña en encontrar formas más eficaces de realizar el análisis tecnológico y mejores métodos para evaluarlo. Se define como objetivo racionalizar los procesos de generación y aplicación de los análisis tecnológicos.   |
| Administración significativa | Los agentes individuales interpretan la necesidad y el significado de la tecnología, pero no se comparte eficazmente con los demás, lo que lo hace ineficaz para la empresa. El resultado de estas acciones son procedimientos sin significado organizacional.                                       | Los centros comparten en su interior el significado tecnológico, dando origen a un lenguaje común relacionado con la tecnología. El significado común se intercambia, compara, debate y retroalimenta, con lo que se mejoran los indicadores para la toma de decisiones.                | El significado tecnológico se comparte e integra en los manuales de funciones. Lo cual requiere de traductores que pongan orden en la sintaxis y la terminología empresarial. Los diferentes centros comienzan a tener en cuenta y a integrar otros significados externos en sus prácticas tecnológicas.                                 | El significado tecnológico generado en los análisis es estructurado y se comparte con los otros centros. La empresa aprende a gestionar el lenguaje tecnológico y a fomentar y promover el diálogo entre los centros con base en un significado unificado.   | Se ponen en marcha procesos que facilitan la revisión permanente del significado tecnológico unificado. Se adquiere el compromiso de formación y capacitación constante a los agentes, que desarrollan nuevas habilidades; además, se incrementa la eficiencia de las tecnologías compatibles para toda la empresa.   |
| Administración activa        | La toma de decisiones tecnológicas se basa en corazonadas individuales, porque no hay disposición para el análisis y la retroalimentación que faciliten el monitoreo a la eficacia de las acciones.  | La regulación tecnológica al interior de los centros se basa en el significado compartido, mejorando la eficiencia de las operaciones y la flexibilidad interna. Las acciones de retroalimentación, con respecto a las acciones tecnológicas, se restringen al interior de cada centro. | Las alianzas entre centros generan formas de acción más amplias ante las nuevas tecnologías, se comparten experiencias y se amplía el horizonte para reaccionar ante las acciones contextuales internas y por fuera de los mismos centros. La empresa incrementa la eficiencia y la eficacia para analizar sus necesidades tecnológicas. | La empresa diseña y ejecuta acciones sustentadas en el significado tecnológico unificado. Se crea un repositorio de acciones, lo que facilita la reutilización del significado tecnológico y de los resultados obtenidos. La retroalimentación constante es eficaz y contribuye a mejorar la evaluación de las necesidades tecnológicas. | Se programa la revisión de las acciones a fin de mantener a la empresa actualizada en relación con las nuevas tecnologías. Se actualizan continuamente las métricas de evaluación de las acciones tecnológicas, y se ejecutan al ritmo de las necesidades del ecosistema. La empresa crea un repositorio acciones tecnológicas que se actualiza y consulta con regularidad. |

1. Se considera que la empresa se encuentra en el nivel *predispuesto* cuando descubre que no tiene una adecuada capacidad para seleccionar, implementar y aprovechar las nuevas tecnologías, provenientes tanto del entorno interno como del externo. Algunas áreas internas pueden estar especializadas en y para aprovechar cierta tecnología, pero se limitan al nivel local. En general, la empresa no posee las herramientas necesarias y adecuadas para implementar y aprovechar las nuevas tecnologías en todos los procesos, porque posee baja percepción y alto desconocimiento de las mismas. Es posible que algunas personas o áreas exhiban un adecuado manejo de las tecnologías, pero se restringe a ambientes muy locales. Debido a esa baja capacidad de percepción, la empresa tiene dificultades para adaptarse adecuadamente a la demanda de aprendizaje para el recurso humano. Esto se refleja en que no tiene la habilidad para desarrollar/innovar mecanismos, respuestas complejas ni adaptaciones a los cambios en el entorno económico, además de no ofrecer nuevos y llamativos productos. Como se dijo antes, puede que algunos individuos o áreas al interior tengan la habilidad para llevar a cabo estas actividades, pero esto no significa que la empresa en general sepa cómo hacerlo.
2. La empresa se encuentra en el nivel *reactivo* cuando responde y se adapta a la presión externa y se concientiza de la necesidad de mejorar la gestión y el uso de las nuevas tecnologías; por ejemplo, al recibir señales desde un dominio determinado del mercado responde con estrategias de adquisición o implementación para atenderlo y adaptarse al mismo. De la misma manera, ha aprendido a utilizar de

mejor forma algunas tecnologías propias o a seleccionar mediante análisis las externas. En este nivel el proceso de aprendizaje de la empresa en relación con las nuevas tecnologías se asemeja a la experiencia que viven las personas en la infancia: empieza a sintonizarse con las voces y los gestos de sus empleados innovadores, pero todavía se le dificulta reconocer las señales provenientes del ecosistema en el que desarrolla sus actividades. Por eso es que en este nivel la empresa se debe dedicar a mejorar su percepción y disposición a la acción tecnológica y estructurar respuestas eficientes y eficaces a la necesidad de capacitación e investigación acerca de las nuevas tecnologías, que ya han iniciado algunos empleados o áreas al interior.

3. En el nivel *apreciativo* la empresa comienza a valorar la necesidad de concretar procesos transdisciplinarios y de análisis transversal internos para mejorar su apreciación acerca de las ventajas, desventajas y necesidades de las nuevas tecnologías, e inicia estudios de selección e integración para aprovecharlas en el desarrollo de su modelo de negocios. Asimismo, se preocupa por incrementar la percepción y disposición a la acción del recurso humano en relación con las nuevas tecnologías, y establece programas para desarrollar sus habilidades y capacidades para seleccionarlas, integrarlas y utilizarlas de la mejor manera en sus procesos de gestión, administración y producción. Esto se debe a que ha comenzado a interconectar, mediante actividades de gestión tecnológica, las diversas áreas y personas que poseen el conocimiento relacionado, aunque todavía presenta limitaciones para responder a situaciones abiertas y complejas. De ahí que el objetivo en este nivel es lograr que la empresa aprenda a coordinar las actividades de gestión y administración de la tecnología a través de las diversas áreas.
4. En el nivel *organizado* la empresa ha desarrollado una arquitectura estructurada y dirigida a mejorar su conocimiento sobre las nuevas tecnologías, integrando procesos como la administración de recursos, administración analítica, administración significativa y administración activa de las mismas. Además, ahora puede desarrollar actividades analíticas de percepción, disposición a la acción, respuesta guiada, mecanismos de ayuda, respuestas complejas, adaptación, creación e innovación, lo cual se sustenta en la existencia de una estructura holística de gestión tecnológica.
5. Por su parte, la empresa se encuentra en el nivel *optimizado* cuando ha aprendido a seleccionar, integrar y utilizar, con proyección de mejoramiento e innovación, las nuevas tecnologías, y que su modelo de negocios y las exigencias del ecosistema económico que habita le han señalado como necesarias para mantenerse vigente y competitiva en el Nuevo Orden Mundial. Al operar en este nivel la empresa logra abrirse a la mejora continua, y aprende a apoyarse en el conocimiento, las prácticas y las habilidades de su recurso humano, en combinación con procesos de actualización permanente sobre los nuevos desarrollos que van apareciendo en el mercado. En otras palabras, ha logrado poner a punto su capacidad de adaptación, creación e innovación, por lo que el objetivo ahora es disminuir al mínimo el tiempo que necesita para adaptarse a los cambios en el ecosistema, a la vez que incrementar sus capacidades de gestión y administración tecnológicas, lo cual la convierte en una empresa proactiva en lugar de reactiva.

### 3.2 Proceso de diagnóstico propuesto

Además del modelo de madurez se propone un proceso de diagnóstico para hacerlo práctico, y para determinar el nivel de madurez en el que se encuentra la empresa en un momento determinado. El objetivo es identificar el estado actual, lo cual ofrece información confiable para tomar decisiones sustentadas acerca de las mejoras estructurales necesarias. La idea no es obtener un diagnóstico preciso del estado de la empresa, ya que para eso existen herramientas especializadas, sino de recoger información descriptiva que permita ubicarla en un nivel de madurez, referido a las características tecnológicas del modelo propuesto. Las características del modelo de madurez propuesto son:

1. *Gestión de recursos tecnológicos*. Aprender a utilizar inteligentemente los recursos tecnológicos es imperativo para las empresas en este siglo, debido a que se han convertido en las inversiones de mayor costo. A raíz del incremento en la complejidad de sus estructuras administrativas y a que las nuevas tecnologías se pueden adaptar a cualquier modelo de negocios, la gestión de recursos tecnológicos se

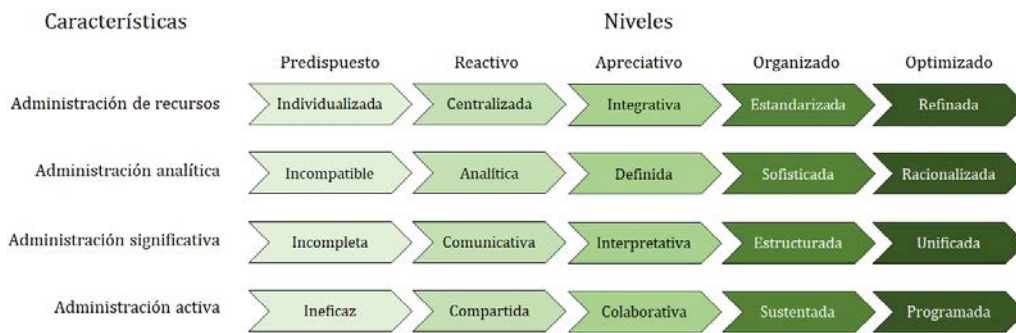
ha convertido en parte integral de cualquier empresa. La gestión de recursos tecnológicos es el proceso de utilizar la tecnología de forma más eficiente y efectiva para el modelo de negocios, pero en armonía con los demás recursos empresariales. Es un proceso que requiere análisis, planificación y asignación de recursos en el momento justo y a costos adecuados.

2. *Administración analítica de la tecnología.* La administración analítica es un método inteligente y una herramienta esencial para la gestión eficaz de las nuevas tecnologías en el contexto actual del desarrollo empresarial. Básicamente es un marco integrado en el que se combinan tres dimensiones y siete factores: 1) *Ingeniería de requisitos:* alcance; 2) *Esquema tecnológico:* sistemas, estructura, seguridad; y 3) *Gestión tecnológica:* estrategia, recursos humanos, habilidades y capacidades. Los siete factores se deben integrar, coordinar y sincronizar para aprovechar de mejor forma las nuevas tecnologías en el modelo de negocios [10]. Una adecuada administración analítica de la tecnología impulsa cambios prácticos basados en información confiable.
3. *Administración significativa de la tecnología.* El entorno del Nuevo Orden Mundial les exige a las empresas prácticas de gestión innovadoras para garantizar que los modelos de negocios se mantengan activos y para que las empresas sean significativas en el mercado. En la Nueva Era el mundo de los negocios se ha volcado a las nuevas tecnologías, y lo digital impacta las relaciones de las empresas con el mundo, el tiempo, el espacio, el conocimiento, el aprendizaje y, por supuesto, entre sí. Por eso es que en este siglo no es posible identificar un único modelo para la administración significativa de la tecnología, por lo que las empresas están obligadas a desarrollar habilidades y capacidades para comprender las nuevas tecnologías y para adaptarse a sus ventajas y consecuencias [11]. En este contexto, los empresarios deben considerar cambios en el paradigma administrativo y una nueva comprensión del ecosistema tecnológico en el que se desarrolla su modelo de negocios, porque los cambios acelerados les exigen nuevas prácticas gerenciales y en los procesos de recursos humanos para aprovechar eficientemente las nuevas tecnologías.
4. *Administración activa de la tecnología.* La administración activa de la tecnología consiste en gestionar las nuevas tecnologías para lograr que la empresa materialice de mejor forma su modelo de negocios. Para lograrlo, los empresarios deben acudir a la investigación analítica, el juicio personal y la ciencia de datos para tomar decisiones sobre qué tecnología comprar, innovar o retirar. Además, una administración activa de la tecnología eficiente ayuda a modificar el riesgo y a desmitificar el uso de la tecnología en las empresas. Su objetivo es estructurar escenarios para lograr mejor rendimiento de las tecnologías para que la empresa se mantenga competitiva en el mercado. Desafortunadamente, la mayoría de las empresas no asumen esta función con determinación, y se les dificulta superar consistentemente los errores, por lo que sucumben en sus intentos por aprovechar de mejor manera las nuevas tecnologías.

La administración activa de la tecnología implica: 1) *Planificación*, con la que se identifican los objetivos, las potencialidades y las limitaciones de las nuevas tecnologías para el negocio. Además de expectativas de riesgo y rendimiento, necesidades de innovación, horizonte temporal de uso, cuestiones morales y requisitos legales. A partir de ahí, la empresa debe crear expectativas de mercado y realizar ajustes y previsiones para mitigar el riesgo y el posible bajo rendimiento de las tecnologías. 2) *Ejecución*, que implica implementar políticas de adquisición o desarrollo y de innovación. La empresa integra sus estrategias de desarrollo con las expectativas del mercado y selecciona las tecnologías específicas para suplir las necesidades de su modelo de negocios. 3) *Retroalimentación*, que consiste en administrar con eficiencia y eficacia las nuevas tecnologías adquiridas o desarrolladas. Esto se logra reequilibrando los buenos resultados para garantizar que la empresa se mantenga competitiva en el Nuevo Orden Mundial. Además, el rendimiento tecnológico se evalúa periódicamente para garantizar que se cumplen los objetivos de inversión.

En el proceso de diagnóstico estas características se utilizan para describir el modelo de madurez de la empresa de forma más detallada. Se analiza la evolución de cada una a través de los niveles de madurez y se describe su estado en cada uno, lo cual permite determinar si la empresa alcanza o no cierto nivel de madurez. En la Figura 2 se muestra el modelo relacional de proceso de diagnóstico, en el que se involucran las características y los niveles.





**Figura 2.** Modelo relacional del proceso de diagnóstico

Para determinar si una característica cumple con los criterios de cada nivel, se puede aplicar herramientas como cuestionarios, entrevistas, informes o formularios dirigidos a las personas que gestionan, son propietarios o dirigen cada proceso en el sistema. El objetivo es construir una perspectiva integral del manejo a la tecnología y cubrir los aspectos de análisis necesarios para encontrar el nivel de madurez individual de cada característica y luego el nivel general de la empresa. La estructura y contenido de estas herramientas de consulta las deben definir asesores externos a la empresa, para evitar los sesgos en el análisis y la interpretación posterior.

#### 4. CONCLUSIONES

Los problemas relacionados con el nivel de madurez de las empresas antes de tomar la decisión de seleccionar e implementar las nuevas tecnologías están relacionados con los conceptos de desarrollo y organización sostenibles, que evolucionaron en gran medida a raíz de la pandemia del Covid-19. La razón es que en la recuperación económica las empresas dieron cuenta de que debían ser más eficientes y eficaces para ajustar su modelo de negocios a las nuevas tecnologías, especialmente desde lo ecológico, tecnológico, financiero y de gestión del recurso humano. En otras palabras, un mayor nivel de madurez conduce a un mayor nivel de su sostenibilidad.

Otra cuestión básica que se debe tener presente en este proceso se relaciona con los desafíos que enfrentan las empresas que desean aprovechar los beneficios de las nuevas tecnologías. Con base en los análisis de Bulut y Ilhan [12] y Serna [13], se deduce que los desafíos preponderantes son realizar una transformación digital adecuada de sus procesos, y llevar a cabo una reinención ajustada y estructurada.

La transformación digital es esencial para la implementación de las nuevas tecnologías y debe realizarse teniendo en mente alcanzar un nivel de competitividad suficiente en el Nuevo Orden Mundial. Cuando esta transformación cubre toda la empresa, se genera un mejoramiento de la sostenibilidad, dado que se cuenta con datos e información suficientes para realizar un análisis ampliado del impacto ambiental de la producción y de la evaluación del ciclo de vida.

Por eso es que, para afrontar los retos de la selección e implementación de las nuevas tecnologías, se necesita que las empresas alcancen altos niveles de madurez.

Las etapas del proceso propuesto en este trabajo: 1) reinventar la empresa, 2) encontrar el nivel de madurez, y 3) diagnosticar, les permitirán a las empresas acercarse más a una integración vertical y horizontal completa de sus sistemas, sin lo cual puede que no logren una adecuada reactivación económica. En la integración vertical podrá conectar de mejor forma los procesos internos de la gestión tecnológica, mejorando al mismo tiempo la comunicación y los procesos de negocio con los socios externos.

La recomendación es a que estas tareas se estructuren como procesos estratégicos, en la forma de un plan de acción y con una visión compartida por todas las áreas y personas de la empresa [14, 15].

Una cuestión que se desprende del análisis a las investigaciones relacionadas con el tema de este trabajo es que, para mejorar el nivel de madurez de la empresa ante el reto de seleccionar, implementar y aprovechar las nuevas tecnologías, es necesario:

- Enfrentar la transformación digital como un proceso integral a toda la empresa, y evitar caer en la tentación de solamente hacerlo en las áreas de producción y distribución.
- Estructurar y utilizar la gestión de la calidad en todos los procesos.
- Mejorar las habilidades y capacidades del recurso humano relacionadas con el aprovechamiento y la innovación de las nuevas tecnologías.
- Desarrollar un sistema de medición integral para todos los procesos de la empresa.
- Mejorar los procesos de diseño de los productos atendiendo las características del contexto en la postpandemia, especialmente de los clientes y consumidores.

Las nuevas tecnologías generaron cambios sustanciales en muchos sectores sociales, especialmente en el económico y, junto con la pandemia del Covid-19, han hecho que las empresas tengan que repensarse e implementar nuevos modelos de negocios, que les permitan mantenerse vigentes y competitivas en la reactivación económica. Esta nueva realidad es tanto una oportunidad como un gran desafío, ya que la selección, implementación y aprovechamiento de las nuevas tecnologías requieren cambios complejos en todas las áreas y procesos de la empresa.

El objetivo principal de este trabajo es ayudarles a las empresas a determinar su nivel de madurez en relación con la decisión de implementar y aprovechar las nuevas tecnologías, para lo cual se les propone analizarse desde todas las áreas funcionales de gestión: producción y logística, calidad, recursos humanos, responsabilidad social y ambiental, innovación y proyección. Además, la idea es que se concienticen de que, para enfrentar los desafíos del Nuevo Orden Mundial, necesitan alcanzar altos niveles de madurez. Por lo tanto, se espera que apliquen las etapas del proceso propuesto en relación con reinventarse, encontrar su nivel de madurez y diagnosticarse.

### Agradecimientos

Este trabajo es producto del proyecto de investigación *Marco de trabajo para la integración de las nuevas tecnologías al sector productivo, orientado a la reactivación económica en el marco de la postpandemia*, financiado por el Fondo nacional de financiamiento para la ciencia, la tecnología y la innovación Francisco José de Caldas, a través del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Minciencias.

### REFERENCIAS

- [1] Westerman G. et al. (2014). *Leading Digital - Turning technology into business transformation*. Harvard Business Review Press.
- [2] McAfee A. y Brynjolfsson E. (2016). *The Second Machine Age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. W. W. Norton & Company.
- [3] Foster R. y Kaplan S. (2016). *Creative destruction whips through corporate america*, executive briefing for innosight. Recuperado: [https://www.innosight.com/wp-content/uploads/2016/08/creative-destruction-whips-through-corporate-america\\_final2015.pdf](https://www.innosight.com/wp-content/uploads/2016/08/creative-destruction-whips-through-corporate-america_final2015.pdf)
- [4] Frank A. et al. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *Int. J. Prod. Econ.* 210, 15–26.
- [5] Serna E. (2021). *Educación Siglo XXI*. Editorial Instituto Antioqueño de Investigación.
- [6] Popkova E. y Zmiyak K. (2019). Priorities of training of digital personnel for industry 4.0: Social competencies vs technical competencies. *Horizon* 27, 138–144.
- [7] Dikhanbayeva D. et al. (2021). Assessment of industry 4.0 maturity models by design principles. *Sustainability* 12, 9927.
- [8] Balog M. y Demidova S. (2021). Human capital development in the context of the Fourth Industrial Revolution. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 666, 062120.
- [9] Crosby P. (1979). *Quality is free*. McGraw-Hill.
- [10] Dorf R. (2000). *Technology Management Handbook*. CRC Press.
- [11] Serna E. (2021). *Educación virtual - Educación inteligente*. Editorial Instituto Antioqueño de Investigación.
- [12] Bulut S. y Ilhan H. (2021). Cloud-based architecture development to share vehicle and traffic information for industry 4.0. *Lecture Notes Netw. Syst.* 152, 41–54.
- [13] Serna E. (2022). Análisis reflexivo acerca de la necesidad de la transformación digital en las empresas en medio de la reactivación económica. Recuperado: <https://www.researchgate.net/publication/357884615>

- [14] Wang L. et al. (2016). Current status and advancement of cyber-physical systems in manufacturing. *J. Manuf. Syst.* 37, 517–527.
- [15] Müller J. y Voigt K. (2017). Industry 4.0 — Integration strategies for small and medium-sized enterprises. En 26th International Association for Management of Technology Conference. Vienna, Austria.

# Contribución de la economía circular a los objetivos de desarrollo sostenible de la Agenda 2030

Felipe Romero-Perdomo<sup>1</sup>  
Juan David Carvajalino-Umaña<sup>2</sup>  
Natalia Ardila<sup>3</sup>  
Miguel Ángel González-Curbelo<sup>4</sup>  
<sup>1,2,4</sup> *Universidad EAN*  
<sup>3</sup> *Pacto Global Red Colombia*  
Colombia

La economía circular EC y los objetivos de desarrollo sostenible ODS son iniciativas que están siendo promovidas a nivel mundial en el sector público, privado y no gubernamental, pero su interacción ha sido escasamente estudiada. En el presente estudio se determina el impacto de estrategias de EC sobre el desarrollo de los 17 ODS y sobre las metas de los ODS más representativos. Mediante un enfoque metodológico mixto de carácter cualitativo y cuantitativo, se utilizaron encuestas como instrumento de evaluación aplicadas a una lista de especialistas. Los resultados muestran que la EC impacta diferenciadamente las tres dimensiones de la sostenibilidad: la mayor contribución directa la recibe la dimensión ambiental con 64%, seguida de la dimensión económica con 62% y de la social con 40%. A nivel general de los ODS la EC contribuye positiva y directamente en 51% a su cumplimiento, positiva e indirectamente en 32%, neutralmente en 16% y negativamente en 1%. Las 5 estrategias de EC presentan una tendencia similar en su aporte a los ODS con una contribución positiva y directa entre 48% y 57%, destacándose la gestión de recursos y la gestión de clientes y comunidades. Los ODS que reciben mayor efecto positivo por parte de la EC son el 9 (industria, innovación e infraestructura), 12 (consumo y producción sostenible) y 13 (acción por el clima). Específicamente, la EC tiene un impacto alto del 46% sobre el avance de las metas de los ODS representativos, principalmente en la meta 9,2 (industria inclusiva y sostenible), 9,4 (infraestructura sostenible y resiliente), 12,5 (reducción, reciclado y reutilización de desechos) y 13,2 (políticas, estrategias y planes nacionales).

---

<sup>1</sup> Magíster en Proyectos de Desarrollo Sostenible.  
Contacto: [fromero44146@universidadean.edu.co](mailto:fromero44146@universidadean.edu.co)

<sup>2</sup> Magíster en Proyectos de Desarrollo Sostenible.  
Contacto: [jcarvaj14023@universidadean.edu.co](mailto:jcarvaj14023@universidadean.edu.co)

<sup>3</sup> Magíster en Desarrollo Sustentable y Gestión Ambiental.  
Contacto: [natalia.ardila@pactoglobal-colombia.org](mailto:natalia.ardila@pactoglobal-colombia.org)

<sup>4</sup> Ingeniero Químico y Doctor en Química.  
Contacto: [magonzalez@universidadean.edu.co](mailto:magonzalez@universidadean.edu.co)

## 1. INTRODUCCIÓN

El concepto de desarrollo sostenible se difundió en 1987 fruto del Informe Brundtland y se convirtió en objetivo global unificado desde la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en 1992 [1]. La raíz de su surgimiento fue la necesidad urgente de evaluar, delimitar y enfocar el impacto que tienen las actividades humanas sobre el medio ambiente considerando las futuras generaciones [2]. El desarrollo e impacto de la sostenibilidad poco a poco ha ido evolucionando a nivel económico, social y ambiental mediante la creación de iniciativas, herramientas y modelos que han permitido abordar diferentes problemáticas en el sector público y privado [3].

El uso de herramientas para realizar el cambio de una economía contaminante e insostenible a un modelo económico que gire en torno al uso eficiente de recursos y que sea ambientalmente amigable es un prerrequisito de toda estrategia para lograr un desarrollo local, regional, nacional e internacional [4]. Es por esto por lo que, desde una perspectiva integrada y holística, los principios de la economía circular EC son una alternativa al modelo económico de producción y consumo lineal de extraer, fabricar y disponer, ya que plantea que los sistemas de producción deben integrarse en el sistema cíclico de la naturaleza en el que no se desperdicia nada [5].

Actualmente, la EC está empezando a mostrar proyecciones y resultados prometedores con respecto a la competitividad, el crecimiento económico, la resiliencia, la generación de empleo y la protección del medio ambiente, especialmente en empresas multinacionales de países industrializados [6].

Otra iniciativa sostenible de importancia en la actualidad es la Agenda 2030, aprobada en 2015 por la Asamblea General de las Naciones Unidas. Esta es definida como un llamado universal para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad para 2030 [7]. La Agenda 2030 está basada en 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS, que a su vez los componen 169 metas, donde cada país miembro decide cómo relacionar e implementar nuevas políticas y regulaciones para su alcance [8]. Si bien la principal finalidad de la EC y los ODS es la sostenibilidad, los vínculos entre estas dos no son inmediatamente obvios. De hecho, el término EC ni siquiera aparece en la Agenda 2030 [9]. A pesar de ello, se ha planteado la posibilidad de utilizar la EC como una herramienta para desarrollar algunos ODS [10]. Por ejemplo, en el Plan de Acción de la Unión Europea para la EC de 2015, se indicó que la EC estaba destinada a contribuir al avance del ODS 12, que consiste en garantizar modalidades de consumo y producción sostenible [11].

Ante estas dos iniciativas, Colombia ha optado por desarrollar los ODS e implementar métodos y actividades basados en la EC como hoja de ruta nacional para construir una nueva cultura y nuevos modelos de negocio con transformación productiva y cierre de ciclos de materiales [12, 13]. Esta estrategia es uno de los vehículos centrales para cumplir con las metas del Crecimiento Verde de aumentar la tasa de reciclaje y nueva utilización de residuos sólidos a nivel nacional hasta el 17,9%, y de reducir los gases de efecto invernadero en 20% en el año 2030, en el marco del Acuerdo de París [14, 15]. De hecho, algunas empresas y entes públicos ya han comenzado a ejecutar ambas iniciativas bajo el liderazgo de sus áreas de sostenibilidad y responsabilidad social [16].

A pesar de que estos hechos muestran una interacción sinérgica entre los ODS y la EC, muy pocas investigaciones han estudiado los efectos específicos de la integración de la EC con los ODS. Por ende, cualquier contribución académica en busca de profundizar sobre la influencia de prácticas de EC que se estén usando en la actualidad para el cumplimiento de las metas de los ODS en Colombia es de interés y uso potencial para construir un futuro sostenible. El presente estudio buscó analizar la influencia de estrategias de EC sobre el avance de los ODS y sobre las metas de los ODS más representativos. El desarrollo y contenido de esta investigación hizo parte del trabajo de [17].

## 2. MÉTODO

Esta investigación se desarrolló bajo un enfoque metodológico mixto a través de una combinación de procesos de carácter cualitativo y cuantitativo mediante la utilización de instrumentos de recolección de

información como encuestas (Anexos 1 y 2) aplicadas a una lista de 15 especialistas (Tabla 1). La lista de especialistas fue definida a partir de dos criterios: 1) Realización de estudios de posgrados (maestría o doctorado) en sostenibilidad, y 2) experiencia laboral específica en EC o ODS mayor a 3 años. Abordar esta problemática poco estudiada, que incluyó la identificación de conceptos promisorios, representa la base para futuros estudios de iniciativas empresariales sostenibles que quieran relacionarse con la Agenda 2030.

**Tabla 1.** Descripción de especialistas

| Sector   | Cantidad | Posición o rol   |
|----------|----------|--|
| Academia | 2        | Profesor e investigador universitario<br>Profesor e investigador universitario   |
| Público  | 2        | Coordinadora a nivel nacional<br>Consultora  |
| Privado  | 11       | Experta del sector hidrocarburos y energía<br>CEO en consultoría sostenible<br>Miembro y mentor del <i>Circular Economy Club</i><br>Coordinadora de proyectos de clima y energía<br>Consultora senior<br>Consultora<br>Líder de Consultoría<br>Director de Innovación<br>Miembro del <i>Circular Economy Platform of the Americas</i><br>Director ejecutivo<br>Consultor |

Los supuestos definidos fueron: la EC contribuye positiva y directamente al cumplimiento de los ODS, y la EC tiene un impacto alto al avance de las metas de los ODS representativos. La influencia de la EC fue desglosada en 5 estrategias circulares reportadas por [18] (Tabla 2).

**Tabla 2.** Clasificación de estrategias de EC (a partir de [17])

| Tipos de prácticas de EC        | Descripción  |
|---------------------------------|--|
| Gestión de residuos             | Comprende las 4R (Reducir, Reutilizar, Reciclar y Recuperar) sobre los residuos generados en un proceso.   |
| Gestión de producto             | Enfocado a toda mejora o acción sostenible realizada sobre el producto a comercializar, como: eco diseño, eco innovación, diseño sostenible circular.                                    |
| Gestión de recursos             | Aplica para optimizaciones eficientes que reducen uso de recursos, sustituyen cantidad de materias primas (renovables o bio mejorados) y realizan tratamiento y reúso de aguas.          |
| Gestión de cadena de suministro | Relacionado con adquisiciones en equipos e infraestructura sostenible, simbiosis industrial, sistemas de poli generación y uso de materia prima bioquímica.                              |
| Clientes y comunidad            | Impacto social relacionado con el incentivo de consumo responsable y participación de la comunidad en procesos circulares junto a la recuperación de productos al final de su vida útil. |

El impacto de estas estrategias sobre los ODS fue categorizado en 4 niveles de acuerdo con [19] (Tabla 3) como también en las 3 dimensiones de la sostenibilidad reportada por [20] (Figura 1). De esta manera, se obtuvo la influencia general de la EC (%) sobre las dimensiones de la sostenibilidad de los ODS, la influencia general de la EC (%) sobre la totalidad de los ODS y la influencia de las 5 estrategias circulares (%) sobre la totalidad de los ODS. La influencia de las 5 estrategias circulares sobre cada ODS se cuantifica reemplazando las variables de respuesta de carácter nominal de la Tabla 3 por variables de carácter ordinal usando el valor numérico correspondiente. De esta manera, se obtuvo un valor numérico por ODS representativo de la influencia de cada estrategia circular y se ordenaron de mayor a menor como un ranking.

**Tabla 3.** Niveles de impacto definidos para evaluar el efecto de EC sobre ODS (a partir de [19])

| Niveles de impacto | Valor numérico | Descripción  |
|--------------------|----------------|--|
| Positivo directo   | +2             | La práctica de EC está directamente relacionada con el ODS contribuyendo positivamente a su logro                            |
| Positivo indirecto | +1             | La práctica de EC aporta indirectamente al alcance del ODS mediante sinergias que se pueden crear entre diferentes objetivos |
| Neutro             | 0              | La práctica de EC no presenta ningún vínculo, ya que no aporta ni positivo ni negativamente al logro del ODS                 |
| Negativo           | -1             | La práctica de EC limita o afecta el progreso del ODS  |



**Figura 1.** Clasificación de los ODS de la Agenda 2030 en las tres dimensiones de la sostenibilidad (a partir de [20])

Para seleccionar los ODS más representativos, integrando los 4 impactos definidos y las 5 estrategias circulares, se llevó a cabo un análisis de clústeres mediante el método jerárquico de Ward [21]. Los clústeres formados fueron comparados en su media, mediana, límite superior e inferior, rango intercuartílico y valores atípicos mediante un gráfico de cajas. Los ODS que se agruparon en el clúster con la mayor mediana fueron seleccionados para evaluar el nivel de impacto (Tabla 4) de cada estrategia circular sobre el cumplimiento de sus metas con base en [8] y [22]. Para dicho propósito, se aplicó una segunda encuesta a la misma lista de especialistas. De esta manera, se obtuvo la influencia general de las 5 estrategias circulares (%) sobre cada meta de los ODS más representativos.

**Tabla 4.** Niveles de impacto para evaluar el efecto de la EC sobre las metas de los ODS representativos (a partir de [8, 22])

| Nivel de impacto | Escala | Descripción   |
|------------------|--------|---|
| Alto             | 1      | La práctica de EC está directamente relacionada con la meta del ODS contribuyendo positivamente a su logro                        |
| Medio            | 0,66   | La práctica de EC aporta indirecta o parcialmente al progreso de la meta del ODS  |
| Bajo             | 0,33   | La práctica de EC crea condiciones que favorecen a la meta con la sinergia de otra práctica de EC                                 |
| Nulo             | 0      | La práctica de EC no presenta ningún vínculo con la meta del ODS, ya que no aporta ni positivo ni negativamente a su cumplimiento |

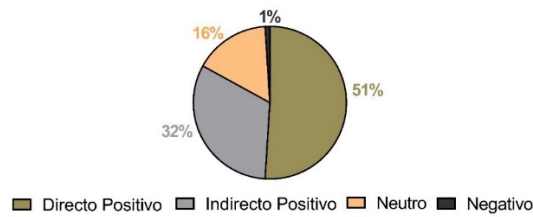
Las dos encuestas fueron aplicadas mediante la herramienta de encuestas en línea SurveyMonkey. La recopilación de datos se llevó a cabo durante el período de junio a noviembre de 2020. Las variables se analizaron mediante métodos no paramétricos para los análisis de datos de las encuestas.

Estos incluyeron análisis descriptivos, un análisis de conglomerados jerárquicos mediante un dendograma de Ward y prueba de Kruskal Wallis para las comparaciones de tres o más grupos con un  $\alpha = 0,05$  mediante el software estadístico SPSS 22.0. Por último, para realizar las gráficas, se empleó el software Prism 8 y las figuras que no provienen de análisis estadístico fueron realizadas usando Adobe Illustrator.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

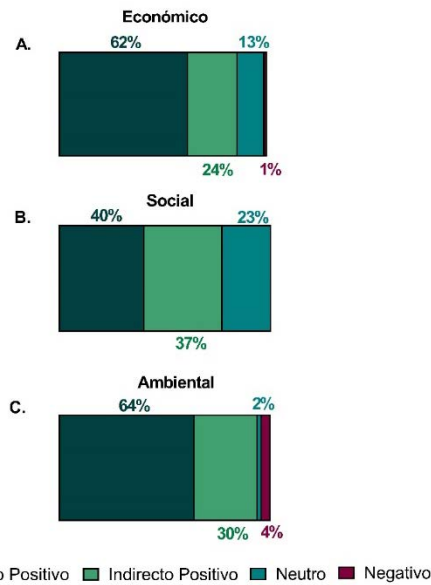
Los resultados mostraron que la EC impacta en 51% de forma directa positiva al avance de la Agenda 2030 en términos de los ODS, seguido de 32% con impacto indirecto, 16% con impacto neutro y, por último, 1% de impacto negativo (Figura 2). Cada porcentaje es la sumatoria de todos los porcentajes obtenidos en las 5 prácticas de EC.

Con base en el 51% de impacto directo positivo obtenido, se confirma el primer supuesto planteado, que afirma que la implementación de estrategias circulares contribuye positiva y directamente al cumplimiento de los ODS. Además, entre el impacto positivo directo e indirecto se abarca más del 80%, indicando claramente que los ODS se desarrollan a través de estrategias de EC.



**Figura 2.** Impacto de la EC sobre el cumplimiento de todos los ODS

Interesantemente, se observó que la EC a nivel de las 3 dimensiones de sostenibilidad en los 17 ODS influye de forma similar en lo económico y ambiental, siendo diferente en lo social (Figura 3).



**Figura 3.** Impacto de la EC sobre las 3 dimensiones de sostenibilidad de los 17 ODS: (A) Dimensión económica, (B) Dimensión social y (C) Dimensión ambiental

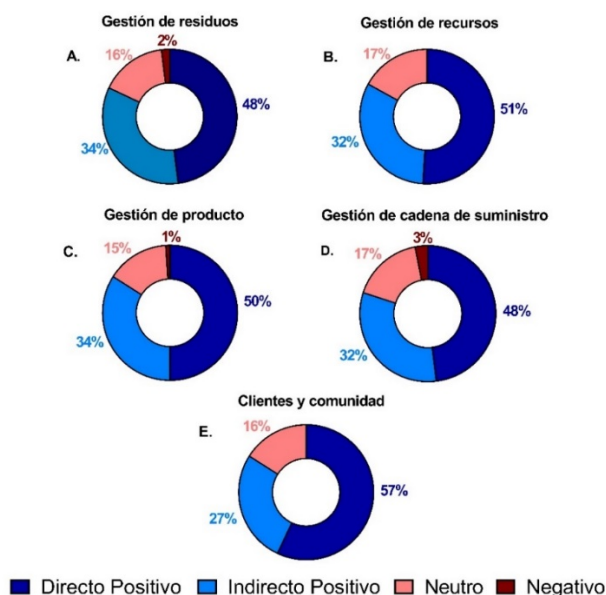
La dimensión sostenible que más impacta directa y positivamente la EC es la ambiental con 64%, seguida de la económica con 62% y de la social con 40%. El impacto positivo indirecto se ubicó en el segundo lugar en las tres dimensiones, donde en lo social mostró el mayor efecto con 37%. Similarmente, la dimensión social presentó el mayor impacto neutro, representando casi el doble del económico y más de 10 veces del ambiental. Por último, el impacto negativo se registró en la dimensión ambiental y económica con 4% y 1%, respectivamente. El análisis de los datos obtenidos entre el efecto general en los ODS y las dimensiones de sostenibilidad permite deducir que la EC influye principalmente de forma positiva desde el área ambiental y económica. Aunque en el contexto social se observó aporte positivo directo e indirecto, su mayor efecto es de manera neutra, siendo posiblemente la principal causa del 16% observado.

Recientes líneas de investigación han propuesto fortalecer el desarrollo sostenible centrado en el ser humano y la EC [23]. En caso de que nuestra próxima economía sea netamente de naturaleza circular, también tendrá que proporcionar el pacto de generar bienestar para todos los seres humanos [24]. Se ha reportado que la inclusión de indicadores de circularidad en el Índice de Desarrollo Humano puede abordar las deficiencias del enfoque de desarrollo humano actual, que carece de criterios de sostenibilidad ambiental a largo plazo para preservar la naturaleza como base de la existencia humana [25].

Al analizar cada estrategia circular, se encontró que las 5 presentaron una tendencia similar en su comportamiento. En la Figura 4 se observa que el efecto positivo directo estuvo en un rango entre 48 y 57%, siendo mayor la práctica Clientes y Comunidad, el indirecto entre 27 y 34%, resaltando gestión de residuos y gestión de producto, el neutro entre 15 y 17% y el negativo entre 0 y 3%. Interesantemente, las prácticas que registraron porcentajes negativos son gestión de residuos, gestión de productos y gestión de cadena de suministro, que están relacionadas con la dimensión ambiental y económica. Lo anterior indica que independientemente de que la EC promueva en gran medida aspectos económicos y ambientales, también



puede causar mínimas afectaciones. Por ejemplo, a corto plazo puede generar aumento de costos en la implementación de nuevas tecnologías, siendo más crítico para los nuevos emprendedores. Además, la relación exacta que existe entre la maximización de los beneficios y la minimización de los efectos negativos de la EC sobre el medio ambiente no está totalmente clara, ya que, hasta ahora, se está empezando a estandarizar procesos mediante la simbiosis industrial o colaboración interempresarial [26].



**Figura 4.** Impacto de los 5 tipos de prácticas de EC sobre el avance de los 17 ODS: (A) Gestión de residuos, (B) Gestión de producto, (C) Gestión de recursos, (D) Gestión de cadena de suministro y (E) Clientes y comunidad

Según [10], existe una relación estadísticamente significativa entre algunos indicadores de la EC y los ODS y entre algunos indicadores de la EC y el promedio de valor del cumplimiento de los ODS en países de la Unión Europea. Entre los indicadores usados se encuentra la generación de residuos municipales per cápita, tasa de reciclaje de residuos municipales, tasa de uso de material circular, personas que gestionan EC, entre otras, los cuales hacen parte de los 5 tipos de criterios usados en esta evaluación. Teniendo en cuenta lo anterior, la EC tiene una transversalidad en sus prácticas frente al desarrollo de los ODS.

A pesar de que las cinco prácticas de EC evaluadas en este estudio buscan abarcar el concepto completo de EC, varios autores plantean que muchas empresas cometen el error de no conectar dichos procesos con visión circular, sino que los implementan enfocados en mejorar indicadores [27, 28]. Un estudio comparativo de empresas del sector energético mostró que las prácticas de gestión de residuos, eficiencia de los recursos, adquisiciones sostenibles, técnicas de recuperación de energía y la generación baja en carbono están activos en la mayoría de los casos.

Sin embargo, pocas empresas mencionan el concepto de EC como parte de su modelo de negocio. En particular, un enfoque sistemático para la planificación de plantas y productos al final de su vida útil, así como la colaboración de múltiples partes interesadas para la optimización del uso de recursos y residuos no se presentó y podrían respaldar la transición hacia el funcionamiento del modelo circular [18]. Por ende, la alineación de las estrategias corporativas con la EC es necesaria y requiere apoyo metodológico a la toma de decisiones y formulaciones de políticas base que hagan parte de la misión y visión empresarial [29].

Con relación a cada ODS, se evidenció que cada uno es impactado de forma diferente por la EC (Figura 5). Los ODS que presentaron mayormente el impacto directo fueron el ODS 6 (agua limpia y saneamiento) con 62%, ODS 7 (energía asequible y no contaminante) con 59%, ODS 8 (trabajo decente y crecimiento económico) con 55%, ODS 9 (industria, innovación e infraestructura) con 78%, ODS 11 (ciudades y comunidades sostenibles) con 67%, ODS 12 (consumo y producción sostenible) con 90%, ODS 13 (acción por el clima) con 78%, ODS 14 (vida submarina) con 51%, ODS 15 (vida de ecosistemas terrestres) con 61% y ODS 17 con 59%. De estos ODS, el número 12 siempre ha sido el más relacionado con la EC y el 90% obtenido lo corrobora, ya que la esencia entre estos es la misma: desvincular la actividad económica lineal del uso de recursos para disminuir los impactos ambientales y sociales asociados [19].

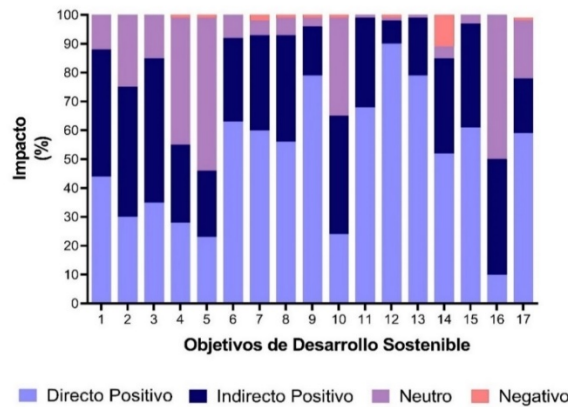


Figura 5. Impacto de la EC sobre el cumplimiento de cada ODS

Otros dos ODS tuvieron valores similares, el ODS 9 y ODS 13, que están asociados con la adaptación de las industrias para hacerlas más resilientes y sostenibles integralmente, incluyendo la mitigación al cambio climático. En el *Circular Gap Report* del 2019 se plantea que la implementación de prácticas de EC podría reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en más de un tercio para 2100, además de las tecnologías bajas en carbono existentes [30].

Para esto, se debe incluir nueva infraestructura, como energía renovable, relacionada con el ODS 7, agua circular y gestión de residuos, recursos, logística inversa y apoyo a la investigación e innovación, relacionada en parte con el ODS 6, entre otros. Otro ODS por destacar es el número 8, que está asociado con la EC y con los nuevos modelos comerciales circulares que se están creando, que son una fuente potencial importante de empleos verdes [19]. Varios estudios han encontrado que la EC es una oportunidad de varios billones de euros a nivel mundial, con un beneficio neto anual de 1,8 billones de euros solo en la Unión Europea para 2030 [31].

En contraste, se observó que el ODS 1 (fin de la pobreza), ODS 2 (hambre cero), ODS 3 (salud y bienestar), ODS 10 (reducción de las desigualdades) y ODS 16 (paz, justicia e instituciones sólidas) tuvieron su mayor porcentaje en el impacto positivo indirecto en un rango entre 41% y 50%. El presente resultado indica que las prácticas de EC aportan indirectamente al alcance de estos cinco ODS mediante sinergias que se pueden crear entre diferentes objetivos. Por ejemplo, los impactos directos generados en el ODS 8 y ODS 9 sobre generación de empleo y gestión del agua e innovación en el campo agrícola, como compostaje, mejora el suelo y sistemas alimentarios circulares, indirectamente contribuyen a la reducción de la pobreza y del hambre, los cuales son el ODS 1 y ODS 2, respectivamente [32, 33].

Respecto al impacto neutro, el ODS 4 (educación de calidad) y ODS 5 (igualdad de género) fueron los que recibieron su más alta calificación con 43% y 53%, respectivamente. Aquí, las prácticas de EC no contribuyen a la eliminación de la discriminación, la violencia y las prácticas nocivas contra mujeres y niñas, y metas para mejorar su empoderamiento, relacionado con el ODS 5 [34]. Por otro lado, la educación es un vehículo de difusión de la EC, aumentando la innovación en investigación, pero al analizarlo en el otro sentido, es decir, que la igualdad de acceso y mejora en la educación técnica y profesional se vea beneficiada por la EC, se encontró que no hay beneficio recibido [35].

Probablemente, en unos años el avance de la EC impacte de forma más diversificada al construir sinergias con otras iniciativas sostenibles como la responsabilidad social corporativa [19]. Aunque ningún ODS se destacó por tener el impacto negativo sobre los otros tipos de impacto por parte de la EC, el ODS 14 registró 12%. En el ODS 14 (vida debajo del agua), predominó el impacto directo positivo. Sin embargo, la incertidumbre ya mencionada de la minimización de efectos negativos en el medio ambiente por los nuevos procesos de EC que se propongan genera que se plantee la posibilidad de una pequeña contaminación a corto plazo que sea mitigable.

Los ODS más beneficiados por cada práctica de EC fueron definidos relacionando desde el impacto positivo directo hasta el negativo usando la escala desde +2 hasta -1 con relación a cada variable nominal. De esta

manera, se obtuvo un ranking de los ODS por cada práctica de EC (Figuras 6 y 7). El primer lugar en gestión de residuos lo ocuparon los ODS 9, ODS 12 y ODS 13. En gestión de recursos, el ODS 6 ocupó el primer lugar seguido del ODS 12 y ODS 13. En gestión de productos, el ODS 9 y ODS 12 fueron lo más impactados con la calificación máxima. En cadena de suministro, los ODS 9 y ODS 12 fueron los más beneficiados. Por último, en cliente y comunidad, el ODS 12 y ODS 11 ocuparon los dos primeros lugares. Los 5 rankings obtenidos representan una herramienta para saber a qué ODS una organización está impactando a partir del tipo de práctica de EC que decidan implementar, generando mayor estrategia en sus inversiones.

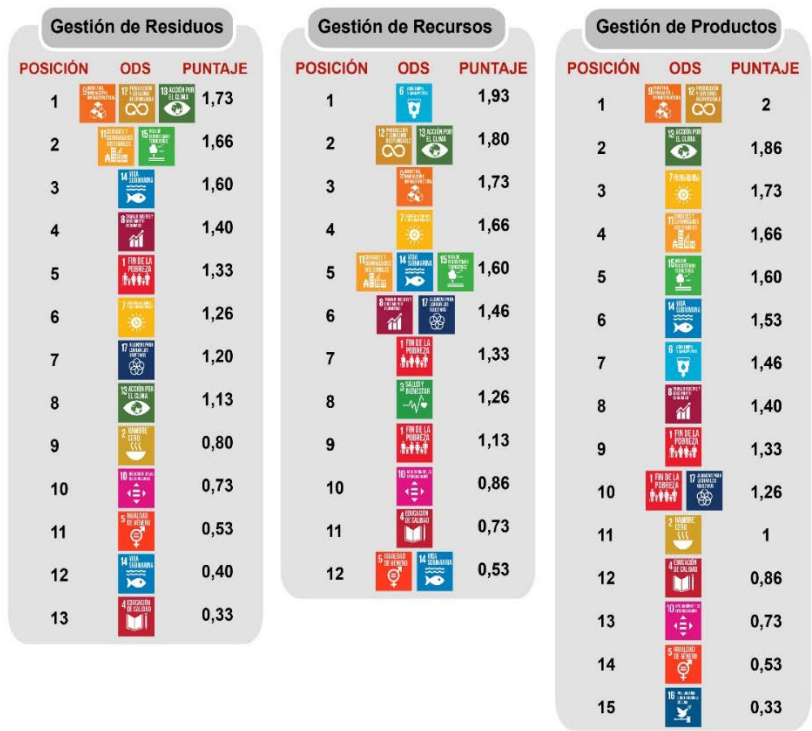


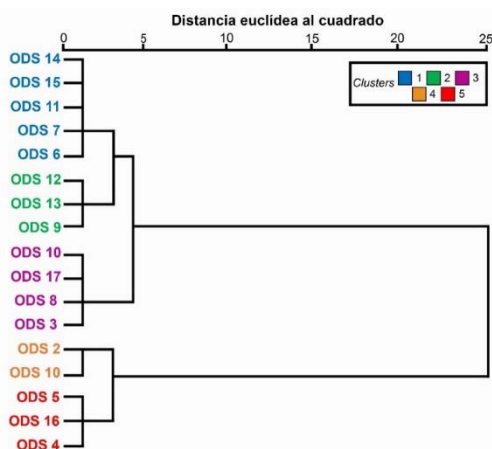
Figura 6. Ranking de ODS obtenidos para la gestión de residuos, recursos y productos



Figura 7. Ranking de ODS obtenidos para la cadena y suministro y cliente y comunidad

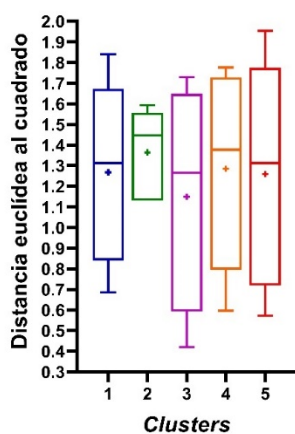
Para seleccionar los ODS más representativos para las siguientes fases, integrando los 4 impactos definidos y los 5 tipos de práctica de EC, se llevó a cabo un análisis de clústeres mediante el método jerárquico de

Ward [34]. Se observó la formación de 5 clústeres con los 17 ODS (Figura 8). El primer clúster estuvo compuesto por los ODS 14, ODS 15, ODS 11, ODS 7 y ODS 6. El segundo clúster por los ODS 12, ODS 13 y ODS 9. El tercer clúster por los ODS 10, ODS 17, ODS 8 y ODS 3. El cuarto clúster por los ODS 2 y ODS 10. Finalmente, el quinto clúster por los ODS 5, ODS 16 y ODS 4.



**Figura 8.** Dendrograma de Ward del análisis de conglomerados jerárquicos. Cinco grupos están determinados por la línea de fenómeno a una distancia de enlace de 0

Los 5 clústeres formados fueron comparados en su media, mediana, límite superior e inferior, rango intercuartílico y valores atípicos mediante un gráfico de cajas (Figura 9). De los anteriores parámetros de respuesta, la mediana fue el único que se utilizó para la selección del clúster dada la distribución asimétrica obtenida al evaluar variables nominales y ordinales en el actual estudio, mientras que los demás parámetros fueron de descripción.



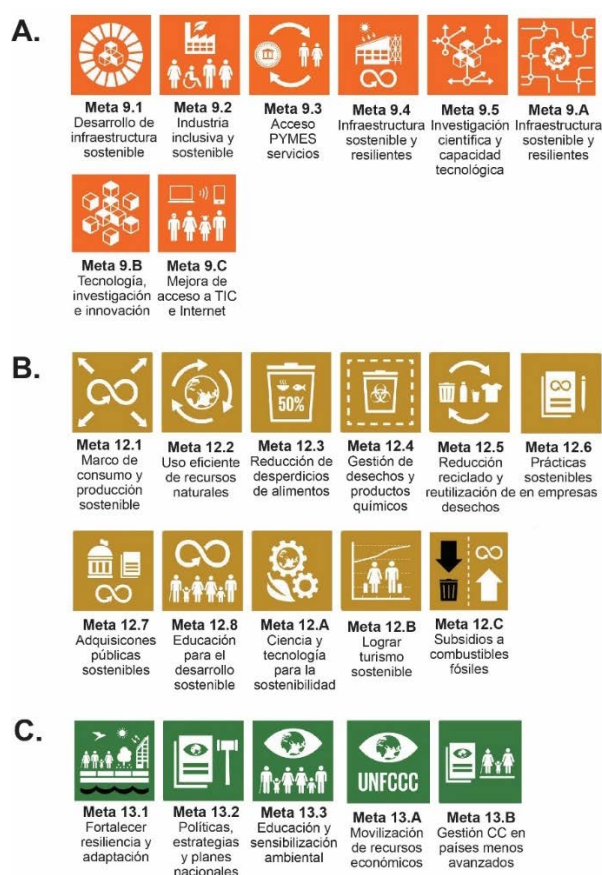
**Figura 9.** Diagrama de cajas y bigotes de los clústeres de los ODS obtenidos en el dendrograma. La línea interna en cada caja indica la mediana. El (+) indica la media. La línea horizontal máxima de la caja es el cuartil 3 (Q3) y la línea menor el cuartil 1 (Q1). La diferencia entre Q3 y Q1 define el rango intercuartílico. Los bigotes externos de la caja son el límite superior e inferior

Se observó que el clúster 2 fue el que mayor mediana tuvo con 1,46 de distancia euclídea al cuadrado, seguido del clúster 4 con 1,38, clúster 1 con 1,31, clúster 5 con 1,30 y clúster 3 con 1,27. Adicionalmente, el clúster 2 presentó la mayor media (1,46) y el menor rango intercuartílico (0,43) como también límite superior (1,6) e inferior (1,12), mostrando la mayor cercanía entre el 50% de los datos y homogeneidad entre estos. Adicionalmente, en ningún clúster se encontraron valores atípicos. Estos hallazgos sugieren que los ODS agrupados en el clúster 2 son los más impactados por las prácticas de EC. Por ende, el ODS 9, ODS 12 y ODS 13 son los ODS más impactados.

Según la Plataforma de Conocimiento Sostenible de las Naciones Unidas, el ODS 9 está compuesto de 8 metas que abarcan tres aspectos importantes del desarrollo sostenible: infraestructura, industrialización e innovación (Figura 10A). La infraestructura proporciona las estructuras y los sistemas físicos básicos esenciales para el funcionamiento de una sociedad o empresa. La industrialización impulsa el crecimiento

económico, crea oportunidades de empleo y, por lo tanto, reduce la pobreza. La innovación promueve las capacidades tecnológicas de los sectores industriales e impulsa el desarrollo de nuevas habilidades [36]. El ODS 12 tiene por objetivo garantizar las modalidades de consumo y producción sostenibles. Propone en sus 11 metas (Figura 10B) reducir la huella ecológica mediante un cambio en los métodos de producción y consumo de bienes y recursos. Incluye el llamado a la acción a las industrias, los negocios y los consumidores a reciclar y reducir los desechos [37].

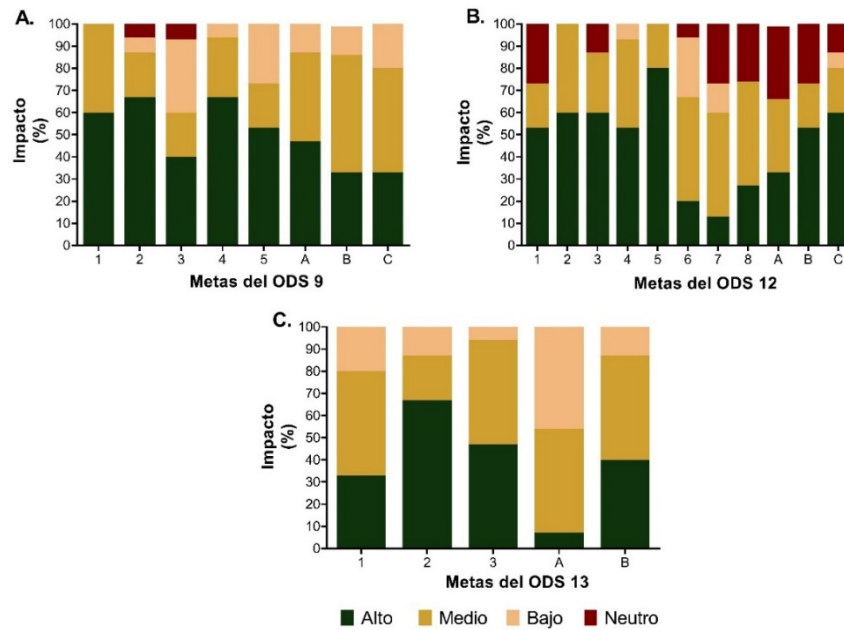
Además, fomenta el apoyo a los países en desarrollo para avanzar hacia patrones sostenibles de consumo. La modalidad de producción sostenible utiliza menos recursos por el mismo valor de producción económica, mientras que el consumo sostenible reduce la necesidad de la extracción excesiva de recursos [38]. El programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), señala que el ODS 13 tienen por fin abordar las necesidades de los países en desarrollo en cuanto a la adaptación al cambio climático e inversión en el desarrollo bajo en carbono [39]. Cumplir con las 5 metas (Figura 10C) que incluye este ODS, comprende integrar las medidas de reducción del riesgo de desastres en las políticas y estrategias nacionales.



**Figura 10.** Metas de los ODS representativos evaluados en el presente estudio: (A) ODS 9, (B) ODS 12 y (C) ODS 13

Asimismo, acudiendo a la voluntad política y al uso de la tecnología, busca limitar el aumento de la temperatura media global, evitando un incremento mayor a 1,5 °C [40]. La EC puede desempeñar un rol relevante ante este reto, debido a que su adopción en reemplazo de la economía lineal permite reducir emisiones de gases efecto invernadero en diferentes procesos industriales y así mejorar la respuesta actual a la crisis climática global [41]. Asimismo, la bioeconomía presenta un potencial sustancial al promover el uso de productos biobasados para reemplazar los insumos agrícolas que provienen de recursos no renovables, como por ejemplo biofertilizantes [42, 43]

Los resultados de los especialistas mostraron que cada meta del ODS 9, ODS 12 y ODS 13 es impactada de forma diferente por la EC (Figura 11). En general, las metas de los tres objetivos presentaron 46% de impacto alto, 34% de impacto medio, 11% de impacto bajo y 7,83% de impacto nulo, confirmando el segundo supuesto, ya que La EC sí tiene impacto alto al avance de las metas de los ODS representativos.



**Figura 1.** Impacto de EC sobre el cumplimiento de la meta del ODS seleccionada: (A) ODS 9, (B) ODS 12 y (C) ODS 13

Al comparar las metas de los tres objetivos, se observó que el ODS 9 mostró el mayor impacto alto con 50%, seguido del ODS 12 con 46% y del ODS 13 con 38%. En el impacto medio, el ODS 13 obtuvo 41% mientras que el ODS 9 y ODS 12 tuvieron 33% y 32%. Para el impacto bajo, el ODS 13 resaltó con 20% como también en el impacto nulo, ya que presentó 0%. Específicamente, todas las metas del ODS 9, excepto la B y C presentaron el impacto alto como el más predominante, destacando a la meta 2 (industria inclusiva y sostenible) y 4 (infraestructura sostenible y resiliente) con 67% (Figura 11A). La meta B y C tuvieron el impacto medio en mayor media con 53 y 47%.

Luego, se ubicó el impacto bajo con un promedio de 15%, dejando en el último lugar al impacto nulo, el cual fue menor a 1%. En el ODS 12, siete metas mostraron mayormente impacto alto entre un rango de 53 a 80%, donde la meta 5 (reducción, reciclado y reutilización de desechos) fue la más alta no solo dentro del ODS 12, sino también entre los otros dos objetivos. Para las metas 6, 7 y 8, se observó un comportamiento similar en el impacto medio con un 47%. El impacto bajo del ODS 12 fue de 4,91%, pero curiosamente se registró 15,8% para el impacto nulo (Figura 11B). Finalmente, en el ODS 13 se destacó la meta 2 (políticas, estrategias y planes nacionales) con 67% de impacto alto. Las demás metas presentaron valores similares entre el impacto alto y medio y un poco el bajo. Interesantemente, el ODS 13 fue el único de los tres objetivos que no presentó impacto nulo, como se mencionó anteriormente (Figura 11C).

#### 4. CONCLUSIONES

Los hallazgos del presente estudio muestran una clara relación entre la EC y los ODS. La EC contribuye positiva y directamente al cumplimiento de los ODS e impacta favorablemente la dimensión económica y ambiental.

Los ODS que reciben mayor impacto positivo de parte de la EC son el ODS 9 (industria, innovación e infraestructura), ODS 12 (consumo y producción sostenible) y ODS 13 (acción por el clima).

Por último, la EC tiene un impacto alto sobre el avance de las metas de los ODS representativos, principalmente en la meta 9,2 (industria inclusiva y sostenible), 9,4 (infraestructura sostenible y resiliente), 12,5 (reducción, reciclado y reutilización de desechos) y 13,2 (políticas, estrategias y planes nacionales).

#### REFERENCIAS

- [1] Luetz J. y Walid M. (2019). Social responsibility versus sustainable development in United Nations policy documents: A meta-analytical review of key terms in human development reports. Springer.

- [2] Mensah J. y Casadevall S. (2019). Sustainable development: Meaning, history, principles, pillars, and implications for human action: Literature review. *Cogent Social Sciences* 5(1), 1653531.
- [3] Lozano R. (2020). Analysing the use of tools, initiatives, and approaches to promote sustainability in corporations. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management* 27(2), 982-998.
- [4] Sillanpaa M. y Ncibi C. (2019). *The Circular Economy, Case Studies about the Transition from the Linear Economy*. Elsevier.
- [5] Korhonen J. et al. (2018). Circular economy: the concept and its limitations. *Ecological economics* 143, 37-46.
- [6] Geissdoerfer M. et al. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production* 143, 757-768.
- [7] Griggs D. et al. (2013). Sustainable development goals for people and planet. *Nature* 495(7441), 305-307.
- [8] Nilsson M. et al. (2016). Policy: map the interactions between Sustainable Development Goals. *Nature* 534(7607), 320-322.
- [9] Einarsson S. (2019). What is the link between Circular Economy and the Sustainable Development Goals (SDGs)? Recuperado: <https://www.linkedin.com/pulse/what-link-between-circular-economy-ce-sustainable-goals-einarsson#:~:text=SDG%201%20%E2%80%93%20No%20Poverty%3A%20Ado,with%20SDGs%208%20and%209>
- [10] Rodríguez J. et al. (2019). Analysis of the relations between circular economy and sustainable development goals. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology* 26(8), 708-720.
- [11] European Commission. (2014). *The circular economy: Connecting, creating and conserving value*. Recuperado: <http://www.eesc.europa.eu/resources/docs/the-circulareconomy.pdf>.
- [12] Gobierno de la República de Colombia. (2018). *Estrategia nacional de economía circular: Cierre de ciclos de materiales, innovación tecnológica, colaboración y nuevos modelos de negocio*. Recuperado: [http://www.andi.com.co/Uploads/Estrategia%20Nacional%20de%20EconA%CC%83%C2%B3mia%20Circular-2019%20Final.pdf\\_637176135049017259.pdf](http://www.andi.com.co/Uploads/Estrategia%20Nacional%20de%20EconA%CC%83%C2%B3mia%20Circular-2019%20Final.pdf_637176135049017259.pdf)
- [13] DNP. (2018a). Documento CONPES 3918: Estrategia para la implementación de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) en Colombia. Departamento Nacional de Planeación.
- [14] DNP. (2018b). Documento CONPES 3934: Política de crecimiento verde. Departamento Nacional de Planeación.
- [15] DNP. (2016). Documento CONPES 3874: Política nacional para la gestión integral de residuos sólidos. Departamento Nacional de Planeación.
- [16] DANE. (2020). *Primer reporte de economía circular*. Departamento Nacional de Estadística.
- [17] Romero F. y Carvajalino J. (2021). Impacto de la economía circular en los objetivos de desarrollo sostenible: análisis de organizaciones adheridas a Pacto Global Red Colombia de las Naciones Unidas. Maestría en Proyectos de Desarrollo. Universidad EAN.
- [18] De Selliers D. y Spataru C. (2019). Corporate strategies for a circular economy: A comparative study of energy companies. En 2nd International Conference on Applied Research in Management, Economics and Accounting. Brussels, Belgium.
- [19] Schroeder P. et al. (2019). The relevance of circular economy practices to the sustainable development goals. *Journal of Industrial Ecology* 23(1), 77-95.
- [20] Vinuesa R. et al. (2020). The role of artificial intelligence in achieving the Sustainable Development Goals. *Nature Communications* 11(1), 1-10.
- [21] Anuşlu M. y Firat S. (2019). Clústering analysis application on Industry 4.0-driven global indexes. *Procedia Computer Science* 158, 145-152.
- [22] Aldana M. (2019). Oportunidades de las empresas colombianas en sostenibilidad bajo los estándares GRI para el cumplimiento de las metas ODS 2030. Tesis de Maestría. Universidad EAN.
- [23] Clube R. y Tennant M. (2020). The Circular Economy and human needs satisfaction: Promising the radical, delivering the familiar. *Ecological Economics* 177, 106772.
- [24] De Angelis R. (2018). *Business models in the circular economy: Concepts, examples, and theory*. Springer.
- [25] Schroeder P. et al. (2020). Making the circular economy work for human development. *Resources, Conservation and Recycling* 156, 104686.
- [26] Korhonen J. et al. (2018). Circular economy: the concept and its limitations. *Ecological Economics* 143, 37-46.
- [27] Corcelli F. et al. (2019). Transforming rooftops into productive urban spaces in the Mediterranean. An LCA comparison of agri-urban production and photovoltaic energy generation. *Resources, Conservation and Recycling* 144, 321-336.
- [28] Gallagher J. et al. (2019). Adapting stand-alone renewable energy technologies for the circular economy through eco-design and recycling. *Journal of Industrial Ecology* 23(1), 133-140.
- [29] De Jesus A. y Mendonça S. (2018). Lost in transition? Drivers and barriers in the eco-innovation road to the circular economy. *Ecological Economics* 145, 75-89.
- [30] Circle Economy. (2019). *The Circularity Gap Report 2019*. Recuperado: <https://www.circle-economy.com/resources/the-circularity-gap-report-2019>
- [31] Ellen Macarthur Foundation. (2019a). *Growth Within: A Circular Economy Vision for a Competitive Europe*. Growth-Within.

- [32] Dewick P. et al. (2020). Circular economy finance: Clear winner or risky proposition? *Journal of Industrial Ecology* 24(6), 1192-1200.
- [33] Ellen Macarthur Foundation. (2019). Our food system is no longer fit for the 21st century. Recuperado: <https://www.weforum.org/agenda/2019/01/how-to-build-a-circular-economy-for-food/>
- [34] Suárez B. et al. (2019). Operational principles of circular economy for sustainable development: Linking theory and practice. *Journal of Cleaner Production* 214, 952-961.
- [35] Murray A. et al. (2017). The circular economy: An interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. *Journal of Business Ethics* 140(3), 369-380.
- [36] Mantlana K. y Maoela M. (2020). Mapping the interlinkages between sustainable development goal 9 and other sustainable development goals: A preliminary exploration. *Business Strategy & Development* 3(3), 344-355.
- [37] Salvia A. et al. (2019). Assessing research trends related to Sustainable Development Goals: Local and global issues. *Journal of Cleaner Production* 208, 841-849.
- [38] Priyadarshini P. y Abhilash P. (2020). Circular economy practices within energy and waste management sectors of India: A meta-analysis. *Bioresource Technology* 304, 123018.
- [39] Lofts K. et al. (2017). Brief on Sustainable Development Goal 13 on taking action on climate change and its impacts: Contributions of international law, policy and governance. McGill J.
- [40] Haines A. et al. (2017). Short-lived climate pollutant mitigation and the Sustainable Development Goals. *Nature Climate Change* 7(12), 863-869.
- [41] Romero F. et al. (2022). Research Trends on Climate Change and Circular Economy from a Knowledge Mapping Perspective. *Sustainability* 14(1), 521.
- [42] Romero F. et al. (2019). Plant growth promoting rhizobacteria and their potential as bioinoculants on *Pennisetum clandestinum* (Poaceae). *Revista de Biología Tropical* 67(4), 825-832.
- [43] Mendoza J. et al. (2021). *Bacillus* strains immobilized in alginate macrobeads enhance drought stress adaptation of guinea grass. *Rhizosphere* 19, 100385.



## Anexo 1. Encuesta No. 1

Relación de las estrategias de economía circular con los objetivos de desarrollo sostenible.

Estimado especialista,

La presente encuesta tiene por finalidad evaluar el impacto de las estrategias de economía circular (EC) sobre los objetivos de desarrollo sostenible (ODS). La información suministrada será usada para fines académicos.

¡Muchas gracias por su tiempo y colaboración!

A continuación, encontrará una tabla donde relacionará cinco estrategias de EC con los diecisiete ODS. Seleccione una de las cuatro opciones correspondiente al nivel de impacto entre cada ODS y EC.

|   |
|---|
| Positivo Directo - La práctica de EC tiene de manera directa un resultado favorable en el logro del ODS     |
| Positivo Indirecto - La práctica de EC tiene de manera indirecta un resultado favorable en el logro del ODS |
| No hay - La práctica no impacta de manera positiva ni negativa en el logro del ODS                          |
| Negativo - La práctica impacta de manera negativa en el logro del ODS                                       |

|  | <b>Gestión de Residuos</b><br>4R (Reducir, Reutilizar, Reciclar y Recuperar) | <b>Gestión de Recursos</b><br>(materias primas renovables, tratamiento y reúso de aguas) | <b>Gestión de productos</b><br>(ecodiseño, eco innovación, diseño sostenible circular) | <b>Cadena de Suministro</b><br>(adquisiciones sostenibles, simbiosis industrial) | <b>Clientes y Comunidad</b><br>(consumo responsable y participación de la comunidad en procesos circulares) |
|--|--|--|--|--|---|
| ODS 1<br>Fin de la pobreza                       |  |  |  |  |   |
| ODS 2<br>Hambre cero                             |  |  |  |  |   |
| ODS 3<br>Salud y bienestar                       |  |  |  |  |   |
| ODS 4<br>Educación de calidad                    |  |  |  |  |   |
| ODS 5<br>Igualdad de género                      |  |  |  |  |   |
| ODS 6<br>Agua limpia y saneamiento               |  |  |  |  |   |
| ODS 7<br>Energía asequible y no contaminante     |  |  |  |  |   |
| ODS 8<br>Trabajo decente y crecimiento económico |  |  |  |  |   |
| ODS 9<br>Industria, innovación e infraestructura |  |  |  |  |   |
| ODS 10<br>Reducción de las desigualdades         |  |  |  |  |   |
| ODS 11<br>Ciudades y comunidades sostenibles     |  |  |  |  |   |
| ODS 12<br>Producción y consumo responsables      |  |  |  |  |   |
| ODS 13<br>Acción por el clima                    |  |  |  |  |   |

---

ODS 14  
Vida submarina

---

ODS 15  
Vida de  
ecosistemas  
terrestres

---

ODS 16  
Paz, justicia e  
instituciones  
sólidas

---

ODS 17  
Alianzas para lograr  
los objetivos

---

## Anexo 2. Encuesta No. 2

Influencia de las estrategias de economía circular sobre las metas de los objetivos de desarrollo sostenible representativos.

Estimado especialista,

La presente encuesta tiene por finalidad estudiar el impacto de las estrategias de economía circular (EC) sobre el cumplimiento de las metas de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS). La información suministrada será usada para fines académicos.

¡Muchas gracias por su tiempo y colaboración!

A continuación, encontrará una tabla por cada meta de los ODS 9, 12 y 13 que relaciona las cinco estrategias de EC. Estos ODS fueron los que presentaron un impacto positivo directo en la anterior encuesta. Marque con una X la casilla correspondiente al nivel de impacto: Nulo – Bajo – Medio – Alto, que considere.

Como ejemplo, para el ODS 13 se mostró lo siguiente:

| <b>Meta 13.2. Políticas, estrategias y planes nacionales</b>                 |  |   |  |   |
|--|--|---|--|---|
| <b>Gestión de Residuos</b><br>4R (Reducir, Reutilizar, Reciclar y Recuperar) | <b>Gestión de Residuos</b><br>4R (Reducir, Reutilizar, Reciclar y Recuperar) | <b>Gestión de productos</b><br>(eco diseño, eco innovación, diseño sostenible circular) | <b>Cadena de Suministro</b><br>(adquisiciones sostenibles, simbiosis industrial, poli generación energética) | <b>Clientes y Comunidad</b><br>(consumo responsable y participación de la comunidad en procesos circulares) |
| <b>Meta 13.1. Fortalecer la resiliencia y adaptación</b>                     |  |   |  |   |
| <b>Gestión de Residuos</b><br>4R (Reducir, Reutilizar, Reciclar y Recuperar) | <b>Gestión de Residuos</b><br>4R (Reducir, Reutilizar, Reciclar y Recuperar) | <b>Gestión de productos</b><br>(eco diseño, eco innovación, diseño sostenible circular) | <b>Cadena de Suministro</b><br>(adquisiciones sostenibles, simbiosis industrial, poli generación energética) | <b>Clientes y Comunidad</b><br>(consumo responsable y participación de la comunidad en procesos circulares) |
| <b>Meta 13.3. Educación y sensibilización ambiental</b>                      |  |   |  |   |
| <b>Gestión de Residuos</b><br>4R (Reducir, Reutilizar, Reciclar y Recuperar) | <b>Gestión de Residuos</b><br>4R (Reducir, Reutilizar, Reciclar y Recuperar) | <b>Gestión de productos</b><br>(eco diseño, eco innovación, diseño sostenible circular) | <b>Cadena de Suministro</b><br>(adquisiciones sostenibles, simbiosis industrial, poli generación energética) | <b>Clientes y Comunidad</b><br>(consumo responsable y participación de la comunidad en procesos circulares) |
| <b>Meta 13.A. Movilización de recursos económicos</b>                        |  |   |  |   |
| <b>Gestión de Residuos</b><br>4R (Reducir, Reutilizar, Reciclar y Recuperar) | <b>Gestión de Residuos</b><br>4R (Reducir, Reutilizar, Reciclar y Recuperar) | <b>Gestión de productos</b><br>(eco diseño, eco innovación, diseño sostenible circular) | <b>Cadena de Suministro</b><br>(adquisiciones sostenibles, simbiosis industrial, poli generación energética) | <b>Clientes y Comunidad</b><br>(consumo responsable y participación de la comunidad en procesos circulares) |
| <b>Meta 13.B. Gestión de cambio climático en los países menos avanzados</b>  |  |   |  |   |
| <b>Gestión de Residuos</b><br>4R (Reducir, Reutilizar, Reciclar y Recuperar) | <b>Gestión de Residuos</b><br>4R (Reducir, Reutilizar, Reciclar y Recuperar) | <b>Gestión de productos</b><br>(eco diseño, eco innovación, diseño sostenible circular) | <b>Cadena de Suministro</b><br>(adquisiciones sostenibles, simbiosis industrial, poli generación energética) | <b>Clientes y Comunidad</b><br>(consumo responsable y participación de la comunidad en procesos circulares) |

# Formación en gestión de inventarios: Un caso de estudio para una empresa de alimentos de la ciudad de Medellín, Colombia

Yesit Jovan Rodríguez Caro<sup>1</sup>  
Chárol Kátherin Vélez Castañeda<sup>2</sup>  
Jorge Amado Rentería Vera<sup>3</sup>  
Isamar Monsalve Casas<sup>4</sup>  
*Institución Universitaria Pascual Bravo*  
Colombia

La industria manufacturera, en especial el sector alimentos, logra día a día un mejor posicionamiento en el mercado, satisfaciendo necesidades y expectativas de los clientes y consumidores, y disponiendo al interior del proceso productivo diferentes estrategias, herramientas, técnicas, métodos y actividades para cumplir dichos requerimientos. La empresa objeto de este estudio requiere implementar herramientas de manejo de inventarios que le permitan tener un mejor control en tiempo real, con el objetivo de reducir las pérdidas y caracterizar de manera adecuada los insumos, productos en proceso y producto terminado, según su rotación, necesidad y demanda. En este sentido, se aplica una metodología enfocada en tres fases: 1) se identifican las necesidades y problemáticas existentes, 2) se realiza la trazabilidad del proceso, y 3) se ejecuta el plan de formación a los empleados. El objetivo es obtener el control de los inventarios y la clasificación adecuada de productos según la rotación y el aprovechamiento de la demanda existente en el mercado, para disminuir los costos de fabricación y optimización del uso de los recursos disponibles. El principal hallazgo en la implementación de la mejora está soportado en la generación de una cultura de mejoramiento, en relación a la creación de mecanismos de orden y control en el proceso productivo, en el que se destaca la fase de formación para la consolidación de la propuesta.

---

<sup>1</sup> Magíster en Logística Integral.  
Contacto: [y.rodriguezca@pascualbravo.edu.co](mailto:y.rodriguezca@pascualbravo.edu.co)

<sup>2</sup> Magíster en Logística Integral.  
Contacto: [charol.velez@pascualbravo.edu.co](mailto:charol.velez@pascualbravo.edu.co)

<sup>3</sup> Doctor en Ciencias de la Educación.  
Contacto: [j.renteriave@pascualbravo.edu.co](mailto:j.renteriave@pascualbravo.edu.co)

<sup>4</sup> Ingeniera Industrial.  
Contacto: [i.monsalve428@pascualbravo.edu.co](mailto:i.monsalve428@pascualbravo.edu.co)

## 1. INTRODUCCIÓN

Colombia está diez posiciones por debajo del promedio regional en el indicador de competencias del World Economic Forum WEF y ocupa la posición 126 entre 141 países en distorsión de la regulación de la competencia [1], así mismo [2] expresan que el 60% del total de empresas y el 88% de los negocios no cuentan con un registro mercantil y la mitad del empleo formal del país es generado por 4.000 empresas según el Registro Único Mercantil del país. Adicionalmente, el Covid-19 ha agudizado la productividad y la alta informalidad lo que amplifica que los impactos de la crisis dificulten su atención y afecten la recuperación [3].

Entre otros factores para mejorar los procesos empresariales, es una adecuada gestión de inventarios que permite a las organizaciones que sus procesos productivos sean más eficientes, por lo cual es importante implementar herramientas que aporten al control en tiempo real de estos, donde se facilite la identificación tanto de existentes, próximos a agotar y agotados según la rotación que estos tengan en el proceso productivo.

Por lo cual, la propuesta investigativa busca mediante la identificación, valoración y análisis de resultados reconocer las falencias que llevan al no tener inventarios actualizados y por ende costos de producción basados en históricos y no en las verdaderas condiciones de producción, costos de insumos, materias primas y material.

En este sentido, la propuesta se aborda mediante las fases de 1) identificación, 2) trazabilidad, y 3) plan de formación. Para lo cual, se concluye que el manejo de inventarios debe ser una actividad diaria, en donde es necesaria un proceso de formación para su correcta aplicación, para lo cual se debe alimentar las matrices de control conforme a los movimientos que se realizan, al ser este el pilar fundamental para la información y así brindar un mejor uso a los activos dentro del proceso productivo.

## 2. MARCO REFERENCIAL

Desde hace siglos ha existido la industria de las bebidas alrededor del mundo, incrementando su auge significativamente con el pasar de los años al tener mayor variedad de productos dentro de un mercado cada vez más amplio, convirtiéndose en un producto de alta demanda que genera altos ingresos en todas sus categorías, reconocido además por la alta oferta de empleo para millones de personas en todo el mundo. Esta industria está dividida en dos categorías principales: la de las bebidas alcohólicas, que incluye bebidas destiladas, vino y cerveza, y la de las bebidas sin alcohol, que se divide en fabricación de jarabes para elaboración de gaseosas, bebidas refrescantes (como embotellamiento del agua), producción de zumo de frutas en sus diversas presentaciones, la industria del café y la industria del té [4].

En Colombia, el sector de bebidas y alimentos son comprendidos por el DANE como los sectores de mayor aporte al PIB dentro de las industrias manufactureras, evidenciando que para el 2019 la elaboración de productos alimenticios específicamente la elaboración de bebidas creció un 3,0% y en relación con el 2018 el crecimiento fue del 1,3%; según la información registrada por esta organización en enero de 2020 se obtuvo una variación de 5,3% con respecto al mismo mes del año 2019 convirtiéndose así en la tercera actividad en presentar mayor variación positiva con referencia a todas las actividades que componen las actividades industriales nacionales [5].

[6], analizaron la industria del Té y las aromáticas, logrando identificar que las empresas que se dedican a la elaboración de estos productos utilizan en su gran mayoría concentrados, colorantes, saborizantes artificiales y conservantes, todos estos componentes garantizan que la bebida tenga mayor durabilidad, ellos destacan que el consumo de estos productos no naturales generan afectaciones a la salud de los consumidores teniendo consecuencias tales como: Obesidad, enfermedades gastrointestinales o crónicas.

Hoy en día las empresas de alimentos y principalmente las micro pymes se enfrentan al reto de lograr aumentar su rentabilidad mediante el aprovechamiento total de los recursos disponibles, cumplir con los tiempos de entrega a los clientes en las fechas establecidas y la optimización de tiempos dentro de los

procesos estratégicos, tácticos y operacionales presentes en la empresa, reflejándose así todas estas fallas en la inconformidad del cliente o en los sobrecostos económicos, por lo cual es importante aplicar un control estadístico de procesos, que nos genere las bases para poder estandarizar los procesos, métodos y tiempos de entrega.

En Medellín, tal como lo expone [7], se identifica la poca oferta de aromáticas a base de frutas, teniendo en cuenta que existen gran variedad de tizanas que se comercializan dentro de la ciudad, pero no generan ese acercamiento con las texturas y sabores al comprar una tizana a base de pulpa de frutas. La fabricación de estos productos no solo en Medellín si no en todo el país, no asegura totalmente que sean saludables o tengan algún aporte a la conservación de la salud o mejoramiento de alguna condición especial. Además, existe una deficiencia en investigación sobre el uso y bondades de diferentes plantas y frutas para la preparación de productos que satisfagan las necesidades del consumidor.

En la empresa objeto de estudio se presentan problemáticas de control y manejo de los inventarios en el proceso productivo lo que la hace una compañía con pérdidas de oportunidad; en este sentido busca incrementar su participación en el mercado inicialmente en el local, pero para eso deberá trabajar en aspectos internos que están generando afectaciones a los objetivos trazados.

Así mismo la organización se ha diferenciado por sus productos artesanales, en los que se da al cliente una experiencia enfocada en sabores, texturas y olores con el fin de generar un carácter diferenciador, pero para poder seguir trabajando en pro de aumentar la participación en el mercado es necesario que los procesos de producción sean intervenidos con el objetivo de analizar, controlar y parametrizar sus diferentes componentes.

La información con la que cuenta la empresa de sus procesos es desactualizada dado que no se siguen lineamientos de estandarización que lleven a la identificación de todos los componentes del proceso, sumado a esto, no se cuentan con controles de inventarios, ventas y producción eficientes, basándose explícitamente en los resultados obtenidos del día a día, por lo cual se ve afectado todo el proceso productivo al no tener identificados plenamente los estándares de calidad correspondientes a la elaboración de las diferentes referencias y el stock existente de los insumos, materias primas o productos terminado, controlando así la producción e identificando los productos que tienen mayor rotación.

Así mismo, una de las mayores necesidades de la organización es la gestión de la información, dificultando documentar de forma precisa y en tiempo real los movimientos contables de los procesos, costos, inventarios y ventas, por lo que no se tiene un diagnóstico en tiempo real de las condiciones.

Es de suma importancia realizar intervenciones a los procesos, en pro de aumentar la eficiencia y disponibilidad del espacio, ya que el ritmo adecuado del proceso productivo se está viendo trocado por la falta de conocimiento por parte de los colaboradores, además de que al no tener elaborados los manuales de funciones estos realizan varias actividades según el requerimiento que se presente sin cumplir con los requisitos necesarios; además de ello, en el momento se tienen identificados los riesgos existentes pero estos no se controlan, al igual que se hace necesario la creación de una brigada de emergencia que los lleve a asumir roles desde la responsabilidad y la preservación del bien común.

Así mismo, es importante que se delimiten las zonas comunes de la empresa, pasillos, zonas de trabajo, almacenamiento, baños, entrada y salida, para evitar la contaminación cruzada, accidentes o pérdida de material, siendo necesario identificar qué zonas son de libre acceso y cuáles deben ser restringidas para que se preserve y conserve en mejor manera el producto en proceso o terminado.

De acuerdo con lo anterior, es necesario que la organización estandarice y controle el manejo del inventario, para alcanzar mayores índices de ganancia que maximicen su rentabilidad y aporten al posicionamiento en el mercado. Por lo tanto, la investigación pretende dar respuesta a: ¿cómo mejorar el sistema de gestión de inventarios en los procesos de abastecimiento y procesamiento que satisfagan las necesidades de los clientes de la organización objeto de estudio?

Así mismo, el objetivo general indica implementar herramientas de mejora continua en la línea de producción que permitan el mejoramiento en el sistema de gestión de inventarios en los procesos de abastecimiento y procesamiento para el aseguramiento de la satisfacción de los clientes. Para lo cual es necesario desarrollar los objetivos específicos: 1) diagnosticar los factores que inciden en el manejo y control de los inventarios de insumos, producto en proceso y producto terminado, 2) determinar las técnicas para el control de insumos, producto en proceso y producto terminado, y 3) definir el plan de formación que permita el mejoramiento continuo en el sistema de gestión de inventarios en los procesos de abastecimiento y procesamiento.

### 3. MARCO CONCEPTUAL

#### 3.1 Inventarios

Los inventarios son todos los bienes intangibles con los que se cuenta para que sean usados en el proceso productivo y luego de su debida transformación sean comercializados a los diferentes compradores o puntos de venta [8].

Las empresas manufactureras y de servicios cuentan con una variada tipología de inventarios que dependiendo de su naturaleza llegan a ser clasificados. Los más comunes son los inventarios de materia prima y de producto terminado. Para ellos es importante que las organizaciones se formulen las siguientes preguntas: ¿existen fallas en el control de inventario en la actualidad? ¿qué tanto afecta a la organización el tener o no tener inventarios? ¿Cuál es el mejor método de inventario para su organización? ¿Qué tipo de inventario debo utilizar? ¿Qué tanto afecta el inventario con la calidad del producto final? Este enfoque es muy interesante para la alta gerencia de la organización porque es un campo que se debe estudiar y mejorar con miras a lograr un sistema de gestión de inventarios y la disminución significativa de costos [9]. De acuerdo con [10] existen seis clasificaciones de inventarios:

1. *Funcional*: se basa en el tipo de empresa por su función o naturaleza, dependiendo el inventario de su razón social, ejemplo: manufacturera, comercial o de servicio. El inventario funcional puede ser de tipo:
  - Materia prima: material utilizado como punto de partida para el proceso de producción.
  - Productos en proceso: los que se encuentran en el proceso de transformación y no están todavía terminados.
  - Producto terminado: Productos que están listos para la venta, envió o entrega al consumidor final.
2. *Razones para mantenerlo*: depende del motivo por el cual se mantiene el inventario en una empresa. Estos pueden ser:
  - Precautelativo: material o productos terminados como medida de prevención por una demanda mayor.
  - Transaccional u operativo: mercancía operable de la que dispone la empresa para funcionar y generar recursos y ganancias.
  - Especulativo: material o producto terminado retenido para ser puesto en el mercado en el momento en el que varíen los precios con el objetivo de aumentar las ganancias
3. *Duración*: basado en la vida útil o durabilidad de cada producto terminado. Estos pueden ser:
  - Perecedero: todo tipo de producto que tiene fecha de vencimiento.
  - No perecedero: todo tipo de producto que no tiene fecha de vencimiento y su durabilidad es infinita.
4. *Origen*: se considera el inventario de acuerdo con su procedencia. Entre ellos:
  - Importados: mercancía proveniente de otro país.
  - Nacionales: mercancía elaborada en su totalidad y posteriormente distribuida dentro del país.

5. *Valor Pareto*: se clasifica el inventario por la forma cómo se comporta la rotación para establecer el precio final del producto. Ellos son:
- Grupo A: son los de mayor valor en el mercado, dado que son los que más se venden, representando así menos porcentaje de estancamiento dentro del inventario.
  - Grupo B: Son productos que se mantienen estables y que su necesidad en el mercado es relevante, teniendo así cantidades medias en el inventario pudiendo pasar al grupo A o C.
  - Grupo C: Representan la mayoría de volumen de inventario, pero son los artículos de menor valor.
6. *Tipo de producto*: se clasifican de acuerdo con la naturaleza y rotación del inventario, agrupando todos los productos que son del mismo tipo; ejemplo: licores, frutas, prendas de vestir, entre otros.

### 3.2 Gestión de inventarios

La gestión de inventarios permite determinar la cantidad y tipo de insumos requeridos para la elaboración del producto o para el ofrecimiento del servicio y así poder satisfacer en su totalidad a los usuarios de bienes o servicios. Igualmente se puede facilitar la venta del producto y la minimización de los costos [11]. Es importante reconocer que, la gestión de inventarios es indispensable como elemento de protección en los casos en que se disparen los precios y se produzca escasez de la materia prima, es decir; se debe proveer un aumento significativo de precios de materias primas y por tanto se debe almacenar una cantidad cuando el precio esté en un nivel bajo [9].

Dentro de la gestión de los inventarios es importante mencionar algunas herramientas que facilitan su adecuado funcionamiento y la implementación de metodologías adecuadas, entre otras:

1. *5S*. Es un método de gestión de procesos de origen japonés que se fundamenta en cinco principios cuyas iniciales son la letra S: *Seiri* (clasificación), *Seiton* (orden), *Seiso* (limpieza), *Seiketsu* (estandarizar) y *Shitsuke* (mantener la disciplina) [12]. Dentro de las metodologías de manejo de inventarios más comunes se encuentra esta metodología, la cual fomenta la cultura de la responsabilidad mediante la capacitación y aplicación en las diferentes áreas de la empresa, buscando el manejo adecuado de los recursos disponibles mediante cambio de las conductas en el aumento de la productividad.
2. *El método justo a tiempo*. Conocido como método Toyota o JIT de origen japonés, el método permite aumentar la productividad y reducir el costo de la gestión por pérdidas en almacenes debido a stocks innecesarios. De esta forma, no se produce bajo suposiciones, sino sobre pedidos reales. [13] a través del uso de esta metodología los inventarios son reducidos a la mínima existencia buscando que se adquiera el inventario justo cuando se requiere, evitando así tener altas cantidades de productos almacenado, dejando de mantener así grandes cantidades de inventario, siendo necesario identificar claramente las cantidades a solicitar y el tiempo en el que las requerirá para la producción, teniendo mejor uso del tiempo, materiales, productos e información, generando mayor valor agregado.
3. *Análisis ABC*. Este es el método de conteo cíclico más sofisticado, consiste en dividir el inventario en clasificación ABC; esta se basa en la regla 80-20 o Ley de Pareto, en la cual los artículos se clasifican de dos maneras: su valor en dinero o su valor de frecuencia de uso. En muchos casos se utiliza una combinación de las dos. Esto permite distinguir tres categorías de productos y cada una de ellas debe definirse en función de la parte de la cifra de negocios que representa [14]. La clasificación puede hacerse por precio unitario, valor total, utilización y valor o utilidades que aporta, cuya estructura se divide en:
  - Grupo A: los más importantes del inventario, tienen un nivel de utilización o gran aporte a las utilidades, en otras palabras, son los artículos de mayor valor. Su valor generalmente oscila entre el 70 y 80% del valor total del inventario, por lo que son los que mayor atención reciben.
  - Grupo B: Son los que generan ingresos a la empresa en porcentajes más bajos, por lo que es importante controlar sus existencias y los costos de sus faltantes. Pueden tender tendencia a subir o a bajar.



- Grupo C: son los menos importantes en las ventas, pero en el inventario son los que representan el mayor volumen.

#### 4. MÉTODO

La propuesta se plantea mediante un enfoque de tipo mixto, que implica un conjunto de procesos de recolección de datos para probar las teorías propuestas, análisis y vinculación de datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio o una serie de investigaciones para responder a un planteamiento del problema [15].

El enfoque cualitativo y cuantitativo emplean procesos rigurosos para generar conocimiento, por lo que la definición previa de investigación se aplica a los dos por igual.

En términos generales, estos métodos utilizan cinco estrategias similares y relacionadas [16]: 1) llevan a cabo la observación y evaluación de fenómenos, 2) establecen suposiciones o ideas como consecuencia de la observación y evaluación realizadas, 3) demuestran el grado en que las suposiciones o ideas tienen fundamento, 4) revisan tales suposiciones o ideas sobre la base de las pruebas o del análisis, y 5) proponen nuevas observaciones y evaluaciones para esclarecer, modificar y fundamentar las suposiciones e ideas o incluso para generar otras.

Sin embargo, aunque las aproximaciones cuantitativa y cualitativa comparten esas estrategias generales, cada una tiene sus propias características. El alcance de investigación es de tipo descriptivo donde se busca recoger información que se pueda medir sobre las variables que se analizarán; buscando así especificar las propiedades y características que tienen alta importancia dentro del proceso, basado en las tendencias que se vayan documentando como resultado del análisis.

El diseño aplicado es de tipo experimental de naturaleza cuasiexperimental al evaluar las personas que ya están designadas para el manejo y control de los inventarios o que dentro del proceso de producción o verificación al intervenir modifican variables del proceso que generan así un margen de variabilidad en producto o tiempo.

##### 4.1 Fases metodológicas

En la Tabla 1 se describen cada una las fases planificadas con sus respectivas actividades/tareas.

**Tabla 1.** Fases metodológicas

| Fase Metodológica         | Actividades/Tareas  |
|---------------------------|---|
| Fase 1: Diagnóstico       | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elaboración de instrumentos de recopilación de información.</li> <li>▪ Entrevista con el líder del proceso.</li> <li>▪ Observación del proceso.</li> <li>▪ Verificación mediante lista de chequeo de los instrumentos existentes de control.</li> <li>▪ Toma de evidencias fotográficas.</li> <li>▪ Diagrama de flujo y de procesos del proceso de inventarios.</li> <li>▪ Análisis de resultados.</li> </ul>  |
| Fase 2: Trazabilidad      | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elaboración de instrumentos de recopilación de información.</li> <li>▪ Entrevista con el líder del proceso.</li> <li>▪ Definir los procesos de trazabilidad.</li> <li>▪ Creación de matrices de control de insumos, producto en proceso y producto terminado.</li> <li>▪ Definir codificación para cada tipo de insumo, producto en proceso y producto terminado a utilizar en el proceso productivo.</li> <li>▪ Implementar herramientas de control para la gestión de los inventarios tecnológicas.</li> </ul> |
| Fase 3: Plan de formación | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Establecer plan de capacitación.</li> <li>▪ Presentar propuesta de capacitación.</li> <li>▪ Realizar prueba de procesamiento de la información</li> </ul>  |

Para dar cumplimiento con las fases metodológicas (tabla 1), se utilizaron fuentes primarias y secundarias, además de hacer uso de técnicas como la observación, entrevista, encuestas y análisis documental con sus respectivos instrumentos.

## 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 5.1 Fase 1: Diagnóstico

Una vez aplicado el instrumento diagnóstico donde se abordó la metodología de las 6'M, se representa mediante el diagrama causa efecto la problemática de la empresa, con las causas y sub causas, como la muestra la Figura 1.

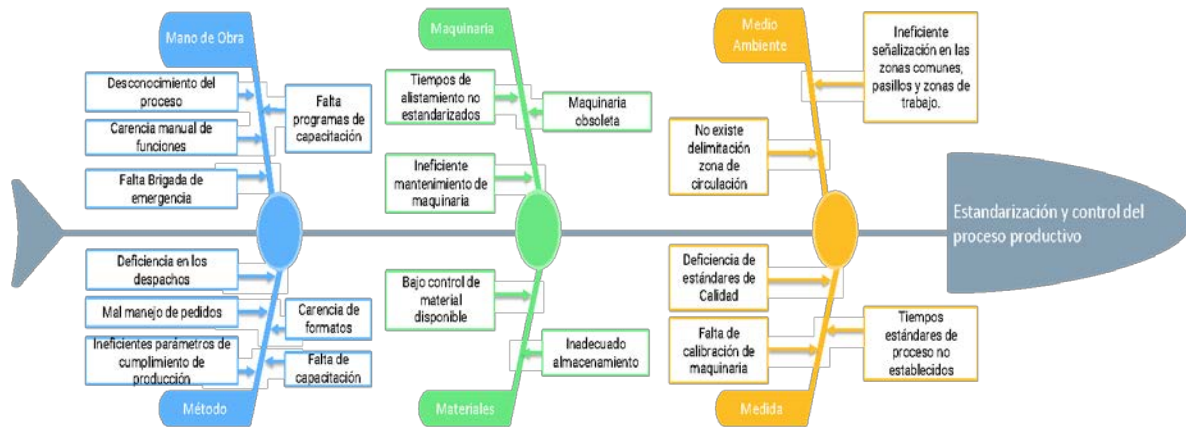


Figura 1. Diagrama causa-efecto

Elaborado el diagrama causa efecto, se procede a diseñar el diagrama de flujo del proceso actual de abastecimiento (Figura 2), etapa clave para el control de los inventarios.

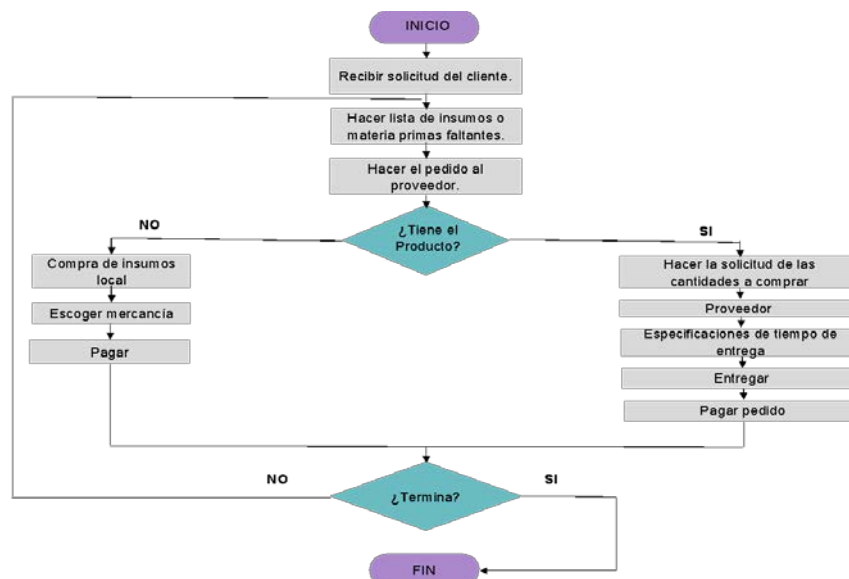


Figura 2. Diagrama de flujo

Una vez aplicados los instrumentos al personal asignado en la empresa, se identifica la necesidad de establecer controles en los inventarios a lo largo del proceso en la organización para garantizar una adecuada gestión de los inventarios y conocer en tiempo real la información. En este sentido se procede con la Fase 2.

### 5.2 Fase 2: Trazabilidad

En primer lugar, se procede con la actualización de las especificaciones técnicas del producto terminado para poder identificar los insumos necesarios para su fabricación. Para ello se diseña la siguiente ficha técnica (Tabla 2). Adicional a ello, se hace necesario crear un formato de reporte diario de producción para el control de insumos y producto terminado (Tabla 3) y un formato de orden de producción para planificar los requerimientos de materia primas/insumos, mano de obra y gastos indirectos (Tabla 4).

**Tabla 2.** Ficha Técnica producto terminado

| Logo Organizacional            | Especificaciones Técnicas Producto Terminado |
|--------------------------------|--|
| Nombre                         |  |
| Registro Sanitario             |  |
| Información del Fabricante     |  |
| Descripción                    |  |
| Composición Nutricional        |  |
| Propiedades                    |  |
| Cantidad por Porción           |  |
| Forma de Consumo               |  |
| Condiciones de Conservación    |  |
| Empaque y Presentación         |  |
| Instrucciones de Uso           |  |
| Advertencias                   |  |
| Características Organolépticas |  |

**Tabla 3.** Reporte Diario de Producción

| Logo Organizacional    |        |       |         | Reporte Diario de Producción |           |                     |                     |                    |                     |            |               |
|------------------------|--------|-------|---------|------------------------------|-----------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|------------|---------------|
| Consecutivo Producción | Fechas | Turno | Horario | Colaborador                  | Actividad | Orden de Producción | Lote de Fabricación | Cantidad producida | Cantidad solicitada | Diferencia | Observaciones |
|                        |        |       |         |                              |           |                     |                     |                    |                     |            |               |

**Tabla 4.** Orden de producción

| Logo                 |            | Orden de Producción |          |                |       |              |                  |                      |             |                   |             |              |             |               |  |
|----------------------|------------|---------------------|----------|----------------|-------|--------------|------------------|----------------------|-------------|-------------------|-------------|--------------|-------------|---------------|--|
|                      |            | Fecha de Expedición |          |                |       |              |                  | No. de Orden         |             |                   |             |              |             |               |  |
|                      |            | Cliente             |          |                |       |              |                  | Fecha de Pedido      |             |                   |             |              |             |               |  |
|                      |            | Producto            |          |                |       |              |                  | Fecha de Inicio      |             |                   |             |              |             |               |  |
|                      |            | Cantidad            |          |                |       |              |                  | Fecha de Terminación |             |                   |             |              |             |               |  |
|                      |            | Pedido No.          |          |                |       |              |                  | Fecha de Entrega     |             |                   |             |              |             |               |  |
|                      |            | Especificaciones    |          |                |       |              |                  |                      |             |                   |             |              |             |               |  |
| Materia Prima/Insumo |            |                     |          |                |       | Mano de Obra |                  |                      |             | Gastos Indirectos |             |              |             |               |  |
| Fecha                | Referencia | Descripción         | Cantidad | Costo Unitario | Total | Colaborador  | Horas trabajadas | Valor Hora           | Valor Total | Gastos Indirectos | Costo Total | Otros Gastos | Valor Total | Observaciones |  |
|                      |            |                     |          |                |       |              |                  |                      |             |                   |             |              |             |               |  |

Los formatos diseñados son la base para alimentar la hoja de cálculo en el que se realizan los movimientos de inventario del proceso productivo para identificar así las entradas y salidas de materia prima y producto en proceso. Las hojas de la matriz de movimientos corresponden a:

- *Calendario:* se crea un calendario desde el 1 de enero de 2020 hasta el 31 de diciembre del mismo año, identificando así el día, la semana y el mes, para poder conocer las variables como: movimientos, mayor producción, día de compras, etc.
- *Movimientos internos:* se identifican las actividades que suman y restan dentro del proceso productivo, según los movimientos que se realizan, en ellos se especifican: inventario inicial (+), ventas (-), devoluciones (+), regalos (-), averías (-), productos dados de baja (-), producción (+) y consumos (-).
- *Maestro de Insumos:* en esta se relaciona la referencia del producto terminado con sus respectivos componentes como se observa en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Codificación

| Producto                  |                      |        |              |                     |                |          | Mes               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|---------------------------|----------------------|--------|--------------|---------------------|----------------|----------|-------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| Código Producto Terminado | Descripción Artículo | Unidad | Cod. Insumos | Descripción Insumos | Unidad Insumos | Cantidad | Tipos de Producto | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|                           |                      |        |              |                     |                |          |                   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |

- *Resumen de los movimientos:* en esta hoja se registran los movimientos de inventarios para que la hoja de cálculo de forma preliminar mediante fórmulas de Excel pueda reconocer el día, semana, mes, descripción del producto, tipo de operación (suma o resta al inventario) y costos asociados como se observa en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Movimientos

| Fecha | Tipo de Movimiento | Código Referencia | Cantidad | Lote | Día | Semana | Mes | Descripción | Tipo Producto | Descripción | Costo |
|-------|--------------------|-------------------|----------|------|-----|--------|-----|-------------|---------------|-------------|-------|
|-------|--------------------|-------------------|----------|------|-----|--------|-----|-------------|---------------|-------------|-------|

- *Tablas:* en esta hoja se incluyen las tablas dinámicas que permiten realizar los cálculos y los respectivos análisis para la gestión de los movimientos de inventarios como lo muestra la Tabla 7.

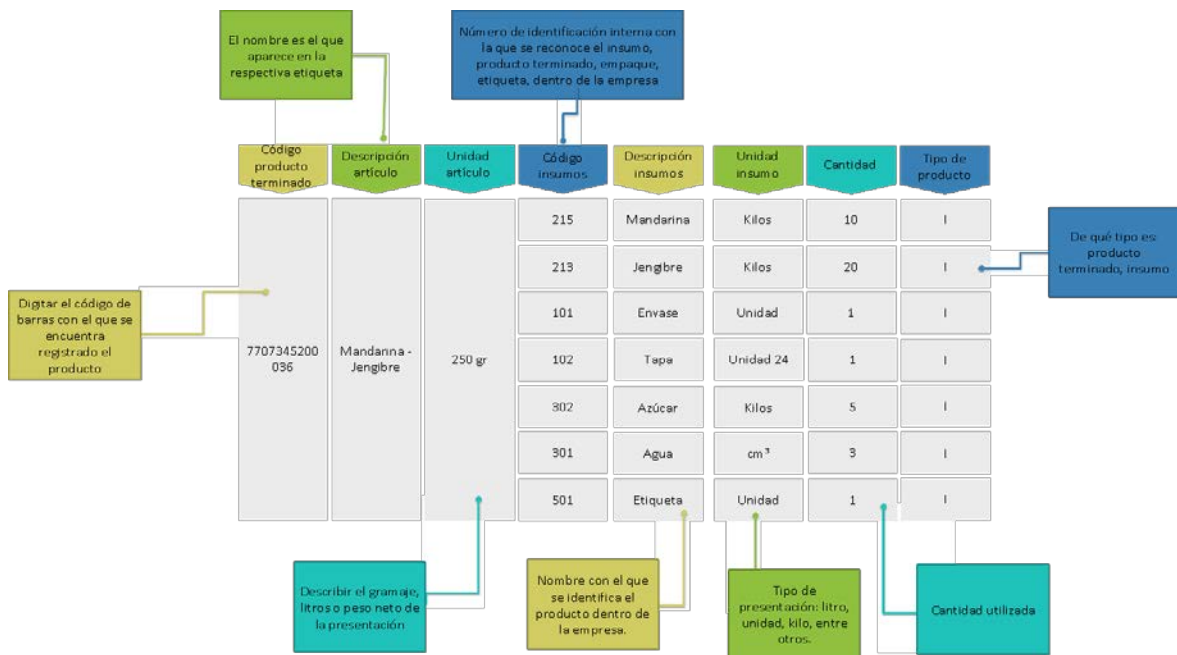
**Tabla 7.** Consolidado de movimientos de inventarios

| Código de Referencia | 101                 |                           |                        |    |
|----------------------|---------------------|---------------------------|------------------------|----|
| Mes                  | (Todas)             |                           |                        |    |
| Etiqueta de Columna  | Etiqueta de Columna |                           |                        |    |
| Etiqueta de Fila     | Envase              |                           |                        |    |
| Suma de Costo Total  | Suma de Cantidad    | Total Suma de Costo Total | Total Suma de Cantidad |    |
| Avería               | \$ 21.420           | 20                        | \$ 21.420              | 20 |
| Regalo               | \$ 59.976           | 56                        | \$ 59.976              | 56 |
| Total General        | \$ 81.396           | 76                        | \$ 81.396              | 76 |

Diseñados los controles respectivos para la gestión de inventarios, se procede con el proceso de formación para la correcta implementación.

### 5.3 Fase 3: Plan de formación

Para dar cumplimiento a la fase de formación en primer lugar se crean los instructivos en los cuales se describe el proceso paso a paso para aclarar dudas e inquietudes para su diligenciamiento. Se destaca para el informe escrito la plantilla que indica el cómo se debe diligenciar la matriz de Inventario (Figura 3).



**Figura 3.** Matriz de inventario

Con relación a la ficha técnica, el instructivo incluye entre otros aspectos (ver Tabla 8). Así mismo, en el registro de orden de producción se especifica en el instructivo la importancia de diligenciar la información y revisar los documentos asociados. En el que se expresa, entre otros aspectos: solicitud de producción, referencia y descripción del insumo, cantidad utilizada, costo unitario y el costo total.

**Tabla 8.** Ficha técnica del producto

| <b>Logo</b>                    | <b>Especificaciones Técnicas Producto Terminado</b>                   |
|--------------------------------|---|
| Nombre                         | Nombre del producto en el mercado                                     |
| Registro Sanitario             | Número asociado del producto en el Invima                             |
| Información del Fabricante     | Datos de la empresa: nombre, dirección, teléfonos.                    |
| Descripción                    | Información sobre el producto ofertado al público                     |
| Composición Nutricional        | Ingredientes que componen el producto (ingrediente de la etiqueta)    |
| Propiedades                    | Cualidades positivas para el bienestar del consumidor                 |
| Cantidad por Porción           | Cantidad por envase   |
| Forma de Consumo               | Tipos de uso y consumo del producto en la presentación                |
| Condiciones de Conservación    | Temperatura, refrigerado, tiempo de consumo luego de abrirlo          |
| Empaque y Presentación         | Unidad de medida, tipo de envase                                      |
| Instrucciones de Uso           | Dosificación, modo de preparación                                     |
| Advertencias                   | Condiciones que deben ser tenidas en cuenta según población           |
| Características Organolépticas | Imagen del producto terminado en su respectivo envase para el cliente |

El instructivo permite relacionar aspectos como:

- Fecha: registro de uso de insumos.
- Referencia: codificación de insumo utilizados para el proceso productivo.
- Descripción: nombre asignado del insumo.
- Cantidad: unidad de medida para fabricar la orden de producción.
- Costo unitario: valor por unidad de insumo utilizado.
- Costo total: relación de las unidades por el costo unitario.
- Colaborador: nombre de la persona que elaboró la orden de producción.
- Horas trabajadas: cantidad de horas empleadas en el proceso de fabricación.
- Valor hora: precio interno acordado por hora.
- Valor total: relación del valor hora vs. horas totales.
- Gastos indirectos: gastos administrativos o adicionales que se deben contemplar en el costo de fabricación.
- Costo: es la cantidad de dinero invertida en el lote de producción.

Los instructivos diseñados para aclarar inquietudes relacionadas con el diligenciamiento de los formatos permiten generar una cultura de la evidencia que corresponde a un elemento fundamental cuando se trabaja control de procesos particularmente en gestión de inventarios.

## **6. CONCLUSIONES**

La implementación de la propuesta en la organización generó una cultura de mejoramiento con relación a la creación de mecanismos de orden y control en la cadena de suministros, en el que se destaca la fase de formación para la consolidación de la propuesta.

La falta de protocolos de control en los inventarios ha generado pérdidas de oportunidad en el negocio disminuyendo las utilidades de la organización.

La falta de definición y estandarización del proceso genera procesos inestables, perdiendo de vista la importancia de ejercer control en el manejo de los inventarios. En este sentido, se hace más complejo controlar y reconocer la relación del precio final del producto, tiempos de producción y de entrega.

La generación de valor en la organización mediante el aprovechamiento de sus activos se convierte en una prioridad, mediante procesos más eficientes y recursos mejor utilizados.

Se evidenció desconocimiento en el manejo de inventarios en la organización, dificultando la identificación del ciclo de vida de los productos, de la producción, de la oferta y demanda.

Los mecanismos diseñados para el control de inventarios vislumbraron problemas de fondo en cuanto a la planeación estratégica de la organización.

La implementación de herramientas ofimáticas para realizar análisis, planeación y programación de las producciones basados en los maestros de manejo de inventario generan una propuesta económicamente viable para la organización.

La falta de personal calificado y la informalidad en el manejo de los recursos empresariales generan una oportunidad de mejora en cuanto la formación de habilidades específicas para el manejo de inventarios.

La fase de formación para el diligenciamiento de los formatos y controles permitió mediante la elaboración de los instructivos un mayor compromiso y desarrollo de habilidades para la generación de valor y así potenciar los recursos de la empresa.

Durante el proceso de intervención se identificaron diferentes frentes de trabajo para la implementación de propuestas de mejora, situación que generó complejidades de forma, razón por la cual se recomienda aplicar los principios de Pareto o ley 80/20 cuya regla indica enfocarse en los procesos vitales y evitar los triviales.

Mejorar continuamente los procesos y las actividades empresariales, comprometiendo a cada uno de los actores de la cadena productiva para un mayor reconocimiento en el mercado, posicionamiento de la imagen y un mayor interés por la responsabilidad ambiental tanto interna como externamente a la organización.

## REFERENCIAS

- [1] WEF- (2018). The Global Competitiveness Report 2018-2019. World Economic Forum.
- [2] Fernández, C. (2018). Informalidad empresarial en Colombia. Working paper 76. Recuperado: [https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/3698/WP\\_2018\\_No\\_76.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/3698/WP_2018_No_76.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [3] -OECD (2019). OECD Economic Surveys: Colombia 2019. Organisation for Economic Co-operation and Development.
- [4] Ward. (1998). Industria de las bebidas. Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo.
- [5] DANE. (2019). Producto Interno Bruto (PIB). I Trimestre de 2019 preliminar. Recuperado: [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib/bol\\_PIB\\_Itrim19\\_produccion.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib/bol_PIB_Itrim19_produccion.pdf)
- [6] Álvarez, J. et al. (2011). Análisis de la industria del té y las aromáticas en Colombia. Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario.
- [7] Restrepo L. et al. (2012). Conocimiento y consumo de bebidas aromáticas en jóvenes en la ciudad de Medellín, Colombia. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial 10(1), 87-97.
- [8] Durán Y. (2012). Administración del inventario: Elemento clave para la optimización de las utilidades en las empresas. Visión gerencial (1), 55-78.
- [9] Gómez R. y Guzmán O. (2016). Desarrollo de un sistema de inventarios para el control de materiales, equipos y herramientas dentro de la empresa de Construcción Ingeniería Sólida Ltda. Trabajo de grado. Universidad libre.
- [10] Ross S. et al. (2006). Fundamentos de finanzas corporativas. México: McGraw-Hill.
- [11] Reyes P. (2009). Administración de inventarios en almacenes: Logística y operación. Press.
- [12] CALETEC. (2020). Definición de 5S en metodología Lean. Recuperado: [https://www.caletec.com/glosarios/5s/#:~:text=Definici%C3%B3n%20de%205S%20en%20metodolog%C3%ADa,Shitsuke%20\(mantener%20la%20disciplina\)](https://www.caletec.com/glosarios/5s/#:~:text=Definici%C3%B3n%20de%205S%20en%20metodolog%C3%ADa,Shitsuke%20(mantener%20la%20disciplina))
- [13] Díaz C. y Patiño M. (2011). Implementación de sistema de gestión de inventarios para formas y color en lamina WJ Ltda. Trabajo de grado. Universidad libre.
- [14] Muller M. (2005). Fundamentos de administración de inventarios. Norma.
- [15] Sampieri H. et al. (2014). Metodología de la Investigación. México: McGraw-Hill
- [16] Grinnell R. (1997). Investigación y evaluación del trabajo social: Enfoques cuantitativos y cualitativos. Aprendizaje Cengage.

# Una propuesta de integración por principios entre la responsabilidad social y el Modelo Integrado de Planeación y Gestión MIPG

Hernando Camacho Camacho<sup>1</sup>  
Liliana Marcela Criales Rincón<sup>2</sup>  
*Universidad Santo Tomás*  
Colombia

Las entidades públicas procuran generar calidad de vida a los habitantes del territorio nacional, por lo que el gobierno adopta el Modelo Integrado de Planeación y Gestión MIPG como herramienta gerencial para lograr los fines esenciales del Estado. Por su parte, la Responsabilidad Social RS contribuye al desarrollo sostenible que debe estar en la gestión pública. La cuestión es que si el MIPG no está integrado con la RS no se contribuye de manera directa a la gestión de las entidades, entonces, integrar los dos sistemas de gestión permite fortalecer la gerencia y cumplir con los fines del Estado. En esta investigación se aplica una metodología de enfoque cualitativo de alcance exploratorio-descriptivo, de acuerdo con los principios de los sistemas de gestión. Los resultados son la integración del MIPG con la RS a partir de sus principios y una guía para la implementación con un doble objetivo: ser instrumento de diagnóstico y guía de las acciones a seguir, para que la entidad se reconozca como socialmente responsable. Este ejercicio de integración por principios permite concluir que es posible tomar como base las acciones realizadas por las entidades públicas para implementar el MIPG y, a partir de ellas, cumplir con los requerimientos de la Responsabilidad Social.

---

<sup>1</sup> Ingeniero Metalúrgico, Especialista en administración de empresas y Magíster en Docencia e investigación.

Contacto: [hernandocamacho@usantotomas.edu.co](mailto:hernandocamacho@usantotomas.edu.co)

<sup>2</sup> Abogada, Especialista en Derecho administrativo, Especialista en Gerencia en administración de sistemas de gestión y Magíster en Calidad y gestión integral.

Contacto: [lilianacriales@yahoo.es](mailto:lilianacriales@yahoo.es), [lilianacriales@usantotomas.edu.co](mailto:lilianacriales@usantotomas.edu.co)

## 1. INTRODUCCIÓN

El Gobierno colombiano orienta la gerencia pública hacia la adopción de sistemas de gestión, aspecto que empieza hacer evidente en el Documento CONPES 2790 [1] donde se traza la directriz de la gestión pública encaminada a resultados, sustentado en el modelo de gerencia social y que en la actualidad se materializa en la aplicación del llamado Modelo Integrado de Planeación y Gestión conocido como MIPG [2].

En forma simultánea a la implementación de MIPG, las entidades públicas tienen la posibilidad de incorporar modelos estandarizados que propendan por fortalecer la gestión pública y lograr los fines esenciales del Estado. En este escenario, las entidades públicas han incorporado estándares como la ISO 9001 en forma mayoritaria pero no exclusiva, dado que también se evidencian entidades donde se han adoptado la OSHAS 18001, ISO 45001 o la ISO 27001. Lo anterior lleva a las entidades públicas al mismo dilema que se ha presentado en el sector privado relacionado con la integración de los sistemas de gestión, con la diferencia de que el sector público debe implementar obligatoriamente el MIPG y de manera complementaria los sistemas de gestión estandarizados.

El esfuerzo de integración entre los sistemas de gestión estandarizados, provenientes de las normas ISO, está ampliamente documentado en la literatura especializada y se cuenta con modelos de integración reconocidos como es el caso de PAS 99:2012, UNE 66177:2005, modelo de Stanislav Karapetrovic y el ejercicio efectuado por ISO [3], por solo citar algunos. Sin embargo, la experiencia muestra la posibilidad de integrar sistemas de gestión estandarizados entre sí, en algunos casos teniendo como base la ISO 9001 que se integra con otros estándares como los ya citados. La integración con la ISO 26000 es menos común y por lo tanto la información documentada es limitada.

En este entorno, los ejercicios de integración carecen de un único estándar internacional que permita a las entidades públicas adoptarlo y aplicarlo. Esta situación se hace más compleja cuando la integración que se aborda es de un modelo de gestión propio, como lo es MIPG, con una norma estandarizada como la Responsabilidad Social. Es aquí donde la investigación propuesta se potencializa porque busca integrar MIPG con la RS a partir de sus principios, además de diseñar el instrumento necesario para cumplir las funcionalidades de diagnóstico y guía de acciones a tomar, para que las entidades públicas se puedan reconocer como socialmente responsable a partir de la gestión desplegada en la implementación de MIPG.

## 2. MÉTODO

La investigación se ubica dentro de los lineamientos de una investigación social, para lo cual se aplica la perspectiva de la investigación social, dada las dimensiones que se abordan que corresponden a las personas, las organizaciones y los sistemas. [4]. Igualmente, se realiza desde el enfoque cualitativo, por cuanto el propósito es examinar un fenómeno administrativo que no ha sido tenido en cuenta como objeto de investigación anterior [5] (además se centra en la teoría sobre los procesos, donde se tiende a ver el mundo en términos de personas, situaciones, acontecimientos y de los procesos que los conectan [6].

El alcance de la investigación que se propone es de carácter exploratorio descriptivo, dado que la integración de la RS con MIPG es innovador y no tiene antecedentes en la literatura ni en la praxis colombiana, porque el modelo MIPG es exclusivo de la función pública colombiana. Al respecto, se considera que:

*Un estudio exploratorio es una pequeña versión de una investigación mayor, es un estudio de menor escala que permite evidenciar cuestiones de orden metodológico, descubrir posibles problemas técnicos, éticos, logísticos y, además, mostrar la viabilidad y coherencia de los instrumentos y técnicas a utilizar antes de iniciar la recolección de información para la investigación [7].*

Metodológicamente la investigación se realiza en cuatro fases: 1) preparatoria, donde se recopila información documentada respecto del Modelo Integrado de Planeación y Gestión y lo relacionado con la norma ISO 26000; 2) analítica, donde se establecen los aspectos fundamentales de la integración de la RS y MIPG en el marco de un modelo de integración a partir de los principios que tutelan estos dos estándares; 3) diseño, donde se construye el instrumento que corresponde a la guía de integración de MIPG con RS para



las entidades públicas colombianas; y 4) validación, realizada por servidores públicos del nivel directivo de entidades de la Rama Ejecutiva del orden nacional.

## 2.1 Fase preparatoria

Se examina la relación existente entre los fines esenciales del Estado, como norma constitucional, y los principios de la RS. Este aspecto es importante para efectos de la integración por cuanto determina el ámbito legal que la facilite. La Constitución establece que se entiende por un fin esencial del Estado y la Corte Constitucional hace un estudio de cierre respecto de la relación de esta cláusula constitucional y la RS. En el ámbito jurídico, la Corte Constitucional establece los postulados mínimos que regulan la RS, no solo en el contexto privado sino en toda índole, especialmente la relación existente con los fines del Estado, recalcando el papel de la RS con los principios constitucionales en el cumplimiento de estos fines [8].

La Corte Constitucional dispone en su pronunciamiento jurisprudencial la relación entre RS y los fines del Estado, lo que conduce a determinar las características determinantes de ellos que están contemplados en los artículos 2° y 333 de la Constitución Política colombiana. Establecida la relación jurídico-jurisprudencial entre los fines del Estado y la RS se tiene el escenario para abordar la integración de MIPG, como modelo propio de gerencia de las entidades públicas, con la RS. Al respecto la Corte afirma que:

*En consecuencia, se observa que la Responsabilidad Social empresarial (RS) tiene una base sólida, suficiente y autónoma en el artículo 333 constitucional, norma que, por demás, ha sido desarrollada por la Corte Constitucional con el objetivo de precisar que la libertad de empresa tiene también una dimensión de función social, lo cual implica una serie de restricciones y responsabilidades que contribuyen a que sea no solo deseable sino necesaria la adopción e implementación de medidas de Responsabilidad Social empresarial, así como el cumplimiento de los compromisos que voluntariamente se han adquirido en el marco de tales iniciativas [8].*

En tanto el Gobierno establece a MIPG como el modelo propio de obligatoria adopción por parte de las entidades públicas, que está compuesto por seis principios: 1) orientación a resultados, 2) articulación interinstitucional, 3) excelencia y calidad, 4) aprendizaje e innovación, 5) integridad, transparencia y confianza, y 6) toma de decisiones basada en evidencia, cuya complejidad se desdobra a través de las dimensiones: a) talento humano, b) direccionamiento estratégico y planeación, c) gestión con valores para resultados, d) evaluación de resultados, e) información y comunicación, f) gestión del conocimiento y la innovación y g) control interno. Con el propósito de entender la complejidad de MIPG se realiza un acercamiento a su estructura básica (Figura 1) a través de determinar la relación existente entre los principios que lo orientan y la correspondencia con cada una de las dimensiones que lo conforman, teniendo presente que dicha relación no es biunívoca dado que un principio puede estar relacionado con varias dimensiones o una dimensión se relaciona con varios principios.

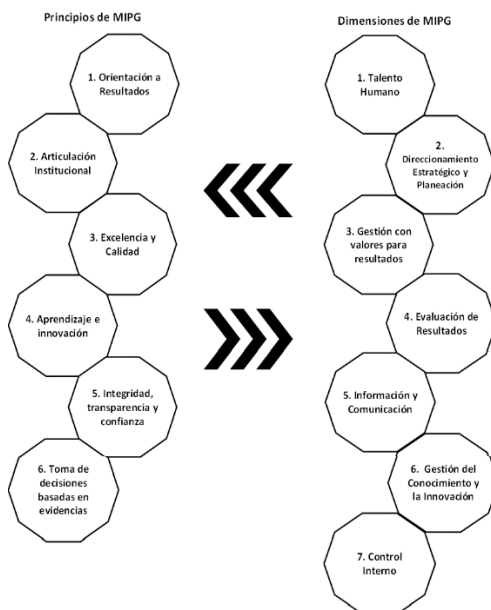
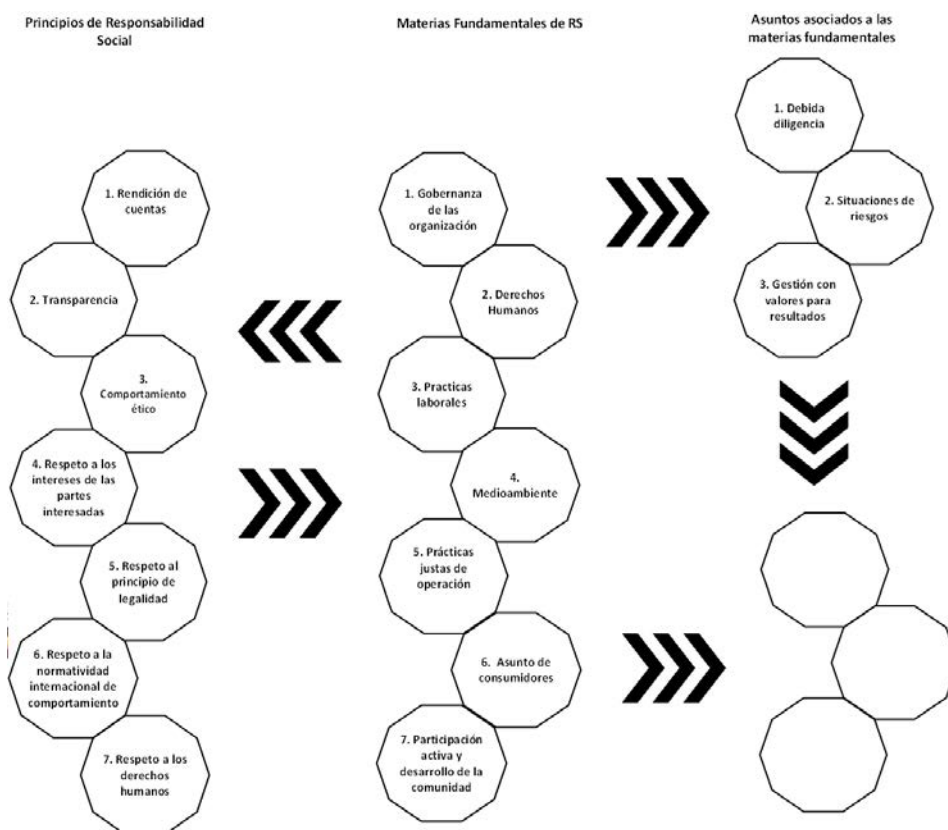


Figura 1. Relación de principios y dimensiones de MIPG [9]

Por su parte, la RS presenta un nivel de complejidad mayor (Figura 2) porque tiene siete principios: 1) rendición de cuentas, 2) transparencia, 3) comportamiento ético, 4) respeto a los intereses de las partes interesadas, 5) respeto al principio de legalidad, 6) respeto a la normatividad internacional del comportamiento, y 7) respeto a los derechos humanos. Los cuales tienen un proceso de desdoblamiento en siete materias fundamentales: a) gobernanza de la organización, b) derechos humanos, c) prácticas laborales, d) medioambiente, e) prácticas justas de operación, f) asuntos de consumidores, g) participación activa y desarrollo de la comunidad. Los principios se relacionan con las llamadas materias fundamentales y estas están ligadas a los llamados asuntos que se operacionalizan con los denominados aspectos. Pasar de los principios a las actividades que deben ejecutar las entidades requiere entender las líneas de relación existentes entre estos tres grupos de elementos. Al igual que con MIPG, un principio se puede relacionar con varias materias fundamentales que se materializan con diferentes asuntos. En este escenario la RS comparte la naturaleza de una relación no biunívoca presente en MIPG.



**Figura 2.** Relación de principios, materias fundamentales y asuntos en la RS [9]

En MIPG y la RS se evidencia que las estructuras básicas tienen una semejanza que se constituye en el escenario donde es posible identificar matricialmente los aspectos comunes y los disímiles a efectos de estructurar la integración por principios [9]. Para realizar la integración de los sistemas de gestión se cuenta con una amplia serie de autores y métodos a seguir. No obstante, la literatura muestra que el ejercicio de integración se ha sustentado en mayor medida en la implementación de la norma ISO 9001 y a partir de ella, la integración con la ISO 14001, menos común es la integración de la ISO 9001 con la ISO 45001.

Los ejercicios menos comunes de integración son la ISO 9001 con la ISO 26000 y donde no se tiene información documentada ni experiencias de integración es entre MIPG, como un modelo propio de gestión gubernamental, con la RS. En esta situación es relevante lo señalado por el profesor Stanislav Karapetrovic [10] en cuanto al: Modelo de Acomodación: En esta alternativa se implementa un modelo que se adaptan a los enfoques de los Sistemas de Gestión existentes y futuros. Estos modelos genéricos se han divulgado en la literatura. Esta estrategia es la más flexible, ya que incluso el propio modelo de una empresa se puede utilizar, sin forzar la conformidad, con los modelos específicos de los Sistemas de Gestión Estandarizados.

Estos modelos también se pueden adaptar fácilmente a los cambios en el Sistema de Gestión Estandarizado actual y a las adiciones de los nuevos Sistemas de Gestión Estandarizados, y deben ser capaces de acomodar

las tres dimensiones para la solución de los problemas de los Sistemas de Gestión Estandarizados. Los problemas para llegar a un consenso en la empresa con respecto al modelo real a seleccionar representan una desventaja potencial.

## 2.2 Fase analítica

Para efectos de la integración por principios primero se requirió elaborar dos instrumentos para cada uno de los modelos que se van a integrar (MIPG-RS) con el propósito de determinar la línea de enlace sistémico entre los principios y los aspectos que los desarrollan (Figura 3). El primer instrumento denominado MATRIZ DE CORRELACIÓN MIPG se fundamenta en relacionar de manera sistémica los principios que tutelan MIPG con cada una de las dimensiones que tienen injerencia directa en su aplicación. El segundo instrumento denominado MATRIZ DE CORRELACIÓN RS, se fundamenta en relacionar de manera sistémica los principios que rigen para la RS con cada una de las materias fundamentales, los asuntos que les corresponden y que tienen injerencia directa en su aplicación.

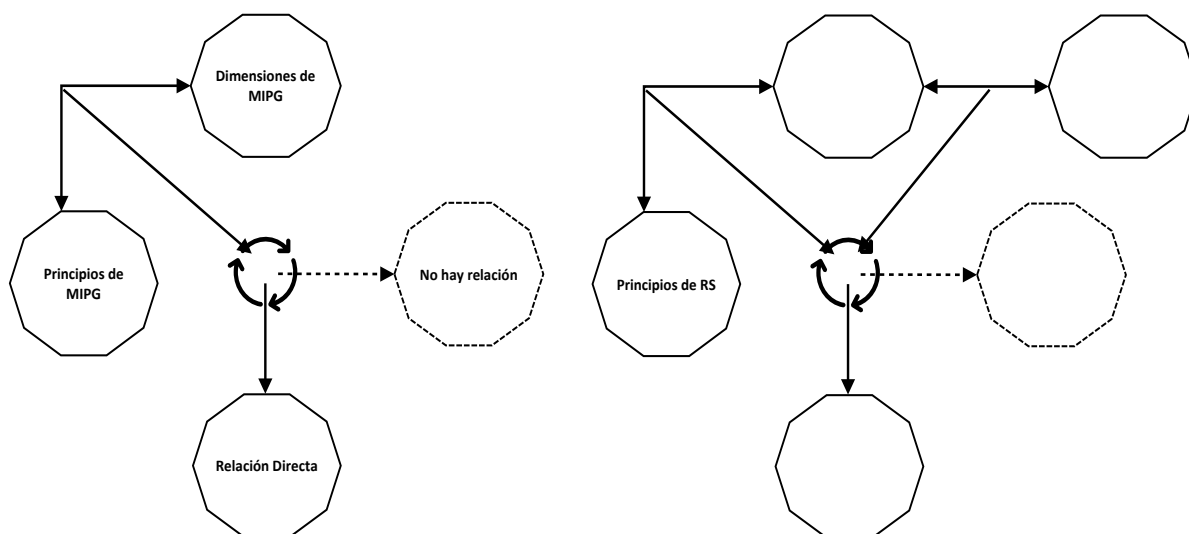


Figura 3. Modelos de las matrices de correlación para MIPG y RS respectivamente [9]

Para establecer la relación integradora se diseñaron dos instrumentos adicionales que cruzan matricialmente la información de la matriz de correlación MIPG con la matriz de correlación RS. El primer instrumento integrador denominado INTEGRACIÓN PRINCIPIOS MIPG CON RS, se fundamenta en la relación que existe entre los principios del MIPG con los principios de la Responsabilidad Social, la cual es directa y no colateral o indirecta.

Esta herramienta permite correlacionar las dos matrices de manera general, de tal manera que el trasfondo responde al análisis relacional de las dimensiones de MIPG con las materias fundamentales de la RS. El segundo instrumento se denomina INTEGRACIÓN PRINCIPIOS DIMENSIONES MATERIAS FUNDAMENTALES DE MIPG CON RS. En éste se desarrolla de manera explícita la relación que subyace entre los principios de MIPG que se operacionalizan a través de sus dimensiones con los principios de la RS, que lo hacen por las materias fundamentales y estas, a su vez, con los asuntos (Figura 4).

Este modelo de integración por principios parte de la premisa que existen acciones que se enmarcan en el mismo ámbito o actividades similares que tienen origen en diferentes principios. Esta articulación es el elemento esencial para realizar la integración por principios. En este contexto, existen acciones que ejecutan las entidades públicas para implementar MIPG que son análogas o similares a los asuntos relacionados con las materias fundamentales que desarrollan los principios de la RS.

El resultado es una matriz que determina la integración de MIPG con la RS, posibilita el diagnóstico del estado actual de la RS en la entidad a partir de la implementación de MIPG y la guía como instrumento que determina las acciones que hacen falta para cumplir plenamente con la RS y con ello pueda la entidad pública declararse socialmente responsable.

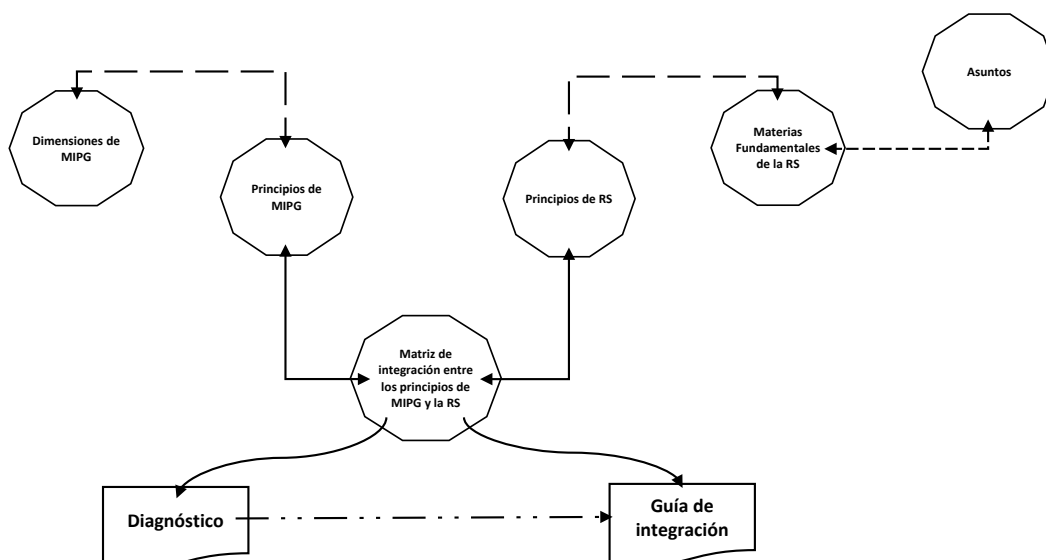


Figura 4. Esquema de la matriz de integración por principios entre MIPG y RS [9]

### 2.3 Fase de diseño

La herramienta de diagnóstico y la guía de integración se construyen a partir del uso de afirmaciones, tipo escala de Likert, que se elaboran con base en la información que debe tener la entidad producto de implementar MIPG y los asuntos que hacen falta para cumplir con la RS. En el diseño de la matriz se construyeron tablas que se soportan en los resultados de las matrices de correlación de MIPG y de RS en el entorno de la integración por principios sustentada en la matriz integración principios dimensiones materias fundamentales de MIPG con RS. Estas tablas están parametrizadas con ponderación de pesos y una distribución en niveles según los aspectos relacionados con las dimensiones para el caso de MIPG y con las materias fundamentales para la RS.

Esta parametrización tiene por propósito establecer un intervalo que determina el nivel del estado actual y con ello calcula la brecha existente. A partir de esta información se coteja contra las tablas de relación de los principios e identifica los aspectos de las dimensiones que se deben fortalecer en MIPG para afectar positivamente la RS y las actividades de la RS que se deben adoptar por la entidad que no están relacionados con MIPG, pero son necesarios para que la entidad se declare socialmente responsable.

La matriz analiza el valor de la evaluación frente a las diferentes tablas y determina por cada principio de la RS un concepto de su estado actual, la valoración cualitativa según la escala usada por el Departamento Administrativo de la Función Pública DAFP y determina los numerales de la RS relacionados con los asuntos que se enmarcan en el principio examinado que deben ser ejecutados por la entidad. Esta misma dinámica es redundante para cada uno de los siete principios de la RS (Figura 5).

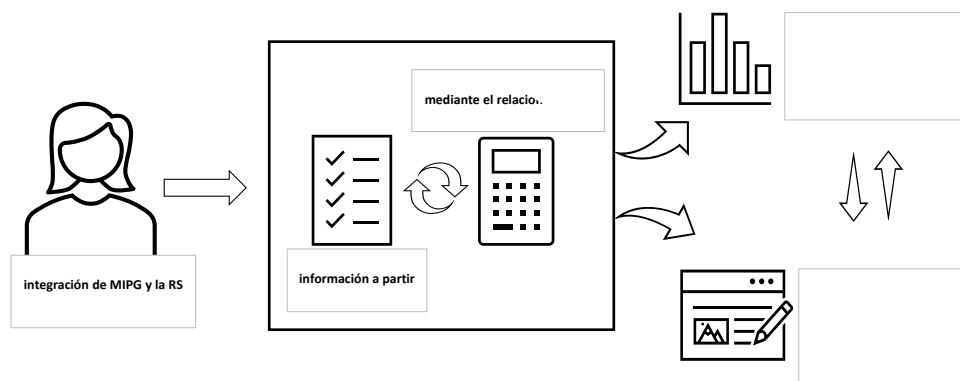


Figura 5. Esquema de diagnóstico y guía de integración de MIPG con la RS [9]

El evaluador solo debe ingresar un valor en la escala de Likert que corresponda a las evidencias que la sustentan, así la matriz hace los cálculos internos y en el reporte informa sobre el estado actual indicando

para MIPG y para la RS las acciones que se deben realizar. Esta parte del reporte, que en últimas es la guía de integración, viene acompañado de una información gráfica mediante un histograma de frecuencia donde se muestra con exactitud el nivel actual de la RS solo a partir de las acciones desplegadas por la entidad pública para cumplir con MIPG.

En términos generales, la herramienta diseñada permite que con la información que se incorpora se pueda establecer el estado actual de MIPG y la RS, orienta sobre las acciones que la entidad debe realizar en MIPG para potencializar su impacto en los aspectos comunes con la RS e indica los asuntos que debe aplicar la entidad pública para que la entidad se pueda reconocer como socialmente responsable.

## **2.4 Fase de validación**

El instrumento recibe un análisis de especialistas donde concluyen con criterios tales como el fácil uso por parte de cualquier servidor público, adecuada información conceptual y gráfica que le permite al representante legal de la entidad tomar la decisión de emprender la integración de la RS con MIPG.

Esta investigación se llevó a cabo utilizando una metodología combinada de entrevistas, consultas y diálogos presenciales con universidades, organismos de estado, asociaciones profesionales y empresas; además, se apoya en una revisión de la literatura y en consultas a estudiantes, profesores, empleadores, directivos y profesionales en ingeniería y administración. La búsqueda se realizó en las bases de datos de Science Direct, Scopus y WOS, y entre los criterios de selección se tuvo en cuenta la trayectoria del autor, la cobertura de la investigación, el tipo de investigación realizada y la contrastación de los resultados.

## **3. RESULTADOS Y ANÁLISIS**

La integración de sistemas de gestión es recurrente en las entidades públicas y privadas cuando se enfrentan a la necesidad de incorporar sistemas normalizados ya sea la ISO 9001 con cualesquier otra como la ISO 14001, la ISO 45001 o la ISO 27001. Es este escenario la literatura es amplia en metodologías y experiencias de casos que sirven de orientación a las entidades a la hora de realizar la integración, no solo con el propósito de estar en niveles de excelencia y lograr las certificaciones correspondientes sino también de minimizar costos administrativos cuando no se tiene la integración de los sistemas de gestión.

Sin embargo, el tema central de esta investigación es integrar un sistema diseñado por el Gobierno Nacional para sus entidades públicas como lo es MIPG con la norma ISO 26000, donde ninguno de los dos es certificable por las entidades certificadoras y, además, el modelo gubernamental es de obligatoria adopción por las entidades públicas en tanto que la RS está en el campo de la voluntariedad.

No hay información documentada que dé cuenta de esta posibilidad y menos cuando uno de los sistemas a integrar es gubernamental y obligatorio. Es así como la experiencia de la integración entre sistemas de gestión certificables puede ser una orientación, pero no se constituye en el derrotero a seguir. Ante esta ausencia de conocimiento y de casos prácticos se toma la decisión de integrar MIPG con la RS a partir de los principios y no de requisitos, que es la metodología más recurrente, dado que ni MIPG ni la RS tiene una estructura homogénea, como los sistemas de gestión certificables que tiene una estructura de alto nivel.

La integración por principios constituye un reto por cuanto requiere de un análisis del principio mismo, del entorno de aplicabilidad y alcance e incluso de sus limitaciones. En este mismo sentido esta la dificultad en la sintaxis en la redacción de la definición de los principios de MIPG o en la RS. El análisis sintáctico se convierte en una barrera que se supera con el apoyo de los aspectos que desarrollan los principios. Esta situación es más desafiante que una integración por requisitos dado que, a posteriori, esta última puede llegar a convertirse en un listado que corresponde a la sumatoria de requisitos de los sistemas a integrar.

El aparejamiento de los principios de MIPG y la RS es el sustento fundamental de la integración, dado que es el escenario donde las actuaciones de las entidades públicas comparten los compromisos legales con MIPG y volitivos con la RS en un entorno de servicio a la comunidad o como lo determina la Constitución Política, en el logro de los fines esenciales del Estado.

En la actualidad hay trabajos que abordan por separado la integración de la RS con otros sistemas de gestión y la integración de sistemas de gestión certificables con MIPG. Si bien ninguno está en la misma línea investigativa de este trabajo, se constituyen en experiencias que enriquecen la perspectiva de la integración. Estos trabajos de integración coinciden en el elemento integrador que corresponde a los requisitos, lo cual difiere a la propuesta de integración por principios.

El estudio inédito de guía metodológica para la integración de ISO 9001:2015 y el modelo integrado de planeación y gestión MIPG en Colombia [11], examina un escenario parecido al propósito de esta investigación, con la diferencia que la ISO 9001 es un sistema de gestión estandarizado y certificable. El estudio llega a establecer el nivel de convergencia, divergencia y complementariedad entre los dos sistemas y da una línea general de accionar, [8], pero no determina con exactitud en su caja de herramientas las acciones relacionadas directamente entre los requisitos de la ISO 9001:2015 y MIPG que deben ser cumplidos por la entidad pública.

Respecto de la integración de la RS con otros sistemas de gestión estandarizados se tiene el trabajo denominado propuesta metodológica para integrar la Responsabilidad Social Empresarial bajo la guía ISO 26000:2010 y los Sistemas de Gestión de medio ambiente y salud y seguridad en el trabajo bajo las normas ISO 14001:2015 e ISO 45001:2018 en empresas extractivas del sector hidrocarburos en Colombia [12]. Ese trabajo comparte con esta investigación el hecho de integrar la RS con otros sistemas de gestión, pero con la diferencia en los sectores donde se aplica. Igualmente, la metodología de integración es disímil porque el estudio utiliza la norma PASS 99:2012 bajo la estructura de PHVA en tanto esta investigación se hace por principios. La integración propuesta no llega a un instrumento consolidador que permita realizarla.

El trabajo gestión integrada de la calidad, medio ambiente, seguridad y salud laboral bajo la triple E y el paradigma holónico fractal [13], es un esfuerzo de integración muy importante y valioso desde la perspectiva metodológica. En efecto, la integración a través de una solución informática sustentada en los paradigmas holónico y fractal muestran un sendero diferente a la tradicional integración a partir de los requisitos, es la misma filosofía que tutela la integración por principios que se propone en este trabajo. En este mismo sendero esta la nueva metodología desarrollada para la integración de *lean manufacturing*, Kaizen e ISO 31000:2009 basados en la ISO 9001:2015 [14].

La investigación desarrollada se encuentra dentro de una novedosa corriente de integración de sistemas de gestión, donde los requisitos no son el principal eje articulador, sino que este se mueve en campos del saber diferentes [9]. La modelación depende del propósito y naturaleza de la entidad apoyados en paradigmas contemporáneo y holísticos, que trascienden los mínimos de la norma estandarizada para proyectar a las organizaciones o entidades a niveles de excelencia y responsabilidad social. La finalidad de este trabajo se enmarca en esta nueva dinámica en la que la responsabilidad social ISO 26000 [15], es un aspecto esencial que va encaminado a fortalecer la gestión tanto en entidades públicas como privadas.

#### 4. CONCLUSIONES

Es posible realizar la integración de sistemas de gestión, que no tienen estructura de alto nivel y carecen la vocación de certificación, a partir del estudio y análisis de sus principios. Este reto integrador requiere una mirada holística del problema y soluciones creativas, pero no por ello, menos novedosas y aplicables por parte de las entidades. La integración de un sistema normalizado como la RS y un modelo propio de la administración pública como lo es MIPG requiere entender las dinámicas estatales y el propósito social de la RS para enmarcarlos en una metodología que permita, por una parte, evaluar el impacto de las acciones estatales en el logro de los fines de la RS. Aunado, contar con un instrumento que sea orientador de las acciones que se deben realizar en el modelo gubernamental para potencializar los efectos en la RS y las acciones propias de ISO 26000, que no están presentes directa ni indirectamente en MIPG.

El desafío integrador de MIPG y la RS lleva al diseño de herramientas parametrizadas que examinan el estado del arte de la RS en la entidad. Orienta las acciones institucionales, en una filosofía de optimización de recursos, para llegar a ser socialmente responsable. Esta solución, validada por especialistas de diferentes sectores de la administración pública, muestra la bondad de ser estándar por cuanto su

parametrización y operatividad se adecua a cualquier entidad pública. La integración por principios reconoce que las entidades públicas realizan cotidianamente acciones o gestiones, que sin saberlo a ciencia cierta, impactan positivamente en acciones sociales responsables [16], a partir de hacer este reconocimiento, de potencializarlo y sumarle otras acciones se llega la propósito de ser socialmente responsable en términos de la RS y cumplir con una gerencia pública adecuada a la luz de MIPG que redundan en el logro de los fines esenciales del Estado, ordenado por la Constitución Política.

La integración propuesta a partir de los principios de los sistemas de gestión se hace posible siempre y cuando se realice una adecuada y precisa relación de ellos en el ámbito institucional; no solo en entidades públicas sino también puede ser una experiencia favorable para el sector privado.

El trabajo realizado abre la perspectiva de nuevas investigaciones en el campo de los sistemas y modelos de integración por principios como también la importancia de que una gestión integrada sea efectiva y socialmente responsable en las organizaciones con miras a una mejora en la gestión organizacional.

## REFERENCIAS

- [1] DNP. (1995). Gestión Pública Orientada a Resultados. Documento CONPES 2790. Departamento Nacional de Planeación.
- [2] DAFP. (2021). Manual Operativo del Modelo Integrado de planeación y Gestión. Departamento Administrativo de la Función Pública.
- [3] ISO. (2018). The Integrated Use of Management System Standards (IUMSS). ISO.
- [4] Ibáñez J. (2015.) Perspectivas de la investigación social: El diseño en las tres perspectivas. El análisis de la realidad social Métodos y técnicas de investigación. Press.
- [5] Hernández R. et al. (2014). Metodología de la investigación. McGraw-Hill.
- [6] Maxwell J. (2019). Diseño de investigación cualitativa. Editorial Gedisa.
- [7] Muñoz N. (2011). El estudio exploratorio. Mi aproximación al mundo de la investigación cualitativa. Invest Educ Enferm. 29(3), 492-499.
- [8] Corte Constitucional. (2014). Expedientes T- 3.996.814, T-3.996.833, T-3.996.834 y T-3.996.835. T-781/2014 Recuperado: <https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2014/t-781-14.htm>
- [9] Ciales L. (2020). Propuesta de integración de la responsabilidad social al modelo integrado de planeación y gestión. Tesis de maestría. Universidad Santo Tomás.
- [10] Karapetrovic S. (2005). IMS in the M(E)SS with CSCS. Total Quality Management and Excellence–Menadzment Totalnim Kvalitetom & Izvrnost 33(3), 19-25.
- [11] Bernal A. y Herrera L. (2020). Guía metodológica para la integración de ISO 9001:2015 y el modelo integrado de planeación y gestión MIPG en Colombia. Tesis de maestría. Universidad Santo Tomas.
- [12] Calle C. (2020) Propuesta metodológica para integrar la Responsabilidad Social Empresarial bajo la guía ISO 26000:2010 y los Sistemas de Gestión de medio ambiente y salud y seguridad en el trabajo bajo las normas ISO 14001:2015 e ISO 45001:2018 en empresas extractivas del sector hidrocarburos en Colombia. Tesis de maestría. Universidad Santo Tomás.
- [13] Acuña J. et al. (2019). Gestión integrada de la calidad, medio ambiente, seguridad y salud laboral bajo la triple E y el paradigma holónico fractal. En V jornada de investigación y postgrado de la Escuela Politécnica Superior de Sevilla. Sevilla, España.
- [14] Palacios M. et al. (2019). Nueva metodología desarrollada para la integración de Lean Manufacturing, Kaizen e ISO 31000:2009 basados en la ISO 9001:2015. 3C Empresa. Investigación y pensamiento crítico 8(2), 12-43.
- [15] ISO. (2010). ISO 26000 Guía de Responsabilidad Social. International Organization for Standardization.
- [16] Colpas F. et al. (2019). Innovación social y sostenibilidad en América Latina: Panorama actual. Revista Espacios 40(1), 30-41.

# Formalización y normalización de la unidad de gestión del talento humano en las MiPymes

Laura Elena Zapata Jiménez<sup>1</sup>  
Nicolasa María Duran Palacio<sup>2</sup>  
Sandra Milena Malavera Pineda<sup>3</sup>  
*Universidad Católica Luis Amigó*  
Colombia

El modelo empresarial de Mipymes que opera en la ciudad de Medellín, Colombia, adolece de un esquema de formalización y normalización de las relaciones humanas, que permitan generar estabilidad y crecimiento tanto para las personas como para la misma empresa y, en algunos casos, para el entorno socio-económico donde se ubican. El paradigma de relaciones interpersonales ha migrado de una vinculación netamente contractual y legal a un relacionamiento más social-emocional, pero no ha permeado lo suficiente las MiPymes para tener unidades de gerencia del talento humano adecuadas a las realidades del entorno y significativo en su desarrollo y estabilidad. Este trabajo se llevó a cabo bajo los lineamientos de una investigación multimodal, haciendo uso de diferentes métodos, diseños y técnicas para la recolección de datos que, posteriormente, se convierten en información significativa para la toma de decisiones en estudio de fenómenos complejos y semicomplejos, como es la gestión del talento humano. En este caso particular, bajo el criterio de procedimientos de recolección de la información, la investigación se realizó en dos niveles de indagación estratégica: 1) examen exploratorio con análisis preliminares, mediante revisión de antecedentes e informes empresariales y económicos de la situación de las MiPymes en América Latina, Colombia, el departamento de Antioquia y, específicamente, en la ciudad de Medellín y su Área Metropolitana; 2) bajo el criterio descriptivo se seleccionaron, mediante un muestreo no probabilístico o intencional por conveniencia, 15 MiPymes en la ciudad de Medellín y su Área metropolitana, cuya característica común estaba dada por la ausencia de un modelo o programa de desarrollo del capital humano, a pesar de haber atravesado procesos de cambio organizacional. Se contó además con la participación voluntaria de gerentes y empleados en el estudio.

---

<sup>1</sup> Administradora de Empresas, Especialista de Mercadeo y Magíster en Administración.

Contacto: [laura.zapataji@amigo.edu.co](mailto:laura.zapataji@amigo.edu.co)

<sup>2</sup> Psicóloga y Doctora en filosofía.

Contacto: [nicolasa.duranpa@amigo.edu.co](mailto:nicolasa.duranpa@amigo.edu.co)

<sup>3</sup> Ingeniera de Sistemas, Especialista en Alta Gerencia y Magíster en Dirección de Marketing.

Contacto: [sandra.malaverapi@amigo.edu.co](mailto:sandra.malaverapi@amigo.edu.co)



## 1. INTRODUCCIÓN

En Colombia el 94,7% de las empresas se ubican en la segmentación de microempresas, es por ello que se evidencia la necesidad de desarrollar programas de formalización y normalización que les permitan enfrentar los diferentes retos de permanencia, crecimiento y generación de utilidades para así evolucionar a la segmentación de medianas empresas y tener una mejor valoración frente a entidades gubernamentales, bancaras y sociales que las avalen para promover su desarrollo integral y no solo satisfacer sus necesidades básicas, esto se apoya en lo propuesto por el Estados en su Ley 590 de 2000, atendiendo a que estas empresas poseen la capacidad de generar empleo, el desarrollo regional, la integración entre sectores económicos y el aprovechamiento productivo de sus pequeños capitales.

Las MiPymes son fundamentales para el sistema productivo colombiano, generan el 67% de empleo en Colombia y aportan el 28% del Producto Interno Bruto PIB, en Antioquia se registran el 12,6%. Estas unidades productivas se agrupan principalmente en los sectores industrial comercial y servicios, mientras que las pequeñas empresas hacen mayor presencia en el sector agropecuario [1].

Desde las unidades de gestión del talento humano se debe propiciar el mejoramiento continuo a través de los programas de formación los cuales incluyen capacitación, entrenamiento y adiestramiento para poder permitir acercarse al desarrollo de este tipo de empresas en economías desarrolladas ya que en Colombia solo se contribuye con el 28% al PIB, el cual es considerablemente bajo frente a estos países desarrollados que participan con hasta el 50 y el 60% [2].

De acuerdo a los registros [3], se clasifican de acuerdo al tamaño empresarial, así: el 91% lo constituyen microempresas, seguidas por un 6,3% de pequeñas empresas, las medianas conforman un 1,9% y las grandes empresas solo el 0,7%. No obstante, el relevante número de microempresas en la región, ellas no contribuyen significativamente a la generación de empleo y a la mejora de la calidad de vida de la población debido esto a que su permanencia en el mercado es muy volátil sumándose la falta de formación que les permitan mejorar sus procesos empresariales en las diferentes áreas de trabajo como mercadeo, producción y la misma gestión humana que, como la *cenicienta* de la casa, no tienen un papel determinante en los procesos de toma de decisión ya que su orientación está dada a la supervivencia, no a desarrolla capacidad productiva para la innovación e internacionalización de su producción.

Teniendo conocimiento de esta situación a través de la investigación se pudieron establecer criterios necesarios para que esta función fundamental en las empresas cumpla con sus propósitos.

## 2. MÉTODO

La investigación se llevó a cabo bajo los lineamientos de una investigación multimodal, el cual se entiende como una manera de estudiar fenómenos complejos y semicomplejos a través del uso de diferentes métodos, diseños y técnicas, se recolectaron y analizaron datos, considerando diferentes opciones, de acuerdo con el criterio que se seleccionen para llevar a cabo la integración del conocimiento [4].

En este caso particular, bajo el criterio de procedimientos de recolección de la información, la investigación se realizó en dos niveles de indagación estratégica: un examen exploratorio con análisis preliminares, mediante revisión de antecedentes e informes empresariales y económicos, de la situación de las MiPymes en América Latina, Colombia, en el departamento de Antioquia y, específicamente, en la ciudad de Medellín y su Área Metropolitana. Esto facilitó mayor comprensión y entendimiento del problema a indagar. Posteriormente, se realizó en un nivel descriptivo, el análisis de las categorías para el logro de los objetivos propuestos.

Bajo el criterio descriptivo, se escogieron pequeñas mediante un muestreo no probabilístico o intencional por conveniencia, 15 MiPymes en la ciudad de Medellín y su Área metropolitana, cuya característica común estaba dada por la ausencia de un modelo o programa de desarrollo del capital humano, a pesar de haber atravesado procesos de cambio organizacional en los últimos 5 años de su existencia empresarial. Se contó además con la participación voluntaria de gerentes y empleados en el estudio.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En los últimos cincuenta años las relaciones interpersonales en las organizaciones laborales, se han transformado significativamente. Se ha pasado de una interacción basada exclusivamente en el trato contractual y legal con los funcionarios, a otro tipo de vínculos en los que los aspectos socioculturales juegan un papel preponderante en el liderazgo los procesos del área del talento humano.

Esta labor requiere conocimientos específicos sobre los procedimientos implicados en esta unidad estratégica, que todo el tiempo exige para quien la lidera, discernimientos para enfrentar los desafíos competitivos, legales, demográficos y de intereses.

Tradicionalmente, la gestión humana se ha concebido como el proceso de dirección, a través del cual se transforman los comportamientos de los sujetos en beneficio de la persona misma, la organización y la sociedad. Sin embargo, a partir de la década de los años noventa, con la toma de conciencia de que el ser humano es el factor que da la mayor ventaja competitiva a las organizaciones, la administración del recurso humano ha tomado suma importancia y empieza a ser redefinida como el área encargada de los procesos estratégicos que dan guía, apoyo y soporte a la gerencia estratégica, y, por otro lado, procurar la satisfacción personal de los empleados y su desarrollo en la productividad.

Si bien, la gestión del talento humano ha tomado cada vez más valor en las empresas, no todas cuentan con esta área estratégica, lo suficientemente estructurada y empoderada de los procedimientos requeridos para garantizar la calidad de la administración. Las medianas y pequeñas empresas en Colombia, no poseen un modelo de dirección de su talento humano en articulación con las demás unidades de la organización, de tal modo que minimice los riesgos de calidad, ausentismo y rotación laboral, incremento de costos en adiestramiento, entrenamiento y capacitación. Cada una de estas falencias les genera problemas en la toma de decisiones para su permanencia y competitividad empresarial.

Adicionalmente, en el direccionamiento de las MiPymes, se observa mayor interés por aspectos productivos financieros y comerciales, que por la implementación de unidades de talento humano; por lo tanto, no poseen procesos establecidos para elaborar e implementar procedimientos para requerimiento, reclutamiento, selección de personal, formación, evaluación, seguridad en el trabajo, programas de fidelización y permanencia. Las MiPymes que lo han intentado, lo hacen inadecuadamente.

Las empresas con menos de veinte empleados realizan prácticas ad hoc o inmediatistas, que además de ser confusas, representan mayores riesgos para sus planes de crecimiento, diversificación y supervivencia, al no contar con trabajadores calificados y comprometidos. Los costos en contratación de profesionales en gestión humana no son permitidos en las pequeñas empresas, así que la responsabilidad de esta área la asumen los gerentes generales. En las prácticas de reclutamiento se usan fuentes informales referidas de familiares, amigos, empleados, el aviso en puerta y la vinculación laboral por temporadas, desconociendo las ofertas de las bolsas de empleo, de las universidades.

En este capítulo se ofrecen las pautas para que las MiPymes realicen un idóneo proceso de diseño, implementación y dirección del área de gestión del talento humano en sus organizaciones. Ahora bien, los modelos de dirección del recurso humano están íntimamente relacionados con los estilos de liderazgo empresarial, los tipos de estructura organizacional, y en algunos casos, con el sector, la industria o la actividad que realizan. Así mismo, existen diferentes teorías que definen y agrupan los procesos y subprocesos de gestión humana en modos distintos.

Sin embargo, no difieren sustancialmente en sus explicaciones y clasificaciones. Lo común a todas al describir la configuración de esta área, consiste en que siempre deben estar presentes los siguientes aspectos, presentados en la Figura 1: análisis y diseño de los puestos de trabajo, planeación del recurso humano, análisis del ambiente organizacional, requerimiento y reclutamiento de personal, selección, formación, evaluación de desempeño, sistemas de compensación, seguridad en el trabajo y fenómenos de desvinculación.



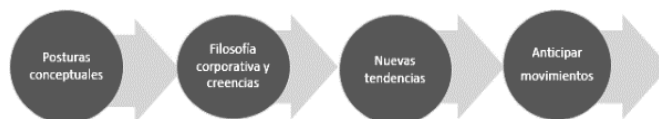
**Figura 1.** Proceso de gestión del talento humano

Para analizar y diseñar puestos de trabajo en una empresa sin importar su tamaño, sector económico e industria, se debe iniciar con el análisis de la estructura organizativa, a saber, el proceso a través del cual se valoran todas las unidades y actividades que componen la empresa, y con las cuales se logran la misión y la visión institucional. Esta secuencia analítica es sistémica, objetiva, interdisciplinaria, generadora de datos e información para la toma de decisiones.

Las teorías de análisis organizacional presentan diversidad de modelos, técnicas y herramientas para el estudio y tratamiento de las situaciones sencillas y complejas de las organizaciones. Analizar una empresa implica el conocimiento de la cultura empresarial, para la búsqueda del mejoramiento continuo de los procesos y procedimientos, la aplicación de las mejores prácticas corporativas, lo que redundará en el cumplimiento de altos estándares de calidad en la productividad y la prestación de un excelente servicio.

Todo análisis organizacional supone el seguimiento de una serie de pasos ordenados jerárquicamente, como se visualiza en la Figura 2.

1. Discernir y asumir posturas conceptuales, es decir, referentes teóricos que orienten y validen las decisiones tomadas en el diseño y análisis de cargos.
2. Clarificar y hacer coherencia entre la filosofía corporativa y las creencias pragmáticas de quienes conforman la organización.
3. Incorporar nuevos conceptos que den pautas para transformar, proyectar y establecer la dinámica empresarial, según los requerimientos del mercado.
4. Reinterpretar las experiencias organizacionales y anticipar las tendencias económicas, administrativas, técnicas y jurídicas, que le permitan un mayor desarrollo de su cultura.



**Figura 2.** Proceso análisis organizacional

Ahora bien, los aspectos del análisis organizacional involucran el escrutinio de la realidad de la empresa, desglosado en seis aspectos, como se puede observar en la Figura 3.

- Observación y reflexión sobre la estructura organizativa, las líneas de autoridad y poder, además de los tramos de control (subordinación y dirigencia).
- Estudio de las funciones de cada puesto de trabajo y de cada estamento de la corporación
- Análisis de los procesos generales y descripción de las secuencias de las funciones en los puestos de trabajo.
- Promoción de la transferencia de conocimiento.
- Examinar las relaciones entre las distintas dependencias para la toma de decisiones.
- Establecer las comunicaciones y coordinaciones en la ejecución de las labores.

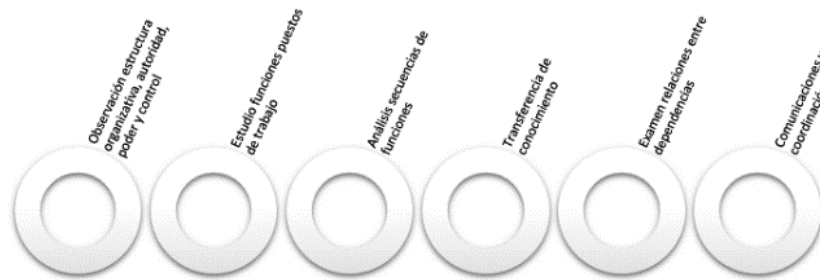


Figura 3. Aspectos del análisis organizacional

Las pequeñas y medianas empresas en Antioquia, han nacido como negocios familiares o famiempresas, con el propósito de ser el modo de subsistencia básica de una parentela, que posteriormente se proyecta como unidad de negocio que no solo beneficia a un clan familiar, sino a otras personas de la comunidad. No obstante, el crecimiento y la proyección económica de estas famiempresas aumentan, la estructura organizativa no evoluciona al mismo ritmo que su desarrollo le exige. El resultado es una empresa productiva, pero sin una configuración pertinente para enfrentar los desafíos del entorno empresarial.

Los mayores inconvenientes de mantener modelos lineales de administración en las pequeñas y medianas empresas, están dados por la poca capacidad que tienen estas organizaciones con este modelo, para competir eficazmente en mercados regionales y nacionales. A su vez, poseen deficiente claridad para identificar las acciones estratégicas le den identidad y valor agregado a sus servicios y productos, en relación con sus competidores directos e indirectos. Las estructuras verticales o lineales también son un obstáculo para la gestión del conocimiento y la fidelización del personal experto, dando como resultado la pérdida de la identidad y del reconocimiento de sus productos y servicios, toda vez que sus empleados desertan.

La insistencia de una administración vertical en las Pymes también trae otro tipo de problemas, que si bien los mismos empresarios, pueden considerarlos males menores, tienen un impacto significativo en la sostenibilidad de la empresa, a saber: la inexistencia de ascensos laborales y de curvas salariales asociadas a la complejidad de las tareas, de ahí su alta rotación laboral; el desconocimiento de la necesidad de poseer otras áreas funcionales como la de gestión humana y mercadeo, necesarias para apoyar y favorecer el crecimiento empresarial y la permanencia en el mercado.

### 3.1 Estructuras organizacionales

A través del tiempo las estructuras organizacionales para pequeñas y medianas empresas, han evolucionado a consecuencia del cambio exigido por el mismo entorno que flexibiliza los esquemas de trabajo y el relacionamiento con sus diferentes públicos. Esto se puede visualizar en las Figuras 4, 5 y 6, donde se pasa de un esquema vertical rígido y coercitivo a esquemas dinámicos y por procesos que en algunos casos pueden estar tercerizados.



Figura 4. Estructura piramidal

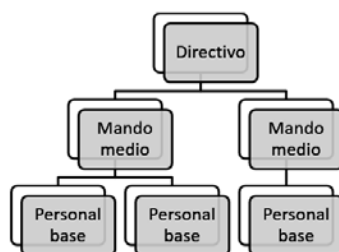


Figura 5. Estructura funcional



Figura 6. Estructura por procesos

Observar la estructura organizativa de una Pyme con potencialidad para participar eficientemente en el medio empresarial, requiere juzgar la necesidad de pasar de una estructura organizativa vertical a una más funcional y liderada por procesos acordes a las exigencias del medio, en donde el ejercicio de la autoridad, poder y control se ejecute de modo dinámico, más participativa y sin mecanismos de coerción que restrinjan la creatividad y la innovación.

Tal como se ha venido exponiendo, el análisis organizacional permite el diseño y estudio de cargos, concebidos como una unidad estructural básica que agrupa todas aquellas actividades, tareas y responsabilidades realizadas por un empleado que ocupa un lugar específico en la empresa. Al analizar un puesto de trabajo deben considerarse tres aspectos: desglosar detalladamente todas las actividades desempeñadas por el empleado, analizar datos en tiempo real, diseñar el cargo en función de las tareas y no de las personas.

Por otro lado, el estudio de todo cargo o puesto de trabajo en cualquier organización, supone el conocimiento de su contenido: competencias, funciones, tiempos de ejecución, razón de ser de la función en la empresa y forma de realización de las actividades. Así mismo, el diseño de un puesto de trabajo exige conocer no solo los contenidos del cargo, sino también los métodos de trabajo, las competencias laborales, el nivel jerárquico, las áreas de actuación, complejidad, alcance y cobertura, además de las relaciones y las comunicaciones con otras áreas y estamentos superiores e inferiores.

Para el diseño de puestos de trabajo se han utilizado diferentes teorías de la administración, desde las más clásicas hasta las más liberales. [5-7] dieron origen al denominado modelo tradicional, caracterizado por permitir la configuración de los cargos, para ejercer sobre ellos un control coercitivo, orientado exclusivamente a la tarea y al resultado específico, sin alteración alguna fomentada por el criterio propio del empleado. Un ejemplo de ello lo constituyen las organizaciones militares y eclesiales.

Transformaciones en la concepción antropológica del ser humano, en la década de los años treinta, suscitaron el surgimiento del modelo humanista en la administración, inspirado en la teoría de Herzberg. En este nuevo pensamiento organizacional, los ejercicios de control son innecesarios, ya que los empleados son considerados como seres con capacidad de discernimiento, auto-regulación y autonomía para hacer la labor. Este cambio paradigmático en la administración suscitó conflictos de orden técnico, económico y social en las empresas, lo que obligó a repensar el objetivo de la administración en las organizaciones; el resultado fue la emergencia del paradigma situacional o de enriquecimiento del puesto de trabajo, soportado en los postulados de Douglas McGregor, en los años sesenta, para quienes los puestos de trabajo deben estar diseñado teniendo en cuenta la evolución del entorno, las estructuras organizativas, los requerimientos de trabajo, las capacidades de las personas, autonomía y su motivación para el trabajo (iniciativa y retroalimentación).

Desafíos de tipo económico, político, cultural, tecnológico, ecológico y corporativo que enfrentan las organizaciones laborales mundialmente, exigen la reconsideración y superación de los modelos clásicos y modernos en el diseño de puestos de trabajo. Las condiciones de vida y relaciones laborales posmodernas, promovieron la aparición de nuevos modelos administrativos alternativos: círculos de calidad y calidad total, gestión por procesos, por competencias y de mejoramiento continuo, cuyos objetivos comunes están orientados hacia la innovación, la permanencia en el mercado y el crecimiento económico de las empresas.

En la contemporaneidad el modelo de administración por competencias (Figura 7), ha resultado ser conveniente tanto para las grandes como para las medianas y pequeñas empresas, en tanto permiten el logro de dos objetivos, por un lado los empleados adquieren habilidades en la ejecución de sus labores, actualizándose cada vez más de acuerdo a los requerimientos del entorno (competitividad y calidad), y por otro lado, las empresas logran la evolución en sus productos y servicios que les facilita la innovación constante, fundamento último de la estabilidad económica.

La información sobre los puestos y los requisitos para llenarlos se obtiene a través de un proceso denominado análisis de puestos, en el cual se recoge la información sobre diferentes trabajos de manera sistémica obteniendo datos sobre los puestos de trabajo que existen en la organización. Adicional, se realiza una identificación de las competencias que requiere el puesto [8]. La información obtenida del análisis del puesto determina una gran parte de los procesos de talento humano. Para identificar los requisitos de cada cargo, se debe elaborar un cuestionario de análisis del cargo, con el fin de proceder a un correcto reclutamiento de personas que tengan los conocimientos, experiencia y habilidades necesarios. Este instrumento, debe tener los siguientes componentes, como se observan en la Tabla 1.

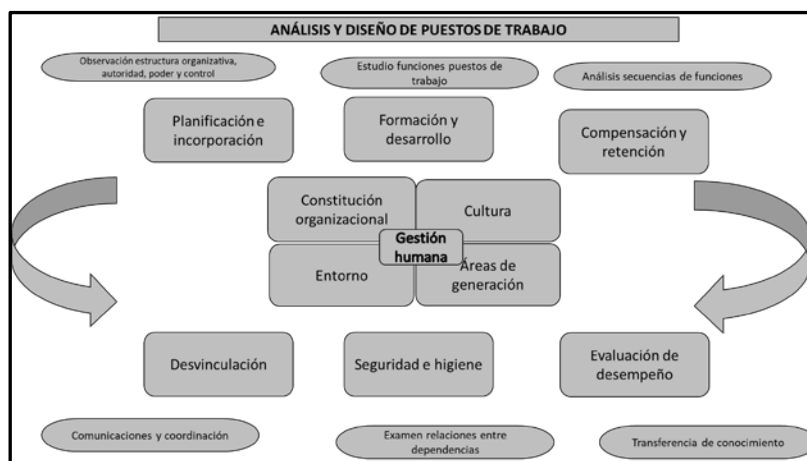


Figura 7. Análisis y diseño de puestos de trabajo

Tabla 1. Componentes del cuestionario de análisis de puestos [8]

|  |   |
|--|---|
| Nivel e identificación                     | Identificación clara del puesto y cómo encaja dentro de un departamento y una división de la organización.  |
| Deberes y responsabilidades                | El formulario debe establecer el propósito u objetivo del puesto, una descripción de las acciones que la persona efectúa para cumplir con sus obligaciones y las condiciones en que se llevan a cabo. |
| Características individuales y del trabajo | Formación académica, experiencia, habilidades y aptitudes especiales.   |
| Niveles de desempeño                       | Niveles de desempeño para evaluar si el empleado está logrando satisfactoriamente sus objetivos.  |

Aunque la mayoría de las empresas, especialmente las medianas, utilizan el sistema de gestión del talento humano por competencias, la revolución digital ha dado un duro golpe a las empresas que han tardado en responder a las exigencias de transformación. El mismo concepto de trabajo se está redefiniendo, a medida que diferentes generaciones entran y salen de la fuerza laboral, en medio de un panorama digital que cambia rápidamente. Los líderes de las organizaciones deben actuar para aprovechar el poder de la revolución industrial 4.0, para obtener ventajas a largo plazo. El imperativo del nuevo liderazgo, consiste en crear la fuerza laboral para el futuro de sus empresas.

Los informes de investigación de la Empresa de Consultoría, Servicios Tecnológicos y Outsourcing-Accenture, y retomados por la Organización Internacional del Trabajo-OIT [9], enfatizaron en que las perspectivas futuras de la fuerza laboral, obligan a los empresarios a poner las habilidades humanas en el corazón de la competitividad y del crecimiento en la era de la tecnología inteligente. Un enfoque integral de análisis de los puestos de trabajo, ha de orientarse en atraer y seleccionar la fuerza laboral más productiva y más adaptable al cambio.

Es fundamental reinventar los puestos de trabajo, utilizando la tecnología digital, para que los empleados tengan experiencias y entornos laborales más ágiles, flexibles y agradables. Las nuevas generaciones de trabajadores, demandan novedosas formas de trabajar en las que se combinan las labores de las personas con las acciones de máquinas y las tecnologías digitales. Estas combinaciones, exigen de los trabajadores nuevas habilidades, talentos frescos, y de las organizaciones se requieren modernas estrategias de dirección.

Las principales habilidades que las personas deben desarrollar para permanecer relevantes en el trabajo son: habilidades técnicas, destrezas para cambiar y aprender, resolución de problemas complejos, servicio al cliente, capacidad para trabajar con máquinas inteligentes, raciocinio y toma de decisiones. Muchas personas que trabajan están conscientes de las habilidades que necesitan desarrollar y están dispuestas a aprenderlas. Pero los empleadores de las MiPymes, todavía no están dispuestos a invertir en la capacitación de su talento humano y esperan que la cualificación sea un asunto con el que lleguen los empleados, o lo resuelvan en su tiempo libre. Aún los gerentes de las medianas y pequeñas empresas en el contexto Antioqueño, no son conscientes de que poner a su talento humano en el centro del cambio y del reentrenamiento de su fuerza laboral de cara al futuro, es fundamental para la supervivencia de su

organización. Si las MiPymes no redefinen la gestión de su talento humano, tienden a padecer de manera más fuerte la crisis de escasez de habilidades y competencias en la fuerza laboral contemporánea.

### 3.2 Cultura organizacional en las MiPymes

La alianza Great Place to Work, Page Group y Gluky Group, especialistas en el desarrollo del talento humano, a través de su primer informe sobre ambiente laboral y desempeño [10], señalan que urge la transformación de los lugares de trabajo, cambiar la vida profesional de los colaboradores y conectar a las personas con la filosofía, valores y objetivos de las empresas en las que trabajan. La principal conclusión del documento es que enfocarse en el talento humano de la empresa, trae dividendos. Un buen clima laboral impacta la productividad y los medidores de desempeño (Key Performance Indicator KIP). De igual modo, cuando la percepción de los empleados sobre el clima laboral de su organización es superior a la del promedio en otras empresas, hay retorno del patrimonio y de los activos, porque aumenta la productividad y las ventas.

Razón suficiente para que los gerentes reflexionen y estimen la gestión del talento humano como uno de los grandes indicadores del éxito de su empresa. Para ello, la coordinación de las capacidades de los colaboradores debe ser estratégica y no solamente operativa. El área del talento humano debe abandonar su papel limitado en las MiPymes en el pago de nómina y diligenciar permisos por calamidad familiar o vacaciones, e ir más allá para convertirse en una unidad indispensable, aliada de la organización que además de conocerla, entiende sus metas de negocio.

De modo tradicional, en el desarrollo del concepto de cultura organizacional, se pueden identificar dos grandes orientaciones: la cognitiva y la valorativa. La primera define la cultura organizacional como un sistema de creencias, pensamientos y lógicas compartidas, acerca de cómo se relacionan los públicos con la misión y los objetivos de una empresa. La segunda la concibe como un conjunto de valores, símbolos y comportamientos colaborativos que viven cotidianamente los sujetos vinculados a la organización. En ambas orientaciones el énfasis está puesto en el trabajo mancomunado de las personas para el perfeccionamiento de una empresa, a través de ideas y principios axiológicos asumidos relacionamente.

El beneficio de analizar y construir una satisfactoria cultura organizacional radica en que esta le permite a una empresa, definir un sistema de pensamientos, significados y comportamientos que orientará las labores y procedimientos empresariales. Los métodos a través de los cuales se encamina la empresa, deben diseñarse y documentarse en manuales, de tal modo que todos los grupos colaboradores en la organización se conduzcan en coherencia con las ideas, valores y procesos empresariales, lo que les permitirá ser más productivos e identificar riesgos, debilidades, oportunidades y capacidades para el mejoramiento continuo de la institución.

En otras palabras, la cultura organizacional es el elemento identitario de una empresa, aquello que le posibilitará su valor diferenciador en relación con otras empresas y le garantiza su permanencia y recordación en el contexto social.

Condiciones de tipo económico, político, legislativo y sociodemográfico, han promovido la transformación de los paradigmas desde donde se concibe la cultura organizacional. Estos cambios van desde los modelos más orientados hacia el poder, pasando por los orientados al cumplimiento de la norma, los dirigidos a los resultados, hasta los más actuales situados en el valor del talento de las personas.

A pesar de esta evolución cognoscitiva en la estimación de la cultura organizacional, ésta siempre posee unos elementos fundamentales: acontecimientos históricos, principios fundamentales, valores, creencias, héroes, mitos y ritos. Así mismo, se conservan unas características de la cultura: la autonomía individual, la estructura, el apoyo, la identidad, el desempeño, tolerancia al conflicto y al riesgo [11].

Los elementos fundamentales de la cultura organizacional pueden ser mejor comprendidos si se agrupamos en los cuatro niveles, propuestos [12]: supuestos básicos, valores e ideologías, artefactos y prácticas, como se visualiza en la Figura 8.



**Figura 8.** Niveles de la cultura organizacional [12]

Las transformaciones en la cultura organizacional, obedecen al cambio en las concepciones en cada uno de los niveles. En este sentido, las prácticas de liderazgo empresarial cambian en la medida en que se modifican los supuestos básicos, los valores, las ideologías y los artefactos: tecnología, estructura física y medios de producción. A su vez, los cambios en cada nivel, modifica también significativamente los demás niveles. Por ejemplo, las innovaciones tecnológicas y de infraestructura, obligan a transformar las formas de contratación, de vinculación y, por ende, cambian los modos de relacionamiento.

La cultura organizacional facilita definir los límites de diferenciación con otras organizaciones, transmitir sentido de identidad, favorecer un compromiso personal e incrementar la estabilidad del sistema social [12]. El desconocimiento de estos aspectos origina el conflicto entre las diferentes unidades que conforman una empresa, afectando principalmente la comunicación, la coordinación, el ejercicio del control y la toma de decisiones, lo cual puede evidenciarse en el surgimiento de las agremiaciones y grupos sindicales.

Por otra parte, cambios en la cultura de una organización, inevitablemente producen modificaciones en el ambiente de trabajo, resultante de la manifestación de distintos elementos interpersonales, físicos y organizacionales, es decir alteraciones en el clima laboral [13]. En este sentido, clima y cultura organizacional están íntimamente ligados.

Los estudios más conocidos sobre clima organizacional, también pueden sintetizarse en dos enfoques, uno estructural y otro subjetivo. El primero describe el clima como el conjunto de factores permanentes que definen y constituyen una organización, afectando el comportamiento de las personas, el tamaño de la empresa, su orden organizacional y la complejidad de los sistemas, las pautas de dirección y liderazgo. El enfoque subjetivo, destaca que, en el estudio del clima de una organización, las opiniones que los empleados se forman sobre la estructura, el tamaño, los sistemas y los procesos de la organización, son muy importantes e impactan el nivel de productividad de la empresa.

Si bien estos son los enfoques que en los tiempos presentes predominan en la gerencia del talento humano en muchas organizaciones medianas, pequeñas y micro, asunto que las diferencia también con las grandes empresas, es sabido que los modos en los que se orientan las capacidades y habilidades en el desempeño laboral de los colaboradores, está íntimamente relacionado con las transformaciones de la industria y la economía a nivel global.

En la actual cuarta transformación industrial, industria 4.0, los cambios que supone para las empresas son complejos, exige el papel de una administración con un liderazgo cada vez más inteligente. Apenas las organizaciones están en una fase de concienciación del poder del desarrollo de las tecnologías aplicables a la producción y de las mutaciones que acontecen en el mundo del trabajo y en los entornos empresariales. La innovación ya no es una cuestión de voluntad, es un imperativo clave para sobrevivir y no desaparecer en el mercado. La revolución tecnológica en la industria del siglo XXI, presenta grandes desafíos en los modos en que se han organizado los medios de producción.

En esta nueva condición, las empresas deben convertirse en factorías inteligentes, capaces de una mayor adaptabilidad a las nuevas necesidades y a los exigentes procesos de producción, así como una asignación



más eficiente de los recursos apoyados en bases tecnológicas: uso intensivo del internet y de tecnología de punta. Esto supone la coordinación cooperativa en todas las unidades productivas de la empresa, a su vez comunicadas entre sí con los mercados de oferta y demanda.

Las grandes transformaciones acontecidas en la economía, el mundo empresarial y laboral, también implican necesarios cambios en la manera en cómo se ha gestionado el talento humano en las organizaciones. Uno de los principales retos consiste crear una dinámica interna laboral que permita atraer, motivar y retener al mejor talento humano. La retención del mejor talento humano, es tal vez el factor más prioritario para que las empresas puedan sobrevivir en una economía digital, cada vez más cambiante y exigente. Según análisis [14], el coste relacionado con la alta rotación laboral y el remplazo de los mejores colaboradores de rango medio, puede significar hasta el 150% de su salario anual.

En los hallazgos de la investigación realizada, un factor común en las quince MiPymes analizadas, es el alto nivel de rotación de personal y el poco cuidado de los empresarios sobre este fenómeno, que además de ser perjudicial para su productividad, amenaza con su pervivencia en el mercado. El alto nivel de renunciadas y de despido de empleados con los mejores desempeños, afecta considerablemente el ambiente laboral y la imagen organizacional en el mundo profesional. Las nuevas generaciones de empleados esperan flexibilidad en horarios y una propuesta de valor agregado, organización personalizada hacia sus colaboradores, que les permita tener mejores oportunidades de desarrollo personal y profesional mientras laboran.

Con los desafíos de la industria 4.0 los paradigmas clásicos de estudio y análisis de clima y cultura organizacional deben cambiar, por lo tanto, desarrollar nuevos modelos de observación y medición de ambientes de trabajo que incluyan variables del sistema organizacional, aspectos motivacionales y/o emocionales de las personas en contextos profesionales y laborales. Es perentorio construir una cultura organizacional para colaboradores contemporáneos en empresas que deben asumir el reto de la innovación en procesos, productos y servicios en un mundo de consumo cada vez más exigente y altamente competitivo. Para ello la cultura organizacional debe configurarse estratégica y sinérgicamente, atendiendo a tres grandes bloques de acción: en primer lugar, la fidelización de su talento humano a través de sistemas de reconocimiento, compensación, capacitación, desarrollo y proyección de los colaboradores; en segundo lugar, atención a la calidad y mejora continua de instalaciones, innovación, logística, tecnología, sistemas gerenciales de información.

Por último, en tercer lugar, cuidado y custodia en la asignación de responsabilidades de trabajo, procesos, calidad, salud ocupacional, peticiones, quejas y reclamos PQR. Cada una de estas variables además de conjugar la gestión estratégica y la gestión organizacional, impactan directamente la productividad la empresa y le otorgan ventaja competitiva.

El informe global de tendencias de Capital Humano, derivado de investigación en 130 países y con la participación de más de 7.000 líderes empresariales y de recursos humanos de todos los sectores de la economía, muestra que los temas clave en gestión humana giran alrededor de: una nueva visión y propósito, nuevos líderes y desarrollo profesional, recursos humanos digitales y nuevos lugares de trabajo. Si bien el liderazgo sigue siendo un factor importante, el diseño organizacional surge como revelación que cuestiona cómo se hace el trabajo, cómo se interactúa y cómo se toman las decisiones [15]. En el contexto de las nuevas generaciones de empleados, las unidades de talento humano deben estudiar a las personas para desarrollar aplicaciones y herramientas que permitan que los empleados se sientan menos estresados y sean más productivos.

Este fenómeno de normalización y formalización debe tener en cuenta que las MiPymes están en mora de poner en marcha toda la legislación y práctica en cuanto a la salud ocupacional, la cual se conceptualiza desde siguientes criterios de salud ocupacional en las pequeñas y medianas empresas. En la mayoría de las MiPymes en Medellín los empresarios son a menudo los únicos propietarios y también los gerentes. Deben encargarse de todas las tareas administrativas, así como de la mayoría de las actividades de apoyo: ordenar suministros, redactar licitaciones y facturas, contabilidad, pagar salarios, contratar personal. Además, muchos propietarios-gerentes también participan en la producción de bienes o servicios. Los recursos de

gestión son, por lo tanto, siempre un recurso restringido en una mediana y pequeña empresa. Adicionalmente, a consecuencia de la presión del mercado y los recursos limitados, los propietarios-gerentes a menudo se encuentran atrapados entre el deseo de crear y mantener una estrategia de ascenso y expansión comercial de su negocio y la exigencia legislativa laboral de cumplir con la normatividad que protege y demanda condiciones de trabajo digno y justo para los trabajadores. En las condiciones actuales de una economía en crisis, la mayoría de las MiPymes estudiadas en esta investigación, se caracterizan por tener escalas de salarios bajos, entornos laborales riesgosos, condiciones de trabajo poco seguras y exigentemente saludables.

Las pequeñas y medianas empresas en Medellín han liderado los procesos de salud ocupacional poco ajustadas a las exigencias legales y procedimentales, y no han estimado suficientemente las implicaciones económicas, sociales y en especial las legales. Se estableció los objetivos generales del Sistema General de Riesgos laborales en la promoción de la seguridad y salud en el trabajo SST y la prevención de los riesgos laborales [16], para evitar accidentes de trabajo y enfermedades laborales. La mayoría de las MiPymes en Medellín, no gestionan de manera pertinente los Comités Paritarios de Salud Ocupacional COPASOS, legislados y exigidos por los Ministerios de Trabajo, Seguridad Social y Salud. La Resolución [17] decreta:

*Todas las empresas e instituciones, públicas o privadas, que tengan a su servicio diez o más trabajadores, están obligadas a conformar un Comité de Medicina, Higiene y Seguridad Industrial, cuya organización y funcionamiento estará de acuerdo con las normas del Decreto que se reglamenta y con la presente Resolución.*

Incluso las pequeñas y medianas empresas que tienen menos de 10 trabajadores no están exentas de cumplir con estos lineamientos: *Las empresas o establecimientos de trabajo que tengan a su servicio menos de diez trabajadores, deberán actuar en coordinación con los trabajadores para desarrollar bajo la responsabilidad del empleador el programa de salud ocupacional de la empresa* [17]. Las empresas con menos de diez trabajadores deben nombrar un vigía ocupacional, por un periodo de hasta dos años, será quien desarrollará las funciones del Comité Paritario de Salud Ocupacional y se registrará en el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social conforme al artículo [16] y a la presente Resolución. Este vigía será responsable de la promoción y la veeduría de la seguridad ocupacional dentro de la empresa. Cada Comité estará compuesto por un número igual de representantes del empleador y los trabajadores, con sus respectivos suplentes [17].

Considerando como número total de trabajadores la suma de los colaboradores de la empresa, tanto en el respectivo municipio como en los municipios vecinos, el empleador nombrará directamente sus representantes al Comité y los trabajadores elegirán los suyos mediante votación libre [17]. La normatividad, labores y potestades de los COPASOS están condensados en el Artículo [18], listados de la siguiente manera:

1. Actuar como veedores del cumplimiento de los programas de salud ocupacional de la empresa.
2. Participar en las actividades de promoción, divulgación y capacitación sobre medicina, higiene y seguridad, para lograr la participación de todo el personal en los programas de salud ocupacional.
3. Según la Resolución [19], los Comités Paritarios de Salud Ocupacional o vigías ocupacionales deben participar en la investigación de los accidentes de trabajo mortales que ocurran en las empresas donde laboran.
4. También el COPASO tienen entre sus funciones, visitar periódicamente los lugares de trabajo e inspeccionar los ambientes, máquinas y operaciones e informar al empleador sobre la existencia de factores de riesgo.
5. El COPASO debe tener un plan de trabajo concreto orientado a apoyar el control de los factores de riesgo más prioritarios. No debe ser un instrumento de quejas y reclamos de temas distintos a la salud y la seguridad laboral
6. En caso de accidente grave o riesgo inminente, el comité se reunirá con carácter extraordinario y con la presencia del responsable del área donde ocurrió el accidente o se determinó el riesgo, dentro de los cinco días siguientes a la ocurrencia del hecho.

7. Servir como organismo de coordinación entre el empleador y los trabajadores en la solución de los problemas relativos a la salud ocupacional.
8. Los COPASOS pueden solicitar la respectiva capacitación sobre los riesgos que se pueden presentar en una empresa, la cual deberá ser brindada por la Administradora de Riesgos Laborales-ARL.

Por otra parte, el Artículo [16], indica que el *empleador se obligará a proporcionar, cuando menos, cuatro horas semanales dentro de la jornada normal de trabajo de cada uno de sus miembros para el funcionamiento del comité*. Además, el Artículo 13 de la Ley [20] obliga a los empleadores a la creación y sostenibilidad de los COPASOS en sus respectivas organizaciones, motivo por el cual en caso de que se presente un incumplimiento de esta ley, traerá a la empresa una serie de sanciones por infringir la normatividad sobre Salud Ocupacional vigente en Colombia.

Lo que en la contemporaneidad conocemos como Seguridad y Salud en el Trabajo, plasmados en las Aseguradoras de Riesgos profesionales ARL, tiene sus orígenes en la ley [21], el decreto [22], bajo el concepto de salud ocupacional, que fundamentado en el Artículo 56 del Código Sustantivo del Trabajo, establece las obligaciones y responsabilidades de protección y seguridad para los trabajadores, a quienes de igual manera les corresponde, junto con el empleador, acatar y cumplir los parámetros de seguridad y conservación de la salud personal y del grupo de colaboradores. Sin embargo, en este estudio se halló que, pese a la existencia de la legislación para salvaguardar la seguridad y la salud de los trabajadores colombianos, no existe una estructura procedimental general y común para todas las empresas, medianas, pequeñas o micro que agrupe los métodos, técnicas, recursos y acciones que permitan una buena aplicación de las normas de seguridad y cuidado de la salud de los empleados, mientras laboran.

Como evidencia de esta apreciación al hacer un seguimiento en el tiempo se hallan legislaciones que han evolucionado a consecuencia de los cambios de paradigmas que se presentan en cuanto a la salud ocupacional, se podría reflejar este cambio desde 2012 cuando el Ministerio del Trabajo transforma la denominación del término salud ocupacional a seguridad y salud en el trabajo, por lo cual el trabajador o empleado debe adoptar esta terminología y, para el caso de estudio, no solo esto es de carácter prioritario para los vinculados a grandes o medianas empresas sino por el contrario es de vital importancia para las MiPymes, las cuales tienen en su proceso de operación de acuerdo a la realidad de los sectores la existencia del esquema de famiempresas, las cuales en la mayoría de los casos no tiene presente esta exigencia y por lo tanto no lo ha formalizado ni normalizado como es el deber ser.

Esta denominación de salud ocupacional solo se refería o hacia énfasis a la salud del trabajador en la presente denominación les da cobertura a factores importantes como la seguridad del trabajador en el sitio donde labora, esto implica la creación de todo un sistema soportado en el ciclo Planear, Hacer, Verificar y Actuar PHVA, lo que a su vez permite hacer claridad cuando los accidentes e incidentes y quien debe prestar la atención y cuidado respectivo. La denomina Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo y consiste en el desarrollo de un proceso lógico y por etapas, basado en la mejora continua y que incluye la política, la organización, la planificación, la aplicación, la evaluación, la auditoría y las acciones de mejora, con el objetivo de anticipar, reconocer, evaluar y controlar los riesgos que puedan afectar la seguridad y salud en el trabajo, esto esté contenido en la legislación colombiana.

Al revisar los marcos teóricos y jurídicos sobre el tema se puede establecer que el paso a paso para dar cumplimiento a esta exigencia del Estado colombiano y a las necesidades del empleador de generar ambientes laborales seguros y de proteger a los empleados en sus labores de trabajo, en procura de una buena calidad de vida, se generan procedimientos basados en la mejora continua de los procesos de seguridad en el trabajo, esto significa que los encargados de la Seguridad y la Salud en el Trabajo, en las empresas, deben anticiparse, evaluar y controlar los riesgos que se forjan o se puedan crear, al realizar las acciones propias de los puestos de trabajo.

No obstante, este criterio fue actualizado para darle cobertura y apoyo a las MiPymes con el establecimiento de lineamientos precisos, esto queda explícito en el Artículo 6: Apoyo, asesoría y capacitación para el diseño, administración y ejecución del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo en la micro y pequeña

empresa. Las microempresas de diez (10) o menos trabajadores y las pequeñas empresas de cincuenta (50) o menos trabajadores, sin importar su capital o medios de producción, podrán tener el apoyo, asistencia, asesoría y colaboración para el diseño, administración y ejecución del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo, de la siguiente manera, en las Microempresas (menos de diez trabajadores) se debe tener en cuenta:

1. El diseño, administración y ejecución del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo, para empresas de diez (10) o menos trabajadores clasificadas en Riesgo I, II, III, según lo establecido en el Decreto [23], o la norma que la adicione, modifique o complemente, podrá ser realizado por técnicos o tecnólogos en Seguridad y Salud en el Trabajo o en alguna de sus áreas con licencia vigente en Salud Ocupacional o Seguridad y Salud en el Trabajo, que tengan vínculo laboral con la empresa; y para los asesores externos técnicos o tecnólogos se exige experiencia en riesgos laborales de dos (2) años; el asesor con vínculo laboral o el externo contratista debe acreditar la aprobación del curso de capacitación virtual de cincuenta (50) horas.
2. Las personas que estén certificadas con el curso virtual de cincuenta (50) horas según lo establecido en la Resolución [24], o la norma que la adicione, modifique o complemente y se encuentren cursando último semestre en programas de formación en Seguridad y Salud en el Trabajo de nivel profesional, especialización o maestría y tengan vínculo laboral con una empresa de diez (10) o menos trabajadores, podrán realizar el diseño, administración y ejecución del Sistema de Gestión en Seguridad y Salud en el Trabajo, este beneficio solo se da una (1) vez por persona.
3. Los consultorios en riesgos laborales que constituyan, creen o conformen las instituciones educativas que cuenten con programas de educación formal de nivel técnico, tecnológico, profesional, especialización o maestría en Seguridad y Salud en el Trabajo, o instituciones que ofrezcan programas, de formación para el trabajo y desarrollo humano en Seguridad y Salud en el Trabajo, están facultados para asesorar y capacitar en Seguridad y Salud en el Trabajo a las microempresas, de manera gratuita y bajo la supervisión de un profesor con licencia en Salud Ocupacional o Seguridad y Salud en el Trabajo. Asimismo, podrán diseñar Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo, con la verificación y firma del supervisor docente de la práctica, sin costos para las microempresas.
4. Los Gremios, Cámaras de Comercio, Asociaciones de Caficultores, Ganaderos, Paneleros y de diferentes sectores o actividades económicas, las Sociedades Científicas, Universidades, Fundaciones, Organismos Internacionales e Instituciones de educación formal y de formación para el trabajo y desarrollo humano, podrán realizar capacitación, asesoría para el diseño del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo de las microempresas afiliadas, de manera gratuita y con personal idóneo debidamente licenciado en Salud Ocupacional o Seguridad y Salud en el Trabajo.

Las empresas contratantes que tengan firmas contratistas de diez (10) o menos trabajadores, que laboren o presten servicio en sus sedes o instalaciones podrán asesorar, capacitar y colaborar con el diseño e implementación del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo SGSST, siempre que cuenten con talento humano de nivel profesional, especialización o maestría en Seguridad y Salud en el Trabajo y dicha persona tenga licencia vigente y curso virtual de cincuenta (50) horas establecidos en las normas en riesgos laborales.

Para las pequeñas empresas (menos de cincuenta trabajadores):

1. Las personas que estén certificadas con el curso virtual de cincuenta (50) horas según lo establecido en la Resolución [24], o la norma que la adicione, modifique o complemente y estén cursando último semestre en programas de formación en Seguridad y Salud en el Trabajo de nivel profesional, especialización o maestría y tengan vínculo laboral con la empresa de cincuenta (50) o menos trabajadores, podrán realizar el diseño del Sistema de Gestión en Seguridad y Salud en el Trabajo, bajo la supervisión de un profesor con licencia en Salud Ocupacional o Seguridad y Salud en el Trabajo, sin costos para los empleadores, este beneficio solo se da una vez por persona.

2. Los Gremios, Cámaras de Comercio, Asociaciones, Sociedades Científicas, Universidades, e Instituciones de educación formal y de formación para el trabajo y desarrollo humano, podrán realizar el diseño del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo, para la pequeña empresa de manera gratuita y con personal idóneo debidamente licenciado.
3. Las Administradoras de Riesgos Laborales deberán brindar a las empresas de cincuenta (50) o menos trabajadores asesoría, asistencia y acompañamiento técnico para el diseño e implementación del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo, que incluya como mínimo las siguientes actividades: Capacitación para realizar la evaluación inicial del Sistema de Gestión en Seguridad y Salud en el Trabajo, formulación de la política y elaboración del plan anual de trabajo, elaboración de la matriz legal, identificación de peligros, evaluación y valoración de los riesgos según actividad económica, definición de prioridades de intervención, formulación de medidas de control y de protección, prevención, preparación y respuesta ante emergencias, investigación de accidentes, incidentes, enfermedades, medición y evaluación de la gestión.
4. Las empresas contratantes que tengan empresas contratistas de cincuenta (50) o menos trabajadores que laboren o presten servicio en sus sedes o instalaciones, podrán asesorar, capacitar y colaborar con el diseño e implementación del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo, siempre que cuenten con personal con formación de nivel profesional, especialización o con maestría en Seguridad y Salud en el Trabajo y dicha persona tenga licencia vigente y acrediten el curso virtual de cincuenta (50) horas establecido en las normas en riesgos laborales.

Con el propósito de estructurar un esquema básico para la valoración, formulación y aplicación de las normas de seguridad y salud de empleados y personal general, en las pequeñas y medianas empresas-MiPymes, se presenta el siguiente paso a paso, que podrá ser usado para cumplir con los criterios establecidos por el Estado colombiano y las aseguradoras de riesgos laborales ARL.

#### 4. CONCLUSIONES

Si bien la gestión del talento humano ha tomado cada vez más valor en las empresas, no todas cuentan con esta área estratégica, lo suficientemente estructurada y empoderada de los procedimientos requeridos para garantizar la calidad de la administración.

Las medianas y pequeñas empresas en Colombia no poseen un modelo de dirección de su talento humano en articulación con las demás unidades de la organización, de tal modo que minimice los riesgos de calidad, ausentismo y rotación laboral, incremento de costos en adiestramiento, entrenamiento y capacitación, los desafíos que enfrentan son del orden de permanencia, crecimiento y supervivencia.

Se constituye como su máxima dificultad la relación con sus empleados esto a consecuencia que en la mayoría de los casos son sus familiares y por lo tanto no se da cumplimiento a los lineamientos organizacionales y por consiguiente con los parámetros de competitividad.

#### REFERENCIAS

- [1] Comfecámaras. (2018). Informe de la dinámica empresarial en Colombia, año 2017. Red de Cámaras de Comercio.
- [2] Dinero. (2016). Las mil Pymes ganadoras. Edición 502. Recuperado: <http://www.dinero.com/edicion-impres/502>
- [3] Cámara de Comercio de Medellín. (2017). Informe sobre desempeño de la economía de Antioquia en el primer semestre de 2017. Recuperado: <https://www.camaramedellin.com.co/biblioteca/c225mara-de-comercio-de-medell237n-presenta-informe-sobre-desempe241o-de-la-econom237a-de-antioquia-en-el-primer-semester-de-2017>
- [4] Blanco N. y Pirela J. (2016). La complementariedad metodológica: Estrategia de integración de enfoques en la investigación social. Espacios Públicos 19(45), 97-111.
- [5] Taylor F. (1916). The scientific management. Jossey Bass.
- [6] Gilbreth F. y Gilbreth L. (1919). Applied motion study: A collection of papers on the efficient method to industrial preparedness. Sturgis & Walton Company.

- [7] Gantt H. (1919). Work, wages and profit. The Engineering Magazine 41, 13-16.
- [8] Werther W. y Davis K. (2008). Administración de recursos humanos. El capital humano de las empresas. McGraw-Hill.
- [9] OIT. (2015). Tendencias Mundiales sobre accidentes de trabajo y enfermedades profesionales. Organización Internacional del Trabajo.
- [10] Great Place to Work. (2019). The work book. Recuperado: <http://www.theworkbook.co/2019/03/13/the-work-book/>
- [11] González A. y Bellino D. (1995). Modelo de gestión de recursos humanos. Tesis de Maestría. Universidad Metropolitana, Caracas.
- [12] Schein E. (1988). La cultura empresarial y el liderazgo. Una visión dinámica. Plaza & Janes.
- [13] Álvarez G. (1992). El constructo clima organizacional: Concepto, teorías e investigaciones y resultados relevantes. Interamericana de Psicología Ocupacional 11(1-2), 25-50.
- [14] Portafolio. (2016). El costo de la alta rotación de personal para las empresas. Recuperado: <https://www.portafolio.co/economia/empleo/costos-de-la-alta-rotacion-de-personal-en-las-empresas-502333>
- [15] Dolitte. (2016). La planeación de escenarios para mejorar la toma de decisiones. Recuperado: <https://www2.deloitte.com/gt/es/pages/strategy/articles/planeacion-con-escenarios-para-decisiones.html>
- [16] Ministerio del Trabajo y Seguridad Social. (1994). Decreto 1295 de 1994. República de Colombia.
- [17] Ministerio del Trabajo y Seguridad Social. (1986). Resolución 2013 del 6 de junio de 1986. República de Colombia.
- [18] Ministerio de Salud. (2012). Ley 1562 de 11 de julio de 2012. República de Colombia.
- [19] Ministerio de Salud. (2007). Resolución 1401 de 2007. República de Colombia.
- [20] República de Colombia. (2012). Ley 1562 de 2012. Bogotá.
- [21] Ministerio de Salud. (1979). Ley 9 de 1979. República de Colombia.
- [22] Colombia. (1984). Decreto 614 de 1984. Por el cual se determinan las bases para la organización y administración de Salud Ocupacional en el país. Bogotá.
- [23] Ministerio del Trabajo. (2002). Decreto 1607 del 2002. República de Colombia.
- [24] Ministerio del Trabajo. (2016). Resolución 4927 del 2016. República de Colombia.

# Análisis a la incidencia del liderazgo directivo en el clima organizacional

Dora Emilce Pino Tapias<sup>1</sup>

Francisco Javier Cartes Arenas<sup>2</sup>

Rubí Margarita Arrizaga Zercovich<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Fe y Alegría de Colombia*

Colombia

<sup>2</sup>*Universidad Arturo Prat*

<sup>3</sup>*Universidad de Santiago de Chile*

Chile

En este trabajo se presenta el resultado de una revisión de la literatura acerca de la incidencia del liderazgo en el clima organizacional, a partir de lo analizado en dos centros de educación inicial en los que, a partir de la evaluación institucional que se hace de manera semestral, se detecta estado del clima organizacional. Se hace una revisión de los conceptos y las diferentes teorías sobre el clima organizacional, los antecedentes del liderazgo, los conceptos y las características que lo definen propuestas por varios autores. Se concluye que el liderazgo tiene diversas características y que se ejerce teniendo en cuenta las personas, el contexto y las necesidades de los equipos de trabajo, por lo que tiene alta influencia en el clima organizacional.

---

<sup>1</sup> Licenciada en Educación Preescolar y Magíster en Gestión e Innovación de Instituciones Educativas.

Contacto: [coordinadorpi.antioquia@feyalegria.org.co](mailto:coordinadorpi.antioquia@feyalegria.org.co)

<sup>2</sup> Magíster en Estadística Aplicada.

Contacto: [fcartes@unap.cl](mailto:fcartes@unap.cl)

<sup>3</sup> Magíster en Matemática Aplicada y Doctora en Ciencias de la Administración.

Contacto: [rubi.arrizaga@usach.cl](mailto:rubi.arrizaga@usach.cl)

## 1. INTRODUCCIÓN

Después de realizarse encuestas de satisfacción al talento humano de los centros infantiles *Burbujas de colores* y *el Barquito*, en Medellín Colombia, se evidenció la necesidad de que los directivos a través de su liderazgo gestionen en las personas, las emociones, los sentimientos, los intereses, los conocimientos, las capacidades; elementos con los que un equipo de trabajo se ve motivado para cumplir con las metas y los objetivos propuestos.

En este capítulo se presenta un compilado de estudios que muestran la incidencia que tiene el liderazgo en el clima organizacional, recopilando antecedentes y profundizando en la forma en que cada estilo de liderazgo determina los niveles de satisfacción de las personas y que a la vez dan respuesta a las necesidades a partir de la lectura de los escenarios que los componen.

El objetivo de esta recopilación no es determinar el concepto de liderazgo, tampoco busca que quien lo lea sienta que ya todo está dicho frente al tema, por el contrario, pretende motivar a seguir investigando sobre los conceptos de liderazgo y clima organizacional. Asimismo, proponer un ejercicio de reflexión para las personas que ejercen el liderazgo descubriendo cómo sus cualidades de líder influyen de manera significativa en sus equipos de trabajo.

## 2. MÉTODO

En este estudio se realizó un análisis descriptivo de la literatura, cuyos objetivos fueron determinar la incidencia existente del liderazgo en el clima organizacional y fundamentar teóricamente esta incidencia a través de los resultados de investigaciones hechas sobre el tema. Esto permitió diseñar una revisión narrativa, en la cual se describe y se discute sobre el estado del arte del liderazgo organizacional y los estilos de liderazgo.

La información para el análisis fue recogida de resultados publicados en libros, artículos de revistas indexadas y documentos digitales acerca del liderazgo directivo y clima organizacional, mediante un método de investigación cualitativa [1]. La literatura considerada abarcó publicaciones nacionales e internacionales tanto en instituciones educativas como empresas.

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 3.1 Liderazgo

#### 3.1.1 Estilos

Existe una diversidad de investigaciones y estudios que se han realizado sobre el clima organizacional y cómo el liderazgo directivo tiene una gran responsabilidad en éste. El ejercicio del liderazgo permite alentar y motivar, promueve diferentes maneras de organizarse, de resolver problemas. El concepto de liderazgo es un concepto dinámico y que evoluciona a medida que se involucran nuevos elementos en su definición, aunque sin importar cuáles ni cuántos elementos intervengan, siempre se podrá destacar la relación de influencia que existe entre el líder y sus seguidores al involucrarlos en procesos con los que se pretende llegar a los objetivos que comparten [2].

Es así como se puede hablar de los estilos de liderazgo que, como se indica en [3], *son las formas alternativas en que los líderes estructuran su conducta interactiva para llevar a cabo sus roles en tanto a líderes*. Según esta afirmación, los estilos de liderazgo hacen referencia a las formas de organizar o de direccionar el liderazgo, y de poner en práctica las habilidades desde su rol.

En [2] se indica que, a partir de 1940, autores como [4] identificaron los estilos de liderazgo autoritario, democrático y laissez-faire al tomar como grupo de estudio diferentes clubes de niños. En el mismo sentido [5] indican, refiriéndose a dichos estudios que quién creaba el ambiente era el líder encargado de dirigir al grupo que actuaba de tres maneras, acorde con los tres estilos: en el estilo autocrático, imponiendo



autoridad; en el estilo democrático, procurando la participación de todos los miembros del grupo; y, laissez-faire, dejando que cada uno hiciera lo que quisiera. De [6] se extraen los estilos de liderazgos que se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Estilos de liderazgo

| Valores                       | Autoritario  | Democrático  | Laissez-Faire  |
|-------------------------------|--|--|--|
| Decisión                      | Basa su liderazgo en el autoritarismo. El líder toma las determinaciones y los miembros ejecutan   | Basa su liderazgo en su identificación con el grupo y con su pericia. Todo plan es materia de discusión en el grupo, cosa que el líder fomenta y favorece    | El líder no ejerce liderazgo alguno. Da total libertad para la decisión personal sin apenas intervención del líder, que solo actúa en casos extremos                     |
| Futuro                        | El futuro del grupo es incierto, ya que solo el líder decide y nunca está claro lo que hará más adelante   | De la confrontación en el grupo sale cierta perspectiva de futuro. El líder en caso de duda suele proponer alternativas posibles, para ayudarlos a ver claro | El líder <i>está disponible</i> , daría información, materiales o su opinión <i>si fuese necesario</i> , pero no interviene por iniciativa propia. El futuro es incierto |
| Participación en la ejecución | No suele participar en el trabajo inmediato a no ser que tenga que enseñar cómo se hace, él lo que hace es mandar, organizar, etc.   | En el trabajo actúa como <i>un miembro del grupo</i> . La tarea de organización le lleva tiempo y energías   | A menudo adopta la conducta del que trabaja como <i>uno más</i>  |
| Intervención                  | Suele decidir las tareas que hace cada miembro y los compañeros que tendrá cada uno de ellos   | Los miembros suelen ser bastante libres en elegir la tarea que les va y en elegir los colaboradores para llevarla a cabo                                     | No interviene señalando el cometido de cada uno. Tiene una actitud pasiva <i>que cada uno se las arregle</i>   |
| Valoración                    | Suele ser muy personal, a veces arbitrario, en sus alabanzas y críticas de lo que hacen los miembros del grupo. Halaba y critica mucho más que los otros tipos de líderes, reforzando su autoridad | El líder es muy objetivo a la hora de alabar o criticar  | Raramente comenta espontáneamente la actuación de los miembros del grupo. <i>Si quieren saber mi opinión ya me preguntarán</i> . No intenta evaluar ni regular           |

Se puede decir entonces que el estilo de liderazgo no legitima a las personas que lo ejercen, cada uno sirve a determinados intereses, se ajusta, a las necesidades generales de los grupos, por lo que se pueden emplear una variedad de estrategias para alcanzar metas propuestas.

### 3.1.2 Antecedentes internacionales

En la investigación [7], desarrollada desde un nivel descriptivo de carácter relacional, se habla de tres dimensiones que indican significativamente en el clima organizacional y en la motivación de los docentes: gestión de desempeño, liderazgo, organización de los elementos humanos. De la misma manera las conclusiones indican que la gestión de talento humano incide significativamente en el clima organizacional en los docentes de las unidades educativas y que desarrollo del liderazgo como dimensión, repercute directamente en el clima organizacional de la institución educativa.

En [8] se tiene como propósito determinar la relación entre la gestión del talento humano y el desempeño laboral del personal del Puesto de Salud Sagrado Corazón de Jesús con enfoque cualitativo, de diseño no experimental y nivel correlacional, comprobaron que la gestión del talento humano en las organizaciones se ve implicancia en el desempeño laboral de los trabajadores, para ello se debe tomar en cuenta los modelos de selección de personal, y priorizar el aspecto humano, como la capacitación, incentivos para poder mejorar el desempeño laboral de los trabajadores dentro de la institución.

De la misma manera se concluye que existe relación estadísticamente significativa entre las variables gestión del talento humano y el desempeño laboral de los trabajadores. En la investigación realizada en [9], se trazó como objetivo determinar la relación entre los estilos de liderazgo y la motivación de los maestros de las instituciones públicas de nivel primario de cercado de la ciudad heroica de Tacna, Perú, utilizando el enfoque de investigación cuantitativa, con un diseño correlacional descriptivo. Finalmente, se concluyó que el estilo de liderazgo participativo es el de mayor predominio.

En [10] el objetivo fue analizar la influencia del liderazgo en el clima organizacional. Los resultados de este estudio se basaron en las vivencias experimentadas en los estudiantes, docentes, padres de familias y directivos, los mismos que mediante la aplicación un análisis descriptivo han detectado ciertas carencias y realidades, que han derivado en la formulación de conclusiones y planteamiento de una propuesta orientada a la mejorar el ambiente en la institución mediante la aplicación de correctivos en el tipo de liderazgo directivo aplicado para poder potenciar la calidad en la educación que oferta esta institución. Este estudio se realizó mediante la aplicación de un análisis descriptivo concluyendo que el clima laboral depende de la motivación y el trabajo en equipo de quienes componen las instituciones educativas. Se aprecia que este trabajo generó una propuesta para la institución mencionada para fortalecer el liderazgo institucional, como un factor clave en el cumplimiento de los objetivos y metas establecidas.

### **3.1.3 Antecedentes nacionales**

En [11] hicieron una indagación acerca del liderazgo directivo y los efectos percibidos por docentes, estudiantes y los propios directivos en cuatro instituciones educativas oficiales de Bogotá, cuyo objetivo era proponer una teoría sustantiva sobre el liderazgo directivo en instituciones educativas públicas de la ciudad de Bogotá, obteniendo como resultado constatar que la comunidad educativa percibe una clara incidencia de los estilos y las prácticas de liderazgo directivo en el éxito escolar, lo cual puede brindar información relevante para potenciar la calidad de las instituciones educativas. Esta mirada reflexiva posibilita cuestionamientos sobre la formación del directivo docente y constituye un aporte para comprender las competencias de liderazgo directivo que subyacen de las experiencias exitosas de cada directivo.

El propósito de [12] fue describir y analizar el liderazgo de los directivos y el clima organizacional presentes en un Colegio de Cundinamarca y con base en ello, plantear algunos lineamientos para su intervención. Para tal fin se desarrolló un estudio descriptivo, en el cual el liderazgo y el clima organizacional se midieron a través de dos instrumentos: La prueba de Adjetivos de Pitcher PAT [13] y la Escala del Clima Organizacional ECO, respectivamente. Los resultados obtenidos evidenciaron que el Colegio estudiado denota ciertas dificultades respecto al liderazgo y algunos problemas de clima organizacional, así mismo la comunidad educativa estudiada registró una inconformidad mayoritaria en la forma en que se ejerce el liderazgo, bien sea por ausencia de este, o por ejercerse de formas no deseadas a la luz de las teorías y de la práctica.

Se concluyó que existe una tendencia clara hacia el estilo de liderazgo no deseable que se ejerce en el Colegio y marca una propensión evidente en la ejecución de malas prácticas, reflejadas en la mayoría adjetivos desfavorables a un liderazgo pertinente, de la misma manera los factores positivos que pueden evidenciarse en varios de sus líderes son un reflejo de liderazgo deseable a partir del cual se puede potenciar el cambio y la transformación frente a esos factores negativos que se debían erradicar.

De acuerdo con las investigaciones mencionadas, se puede evidenciar la variedad de estudios enfocados en la incidencia que tiene los estilos de liderazgo en el clima organizacional tanto a nivel internacional como a nivel nacional. Sin embargo, también es evidente que no existe una teoría que defina cual es el estilo de liderazgo correcto o incorrecto, pues todo varía de acuerdo con las personas y su individualidad, lo que hace únicos a los equipos de trabajo y a por ende únicas a las instituciones en cuyos espacios se desarrolla la vida personal y profesional de cada una.

## **3.2 Clima organizacional**

### **3.2.1 Antecedentes**

Frecuentemente, la posibilidad de ejercer el liderazgo se asocia al carisma de la persona que ocupa el rol de conducción. En este caso, no se pretende asociar el liderazgo a un carisma personal o a un don para conducir y animar grupos, sino la capacidad para promover en la escuela y animar al equipo docente en el desarrollo de una tarea compartida [14].

En [15] se argumenta que el clima organizacional es la atmósfera intangible o estilo particular que se da dentro de una empresa y que opera de manera positiva y negativa lo que dificulta o favorece alcanzar los objetivos deseados.

### 3.2.2 Definiciones

El clima organizacional ha cobrado importancia en las instituciones que le han apostado al mejoramiento de las relaciones entre todos los miembros de la comunidad educativa, y que para alcanzar sus metas descubren la necesidad de poner la mirada en el recurso humano. En este sentido, en [16] se habla de las escalas del clima organizacional, que tienen que ver con la afectación o el beneficio que proporcione:

1. *Estructura*: Esta escala representa la percepción que tienen los miembros de la organización acerca de la cantidad de reglas, procedimientos, trámites, normas, obstáculos y otras limitaciones a que se ven enfrentados en el desempeño de su labor. El resultado positivo o negativo, estará dado en la medida que la organización pone el énfasis en la burocracia, versus el énfasis puesto en un ambiente de trabajo libre, informal y poco estructurado o jerarquizado.
2. *Responsabilidad*: Es la percepción de parte de los miembros de la organización acerca de su autonomía en la toma de decisiones relacionadas a su trabajo. Es la medida en que la supervisión que reciben es de tipo general y no estrecha, es decir, el sentimiento de ser su propio jefe y saber con certeza cuál es su trabajo y cuál es su función dentro de la organización.
3. *Recompensa*: Corresponde a la percepción de los miembros sobre la recompensa recibida por el trabajo bien hecho. Es la medida en que la organización utiliza más el premio que el castigo, esta dimensión puede generar un clima apropiado en la organización, pero siempre y cuando no se castigue sino se incentive el empleado a hacer bien su trabajo y si no lo hace bien se le incentive a mejorar en el mediano plazo.
4. *Desafío*: Corresponde a las metas que los miembros de una organización tienen respecto a determinadas metas o riesgos que pueden correr durante el desempeño de su labor. En la medida que la organización promueve la aceptación de riesgos calculados a fin de lograr los objetivos propuestos, los desafíos ayudarán a mantener un clima competitivo, necesario en toda organización.
5. *Relaciones*: Es la percepción por parte de los miembros de la empresa acerca de la existencia de un ambiente de trabajo grato y de buenas relaciones sociales tanto entre pares como entre jefes y subordinados, estas relaciones se generan dentro y fuera de la organización, entendiendo que existen dos clases de grupos dentro de toda organización. Los grupos formales, que forman parte de la estructura jerárquica de la organización y los grupos informales, que se generan a partir de la relación de amistad, que se puede dar entre los miembros de una organización.
6. *Cooperación*: Es el sentimiento de los miembros de la organización sobre la existencia de un espíritu de ayuda de parte de los directivos y de otros empleados del grupo. Énfasis puesto en el apoyo mutuo, tanto en forma vertical, como horizontal.
7. *Estándares*: Esta dimensión habla de cómo los miembros de una organización perciben los estándares que se han fijado para la productividad de la organización.
8. *Conflicto*: El sentimiento de que los jefes y los colaboradores quieren oír diferentes opiniones; el énfasis en que los problemas salgan a la luz y no permanezcan escondidos o se disimulen. En este punto muchas veces juega un papel muy determinante el rumor, de lo que puede o no estar sucediendo en un determinado momento dentro de la organización, la comunicación fluida entre las distintas escalas jerárquicas de la organización evita que se genere el conflicto.
9. *Identidad*: El sentimiento de que uno pertenece a la compañía y es un miembro valioso de un equipo de trabajo; la importancia que se atribuye a ese espíritu. En general, la sensación de compartir los objetivos personales con los de la organización.

Desde esta perspectiva se abordará el clima organizacional en este trabajo, teniendo en cuenta que se constituye como uno de los procesos organizativos dentro de la gestión y el liderazgo.

### 3.2.3 Características

El clima organizacional está influenciado por variables que tienen que ver con factores de diferentes ámbitos, económico, social, político, cultural, emocional. En este sentido en [17] se enuncian algunas características del clima organizacional:

1. Se referencia con la situación en que tiene lugar el trabajo de la organización. Las variables están relacionadas con el ambiente laboral.
2. Puede contar con cierta estabilidad, con cambios relativamente graduales, pero esta estabilidad puede sufrir perturbaciones de importancia de derivadas decisiones que afecten en forma relevante el devenir organizacional.
3. Tiene un fuerte impacto sobre los comportamientos de los miembros de la empresa. Un buen clima va a traer como consecuencia una mejor disposición de los individuos a participar activa y eficientemente en el desempeño de sus tareas.
4. Afecta el grado de compromiso e identificación de los miembros de la organización con ésta.
5. Es afectado por los comportamientos y actitudes de los miembros de la organización y, a su vez, afecta dichos comportamientos y actitudes.
6. Es afectado por diferentes variables estructurales, tales como estilo de dirección, políticas y planes de gestión, sistemas de contratación, etc. Estas variables, a su vez, pueden ser también afectadas por el clima.
7. El ausentismo y la rotación excesiva pueden ser indicadores de un mal clima laboral. Algo semejante ocurre con la insatisfacción laboral.

Como se señala en [18], es importante conocer el ambiente que existe dentro de una organización. Una forma de conocer dicho ambiente es mediante el clima laboral, ya que, al contar con un entorno agradable junto con un liderazgo efectivo, los trabajadores de cualquier organización serán de gran ayuda en cuanto a lograr el cumplimiento de metas y objetivos. El análisis del clima laboral permite detectar factores que afecten de manera positiva o negativa la productividad.

### 3.2.4 Importancia

El dinamismo de las instituciones requiere que desde la gestión se tengan en cuenta las necesidades, particularidades, expectativas y las relaciones que tienen lugar en ella. De allí la importancia del clima organizacional donde, como se cita en [19], se deben desarrollar habilidades que le permitan:

1. Promover en el colectivo institucional la capacidad para el análisis y la reflexión del escenario escolar y de su contexto a fin de potenciar una gestión participativa.
2. Valorar la tarea del colectivo docente y promover espacios de coordinación y trabajo en equipo.
3. Orientar el diseño de herramientas y dispositivos de análisis que permitan contar con información oportuna y relevante para la toma de decisiones.
4. Generar espacios que integren la capacitación y la reflexión a partir de la práctica.

### 3.2.5 Dimensiones

Las dimensiones del clima organizacional son características que pueden ser medidas dentro un ámbito laboral y que influyen de manera significativa en el comportamiento de las personas que hacen parte de una organización. Algunos autores han escrito sobre estas dimensiones, por ejemplo, en [20] se expresa:

- *Los métodos de mando:* La forma como se utiliza el liderazgo para influir en los empleados.
- *Las características de las fuerzas motivacionales:* Los procedimientos que se instrumentan para motivar a los empleados y responder a sus necesidades.

- *Las características de los procesos de motivación:* La naturaleza de los tipos de comunicación en la empresa, así como la manera de ejercerlos.
- *Las características de los procesos de influencia:* La influencia de la integración superior-subordinado para establecer los objetivos de la organización.
- *Las características de los procesos de toma de decisiones:* La pertinencia de las en que se basan las decisiones, así como el reparto de funciones.
- *Las características de los procesos de planificación:* La forma en que se establece el sistema de fijación de objetivos o directrices.
- *Las características de los procesos de control:* El ejercicio y la distribución del control entre las instancias organizacionales.
- *Los objetivos de rendimiento y de perfeccionamiento:* La planificación, así como la formación deseada.

Por su parte, en [21] se describen las siguientes dimensiones del clima organizacional:

- *Estructura:* Percepción de las obligaciones, de las reglas y de las políticas que se encuentran en la organización.
- *Responsabilidad individual:* Sentimiento de autonomía, sentirse su propio patrón.
- *Remuneración:* Percepción de equidad en remuneración cuando el trabajo está bien hecho.
- *Riesgos y toma de decisiones:* Percepción del nivel de reto y de riesgo tal y como se presenta en una situación de trabajo.
- *Apoyo:* Sentimientos de apoyo y de amistad que experimentan los empleados en el trabajo.
- *Tolerancia al conflicto:* Confianza que un empleado pone en el clima de su organización o como puede asimilar sin riesgo las divergencias de opiniones.

De igual forma, en [22] consideran las siguientes dimensiones:

- *Autonomía:* Grado de libertad en la toma de decisiones de cada colaborador.
- *Conflicto y cooperación:* Nivel de colaboración percibida entre los colaboradores en cuanto a sus compañeros, además los apoyos humanos y materiales que perciben.
- *Relaciones sociales:* Atmósfera social dentro de la organización.
- *Estructura:* Directrices, consignas y políticas que emite la organización y afecta la forma de llevar a cabo una tarea.
- *Remuneración:* La forma en que el colaborador percibe los beneficios de parte de la organización.
- *Rendimiento:* Relación entre la remuneración y el trabajo bien hecho conforme a las habilidades del ejecutante.
- *Motivación:* Elementos motivacionales que utiliza la organización en sus colaboradores.
- *Estatus:* Diferencias jerárquicas y la importancia que le da la organización a estas diferencias.
- *Flexibilidad e innovación:* Voluntad de la organización para experimentar cosas nuevas y cambiar la forma de hacerlas.
- *Centralización en la toma de decisiones:* El nivel en el que la organización delega el proceso de toma de decisiones entre los niveles jerárquicos.
- *Apoyo:* Apoyo que otorga la alta dirección a los empleados frente a los problemas relacionados con el trabajo.

[23] también habla de las dimensiones del clima organizacional:

- *Autonomía individual:* Esta dimensión incluye la responsabilidad, la independencia de los individuos, es decir, la posibilidad que se le da al empleado de ser su propio patrón y conservar cierto poder de decisión.
- *Grado de estructura que impone el puesto:* Esta dimensión mide la forma de comunicar a los empleados por parte de sus superiores los objetivos y métodos de trabajo.
- *Tipo de recompensa:* Esta dimensión se basa en los aspectos monetarios o de remuneración que la empresa otorga a sus empleados.
- *Consideración, agradecimiento y apoyo:* Esta dimensión se basa en lo que un empleado recibe de sus superiores.

### 3.3 El líder

#### 3.3.1 Concepto

Teniendo en cuenta el tema de esta monografía es determinar la influencia del liderazgo en el clima organizacional, es importante describir algunos conceptos al respecto, lo que permitirá reconocer diferentes estilos de liderazgo asociados al clima organizacional al interior de algunas organizaciones. Inicialmente debemos reconocer un líder desde su capacidad para guiar, influenciar, orientar, convocar, estas cualidades ubican a una persona como cabeza visible en una institución. La persona que ejerza el liderazgo debe ser quien conduzca a otros para mejorar la calidad de los procesos. Para [19] los escenarios requieren personas con capacidad de liderazgo a fin de:

1. Influir en la definición de los grandes lineamientos de las practicas colectivas.
2. Establecer una impronta institucional que se traduzca en un determinado estilo de gestión, ciertas modalidades de vinculación y un clima de trabajo particular.
3. Articular y retroalimentar una cultura institucional que sostenga y organice la institución a través de valores, principios y normas que marquen el rumbo de las practicas colectivas.

También podemos referirnos o pensar que el liderazgo tiene que ver con administrar, controlar, tener jerarquía, estar por encima de ... en fin, éste es un término que posee diversos significados, por lo que a continuación se citarán algunos autores que se han aventurado a crear un concepto de liderazgo.

[24] presenta varias definiciones que se han dado a lo largo de los últimos 50 años: *Es el comportamiento de un individuo... que dirige las actividades de un grupo hacia una meta común.* Es la influencia interpersonal, ejercida en una situación, y dirigida, a través del proceso de comunicación, al logro de los objetivos específicos:

1. Es la capacidad de un individuo de influir entre otros, motivarlos y facilitar su contribución, a la eficacia y el éxito de la organización.
2. Es el proceso de influir sobre otras personas para conseguir su comprensión y consenso acerca de acciones y medidas necesarias en una situación dada, y el proceso de facilitar los esfuerzos individuales y colectivos para conseguir objetivos comunes.

Con respecto a estas definiciones, la influencia que se ejerce sobre el otros es común denominador dentro de las cualidades que definen un líder, por lo que éste se convierte en movilizador de personas y de pensamientos, que posibilitan y que invitan a hacerse unos con otros motivado por un bien común.

#### 3.3.2 Estudios iberoamericanos

Esta investigación proporciona un soporte empírico al rol del liderazgo y avanza en el reconocimiento de la importancia de las variables del contexto. Según este estudio, el liderazgo se enfoca en las actuaciones y en las actividades que los líderes desarrollan con vistas a potenciar la motivación y resultados de sus equipos como se precisa en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Elementos fundamentales del liderazgo

| Elementos              | Descripción   |
|------------------------|---|
| Procesos intelectuales | Se trata de desarrollar una reflexión y análisis sistemático que posibilite la germinación y el establecimiento de objetivos de la organización |
| Propósitos             | Se requiere tener claridad de la visión estratégica que tiene una determinada organización para ser capaz de transmitirla adecuadamente         |
| Personas               | Es muy relevante considerar los sujetos (elemento humano) que deben ser influidos para implicarle en el logro de objetivos organizacionales     |
| Motivadores            | Es muy importante tener en cuenta el uso de mecanismos intrínsecos y extrínsecos que activa a las personas para el logro de las metas           |

### 3.3.3 Equipos multifuncionales

En [25] se habla sobre el liderazgo presentes en distintos tipos de equipos y, por lo tanto, diferentes tipos de líderes, a los que se les presentan retos únicos. A continuación, en la Tabla 3 se mencionan el tipo de habilidades y conductas que requiere un líder para ser eficaz dentro de un grupo de trabajo.

**Tabla 3.** Habilidades para liderar equipos multifuncionales

| Habilidades          | Descripción de las conductas  |
|----------------------|---|
| Pericia técnica      | El líder debe ser capaz de comunicarse sobre materias técnicas con los miembros del equipo que tienen distintos orígenes funcionales  |
| Cognitivas           | El líder debe ser capaz de resolver complejos problemas que requieren creatividad y pensamiento sistémico, y debe comprender como son relevantes las distintas funciones para el éxito de los proyectos |
| Interpersonales      | El líder debe ser capaz de comprender las necesidades y valores de los miembros del equipo, influir sobre los mismos, resolver los conflictos y lograr la cohesión                                      |
| Gestión de proyectos | El líder debe ser capaz de planificar y organizar las actividades de los proyectos, elegir a miembros cualificados para el equipo y llevar a cabo las responsabilidades presupuestarias y financieras   |
| Políticas            | El líder debe ser capaz de desarrollar coaliciones y obtener recursos, asistencia y aprobaciones de la alta dirección y de otras relevantes   |

De acuerdo con esta investigación se puede decir que el líder debe tener una visión global de las necesidades, expectativas y metas que tienen las instituciones, con el fin de consolidar desde lo colectivo los objetivos planteados con una visión sistémica que permita reconocer que todo lo que se obtenga como resultado repercute en todo el conjunto de la institución. Asimismo, *el líder debe hacer una integración entre las necesidades personales, grupales e institucionales* [19].

### 3.3.4 Equipos autogestionados

En este tipo de equipo se habla de líderes internos y líderes externos donde el primero incluye responsabilidades directivas asignadas a todos los miembros del equipo, y el segundo, incluye responsabilidades directivas que no se han asignado a los miembros del grupo cumpliendo funciones de moderadores o supervisores. En estos equipos se evidencia cómo el rol de líder puede ser desempeñado por cualquier miembro del equipo de manera rotativa, a lo que podemos llamar liderazgo compartido y que a la vez puede mejorar las relaciones laborales, ya que son tenidas en cuenta las habilidades de cada uno y lo que éstas pueden aportar al logro de las metas establecidas.

### 3.3.5 Enfoques de liderazgo

En el transcurso de los años se han hecho investigaciones con el fin de identificar el concepto de líder y las características que son efectivas dentro su desempeño en los equipos de trabajo, lo que lleva al cumplimiento de metas.

El líder desempeña sus funciones desde diferentes planos, lo que le permite el logro de metas, desde donde se incentiva el aprendizaje organizacional, la resolución de problemas en forma colectiva, la redefinición de valores, el ajuste de proceso de acción [26].

A partir de los años setenta se empezó a hablar de enfoques de liderazgo centrados en la relación del líder y el subordinado. Con base en esta teoría [27], analizó las relaciones entre líderes y seguidores, defendiendo

la teoría del liderazgo transformador. A continuación, se presentan los enfoques que tienen que ver con los comportamientos que se ejercen desde el liderazgo y que, interrelacionados entre sí, y que tienen que ver con el objetivo de este estudio sobre la incidencia que tiene el liderazgo en el clima organizacional.

### 3.3.6 Enfoque de los rasgos

Este enfoque hace referencia a los atributos físicos, psicológicos y sociales que se asocian a la eficacia del líder, aunque no garantice el éxito [24, 28-30]. Además, que debían ser superiores a los demás. En [31] se plantea que los rasgos que debe tener un líder son: salud y vigor físico, inteligencia y vigor intelectual, cualidades morales, voluntad reflexiva, firmeza, perseverancia, actividad y energía. En este enfoque hay rasgos que no necesariamente tienen que ver con la personalidad, sino a las habilidades, conocimiento y vivencias que tienen las personas.

### 3.3.7 Enfoque de comportamiento

Luego fue reevaluado el enfoque de los rasgos, teniendo en cuenta otras características que tienen que ver con los comportamientos. Este enfoque surge en la Universidad Estatal de Ohio donde realizaron un estudio sobre los diferentes comportamientos de personas que son líderes con otros que no lo son, utilizando diversas herramientas para obtener la información.

Desde este enfoque se resalta el acercamiento, la empatía, la capacidad de comunicación, lo que favorece la animación y motivación para orientar las acciones de los equipos [26]. [32] presenta algunas características de los estilos de liderazgo:

1. Autocrático o autoritario (centrado en el jefe): Se basa en dar órdenes y en supervisar que sean cumplidas; restringe u otorga recompensas y castigos; toma decisiones unilaterales y limita la participación de los demás.
2. Democrático o participativo (centrado en los subordinados): Involucra a los subordinados en la toma de decisiones, delega, retroalimenta como una oportunidad para dirigir.
3. Laissez Faire (de políticas laxas): Útil
4. iza poco su poder dando a los subordinados independencia o autonomía, permitiendo que fijen metas y medios para lograrlas. Considera que su papel es facilitar los procesos y proporcionar información.

De acuerdo con este enfoque, se puede señalar que el comportamiento de un líder es determinante para construir equipo conectando y tendiendo puentes con las personas que los integran. Así podrá construir una relación, que fortalezca la confianza recíproca, genere nuevas y más altas expectativas, permita descubrir y activas potencialidades, y movilice a las personas [33].

### 3.3.8 Enfoque situacional

En este enfoque se da importancia a los factores que tengan que ver con el contexto, donde el líder debe desarrollar la capacidad de adaptarse, de leer el entorno ya que estos pueden afectar los procesos de liderazgo. Los estudios [34-38], entre otros, plantean que quien quisiera ejercer como líder debía ser capaz de captar rápidamente las diversas situaciones con que se encontrase y seleccionar para cada una de ellas el estilo de liderazgo más apropiado [39]. En [40] se enuncian que:

*El desarrollo organizacional es visto desde un conjunto de técnicas, los psicólogos de los años 60 consideraban que en el liderazgo el grupo debe ser el principal protagonista, de acuerdo con lo anterior, se mantiene un enfoque situacional que determina la necesidad para ejercer liderazgo dado la circunstancia.*

Las características de un grupo representan una gran variedad que marca pautas culturales, lo que lo hace diverso y retador para quienes se convierten en sus líderes, a quienes les corresponde hacer lectura de éste en el contexto, lo que supone buscar, reflexionar, analizar; de manera que pueda coordinar, motivar, dinamizar, actuar de acuerdo con las fortalezas y debilidades de éste.



### 3.3.9 El modelo de contingencia según Fiedler-Hersey y Blanchard

En [41] se menciona que dentro de esta teoría se encuentran dos grandes modelos:

1. *Modelo de contingencia de Fiedler*: se diseñó para identificar la tendencia de los líderes, si es hacia las tareas o las relaciones, el cual sirve para integrar el estilo del líder con la situación.
2. *Modelo situacional de Hersey y Blanchard*: es un nuevo análisis a la rejilla del liderazgo, sin embargo, este modelo se centra en las características de los seguidores para determinar la eficacia del comportamiento del líder.

Asimismo, [42] indica que el modelo de Fiedler presenta la situación en base a las tres variables:

1. Relaciones líder-seguidor: se refiere a la calidad existente entre la relación del líder con su grupo de seguidores. Esta calidad se mide por la aceptación del individuo, la confianza dada y lo amistosa que sea la relación con los demás miembros del grupo.
2. Estructuración de tareas: se refiere al grado en que la tarea está establecida por medio de procedimientos. Estas tareas se miden por la claridad en que se establecen las metas, el número de soluciones que se puedan utilizar y el grado de corrección de acuerdo con retroalimentaciones.
3. Poder del líder: es la posición en la que se encuentra el líder, la cual permite que los seguidores se sientan influenciados por él; este poder permite castigar y/o recompensar y promover y/o degradar.

Se puede evidenciar con las teorías mencionadas, que se ha avanzado a través de diferentes estudios sobre los enfoques del liderazgo, teniendo en cuenta desde los rasgos de las personas que lo ejercen, hasta sus comportamientos e interacciones con los otros; así mismo la influencia que tiene el entorno en el ejercicio de ser líder.

### 3.3.10 Liderazgo educativo

Si bien se han presentado algunas definiciones o características de un líder a nivel general, es importante abordar el liderazgo desde la perspectiva educativa, lo que implica principalmente tener una mirada crítica y propositiva hacia los procesos institucionales. Una institución educativa, es un espacio, un lugar de encuentro donde interactúan diferentes actores que hacen parte de un contexto, todo esto debe ser tomado en cuenta por las personas que asumen el liderazgo. En [17] se afirma que:

1. El liderazgo existe dentro de relaciones sociales y sirve a fines sociales: Aun cuando los líderes son individuos, el liderazgo está inserto en relaciones y organizaciones sociales y su propósito es realizar algo para un grupo. No es un fenómeno individual o personal.
2. El liderazgo es un proceso de influencia: A veces las acciones de los líderes tienen un efecto directo en las metas principales del colectivo, pero muchas veces su acción consiste en influenciar los pensamientos y el actuar de otras personas y establecer las condiciones que les permitan ser efectivos. Esta influencia puede realizarse de manera dirigida, ayudando a las personas a realizar algo específico y acotado o algo muy amplio y transformador, impulsando las aspiraciones y acciones de terceros de manera expansiva y muchas veces impredecible.
3. El liderazgo es una función: Muchos observadores del liderazgo reconocen que éste conlleva un conjunto de funciones no necesariamente relacionadas con un departamento particular o una designación formal. Personas en diferentes roles pueden ejercer labores de liderazgo, aunque muchas veces cuenten con desiguales recursos, habilidades y propensiones para este efecto.
4. El liderazgo es contextual y contingente: La mayoría de las teorías contemporáneas sobre el liderazgo sugieren que éste se practica de acuerdo con las características de la organización social, las metas fijadas, los individuos involucrados, los recursos y los plazos, además de otros factores, incluidas las

características de los propios líderes. Así, ninguna fórmula del liderazgo efectivo es aplicable de manera universal; aunque un conjunto de prácticas básicas de liderazgo es valioso en todos los contextos.

### 3.3.11 Áreas de influencia de un líder

Según [24] existen diferentes áreas de influencia del liderazgo:

1. La interpretación de los acontecimientos externos por parte de los miembros del grupo.
2. La elección de los objetivos y las estrategias. La motivación de los miembros del grupo para conseguir los objetivos.
3. La confianza mutua y la cooperación de los miembros del grupo.
4. La organización y coordinación de las actividades laborales.
5. La asignación de recursos a las actividades u objetivos.
6. El desarrollo de las competencias y confianza del grupo.
7. El aprendizaje y la puesta en común de nuevos conocimientos por parte de los miembros del grupo.
8. La inclusión de apoyos y cooperación de externos.
9. El diseño de las estructuras formales, los programas o los sistemas.
10. Las creencias y los valores compartidos por los miembros del grupo.

### 3.3.12 Habilidades y tareas asociadas al liderazgo escolar

En el ámbito escolar, las tareas del líder varían entre lo institucional, lo social y lo afectivo, es decir, éste requiere capacidades que le permitan sortear las diferentes situaciones que se presentan, organizando, planificando y evaluando. [25] indica que *cada época supone un tipo de líder o un liderazgo diferente, según las necesidades del contexto y los requerimientos de la organización*. Es por esto, que para ejercer su rol debe tener la capacidad de leer el entorno para plantearse su accionar. De acuerdo con [43] existen algunas estrategias para ejercer un liderazgo exitoso:

1. Establecer direcciones
2. Rediseñar la organización
3. Desarrollar a las personas
4. Gestionar la instrucción (enseñanza y aprendizaje en la escuela)

### 3.3.13 Habilidades que debe tener un líder para ejercer su labor

De acuerdo con [26], en la Tabla 4 se consignan algunas habilidades que debe poner en práctica un líder dentro de una institución educativa: habilidades técnicas como la capacidad de hacer algo y habilidades humanas que le permitirán motivar a los otros, que lo acercan a determinar el éxito del liderazgo.

**Tabla 4.** Habilidades técnicas y humanas en el ejercicio del liderazgo educativo

| Habilidades técnicas   | Habilidades humanas   |
|--|---|
| Observación y análisis de la realidad  | Acercamiento, empatía, capacidad de comunicarse con otros de forma eficaz                         |
| Capacidad de elaborar planes y programas; implementarlos y evaluarlos  | Democratización de la información, creación de vías de acceso para todos                          |
| Capacidad de definir y negociar acciones. Establecimiento de propuestas curriculares                           | Animación y motivación para orientar las acciones del equipo                                      |
| Estímulo de logros y aciertos de la institución y rectificación de insuficiencias, carencias y malas prácticas | Fomento del desarrollo de la capacidad de construir colectivamente para el logro del bien común   |
| Planteamiento de estrategias de formación y reflexión para el talento humano                                   | Humanización de la institución a través del diálogo y la escucha generando encuentro y contención |

### 3.3.14 El liderazgo y su influencia en el clima organizacional

Las instituciones educativas cada vez se ven enfrentadas a situaciones que hay que resolver, lo que requiere líderes que garanticen la resolución de estas y el éxito de los procesos educativos. Las personas que habitan

una institución educativa entretejen vínculos de distinta manera, por lo tanto, si no se establece un buen clima organizacional, el ambiente se podría tornarse pesado para todos. En la escuela, no sólo se enseña y se aprende, sino también se vive y se crece. Si la vida pasa por la escuela, es preocupación del directivo pensar en las lecciones de humanidad que debe instaurar para el desarrollo pleno de los sujetos que creen en el proyecto, lo asumen y lo defienden desde esa vitalidad, desde el afecto y el saber compartido [44].

### 3.3.15 Otras investigaciones sobre la incidencia del liderazgo en el clima organizacional

[45] concluye que el líder es el principal generador de la calidad del clima organizacional debido a su capacidad para formar en los colaboradores aquellas percepciones que le dan vida al clima organizacional. De igual manera afirman que el líder es quien influye en los trabajadores, interviniendo en el actuar de estos de tal forma que genera una motivación que permite el máximo desempeño en busca de la excelencia organizacional. Si bien se hace revisión de antecedente, conceptos y perspectivas teóricas de los que es el liderazgo, el clima organizacional, y la satisfacción laboral, argumentan que este se convierte en la dimensión más determinante y que el estilo de liderazgo que se emplee en la organización influye directamente en el clima organizacional, ya que es este el que logra las percepciones de orgullo de pertenencia, reconocimiento, comunicación y flexibilidad organizativa.

Un ensayo sobre la promoción de la felicidad desde el liderazgo para el rendimiento de labores [46] intentó demostrar el impacto de la felicidad con relación al rendimiento en las organizaciones, a partir de la pregunta ¿cómo pueden los líderes influenciar en la felicidad de las personas para generar rendimiento en las organizaciones? [46] dentro de las conclusiones se afirma que:

*El liderazgo es uno de los papeles que desempeñan los administradores. La persona que desempeña el papel de líder influye en el comportamiento de uno o más seguidores, que lo siguen o aceptan su influencia por algún motivo. Si quisiera desarrollar sus competencias como líder, usted debe entender las motivaciones de las personas a las que pretende liderar.*

Asimismo, que:

*Los líderes son los principales protagonistas y llamados a implementar la felicidad en sus trabajos, generando positividad y una cultura ejemplarizante que, a través del incremento de la rentabilidad y rendimiento de los trabajadores, las demás organizaciones les apuesten a estas nuevas herramientas. Si se cuenta con una cultura de felicidad arraigada, querida, aplicada las personas que ingresen serán guiadas con el ejemplo que es lo que marca realmente el comportamiento, se verá reflejado en el posicionamiento frente a la competencia y la productividad que se espera tener, incremento en la rentabilidad y utilidades, disminución de la rotación de personal.*

En [47] se realiza su investigación sobre la influencia del liderazgo, del coaching y de la motivación en el rendimiento de los empleados, con el objetivo de analizar la influencia que diversas estrategias de liderazgo, coaching y motivación pueden llegar a tener sobre el rendimiento de los empleados. Es así como se analizan los conceptos de liderazgo, coaching y motivación en el contexto empresarial, donde se pretende evaluar la relevancia que las principales multinacionales tecnológicas y de comunicación están otorgando a los conceptos sugeridos en los planes de desarrollo de sus empleados, así como analizar la incidencia directa que estos tienen en la marcha de la empresa. Dentro de esta investigación se evalúa las habilidades específicas de un líder según el proceso empleado para dirigir el comportamiento de sus subordinados. Distinguiéndose:

1. Liderazgo mediante la toma de decisiones: la capacidad para tomar decisiones es generalmente una de las más buscadas a la hora de contratar a una persona, y también lo es a la hora de definir a un líder. En este sentido, autores como [38] han demostrado que es necesario atender a la situación concreta para decidir si es el líder el que debe tomar la decisión por todo el grupo, o si, por el contrario, es conveniente optar por el consenso y la participación del resto de miembros del grupo.
2. Liderazgo mediante el contacto: una teoría conductual denominada *Management by walking around* que confirma la mayor eficacia de la dirección y gestión de un líder, cuando mantiene un contacto más personal y cercano con sus subordinados, preocupándose por sus necesidades y progresos.

3. Liderazgo mediante el poder: el poder ostenta relevancia para el líder en tanto en cuanto a medida que este se incrementa, su capacidad de influencia sobre sus subordinados también lo hace. El poder dentro de una organización permite al líder acceder a más recursos, progresar en la empresa e intervenir en la definición de las políticas de actuación [48]. Resulta interesante citar los cinco tipos básicos de poder propuestos por autores como [49]: poder experto, poder legítimo, poder por recompensa, poder coercitivo y poder referente.
4. Liderazgo mediante la persuasión: cabe por último evaluar la habilidad o capacidad de los líderes para incidir en el comportamiento de sus empleados, modificando su comportamiento a favor del objetivo que se persigue. Juegan un papel esencial en el proceso de la persuasión dos elementos fundamentales: de una parte (el cómo), la capacidad del líder de comunicar sus directrices a los subordinados, donde influirán aspectos tales como su experiencia, su credibilidad, e incluso su capacidad atractiva; de otra parte (el qué), el mensaje, lo que el líder trata de comunicar, siendo especialmente relevante tanto los argumentos que se aporten como la verosimilitud de estos.

En [50] se trazó como objetivo determinar la relación entre los estilos de liderazgo y la felicidad laboral. En esta investigación se abordaron los conceptos de estilos de liderazgo transformacional, transaccional y liderazgo pasivo/evitativo, así mismo para medir la variable felicidad laboral, se utilizó un instrumento compuesto por tres dimensiones: compromiso individual, compromiso organizativo afectivo y satisfacción laboral. Después de realizar la investigación a través de un enfoque cuantitativo de nivel descriptivo explicativo afirma que existe una relación significativa entre los estilos de liderazgo: liderazgo transformacional, liderazgo transaccional y liderazgo pasivo/evitativo y la felicidad laboral medida a través del compromiso individual, compromiso organizativo afectivo y satisfacción laboral de los trabajadores de las instituciones de la Asociación Paraguaya de los Adventistas del Séptimo Día. También se explica que:

*Al existir una relación significativa entre las variables resaltamos la importancia de ejercer un adecuado estilo de liderazgo en la gestión de las instituciones, ya que para que una organización trascienda y alcance el éxito se necesita que sus líderes sean referentes, inspiradores, negociadores y que tengan en cuenta las necesidades individuales de sus colaboradores. Además del compromiso individual de cada uno de los participantes, así como el tener un sentido de pertenencia hacia su organización.*

Y luego recomienda:

1. Buscar el equilibrio entre el desarrollo laboral y el crecimiento profesional de los colaboradores.
2. Crear un ambiente de trabajo o clima organizacional positivo haciendo uso de estrategias específicas que permitan al colaborador sentirse exitoso, valorado, seguro y desafiado y dar lo mejor de sí mismo.
3. Promover el entrenamiento de líderes con visión transformadora siendo que la influencia de un buen líder ejerce impacto en el bienestar de los colaboradores.
4. Materializar el concepto de que los trabajadores son personas de una vida completa, que pertenecen a una familia y que son las familias las que *prestan* a la institución a uno de sus miembros, siendo responsabilidad de esta *devolverlos* cada día en mejores condiciones que llegaron.

[51] se traza el objetivo de determinar cómo incide el liderazgo directivo en el comportamiento organizacional, utilizando un enfoque cuantitativo, de tipo básica, correlacional causal. Se realizó el estudio a partir del comportamiento organizacional y sus dimensiones, aptitudes individuales, aptitudes grupales e interacción personal concluyendo que concluyó que los tópicos empíricos confirman la correlación en entre las variables estudiadas, es decir el líder es el que despierta diversas acciones para que se realice un buen ejercicio de estos.

#### 4. CONCLUSIONES

El ser humano como ser social necesita de la interacción con otros para aprender y lograr sus objetivos, es así como dentro de una organización es importante el trabajo en equipo, proceso en el cual las relaciones interpersonales están permeadas por sentimientos positivos y negativos, los cuales requieren ser gestionados de manera adecuada, lo que genera el clima organizacional, siendo así el liderazgo un factor

determinante el rendimiento de los equipos. El ejercicio del liderazgo tiene gran influencia en el clima organizacional, de las características que este tenga, depende el desarrollo de intencionalidades compartidas y el logro de los objetivos.

El concepto de liderazgo no tiene una definición última, pues se ejerce el liderazgo dependiendo del contexto, de los equipos de trabajo, de las necesidades, de las expectativas, podríamos destacar tres tipos de liderazgo:

1. *Liderazgo superior*: Dirigir personas, explicar decisiones, preparar individuos, gestionar tareas, reprimir el conflicto.
2. *Liderazgo participativo*: Implicar a las personas, consensuar decisiones, desarrollar individuos, coordinar esfuerzos de grupos, resolver el conflicto, implementar el cambio.
3. *Liderazgo en equipo*: Generar confianza, favorecer decisiones, ampliar capacidad de equipo, crear identidad de equipo, gestionar las diferencias, prever y alterar el cambio.

En un grupo de trabajo se podría ejercer dependiendo del momento, de las necesidades, de los objetivos a alcanzar cualquiera de los tipos de liderazgo antes mencionados. Además, la felicidad tiene gran importancia dentro del clima organizacional, pues en la medida en que las personas se sientan a gusto con lo que hacen y como son reconocidas por su labor, estarán motivadas a proponer, a trabajar en equipo para cumplir con los objetivos de las organizaciones.

El liderazgo dentro de una institución educativa cobra importancia en la medida que este propicie la capacidad de reflexión del equipo de trabajo sobre sus prácticas, sabiendo que al hacerlo tienen la posibilidad de descubrir los aciertos y desaciertos propiciando transformaciones en su quehacer. Además, este liderazgo debe incidir en el clima organizacional a partir del reconocimiento de las capacidades de las personas y de la claridad de las funciones que cada una debe desempeñar y los objetivos que debe lograr, esto es posible cuando las personas asumen sus tareas como un compromiso y no como una tarea impuesta.

En el contexto analizado, se encontró la necesidad de contar con líderes que propicien un clima laboral que genere positivismo, confianza, que reconozca las capacidades de las personas, que propicie el sentido de pertenencia, el compromiso con la misión de la identidad, la cual se va reflejada en las prácticas con los estudiantes y familias. Un liderazgo dinámico, colegiado, adaptado a las necesidades del entorno.

Como contribución a esta recopilación se pretende proponer un ejercicio de reflexión para que las personas que ejercen el liderazgo descubran sus características y las capacidades que pueden poner al servicio de sus equipos de trabajo, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

1. *Capacidad crítica*. Se señala en [52] que *pensar críticamente, es pensar con un propósito, demostrar una idea, interpretar el significado de algo o solucionar un problema*. De la misma manera plantea que esta capacidad depende de dos factores: habilidades cognitivas que implica aplicar destrezas básicas del pensamiento, como la interpretación, el análisis, la evaluación, la inferencia, la explicación y la autorregulación mezcladas con las disposiciones afectivas, lo que da como resultado un perfil propio de una persona crítica. Cuando un líder piensa de manera crítica tendrá elementos para tomar decisiones, por lo tanto, debe poseer algunas características de las personas con capacidad crítica:
  - *Analizar*: Valora la aplicación del razonamiento y usa las evidencias para resolver los problemas.
  - *Confianza en sí misma*: Cree en lo que dice, en las capacidades expresivas y en contagiar esa credibilidad.
  - *Resiliencia*: Con capacidad de gestionar las dificultades presentadas, viendo soluciones efectivas.
  - *Sistemática*: Ordenada, con capacidad de centrarse en lo realmente importante, enfocándose en las tareas que emprende.

- *Con enfoque diferencial.* Dando oportunidad a todas las personas de participar desde su saber, desde lo que su cultura y contexto puede aportar.
2. *Relación con los otros.* La relación con las personas representa gran importancia en los equipos de trabajo. Las relaciones para que sean efectivas deben estar basadas en la confianza, en el respeto, en la valoración del otro por lo que es y lo que hace. Relaciones basadas en la integralidad de las personas, tomando en consideración su diversidad, sus características, su individualidad, potenciando todas sus capacidades. Que las personas se sientan importantes, promoviendo la inclusión, dando lugar a cada uno en el quehacer institucional. A continuación, algunas prácticas que determinan que hay buenas relaciones en el equipo de trabajo:
- Las personas se saludan en cada jornada con alegría y expectativa de los resultados del día.
  - Cuando hay alguna situación problema, las personas están dispuestas a dialogar y a buscar soluciones
  - Se observa un trabajo colaborativo, de equipo donde cada uno aporta desde sus saberes y experiencia.
  - No hay competencias individuales, se trabaja en equipo para cumplir metas grupales.
  - Se percibe un clima acogedor, las personas se sienten felices con lo que hacen y lo que aportan dentro de la institución.
3. *Reconocimiento como líder.* Se es líder cuando las otras personas lo reconocen como tal, cuando se reconoce por su calidad humana, haciendo uso de de sus conocimientos, poniéndolos al servicio de la misión institucional, siendo coherente con lo que dice y con lo que hace. Existe un reconocimiento como líder si:
- Demuestra conocimiento del contexto en que te desempeñas, los problemas, las oportunidades y se fijan metas para transformar el entorno.
  - Promueve un buen clima laboral a partir de la comunicación, el respeto, la responsabilidad.
  - Fomenta la formación de las personas, procurando que se generen espacios para el aprendizaje y propiciando la construcción colectiva del conocimiento.
  - Se evidencia empoderamiento en el trabajo por cumplir las metas institucionales.

## REFERENCIAS

- [1] Anya P. y Smith G. (2014). Qualitative research methods in Software Engineering. Revista Antioqueña de las Ciencias Computacionales y la Ingeniería de Software 4(2), 14-18.
- [2] Barahona H. et al. (2011). Los líderes en el siglo XXI. Entramado 7, 86-97.
- [3] Cuadrado I. (2001). Cuestiones teóricas y datos preliminares sobre tres estilos de liderazgo. Revista de psicología social 16, 131-155.
- [4] Lewin K. et al. (1939) Patterns of aggressive behavior in experimentally created social climates. Journal of social psychology 10 (1939), 271-301
- [5] Cardona D. y Buelvas S. (2010). Medir el clima organizacional: Preocupación legítima y necesaria por parte del management. Saber, ciencia y libertad 5, 141-150.
- [6] Castaño R. (2013). Un nuevo modelo de liderazgo por valores. Disertación doctoral. Universidad de Alcalá.
- [7] Vargas G. (2019). Incidencia de la gestión de talento humano en el clima organizacional de los docentes de la unidad educativa presidente José Luis Tamayo, Ecuador, 2018. Tesis de maestría. Universidad Cesar Vallejo.
- [8] Rojas R. y Wilches S. (2018). Gestión del talento humano y su relación con el desempeño laboral del personal del puesto de salud Sagrado Corazón de Jesús. Tesis de maestría. Universidad Norbert Wiener.
- [9] Inquilla A. (2017). Los estilos de liderazgo de los directores y su incidencia en la motivación del personal docente. Tesis de maestría. Universidad Nacional del Altiplano.
- [10] Angulo J. (2016). El liderazgo directivo y su incidencia en el clima institucional. Tesis de maestría. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- [11] Ríos M. et al. (2017). El liderazgo directivo y los efectos percibidos por docentes, estudiantes y los propios directivos en cuatro instituciones educativas oficiales de Bogotá: Naciones Unidas, La Estancia San Isidro Labrador, La Gaitana y Aldemar Rojas Plazas. Tesis de maestría. Universidad de la Sabana.

- [12] Contreras D. y Jiménez L. (2016). Liderazgo y clima organizacional en un colegio de Cundinamarca. lineamientos básicos para su intervención. Tesis de maestría. Universidad del Rosario.
- [13] Pitcher P. (1997). *The drama of leadership*. John Wiley and Sons.
- [14] Carriego C. (2006). Los desafíos de la gestión escolar. *Revista de educación* 16, 275-280.
- [15] Rivera C. et al. (2017). Clima organizacional en el contexto educativo. *Revista Scientific* 2, 316-339.
- [16] Peralta R. (2002). Clima organizacional. Recuperado de: <https://www.gestiopolis.com/el-clima-organizacional>
- [17] Morales E. (2016). Influencia del liderazgo directivo en el clima organizacional de dos centros educativos pertenecientes a una cadena de jardines infantiles y salas cunas de la región metropolitana. Tesis de maestría. Universidad Católica de Chile.
- [18] Villanueva G. et al. (2017). La importancia del clima organizacional, en la productividad de las empresas. *TEPEXI boletín científico de la escuela superior Tepeji Del Río*.
- [19] Jabif L. (2008). El rol del directivo. Colección formación de formadores Federación internacional de Fe y Alegría.
- [20] Likert R. (1967). *The human organization: its management and values*. McGraw-Hill.
- [21] Litwin G. y Stringer R. (1968). *Motivation and organizational climate*. Harvard business school press.
- [22] Vega J. et. al (2012) Metodología de evaluación del clima organizacional a través de un modelo de regresión logística para una universidad en Bogotá, Colombia. *Revista CIFE* 21, 247-272.
- [23] Brunet L. (2011). El clima del trabajo en las organizaciones, definición, diagnóstico y consecuencias. Trillas.
- [24] Yukl G. (2008). *Liderazgo en las organizaciones*. Pearson.
- [25] Mumford M. et al. (2002). Leading creative people: Orchestrating expertise and relationships. *The Leadership Quarterly* 13, 705-750.
- [26] Gyssels C. (2008). La formación de directivos. Comprender su actuación para comprender sus prácticas. Federación internacional de fe y alegría.
- [27] Burns M. (1978). *Leaders\_i*. Harper y Row.
- [28] Bass B. (1990). From transactional to transformational leadership: Learning to share the vision. *Organizational dynamics* 18, 19-32.
- [29] Kirkpatrick S. y Locke E. (1991) Leadership: Do traits matter? *Academy of management Executive* 5, 48-60.
- [30] Lord R. et al. (1986). A meta-analysis of the relation between personality traits and leadership perceptions: An application of validity generalization procedures. *Journal of Applied Psychology* 71, 402-410.
- [31] Fayol H. (1986) *Administración industrial y general*. Orbis.
- [32] Lewin G. (1951). *Fiels theory in social science: Selected theoretical papers*. Harper.
- [33] Murillo V. (2014). Acompañamiento-más que una condición, una forma de vivir, sentir y hacer parte de la mejora. Fe y alegría de Colombia
- [34] Fiedler F. (1967). *A theory of leadership effectiveness*. McGraw-Hill.
- [35] Hersey P. y Blanchard, K. (1969). Life cycle theory of leadership, training and development *Journal* 23, 167-180.
- [36] Evans M. (1970). The effects of supervisory behavior on the path-goal relationship. *Organizational behavior & human performance* 5, 277-298.
- [37] House R. (1971). A path goal theory of leader effectiveness. *Administrative science quarterly* 16, 312-328.
- [38] Vroom V. y Yetton P. (1973). *Leadership and decision-making*. Pittsburg Press.
- [39] Palomino P. (2009). Últimas tendencias en el estudio sobre liderazgo: Revisión de la literatura en: Documentos de trabajo. Seminario permanente de ciencias sociales 5, 1-16.
- [40] Roza A. et al. (2019). Liderazgo organizacional como elemento clave para la dirección estratégica. *Aibi revista de investigación, administración e ingeniería* 7, 62-67.
- [41] Gonzales D. y Naranjo J. (2014) *Liderazgo: Desarrollo del concepto*. Universidad del Rosario.
- [42] Gómez R. (2008). El liderazgo empresarial para la innovación tecnológica en las micro, pequeñas y medianas empresas. *Pensamiento y Gestión* 24, 157-194.
- [43] Leithwood K. et al. (2009). *Distributed leadership according to the evidence*. Routledge.
- [44] Finocchio S. y Legarralde M. (2007). *Pedagogía de la inclusión. Gestión pedagógica para equipos directivos*. Federación internacional de fe y alegría.
- [45] Salguero N. y García C. (2017). La influencia del liderazgo sobre el clima organizacional en las instituciones de educación superior. *Boletín virtual*. Universidad de Toronto.
- [46] Erazo R. (2017). Promover la felicidad desde el liderazgo para el rendimiento de labores. En Seminario de investigación especialización alta gerencia. Universidad Militar Nueva Granada, Colombia.
- [47] Palomo J. (2018). La influencia del liderazgo, del coaching y de la motivación en el rendimiento de los empleados. Tesis de maestría. Universidad Pontificia Comillas Madrid.
- [48] Nesler M. et al. (1999). The development and validation of a scale measuring global social power based on French and Raven's power taxonomy. *Journal of applied social psychology* 29, 750-771.
- [49] French J. y Raven B. (1959). The bases of social power. En Cartwright D. (Ed.), *Studies in social power* (pp. 150-167). University of Michigan.
- [50] Paredes K. (2020). Estilos de liderazgo y felicidad laboral de los trabajadores de las instituciones de la Asociación Paraguaya de los Adventistas del Séptimo Día. Tesis de maestría. Universidad Peruana Unión.

- [51] Ocaña J. (2020). Liderazgo directivo en el comportamiento organizacional de la I.E. Andrés de los Reyes, Huaral. Tesis de maestría. Universidad Cesar Vallejo.
- [52] Alzérreca J. (2011). Crecer como acompañantes. Federación Internacional de fe y alegría.



# Diseño de un centro de prácticas y memorias como agente de fortalecimiento y vinculación con empleadores y egresados

Jaime Augusto Lam Moraga<sup>1</sup>

Purísima de las Mercedes Neira Cortés<sup>2</sup>

Paola Karen Mamani Apala<sup>3</sup>

Francisco Javier Cartes Arenas<sup>4</sup>

*Universidad Arturo Prat*

Chile

En este estudio se presenta el diseño de un Centro de Prácticas y Memorias CPM que nace como iniciativa al interior de la carrera de Ingeniería Civil Industrial en la Universidad Arturo Prat, Chile, y cuyos objetivos son aportar a la mejora de la Tasa de Titulación Oportuna y contribuir al fortalecimiento de la vinculación de la carrera con empleadores y egresados. El proyecto se enmarca en las acciones de mejora a realizar por la misma carrera a consecuencia del último proceso de acreditación. Se diseña un documento que establece las bases para que en el corto plazo se constituya el CPM de la Facultad, con el propósito de generar una instancia para que los estudiantes de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura cuenten con alternativas que faciliten la realización de prácticas y trabajos de título en modalidad Memoria. Para la materialización y permanencia en el tiempo de esta iniciativa se contemplan las siguientes etapas: Diagnóstico, diseño, implementación y gestión del centro. En este trabajo se describe el desarrollo de las dos primeras etapas, para las que la información utilizada ha sido obtenida durante el segundo semestre de 2020 y el primero de 2021.

---

<sup>1</sup> Ingeniero Civil Industrial y Magíster en Calidad Total.

Contacto: [jlam@unap.cl](mailto:jlam@unap.cl)

<sup>2</sup> Ingeniero Civil Industrial y Doctor en Negocios.

Contacto: [pneira@unap.cl](mailto:pneira@unap.cl)

<sup>3</sup> Ingeniero Civil Metalúrgico y Magíster en Ingeniería Industrial.

Contacto: [pamamani@unap.cl](mailto:pamamani@unap.cl)

<sup>4</sup> Magíster en Estadística Aplicada.

Contacto: [fcartes@unap.cl](mailto:fcartes@unap.cl)

## 1. INTRODUCCIÓN

La inserción al mundo laboral de quienes egresan de la educación superior constituye un elemento clave para la satisfacción y el desarrollo tanto profesional como personal. En el ámbito laboral, los egresados se relacionan con profesionales de otras áreas con quienes intercambian opiniones, formas de trabajo y puntos de vista para determinar soluciones a situaciones laborales. Estas instancias generan en los nuevos titulados una autoevaluación y reflexión sobre la calidad de las herramientas entregadas en las universidades donde fueron formados académicamente.

En relación con este punto y desde la mirada institucional, las universidades y su entorno buscan generar cada vez más una relación bidireccional con los egresados, que permita mantener comunicación con ellos y origine un ciclo virtuoso de generación de conocimientos y contribución al desarrollo de la sociedad en general. La Universidad Arturo Prat no está exenta de este desafío y por tal motivo la carrera Ingeniería Civil Industrial de esta institución, ha realizado un estudio y diseño de un Centro de Prácticas y Memorias, cuyo objetivo es apoyar a los estudiantes de los últimos años en la gestión de prácticas profesionales y dirección de trabajos de titulación.

Dentro de las áreas de mejora, producto del último proceso de acreditación llevado a cabo por la carrera de Ingeniería Civil Industrial, año 2016, se menciona que *se han efectuado acciones para apoyar el desempeño de los estudiantes en el transcurso de la carrera, sin embargo, la tasa de titulación continúa siendo baja* [1]. Asimismo, el Informe de Autoevaluación elaborado por la carrera señala que *aún persiste un desconocimiento del proceso de titulación en los niveles iniciales*. En este mismo informe se expresa, además, que *la carrera considera necesaria la formalización del vínculo con empleadores y egresados como instancias fundamentales para el desarrollo de los futuros profesionales*. Los aspectos mencionados están relacionados con los ítems *Titulación oportuna, Modalidades de titulación y Prácticas*.

La Titulación oportuna es aquella titulación realizada en un plazo máximo de un año adicional a la duración teórica de la carrera [2], es decir, si un plan de formación tiene una duración de cinco años, se considera como Titulación oportuna a aquellas titulaciones realizadas en a lo más seis años. Dentro de las modalidades de titulación la carrera de Ingeniería Civil Industrial contempla el desarrollo de una *Memoria*, la cual consiste en un trabajo de aplicación en algún ámbito de la Ingeniería Industrial, mientras que las *Prácticas* corresponden a una actividad en la cual el estudiante se inserta, por un período determinado, en el mundo laboral y su cumplimiento es considerado un requisito dentro del Plan de Formación Curricular de la carrera.

## 2. MARCO CONCEPTUAL

### 2.1 Reseña histórica del Sistema de Educación Superior chileno

La fundación de instituciones de Educación Superior en Chile fue bastante restringida hasta la primera mitad del siglo XX. La primera universidad creada fue la de San Felipe en 1738, dando origen posteriormente a la Universidad de Chile. Más adelante, se funda la Pontificia Universidad Católica en 1898. Para 1980 se habían creado en el país un total de ocho universidades, de las cuales la Universidad de Chile y la Universidad Técnica del Estado eran instituciones estatales y nacionales con sedes en distintas regiones. En cuanto a las instituciones privadas, tres eran católicas, a saber, Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad Católica de Valparaíso y Universidad Católica del Norte, mientras que las universidades de Concepción y Austral surgieron por decisión de la comunidad local, finalmente la Universidad Técnica Federico Santa María se originó en una fundación privada [3].

A fines de 1980 se dictó el Decreto Ley 3.541 [4], iniciando un proceso de transformaciones profundas en la educación superior del país. Esta legislación intentaba abordar cuatro aspectos relevantes:

1. Resolver el problema de la presión social, por el ingreso a las universidades, generado por el aumento vegetativo de la población y el incremento de los egresados de la educación secundaria.

2. Evitar un crecimiento desmesurado de las instituciones existentes.
3. Otorgar a la formación técnica el carácter de educación superior, asignándole la función de formar técnicos de nivel superior.
4. Constituir un sistema diferenciado con universidades, institutos profesionales y centros de formación técnica.

Esta reforma permitió la creación de nuevas instituciones, basándose en la incorporación de privados y retiro gradual del Estado, tal como en otras políticas públicas realizadas en el gobierno militar. Con ello, se operó con el supuesto de que la información y transparencia del mercado serían elementos necesarios y suficientes para la regulación de la oferta y la demanda académica y ocupacional. Producto de esta reforma, se disminuyó el flujo de recursos estatales a la educación superior, traspasando parte de este gasto al sector privado, lo que incentivó la generación de establecimientos particulares e incorporó el pago de aranceles en las instituciones públicas y tradicionales [3]. La reforma también reestructuró el aporte del Estado a las universidades chilenas de la siguiente forma:

- Un aporte fiscal directo AFD a las universidades tradicionales, correspondiente a los fondos disponibles para las universidades que pertenecen al Consejo de Rectores de las Universidades Chilenas CRUCH.
- Un aporte fiscal indirecto AFI, premio a la captación de los mejores estudiantes que ingresen al sistema universitario, corresponde a fondos para promocionar la calidad estimulando la competencia para atraer a los estudiantes con los mejores puntajes de la Prueba de Selección Universitaria PSU.

El desarrollo del proceso iniciado a partir de esta reforma generó un cambio significativo en el número de instituciones de educación superior. Es así como, en la actualidad, el sistema de Educación Superior chileno está compuesto por 180 instituciones. De las 61 universidades existentes, 16 son estatales y 9 privadas con aporte fiscal directo, las que constituyen el grupo de 25 universidades que integran el Consejo de Rectores de Universidades Chilenas. Existen 36 universidades privadas que no reciben AFD. Asimismo, se cuenta con 45 institutos profesionales y 74 centros de formación técnica.

En [3] también se señala que la evolución del tipo y número de instituciones, junto a la matrícula y los mecanismos de financiamiento, dan cuenta de las diferentes estrategias en que se ha insertado el desarrollo de la educación terciaria. Así, a partir de 1990, se identifican cuatro lineamientos de acción, correspondientes a lineamientos internos y lineamientos externos: 1) fortalecer el desarrollo y la modernización del país (lineamiento externo), 2) lograr mayor equidad (lineamiento externo), 3) mejorar la calidad del servicio que se presta (lineamiento interno), y 4) mejorar la gestión institucional (lineamiento interno).

En este sentido, el financiamiento se concentra en las universidades con mayor complejidad y multifuncionalidad, diversificando los aportes de manera que las instituciones cuenten con aportes basales directos e instrumentos que incentiven el desarrollo, la calidad y eficiencia de instituciones y programas sobre bases concursables. Igualmente, se aborda el fomento de la equidad e igualdad de oportunidades, focalizando la ayuda mediante créditos, fondos solidarios y becas.

Otro aspecto para destacar debido a su rol en la búsqueda de la mejora de la calidad del sistema y su coherencia con las necesidades del país es el programa *Mejoramiento de Calidad de la Educación Superior* MECESUP, promovido desde el Ministerio de Educación y financiado por el Banco Mundial, que ha permitido un avance en el perfeccionamiento del marco regulatorio, incluyendo no solo a universidades sino también a institutos profesionales y centros de formación técnica. Su propósito global radica en el perfeccionamiento y consolidación del sistema de Educación Superior y el logro de un amplio consenso, con los principales agentes del sistema, respecto de una visión de largo plazo del desarrollo del sector.

En consecuencia, según lo descrito en esta reseña histórica del sistema de educación chileno, se puede observar que las universidades chilenas cuentan con potenciales mecanismos y fuentes de recursos, tales como programas, proyectos, fondos concursables e iniciativas emanadas de los organismos del Estado para

desarrollar correctamente su quehacer y fortalecerlo, convirtiéndose así en actores relevantes para mejorar la gestión de la calidad en cada una de sus instituciones.

## 2.2 Gestión de la calidad en las Universidades

De acuerdo con lo expuesto en [5]:

*Tras acabar la década de 1990, la educación superior chilena estaba constituida por 240 instituciones. De ellas, 64 eran universidades (39 privadas), 60 institutos profesionales y 116 centros de formación técnica. La gran cantidad de instituciones que obtuvieron su autonomía en la década de 1990, sumado a la expansión de la matrícula, hizo imprescindible la creación de un sistema que evaluara la calidad de las instituciones autónomas, y de un marco regulatorio que integrara todos los mecanismos de aseguramiento de la calidad de la educación superior.*

Asimismo, plantea que *ese fue el propósito de la constitución de la Comisión Nacional de Acreditación de Pregrado CNAP, posteriormente llamada solo Comisión Nacional de Acreditación (aunque conservando idéntica sigla) debido al rol amplio que llegó a tener, siendo esto la instancia pertinente y necesaria para regular la calidad y la oferta de las instituciones de educación superior chilena.*

En [6] se señala que *el dinamismo y la complejidad que caracterizó al sistema universitario chileno en la década de los 90, condujo a fines de esta década a la instalación de las bases del sistema de acreditación de educación superior, a partir de la creación de la Comisión Nacional de Acreditación de Pregrado CNAP y la Comisión Nacional de Acreditación de Postgrado CONAP, mediante los decretos supremos 59 y 225 del Ministerio de Educación, que establecen las normas sobre acreditación experimental y voluntaria de programas de pregrado y de postgrado [7] Este proceso conduce en el año 2003 a que se inicie una experiencia piloto de acreditación donde fueron sometidas a evaluación 13 instituciones, 6 las que en su mayoría ya contaban con experiencias previas de evaluación [8].*

En el ámbito de la gestión de la calidad en instituciones de educación superior, la calidad de una universidad no se puede fijar y medir en términos absolutos [9] y depende de los objetivos que la propia institución se haya dado. Sin embargo, lo que sucede usualmente es que se evalúa el desempeño de una universidad contrastándolo con una idea universal de ella.

Según [9] la universidad se puede entender inicialmente como una institución, porque posee funciones, valores, hábitos, normas y estructuras que la rigen, y luego como una organización ya que cuenta con una identidad particular y adopta una determinada forma.

La importancia de distinguir entre lo que la universidad tiene de organización y lo que tiene de institución está en separar aquello que es susceptible de control de aquello que no lo es. Lo que haga una universidad específica tendrá un impacto nulo o infinitesimal en la institución de la universidad, pero un efecto enorme en la universidad como organización [10]. En este mismo documento se manifiesta que el primer paso para hacer gestión de la calidad en una universidad es definir a la misma como organización única y particular, especificando para el caso concreto los atributos universales de la institución. Al determinar el sello de la universidad, con sus propios valores, hábitos de trabajo, procedimientos, normas y estructura, se empieza a establecer un sistema de calidad.

## 2.3 Sistema de acreditación institucional

El proceso de acreditación institucional chilena se define por la CNAP como [11]:

*Es un proceso de evaluación externa al que deben someterse obligatoriamente las instituciones de educación superior autónomas del país; las carreras de pregrado consideradas de acreditación obligatoria (según lo establece la ley, estas son Medicina, Odontología y todas las Pedagogías); y los programas de doctorado y las especialidades del área de la salud que ellas imparten. Se trata de una certificación de calidad de sus procesos internos y sus resultados.*

De acuerdo con la Ley 21.091 [12] sobre Educación Superior, que modifica la Ley 20.129 [13] que Establece un Sistema Nacional de Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior, se observan los siguientes aspectos relevantes en el ámbito de la Acreditación Institucional:

*La acreditación institucional será obligatoria para las instituciones de educación superior autónomas, será integral y considerará la evaluación de la totalidad de las sedes, funciones y niveles de programas formativos de la institución de educación superior y las instituciones de educación superior deberán acreditarse en las dimensiones de docencia y resultados del proceso de formación; gestión estratégica y recursos institucionales; aseguramiento interno de la calidad y vinculación con el medio.*

Los criterios y estándares de calidad presentados en [14], que rigen a partir del 1 de octubre de 2023, para los procesos de acreditación institucional deberán considerar, al menos, los siguientes aspectos de cada una de las dimensiones de evaluación:

1. *Docencia y resultados del proceso de formación:* Debe considerar las políticas y mecanismos institucionales orientados al desarrollo de una función formativa de calidad, los que se deberán recoger en la formulación del modelo educativo.
2. *Gestión estratégica y recursos institucionales:* Debe contemplar políticas de desarrollo y objetivos estratégicos, y la existencia de una estructura organizacional e instancias de toma de decisiones adecuadas para el cumplimiento de los fines institucionales.
3. *Aseguramiento interno de la calidad:* El sistema interno de aseguramiento y gestión de la calidad institucional debe abarcar la totalidad de las funciones que la institución desarrolla, así como las sedes que la integran y deberá aplicarse sistemáticamente en todos los niveles y programas de la institución de educación superior. Los mecanismos aplicados deberán orientarse al mejoramiento continuo, resguardando el desarrollo integral y armónico del proyecto institucional.
4. *Vinculación con el medio:* La institución de educación superior debe contar con políticas y mecanismos sistemáticos de vinculación bidireccional con su entorno significativo local, nacional e internacional, y con otras instituciones de educación superior, que aseguren resultados de calidad. Asimismo, deberán incorporarse mecanismos de evaluación de la pertinencia e impacto de las acciones ejecutadas, e indicadores que reflejen los aportes de la institución al desarrollo sustentable de la región y del país.
5. *Investigación, creación o innovación:*
  - Las universidades deberán, de acuerdo con su proyecto institucional, desarrollar actividades de generación de conocimiento, tales como investigaciones en distintas disciplinas del saber, creación artística, transferencia y difusión del conocimiento y tecnología o innovación. Esto debe expresarse en políticas y actividades sistemáticas con impacto en el desarrollo disciplinario, en la docencia de pre y postgrado, en el sector productivo, en el medio cultural o en la sociedad.
  - Los institutos profesionales y centros de formación técnica, de acuerdo con su proyecto institucional, deberán desarrollar políticas y participar en actividades sistemáticas que contribuyan al desarrollo, transferencia y difusión de conocimiento y tecnologías, así como a la innovación, con el objetivo de aportar a solución de problemas productivos o desafíos sociales en su entorno relevante. Estas actividades deberán vincularse adecuadamente con la formación de estudiantes.

## **2.4 Sistema de acreditación por carrera**

De acuerdo con la [12] artículo 28, el proceso de acreditación de carreras y programas de pregrado se realiza, sobre la base de dos parámetros de evaluación. El primero indica que:

*El perfil de egreso de la respectiva carrera o programa. La definición del perfil de egreso deberá considerar, el estado de desarrollo y actualización de los fundamentos científicos, disciplinarios o tecnológicos que subyacen a la formación que se propone entregar y las orientaciones fundamentales provenientes de la declaración de misión y los propósitos y fines de la institución.*

Mientras que en el segundo se señala que:

*El conjunto de recursos y procesos mínimos que permiten asegurar el cumplimiento del perfil de egreso definido para la respectiva carrera o programa. De esta forma, la estructura curricular, los recursos*

*humanos, los elementos de apoyo a la enseñanza y el aprendizaje, la modalidad de enseñanza y los aspectos pedagógicos, la infraestructura y los recursos físicos deben ordenarse en función del logro de dicho perfil.*

### **3. MÉTODO**

El diseño de la investigación utilizado es un proceso de planificación [15], estableciendo los procesos, procedimientos, métodos y las técnicas de recopilación de la información necesaria para la investigación. Para conocer la opinión de los estudiantes sobre la necesidad de contar con alguna instancia que les entregue orientación sobre la realización de Prácticas y la elaboración de Memoria, se realizó un análisis interno mediante el levantamiento de información a través de opiniones y percepciones preliminares durante el segundo semestre de 2020.

Con la finalidad de constatar el contexto interno de la carrera anteriormente expuesto, se realizó una encuesta a los estudiantes que se encontraban cursando los últimos años del Plan de Formación Curricular de Ingeniería Civil Industrial y que hayan experimentado los procesos de Prácticas y Memorias.

El instrumento utilizado constó con siete reactivos, todos orientados a conocer la percepción de los estudiantes frente a estos procesos y las respuestas se expresan en escala de Likert con cinco opciones: Muy en desacuerdo (MED), En desacuerdo (ED), No sabe o no aplica (NA), De acuerdo (DE) y Muy de acuerdo (MDA), puntuadas con 0, 1, 2, 3 y 4 respectivamente. Para su confección y aplicación se utilizó Google Forms, luego fue enviado a los estudiantes de la muestra, el tiempo estimado para contestar esta encuesta fue aproximadamente de 10 minutos.

#### **3.1 Participantes**

Dado que la investigación es mixta, se consideraron dos muestras. La primera correspondió a aquellos estudiantes que contestaron la encuesta, para la cual se consideró un muestreo aleatorio simple [16] a un nivel de confianza de 95% y un 5% de error, y estuvo compuesta por 80 estudiantes de los 5 últimos dos años del Plan de Formación Curricular de la carrera. De los integrantes de la muestra el 42,5% es de género femenino, mientras que el 57,5% es masculino. Además, el 65% se encuentra cursando el décimo semestre de la carrera, el 1,2% noveno semestre y el 33,8% el octavo semestre. La segunda correspondió a aquellos estudiantes que se les aplicó la entrevista, la muestra fue intencional [16] y se conformó por 14 estudiantes pertenecientes a cuarto y quinto año del Plan de Formación Curricular de la carrera y que hayan experimentado los procesos de Prácticas y Memorias, además de los integrantes de la Asamblea de Estudiantes, también conocida en Chile como Centro de Estudiantes, de Ingeniería Civil Industrial.

#### **3.2 Revisión documental**

En el contexto externo de la Universidad, se realizó una revisión de las instituciones de educación superior nacionales que contaran con alguna instancia relacionada a la gestión de Prácticas y Memorias instaurada, obteniendo un total de 11 instituciones, de las cuales cinco eran estatales y seis privadas. Esto se logró mediante un levantamiento de información a partir de lo que presentan en sus páginas web.

#### **3.3 Procedimiento**

Tanto la entrevista como la encuesta formaron parte de un análisis interno, cuyo objetivo es contar con un diagnóstico sobre la percepción de los estudiantes sobre el proceso de Prácticas y Memorias que se llevan a cabo en la carrera. Mientras que la revisión documental formó parte de un análisis externo, en el cual se hizo una recopilación de información de cómo llevan a cabo estos procesos las instituciones del país.

Con la información recopilada de las entrevistas se realizó un resumen de las opiniones con las ideas generales existentes al interior de la carrera. Luego que se aplicó la encuesta a los estudiantes de la muestra, se realizó un análisis estadístico descriptivo por cada pregunta, con la finalidad de resumir las opiniones según la alternativa seleccionada en la escala de Likert.

En cuanto al tema ético, se incluyó un consentimiento informado en la aplicación de la encuesta y la entrevista en el cual se garantizó el anonimato de los participantes, señalando que la participación era voluntaria y los resultados del estudio eran solo con fines científicos, educativos e iban directamente relacionados con la mejora de la formación de la misma carrera.

## 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 4.1 Resultados entrevista

Las preguntas realizadas fueron:

1. ¿Qué aspectos se deben mejorar en los procesos de Prácticas?
2. ¿Qué aspectos se deben mejorar en los procesos de Memorias?
3. ¿Qué opinan sobre la implementación de un Centro de Prácticas y Memorias CPM en la carrera?

En la Tabla 1 se exhibe una síntesis de los resultados obtenidos de los puntos de vistas de los estudiantes de cuarto y quinto año, además de los integrantes que conforma el Centro de Estudiantes referentes al proceso de Prácticas. Se evidencia que los estudiantes que han pasado por este proceso, en diferentes años, concordaron en los aspectos a mejorar siendo el más frecuente el de la *escasa información* que se tiene respecto a los pasos a seguir en este proceso. Esto fue corroborado por los representantes del Centro de Estudiantes de la carrera, teniendo en cuenta que estos últimos conocen los demandas y comentarios de parte de sus compañeros de carrera.

**Tabla 1.** Opiniones sobre el Proceso de Prácticas

| Grupo de estudiantes  | Comentarios sobre aspectos a mejorar   |
|-----------------------|--|
| Cuarto año            | Poca información con respecto al proceso administrativo a seguir   |
|                       | Poca información sobre el contenido del informe de práctica  |
|                       | Escases de ofertas para realizar la práctica   |
| Quinto año            | Poca información que se da sobre posibles lugares en donde realizar la práctica y en los cuales se podría desempeñar mejor como ingeniero civil industrial |
|                       | Poca información sobre el proceso de práctica  |
|                       | Evaluación diferenciada entre las dos prácticas  |
|                       | Falta de alianzas entre la carrera y empresas que ofrezcan prácticas para estudiantes  |
| Centro de estudiantes | Poca información del funcionamiento y puntos más importantes de este mismo   |
|                       | Desinformación con respecto a las empresas en donde se puede realizar prácticas  |
|                       | Poca información sobre los informes de prácticas   |
|                       | Realización de convenios con empresas que ofrezcan prácticas   |

En la Tabla 2 se presenta un resumen de los resultados obtenidos de los puntos de vistas de los estudiantes de cuarto y quinto año, además de los estudiantes que conforma el Centro de Estudiantes referentes al proceso de Memorias. Se observa que quienes han realizado memorias o se encuentran en este proceso, aseguran contar con *muy poca información* sobre cómo realizarlo y donde realizarlo. Además, consideran que existe de *poca disposición* de parte de la Facultad de Ingeniería para entregar respuestas a los estudiantes. El Centro de Estudiantes concuerda en lo respondido por sus compañeros, y además agrega que se podría adelantar el inicio de este proceso para que los estudiantes se titulen de manera oportuna.

**Tabla 2.** Opiniones sobre el Proceso de Memorias

| Grupo de estudiantes  | Comentarios sobre aspectos a mejorar  |
|-----------------------|---|
| Egresados             | Más ayuda con respecto a temas sobre los cuales se puede realizar la memoria            |
|                       | Más respuesta de los profesores colaboradores   |
|                       | Poca disposición de parte de la universidad al momento del levantamiento de información |
|                       | Poca información sobre el proceso a seguir  |
| Centro de estudiantes | Poca información del funcionamiento y puntos más importantes de este mismo              |
|                       | Desinformación con respecto a las empresas en donde se puede realizar memorias          |
|                       | Comenzar a realizar trabajos con respecto a la memoria desde años anteriores            |
|                       | Rapidez con respecto a respuestas de las memorias                                       |

Sobre la opinión acerca de la *implementación de un Centro de Prácticas y Memorias en la carrera*, las respuestas recibidas por los estudiantes fueron en su totalidad positivas, argumentando que es necesario una mayor organización con respecto a estos temas en la carrera. Por su parte, el Centro de Estudiantes también considera buena la idea contar con este centro, ya que ambas actividades son decisivas en la formación de los estudiantes.

## 4.2 Resultados encuesta

En la Tabla 3 se presenta el resumen de las opiniones de los estudiantes con respecto al proceso de Prácticas y al proceso de Memorias.

**Tabla 3.** Opiniones de los estudiantes sobre el proceso de Prácticas y Memorias

| Proceso   | Pregunta  | MED | ED  | NA | DA  | MDA |
|-----------|---|-----|-----|----|-----|-----|
| Prácticas | P1. La información que entrega la carrera respecto al proceso de Práctica es clara                | 36% | 50% | 1% | 13% | 0%  |
|           | P2. La estructura del informe de Práctica facilita su elaboración                                 | 12% | 41% | 2% | 35% | 10% |
|           | P3. Estoy satisfecho con la orientación que entrega la carrera sobre el proceso de Práctica       | 41% | 49% | 1% | 7%  | 2%  |
| Memorias  | P4. La información que entrega la carrera respecto al proceso de Memoria es clara                 | 17% | 40% | 1% | 35% | 7%  |
|           | P5. La carrera gestiona la posibilidad de realizar Memorias                                       | 50% | 29% | 2% | 19% | 0%  |
|           | P6. Estoy satisfecho con la orientación que entrega la carrera sobre el proceso de Memorias       | 32% | 46% | 2% | 20% | 0%  |
| CPM       | P7. La existencia de un Centro de Prácticas y Memorias sería un aporte a mi formación profesional | 0%  | 0%  | 2% | 28% | 70% |

Con respecto a las opiniones sobre el proceso de Prácticas según la escala de Likert, se observa que el 86% de los estudiantes declaró estar *muy en desacuerdo* (36%) y *en desacuerdo* (50%) en que la información entregada por la carrera es clara para este proceso. Asimismo, el parecer de los estudiantes en relación con el ítem asociado a si la elaboración del informe de Práctica se ve facilitado por su estructura estuvo dividida, el 41% señaló estar *en desacuerdo* con esta afirmación, mientras que el 35% señaló estar *de acuerdo*. Por su parte, el 90% de los estudiantes aseguró estar *muy en desacuerdo* (41%) y *en desacuerdo* (49%) en estar satisfechos con la orientación entregada por la carrera sobre el proceso de Prácticas.

En cuanto al proceso de Memorias, la opinión de los estudiantes estuvo dividida en el ítem asociado a si la información que entrega la carrera de este proceso es clara, en el cual el 40% manifestó estar *en desacuerdo*, mientras que el 35% manifestó estar *de acuerdo* con esta afirmación. Por otro lado, el 79% de los estudiantes aseveró estar *muy en desacuerdo* (50%) y *en desacuerdo* (29%) en que la carrera gestiona la posibilidad de realizar Memorias. Además, el 78% de los estudiantes señaló estar *muy en desacuerdo* (32%) y *en desacuerdo* (46%) en sentirse satisfechos con la orientación entregada por la carrera sobre el proceso de Memorias.

Finalmente, el 98% de los estudiantes declaró estar *de acuerdo* (28%) y *muy de acuerdo* (70%) en que la existencia de un Centro de Prácticas y Memorias sería un aporte a la formación profesional entregada en la carrera de Ingeniería Civil Industrial.

## 4.3 Resultados revisión documental

En la Tabla 4 se muestran las instancias relacionadas a las Prácticas y Memorias de las diversas instituciones nacionales estatales, además de los comentarios asociados a estas instancias [17-21].

Como se puede observar, las instituciones que entregan este tipo de ayuda y apoyo a sus estudiantes realizan diferentes actividades tales como talleres y charlas. Además, poseen manuales sobre los procesos que deben realizar para llevar a cabo sus prácticas y memorias. También, en algunos casos, cuentan con alianzas con empresas para facilitar el proceso de búsqueda de Prácticas.

En la Tabla 5 se presentan las instancias relacionadas a las Prácticas y Memorias de las diversas instituciones nacionales privadas, además de los comentarios asociados a estas instancias [22-27].



**Tabla 4.** Información de instituciones estatales

| Institución                      | Instancia que se relaciona                   | Comentarios   |
|----------------------------------|--|---|
| Universidad de Tarapacá          | Bolsa de empleo Ingeniería Industrial        | La carrera de Ingeniería Industrial posee una página web en donde las empresas publican ofertas de prácticas y empleos para los estudiantes   |
| Universidad de Atacama           | Bolsa de Trabajo                             | El departamento de ingeniería en informática y ciencias de la computación poseen una página web en donde las empresas publican ofertas de prácticas y empleos para los estudiantes.   |
| Universidad de Valparaíso        | Portal de empleos                            | Poseen una página web en donde las empresas publican ofertas de prácticas y empleos para los estudiantes  |
| Universidad de Santiago de Chile | Coordinación General de práctica profesional | Es el encargado de coordinar, organizar y asesorar el proceso de Prácticas de los estudiantes de las carreras pedagógicas, esto mediante convenios con colegios, también poseen manuales de orientación y documentos para cada carrera que ayudan con la entrega de información a los estudiantes |
| Universidad de Chile             | Portal de prácticas y empleos                | Poseen una página web en donde las empresas publican ofertas de prácticas y empleos para los estudiantes  |

**Tabla 5.** Información de instituciones privadas

| Institución                              | Instancia que se relaciona     | Comentarios   |
|--|--------------------------------|---|
| Universidad Católica del Norte           | Bolsa Laboral                  | Poseen una página web en donde las empresas publican ofertas de empleos y prácticas para los estudiantes  |
| Universidad Técnico Federico Santa María | Oficina de Gestión de Talentos | Se encarga de guiar y apoyar a los estudiantes en la búsqueda de trabajo y mejoras de las condiciones laborales, realizando actividades como asesorías personalizadas para la creación de CV y asesorías y charlas de empleabilidad. Además, crean convenios con empresas, con el objetivo de fortalecer el vínculo entre los estudiantes y estas |
| Pontificia Universidad Católica de Chile | Centro de enlace               | La carrera de ingeniería comercial posee una página web con el objetivo de convertirse en un aliado estratégico para los estudiantes en busca de hacer coincidir las mejores oportunidades laborales del mercado con los múltiples intereses y necesidades de estos   |
| Universidad de Concepción                | Bolsa de empleos               | Poseen una página web en donde las empresas publican ofertas de empleos y prácticas para los estudiantes  |
| Universidad Austral de Chile             | Empleos UACH                   | Poseen una página web en donde las empresas publican ofertas de empleos y prácticas para los estudiantes. Además, en esta se pueden encontrar consejos de cómo enfrentar algunas situaciones laborales  |
| INACAP                                   | Centro de Desarrollo Laboral   | Su propósito es facilitar el apoyo, información y servicios que potencien la empleabilidad en estudiantes y exestudiantes. Para lograr este objetivo desarrollan charlas sobre el mundo laboral y talleres que le entreguen a los estudiantes herramientas y conceptos necesarios para el mundo del trabajo                                       |

## 5. PROPUESTA DEL CENTRO DE PRÁCTICAS Y MEMORIAS

En este contexto y con la finalidad de aportar a la mejora de la Tasa de Titulación Oportuna y de contribuir al fortalecimiento de la vinculación de la carrera con empleadores y egresados, nace la propuesta de creación del CPM para la carrera de Ingeniería Civil Industrial de la Universidad Arturo Prat. Mediante esta iniciativa se busca generar una instancia para que estudiantes de la carrera puedan contar con alternativas que favorezcan la realización de Prácticas y trabajos de título, en modalidad memoria. De esta forma, el diseño del CPM-Industrial es una de las actividades de mejora continua de la carrera, tendientes a aumentar el grado de satisfacción de sus estudiantes. En el marco del diseño y atendiendo a las necesidades de los estudiantes se establecen los objetivos, las funciones y los indicadores pertinentes para la correcta gestión de éste. Además de proponer una estructura organizacional.

### 5.1 Objetivos y funciones

En la Tabla 6 se señalan las características consideradas en el diseño del Centro de Prácticas y Memorias.

### 5.2 Estructura organizacional

Una vez identificadas las funciones que deben realizarse para el correcto funcionamiento del Centro, se propone, a modo preliminar y de inicio, la siguiente estructura organizacional. La estructura consta de un *responsable* del Centro de Prácticas y Memorias, dos *ejecutivos* y una persona que cumpla la función de

*secretaría*. En la Tabla 7 se presenta una descripción de cada uno de los cargos planteados para el Centro de Prácticas y Memorias, su objetivo y las principales funciones que deberían cumplir.

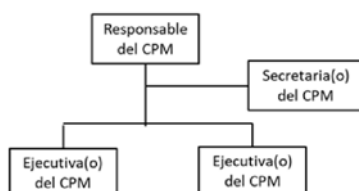
**Tabla 6.** Objetivos, Funciones e Indicadores para el Centro de Prácticas y Memorias

| Objetivo   | Funciones  | Indicadores   |
|--|--|---|
| Orientar a los estudiantes respecto al proceso de práctica   | Realizar charlas inductivas con respecto al proceso de prácticas   | Número de inducciones realizadas para proceso de práctica   |
|  | Mantener actualizado un manual que permita dar a conocer las etapas del proceso de prácticas                         | Número de estudiantes con inducción al proceso de prácticas/Número de estudiantes que pueden hacer práctica |
|  | Orientar al estamento estudiantil sobre áreas de interés en las cuales desarrollar la práctica profesional           | Grado de Satisfacción de la orientación recibida sobre proceso de práctica                                  |
| Orientar a los estudiantes respecto al proceso de titulación | Realizar charlas inductivas con respecto al proceso de titulación  | Número de inducciones realizadas para proceso de titulación   |
|  | Mantener actualizado un manual que permita dar a conocer las etapas del proceso de titulación                        | Número de estudiantes con inducción al proceso de titulación/Número de estudiantes egresados                |
|  | Orientar al estamento estudiantil respecto a potenciales áreas para desarrollar trabajos de título modalidad memoria | Grado de Satisfacción de la orientación recibida sobre proceso de titulación                                |
| Gestionar las posibilidades de realización de prácticas      | Generar alianzas con organizaciones que requieran estudiantes en práctica  | Número de prácticas disponibles/Número de prácticas gestionadas   |
|  | Facilitar la gestión para la realización de la práctica profesional  | Número de prácticas demandadas por estudiantes/Número de prácticas disponibles                              |
|  | Apoyar el seguimiento que realice la carrera a los estudiantes que se encuentren en el proceso de prácticas          | Número de prácticas realizadas/Número de prácticas disponibles  |
| Gestionar las posibilidades de realización de memorias       | Generar alianzas con organizaciones que requieran estudiantes memoristas   | Número de temas de memorias disponibles/Número de temas de memorias gestionados                             |
|  | Facilitar la gestión para la realización de la memoria   | Número de temas de memorias demandados por estudiantes/Número de temas de memorias disponibles              |
|  |  | Número de temas de memorias realizados/Número de temas de memorias disponibles                              |

**Tabla 7.** Descripción de los cargos del CPM, objetivo y las principales funciones

| Cargo del CPM | Objetivo   | Funciones principales   |
|---------------|--|---|
| Responsable   | Contribuir al cumplimiento de los objetivos del Centro de Prácticas y Memorias, garantizando una gestión adecuada  | Administrar (planificar, organizar, dirigir, controlar y coordinar) el Centro de Prácticas y Memorias   |
|               |  | Mantener actualizados los procesos vinculados a las Prácticas y Memorias  |
|               |  | Apoyar la gestión de los Ejecutivos del Centro en el ámbito de la vinculación entre organizaciones y estudiantes                              |
|               |  | Elaborar y ejecutar el presupuesto anual del Centro   |
| Ejecutivo     | Facilitar la vinculación entre las organizaciones y los estudiantes inscritos en el Centro de Prácticas y Memorias. Este cargo subordinado al responsable del Centro de Prácticas y Memorias | Generar alianzas con organizaciones para la realización de prácticas y memorias   |
|               |  | Realizar charlas inductivas al estamento estudiantil que permitan orientar respecto al proceso de prácticas y al proceso de titulación        |
|               |  | Apoyar a la carrera en el seguimiento de los estudiantes que se encuentren en proceso de prácticas  |
|               |  | Apoyar a los estudiantes en los aspectos administrativos que permitan el correcto desarrollo del proceso de práctica y del proceso de memoria |
|               |  | Desarrollar, mantener y actualizar el registro de las organizaciones vinculadas al Centro   |
|               |  | Desarrollar, mantener y actualizar el registro de los estudiantes vinculados al Centro  |
| Secretario    | Apoyar las funciones tanto del responsable del Centro como a los ejecutivos. Este cargo subordinado al responsable del Centro de Prácticas y Memorias  | Orientar a los estudiantes respecto a potenciales oportunidades de práctica profesional y potenciales temas de memoria                        |
|               |  | Ejecutar los aspectos administrativos vinculados a las distintas unidades internas de la Universidad  |
|               |  | Mantener actualizada la agenda de trabajo del Centro  |
|               |  | Atender a estudiantes y a académicos de las carreras  |
|               |  | Atender a organizaciones externas y a unidades internas a la Universidad  |

En la Figura 1 se plasma la estructura organizacional del CPM de Ingeniería Civil Industrial.



**Figura 1.** Estructura organizacional del CPM

### 5.2.1 Estructura operacional

Respecto a los recursos estimados para la operación del Centro de Prácticas y Memorias, se contempla el *costo de los recursos humanos, costo de operaciones y las inversiones*, para la estandarización se esta información se consideran los costos en dólares estadounidenses. La decisión de considerar este periodo de tiempo es utilizar este programa como pilotaje, analizando el impacto académico en los índices de titulación oportuna y las mejoras que sean necesarias implementar para instaurar un Centro de Prácticas y Memorias para todas las ingenierías civiles de la Universidad. En la Tabla 8 se presenta el costo en dólares de los Recursos humanos, proyectados por costo unitario, costo mensual, anual y durante todo el período.

**Tabla 8.** Costo en dólares de los Recursos Humanos

| Ítem                   | Cantidad | Costo unitario | Costo total mensual | Costo total anual |
|------------------------|----------|----------------|---------------------|-------------------|
| Responsable            | 1        | 2.000          | 2.000               | 24.000            |
| Ejecutivo              | 2        | 1.500          | 3.000               | 36.000            |
| Secretaria             | 1        | 800            | 8000                | 96.000            |
| Total Recursos Humanos |          |                | 13.000              | 156.000           |

En la Tabla 9 se exhibe el costo en dólares de las Operaciones, proyectados por costo durante todo el período.

**Tabla 9.** Costo en dólares de las Operaciones

| Ítem                           | Costo total anual |
|--------------------------------|-------------------|
| Habilitación de espacio físico | 7.000             |
| Materiales de trabajo          | 8.000             |
| Otros                          | 3.000             |
| Total Operaciones              | 18.000            |

En la Tabla 10 se muestra el costo en dólares de las Inversiones, proyectados por costo unitario y durante todo el período.

**Tabla 10.** Costo en dólares de las Inversiones

| Ítem              | Cantidad   | Costo unitario | Costo total anual |
|-------------------|------------|----------------|-------------------|
| Notebook          | 4          | 1.000          | 4.000             |
| Proyector         | 2          | 400            | 800               |
| Otros             | Indefinido | 600            | 600               |
| Total Inversiones |            |                | 5.400             |

## 6. CONCLUSIONES

La iniciativa Centro de Prácticas y Memorias se llevó a cabo a través del desarrollo de las etapas: Diagnóstico y Diseño. El Diagnóstico permitió contar con una mirada crítica interna y recopilar información de instancias similares en otras instituciones de educación superior chilena. Además de verificar que los estudiantes concuerdan con lo señalado en el informe de acreditación de carrera, es decir, que es necesario mejorar los procesos que tributen a la mejora de la Tasa de titulación oportuna y Vinculación. Mientras que el Diseño facilitó la comprensión de las funciones y la estructura organizacional del CPM.

Dentro de la estrategia prevista para el CPM, una vez generada la propuesta para el ordenamiento interno se elaborará una propuesta de vinculación con las organizaciones externas y también con unidades internas de la misma Universidad mediante la creación de un Protocolo de Vinculación. Además, el diseño de este

Centro de Prácticas y Memorias de la carrera Ingeniería Civil Industrial proporciona las bases para la creación de un Centro a nivel de Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad.

En cuanto a los desafíos, queda por abordar la vinculación que se debe llevar a cabo con organizaciones externas a la Universidad y también con sus unidades internas. Formalizar el vínculo con empleadores y titulados, con el objetivo de aumentar las posibilidades de realización de Prácticas y trabajos de título modalidad Memorias, contribuyendo sustancialmente a la viabilidad del CPM. De la misma manera que pendiente sistematizar la información de los estudiantes interesados y de las organizaciones vinculadas al CPM, a través de un sistema de información que permita trabajar con las bases de datos pertinentes se facilitará y agilizará la gestión del Centro de Prácticas y Memorias.

El segundo desafío es la implementación del CPM que se tiene planificada en dos etapas. En la primera se abordará lo que se ha denominado *Orden de lo Interno* y en la segunda se contemplará el *Vínculo con lo Externo*. El propósito de la primera etapa es contar con documentos que permitan homogeneizar la información que requieren los estudiantes tanto para su orientación general como para la elaboración de los documentos involucrados ya sea en el proceso de Prácticas como en el proceso de Memorias. Mientras que el propósito de la segunda etapa es contar con un documento que permita formalizar la relación entre el Centro de Práctica y Memorias con las organizaciones y también con el estamento estudiantil interesado. De esta forma el Centro se convertirá en un nexo facilitador para apoyar la vinculación formal entre la organización y los estudiantes en el marco de la materialización de las Prácticas y la realización del proceso de titulación modalidad Memoria.

Finalmente, como la implementación y funcionamiento del CPM tienen la finalidad de aportar a la mejora de la Tasa de Titulación y al fortalecimiento de la vinculación con el medio, mejorando indicadores destacables los siguientes: *Número de Titulados Pregrado*, *Tasa de Titulación Oportuna*, *Grado de Satisfacción de Titulados de Pregrado*, queda pendiente para estudios posteriores analizar si el impacto es estadísticamente significativo en estos índices. Asimismo, sería interesante analizar si estos índices son influenciados por otros factores tales como el género, edad, formación educacional previa a la universitaria o rendimiento académico de los estudiantes durante su formación profesional, es decir, factores que no dependen directamente de la gestión y dirección de la carrera.

## REFERENCIAS

- [1] Agencia acreditadora. (2017). Resolución de acreditación 690: Acoge recurso de reposición presentado por la Universidad Arturo Prat carrera ingeniería civil industrial. Entramado 7, 86-97.
- [2] CNA-Chile. (2017). Aclaración a algunas consultas sobre la utilización de los formularios para la acreditación de carreras profesionales y programas de licenciatura.
- [3] CNA-Chile. (2010). Aseguramiento de la calidad en la educación superior: Cuatro años de CNA-Chile 2007-2010. Comisión nacional de acreditación.
- [4] Ministerio de educación pública. (1980). Decreto ley 3.541.
- [5] CNAP. (2007). CNAP 1999-2007: El modelo chileno de acreditación de la educación superior. Comisión nacional de acreditación, Ministerio de educación.
- [6] Cancino V. y Schmal R. (2014). Sistema de acreditación universitaria en Chile: ¿Cuánto hemos avanzado? Estudios pedagógicos 45, 41-60.
- [7] CINDA. (2016). Educación superior en Iberoamérica. Informe 2016. Centro interuniversitario de desarrollo.
- [8] Zapata G. (2004). Acreditación institucional en Chile: Una opción emergente. Calidad en la educación. El aseguramiento de la calidad de la educación superior 56,141-154.
- [9] Bernasconi A. (2009). Gestión de la calidad en las universidades: ¿Por dónde partir? ¿Cuáles son las dimensiones claves? En VII jornadas universitarias: Calidad de los aprendizajes y formación universitaria: desafíos y estrategias. Universidad Católica del Uruguay, Uruguay.
- [10] Ediciones CNA-Chile. (2009). Desafíos y perspectivas de la dirección estratégica de las instituciones universitarias.
- [11] Comisión nacional de acreditación. (2019). Preguntas frecuentes. Recuperado: <https://www.cnachile.cl/Paginas/preguntasfrecuentes.aspx>
- [12] Ministerio de educación. (2018). Decreto ley 21.091.
- [13] Ministerio de educación. (2006). Decreto ley 20.129.
- [14] Comisión nacional de acreditación. (2021). Criterios y estándares de calidad para la acreditación institucional y de programas.

- [15] Rodríguez S. y Losada V. (2020). Retención y deserción universitaria. Recuperado: <https://www.ascofapsi.org.co/observatorio/wp-content/uploads/2020/07/desercion-universitaria-1.pdf>
- [16] Hernández C. y Carpio N. (2019). Introducción a los tipos de muestreo. Alerta. Revista científica del instituto nacional de salud 1, 75-79.
- [17] Universidad de Tarapacá. (2021). Bolsa laboral departamento de ingeniería industrial y de sistemas. Recuperado: <http://ici.uta.cl/bolsa-laboral/>
- [18] Universidad de Atacama. (2021). Bolsa de trabajo. Recuperado: <http://www.diicc.uda.cl/index.php/bolsa/>
- [19] Universidad de Valparaíso. (2021). Portal de empleos. Recuperado: <https://historia.uv.cl/egresados/oferta-laboral>
- [20] Universidad de Santiago de Chile. (2021). Coordinación general de práctica profesional. Recuperado: <http://educacion.usach.cl/index.php/coordinacion-general-de-practicas>
- [21] Universidad de Chile. (2021). Portal de prácticas y empleos. Recuperado: <http://www.empleos.uchile.cl/>
- [22] Universidad católica del norte. (2021). Bolsa laboral. Recuperado: <https://bosalaboralucn.trabajando.com/>
- [23] Universidad Técnica Federico Santa María. (2021). Oficina de gestión de talentos. Recuperado: <https://gestal.usm.cl/conoce-los-servicios-laborales-de-la-oficina-de-gestion-de-talentos-y-empleabilidad-gestal-de-la-usm/>
- [24] Universidad Católica. (2021). Centro de enlace. Recuperado: <https://economyadministracion.uc.cl/vinculacion-laboral/>
- [25] Universidad de Concepción. (2021). Bolsa de empleos. Recuperado: <https://alumniudec.trabajando.cl/>
- [26] Universidad austral de Chile. (2021). Empleos UACH. Recuperado: <http://empleos.uach.cl/>
- [27] Inacap. (2021). Centro de desarrollo laboral. Recuperado: <https://portales.inacap.cl/cdl/nuestro-centro/>

# Logística e Ingeniería naval en el diseño de un buque fluvial de ayuda humanitaria

José María Riola<sup>1</sup>

José David Peroza<sup>2</sup>

*Escuela Naval Almirante Padilla*

Colombia

Colombia es un país con naturaleza desbordante y, por lo tanto, propenso a desastres naturales. La catástrofe de Mocoa o la tragedia de Armero son claros ejemplos de que se debe estar preparados para cuando la naturaleza se *enfade*. Las Naciones Unidas afirman que el cambio climático está incrementando la frecuencia e intensidad de los desastres naturales, como inundaciones, tormentas, derretimiento de glaciares, etc. y, que particularmente, Colombia presenta una alta vulnerabilidad y necesita recursos logísticos para hacerles frente a estas necesidades. Se espera que en los próximos 10 años se produzcan al menos una vez inundaciones fluviales muy dañinas y mortales. Además de estas terribles situaciones, necesidades logísticas y sanitarias, se aconseja que el estado disponga de buques fluviales con poco calado para acceder al interior del país, a zonas potencialmente críticas por falta de comunicación por carretera y por la necesidad de preservar el medioambiente. Para suplir estas necesidades se ha diseñado, entre la Corporación COTECMAR y la Escuela Naval Almirante Padilla ENAP, el Buque de Apoyo Logístico y Cabotaje Liviano BALC-L, un buque que puede operar modularmente, tanto ante situaciones de emergencia como de apoyo social. En este capítulo se presentan las características del buque, las claves de su diseño y los módulos de misión, y las principales tecnologías que se han estudiado y desarrollado específicamente para que el buque pueda atender situaciones de emergencias muy diversas, minimizando su efecto medioambiental.

---

<sup>1</sup> Ingeniero Naval.

Contacto: [chema.riola@rga-psi.es](mailto:chema.riola@rga-psi.es)

<sup>2</sup> Ingeniero Naval.

Contacto: [joperoza@gmail.com](mailto:joperoza@gmail.com)

## 1. INTRODUCCIÓN

Solemos definir *desastre natural* a una situación con enormes pérdidas materiales y vidas humanas, ocasionadas por eventos o fenómenos naturales, como terremotos, inundaciones, tsunamis, deslizamientos de tierra, entre otros. La ayuda humanitaria ante situaciones de emergencia y catástrofes es uno de los propósitos fundamentales de las Naciones Unidas que, desde su primera participación en la reconstrucción de Europa tras la devastación de la Segunda Guerra Mundial, intenta coordinar las operaciones de socorro frente a los desastres, naturales en las zonas donde la capacidad de las autoridades locales no es suficiente para hacer frente a la situación. Esta necesidad de ayuda de otros países fue muy clara en el desastre que ocasionó el terremoto de Haití [1], donde más de 200.000 personas perdieron la vida y que tuvieron sobre el terreno más de 20 países prestando ayuda humanitaria.

Así, la ayuda humanitaria hay que concebirla en un doble sentido, intentar paliar el daño de los desastres naturales propios y la necesidad de ayudar a los países vecinos, antes este tipo de duras experiencias. IOTA [2], Armero [3] o Mocoa [4] son ejemplos de experiencias propias sufridas que nos advierten de que tenemos que estar preparados ante lo que vendrá.

Cuando se producen estas situaciones de emergencia o desastres naturales, que pueden ocurrir por múltiples motivos, los países afectados deben poner todo su esfuerzo en asistir a las víctimas en dichos lugares lo antes posible y acudir con abundantes medios. En muchos de los casos, el propio país o la zona afectada en él, precisamente por haber padecido ese desastre, no puede ofrecer dicho apoyo y son los países vecinos y amigos los que le proporcionan dicha ayuda.

Cuando es posible, la ayuda humanitaria se transporta en barcos dado que es la que ofrece la posibilidad de transportar un mayor volumen de carga, y en el caso de países como Colombia con grandes redes fluviales, es el recurso ideal para poner dicha carga en el interior del país, en zonas de muy difícil, sino imposible, acceso por tierra o por aire. El Buque de Apoyo Logístico y Cabotaje Liviano BALC-L [5] tiene esta misión de ayuda, tanto para el propio país como para ayuda internacional, basada en su concepto de modularidad de misiones.

Al enfrentarnos al diseño de un buque fluvial con estas necesidades o requerimientos operativos, en los que no se conoce el tipo de actuación que se debe realizar, dado que no se conocen las características propias de cada desastre natural, se decidió apostar por darle el mayor grado de flexibilidad o modularidad al buque, y que se consiga mediante unos módulos de misión o contenedores que serán diferentes o no, para cada operación ante cada situación de emergencia.

La logística de los contenedores es la principal herramienta que impulsa la economía del planeta, al ser los encargados de movilizar más del 95% de las cargas que se mueven por él [6]. Los contenedores se fabrican con el fin de evitar que las mercancías sufran daños durante su transporte y que puedan permitir unas rápidas carga y descarga para que lleguen en las mejores condiciones posibles a su destino. Estos cajones de acero se idearon para el transporte por carretera, pero su gran potencial de negocio explotó cuando pasó a ser usado en el territorio multimodal, especialmente en el formado por los transportes marítimo, ferroviario y carretera. Sin duda, el contenedor es el corazón común del transporte intermodal, y muy específicamente si uno de los modos de transporte es un buque. Parte de su éxito es que conservan su forma actual, desde hace más de 60 años.

La idea de subir los contenedores a los barcos fue de un empresario de Maxton, Carolina del Norte, Malcom Purcell McLean [7] que, en 1956, revolucionó el comercio internacional al subir la primera carga en un contenedor al buque SS Ideal-X, incrementando enormemente la productividad del transporte en el comercio. La genialidad de su frase: *qué fácil sería tomar la caja del camión y ponerla sobre la cubierta del buque" es la que le llevó al éxito*. Éxito que se cimentó al conseguir la estandarización de las cargas para conectar entre los distintos modos de transporte y así poder ofrecer una gran fluidez al movimiento de la carga. Hay que incluir en este éxito, en los años 60, el que la Organización Internacional de Estandarización ISO estandarizó las estructuras, capacidades máximas de carga y dimensiones del contenedor (Figura 1).



**Figura 1.** Contenedor estándar

El número anual de contenedores transbordados en los puertos se mide en millones de Twenty-foot Equivalent Unit TEU, es decir, en los contenedores estándar de 20 pies [8]. Así, por ejemplo, en 2019 para puertos representativos europeos como el de Rotterdam, el primer puerto europeo en mercancías, se movieron un total de 14.800 TEUs, seguido de Amberes con 11.870.000 TEUs, y Hamburgo con 9.260.000 TEUs.

La política de transporte de Europa se ha caracterizado por la liberalización y armonización a lo largo de los años, la globalización y el concepto de una Europa más amplia permitió un enorme incremento en esta área. Respecto al resto del planeta, Asia encabeza el ranking con Shaghai y sus 43.300.000 TEUs. En nuestra zona de influencia del Centro y Suramérica, ocupa el primer lugar Colon que moviliza 4.379.000 TEUs y nuestra Cartagena de Indias con un valor superior a los 3.000.000 TEUs en su bahía caribeña [9].

Un ejemplo de la riqueza que se puede crear con un buen nodo logístico es el puerto de Duisburg [10], en Alemania, el más grande de la vía férreo-fluvial de la Unión Europea, que realiza actualmente el transbordo de carga en contenedores de más de 3 millones de toneladas y registra una entrada de aproximadamente 22.000 buques al año. Esta ciudad al oeste de Alemania central, está situada en la confluencia de los ríos Rin y Ruhr. La ciudad se comunica con Dortmund por el canal Rin-Herne y, a su vez, con el Mar del Norte por medio del canal Dortmund-Ems. Esta ciudad tiene una población de poco más de medio millón de habitantes.

Pero su gran éxito logístico, además de su riqueza fluvial, es que Duisburg, Figura 2, cuenta además con una estupenda conexión ferroviaria con el resto de Europa e incluso una conexión directa con Shenzen (China), una línea que recorre más de 11.000 kilómetros, pasando por Polonia, Bielorrusia, Rusia y Kazajistán. El viaje que dura 13 días es más rápido que cualquier barco y más barato que cualquier avión. Así, Duisburg es un ejemplo de conexión intermodal donde los contenedores se distribuyen para toda Europa [11] en barco o en tren.



**Figura 2.** Nodo intermodal en Duisburg

## **2. MARCO CONTEXTUAL**

### **2.1 Capacidades de Colombia**

En la Tabla 1 se presentan las toneladas cargadas a granel y contenerizadas por las distintas zonas portuarias y regiones del país, presentada por el Ministerio de Transporte [12]. De la tabla anterior, se extrae que la carga en contenedores en los puertos colombianos en el año 2020 fue aproximadamente del 25% del total de la carga movilizada en los puertos del país.



**Tabla 1.** Toneladas en 2020

| Zona      | Granel Carbón | %    | Granel sólido | %    | Granel líquido | %    | Carga contenedor | %    | General   | %    | Toneladas   |
|-----------|---------------|------|---------------|------|----------------|------|------------------|------|-----------|------|-------------|
| Caribe    | 53.807.317    | 98,0 | 10.359.406    | 64,7 | 45.714.597     | 94,4 | 31.851.171       | 77,5 | 2.258.436 | 69,2 | 143.990.928 |
| Pacífico  | 1.081.564     | 2,0  | 5.617.793     | 35,1 | 942.810        | 1,90 | 9.264.825        | 22,5 | 881.537   | 27,0 | 17.788.528  |
| Magdalena |               |      | 38.691        | 0,2  | 1.760.222      | 3,70 | 503              | 0    | 123.291   | 3,8  | 1.922.706   |
| Total     | 54.888.881    | 100  | 16.015.889    | 100  | 48.417.629     | 100  | 41.116.499       | 100  | 3.263.264 | 100  | 163.702.162 |
| %         | 33,5          |      | 9,8           |      | 29,6           |      | 25,1             |      | 2,0       |      |             |

El tráfico fluvial se localiza fundamentalmente en el río Magdalena hasta Barrancabermeja (Tabla 2), con un valor de 503 toneladas frente a las 41.116.499 toneladas que se registraron en el total de contenedores en los puertos colombianos, principalmente liderados por el puerto de Cartagena de Indias con 29.004.142 toneladas y del de Buenaventura con 9.264.825 toneladas. De estos datos del Ministerio de Transporte se obtiene que el tráfico de mercancías en los ríos está en el entorno del 1,1% del tráfico total nacional con un volumen de 1.843.896 toneladas. Esto manifiesta la necesidad de la realización de inversiones en infraestructuras fluviales cuando este país tiene un enorme potencial y dado que es de los que más kilómetros navegables del planeta.

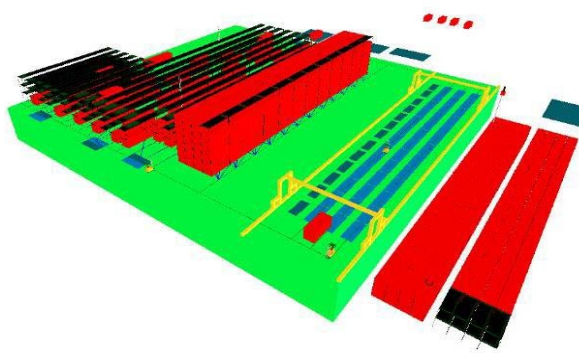
**Tabla 2.** Tráfico portuario 2020

| Tráfico Portuario      | 2020        | %    |
|------------------------|-------------|------|
| Exportación            | 99.182.456  | 60,6 |
| Importación            | 35.057.520  | 21,4 |
| Comercio exterior      | 134.239.976 | 82,0 |
| Tránsito internacional | 278.298     | 0,2  |
| Transbordo             | 21.157.530  | 12,9 |
| Cabotaje               | 6.166.584   | 3,8  |
| Fluvial                | 1.843.896   | 1,1  |
| Transitoria            | 15.878      | 0,0  |
| Total                  | 163.702.162 |      |

## 2.2 Infraestructura

Las infraestructuras o terminales de contenedores se deben basar en la optimización de su sistema logístico, donde las variables del sistema son: área de trabajo, área desechable, características técnicas de las grúas del muelle, posibilidad de recarga de barco a barco o barcaza y la maquinaria que trabaja en el almacenamiento.

Aunque las características de cada terminal deben ser distintas por las propias necesidades de adaptación al medio geográfico donde se instale, inicialmente podríamos considerar que en una terminal típica se puede considerar un área de 100 × 100 m2, con una planta para reparación de contenedores y los correspondientes edificios administrativos de oficinas y aduana. La Figura 3 es un ejemplo de modelo de simulación para una terminal de contenedores con la grúa en el muelle, y un espacio que se usa para dar servicio a los vagones con varias vías, rutas de camiones y un potencial almacenamiento en patio de transición como preparación para carga y descarga. Las rutas de transporte también se utilizan para la comunicación con el almacén mediante un pórtico y apilador telescópico.



**Figura 3.** Simulación de terminal

La terminal de contenedores que se muestra en la Figura 3 tendría una capacidad de almacenamiento sobre los 500 TEUs, consta de una grúa de muelle y un transporte de pórtico con prestaciones estándar. Las grúas de los muelles son el subsistema clave [13] que impone sus características a los otros subsistemas en la infraestructura de una terminal de contenedores. La ventaja de estas grúas es que su movimiento está posibilitado en ambas direcciones del plano horizontal, por lo que requiere de un accionamiento de elevación específico con una amortiguación mecánica del balance del contenedor durante su movimiento y posicionamiento.

El peso bruto máximo de los contenedores ISO permitido es de 30,5 toneladas, por lo que se suele requerir una capacidad de elevación de unas 40 toneladas para su manejo, aunque el mercado demanda futuras capacidades de elevación de 50 o 55 toneladas. Aunque, el peso bruto de la mayoría de los contenedores es menor que el máximo, de un análisis de los puertos alemanes del río Danubio se extrae que el peso bruto medio de los contenedores es de aproximadamente 13,5 toneladas/TEU.

Es concluyente que las grúas de muelle deben diseñarse de acuerdo con el espectro esperado de cargas y vida útil. En ese espectro de cargas se pueden clasificar por sus trabajos de hasta 10 toneladas para el izado de contenedores vacíos, de hasta 30 toneladas para valores medios de los pesos brutos de los contenedores, de hasta 40 toneladas para el peso bruto máximo de los contenedores según la normativa vigente y hasta 55 toneladas para el futuro peso bruto máximo de los contenedores en las nuevas regulaciones.

### 2.3 El buque de ayuda humanitaria

Una vez que se han entendido las bondades y flexibilidad que ofrece el uso de los contenedores, con este buque de ayuda humanitaria se busca que sea capaz de transportar la máxima carga posible, que se pueda trabajar en una amplia cubierta que permita fácilmente operar con los contenedores y que estos sean acoplables a los propios circuitos de información y servicios del buque, para que dichos contenedores tengan todos los posibles servicios auxiliares (luz, agua, contraincendios, etc.) que necesiten durante su operación y todo ello, con el requerimiento fundamental de tener el mínimo calado posible para que pueda acceder fácilmente al interior fluvial del país.

El barco tendrá una grúa y unos sistemas de maniobra en su cubierta para permitir el movimiento de la posible carga y los módulos de misión que podrán ser operados tanto a bordo como en tierra, a según sea conveniente.

Este buque de carga debe tener una hidrodinámica [14] basada en unas formas de fondo casi plano, Figura 4, con un desplazamiento que le proporcione suficiente flotabilidad, una manga que permita una anchura de dos contenedores y los correspondientes pasillos de seguridad a su alrededor y sin apéndices que pudiesen tocar con el fondo.

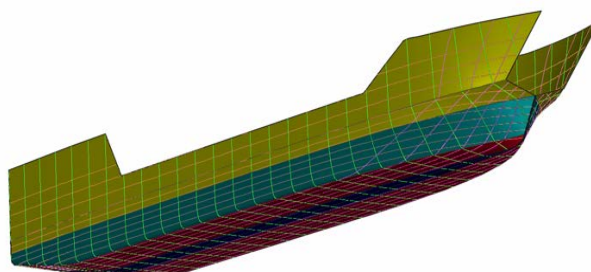


Figura 4. Formas del buque

Para que el buque tenga una alta facilidad de maniobra, el buque se ideó con una gran superficie de trabajo, Figura 5, se movió el puente todo lo posible a popa y se le dotó en el otro extremo de la cubierta de un portón en proa que permitiese la rápida salida y entrada de carga rodada como camiones o ambulancias. En esta cubierta se fijarán los 4 contenedores, 2 en paralelo en la parte más hacia la popa y los otros 2 en línea, sobre la crujía.

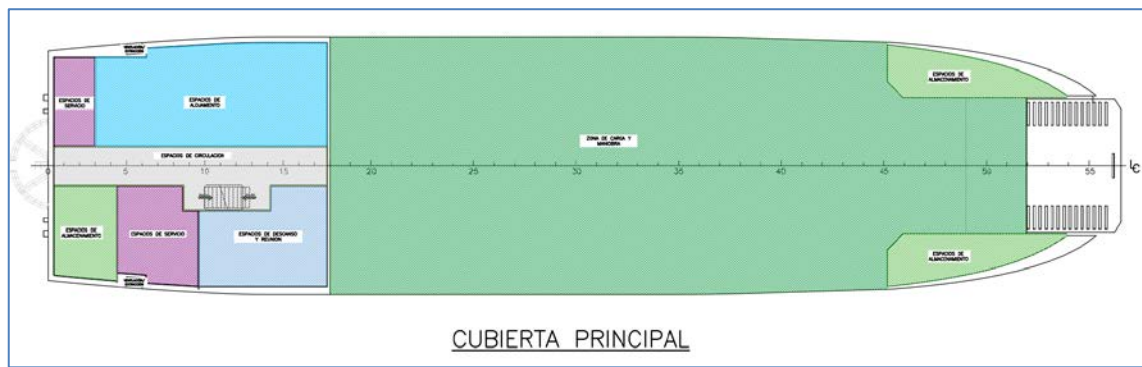


Figura 5. Vista superior

El buque se espera que trabaje a lo largo de la costa del Pacífico colombiano, por lo que se le ha sometido a estudios de maniobrabilidad específicos en diversos ríos y particularmente se ha trabajado en diversos puntos críticos del Río San Juan, Figura 6, por tener unas características de dificultad muy altas, manifestadas por los oficiales de la ARC. Para simular su maniobrabilidad se generó un prototipo virtual del buque en el *Simulador Transas Full Mission de 300°* que se encuentra en la Escuela Naval Almirante Padilla (ENAP) [15].



Figura 6. Escenario del Río San Juan

### 3. MÉTODO DE DISEÑO

Para obtener unos datos iniciales con los que empezar a trabajar el diseño del buque fluvial propuesto, se recurrió a las bases de datos de buques fluviales ya construidos, encontrándose que sus características están constreñidas por las características físicas de los canales y ríos en los que navegan, su profundidad y anchura, encontrándonos en un margen amplio de buques de entre las 100 y 1.000 toneladas.

Los buques más característicos presentan pequeños calados y unas formas planas en su fondo, lo que significa unos altos coeficientes de bloque. Las bases de datos ofrecen buques de río que están en un margen de coeficiente de bloque entre 0,8 y 0,9 lo que les permite ofrecer buen desplazamiento y bajo calado a un coste aceptable. Lógicamente, el calado es la dimensión crítica para el diseño conceptual del barco, debido a que afecta a muchas de sus dimensiones como son la estructura o su estabilidad.

En la Figura 7 se presenta la metodología seguida en la síntesis del buque [16, 17]. Todo proyecto de ingeniería naval debe desarrollarse en un proceso cíclico e iterativo que se conoce como *la espiral de proyecto*. Es cíclico porque puede seguir una serie de fases regladas que componen el diseño del buque. Y es un proceso iterativo para conseguir que se optimice la ingeniería del proyecto, de manera que en cada vuelta el producto resultante tenga unas características mejoradas respecto a la versión anterior.

Se debe entender que en el diseño de un buque cada elemento beneficia una característica y perjudica otra, por ejemplo, el ingeniero encargado de conseguir la menor resistencia al avance pretenderá que el buque sea lo más fino posible, menor manga, y el ingeniero al cargo del comportamiento en el mar pretenderá que tenga la mayor manga posible para sufrir en mejores condiciones los embates de la mar.



Figura 7. Modelo de síntesis

Así, la arquitectura naval del buque está constituida por una serie de equilibrios que maximicen unas variables sobre otras, pero en las que todas tienen que demostrar su buen cumplimiento (Figura 8). La espiral de proyecto representa estos procesos cíclicos e iterativos motivados por las herramientas de cálculo y simulación. Se deben calcular el en rosca y el peso muerto para garantizar el calado máximo que se le quiere dar al buque, y dado que el peso en rosca es solo una aproximación hasta que el buque está botado en el agua, se debe tener un control específico de este tema en el astillero.



Figura 8. Algunas variables de diseño

Es importante entender la necesidad de reducir en lo posible el costo del buque, ya no solo en construcción sino a lo largo de todo su ciclo de vida, porque el buque deberá estar operado por organismos estatales y su posible uso es de muchos días al año. Otra restricción de partida es ofrecida por el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas CIOH de la Dirección General Marítima DIMAR que, dada la complejidad de los cursos fluviales en el Pacífico, aconseja una manga máxima de 12,5 metros en esos entornos fluviales. Pero esta espiral de diseño se adaptó a una metodología en V basada en la ingeniería de sistemas. La Figura 9 presenta esquemáticamente los pasos a seguir con esta metodología.



Figura 9. Metodología de ingeniería de sistemas

Tras los cálculos hidrostáticos y para hallar el peso muerto del buque, se decide que es posible transportar 4 contenedores estándar de 20 pies sobre su cubierta, considerando un peso de entre 5 y 10 toneladas por contenedor que, aunque las diferentes normativas y en particular las de las sociedades de clasificación [18-19] permiten un peso máximo de hasta 28 toneladas, los contenedores de las misiones de ayuda pesan bastante menos.

El posterior estudio de las capacidades interiores está condicionado por el metro de calado máximo buscado. Tras los cálculos de pesos, se comienza con los cálculos habituales de resistencia al avance [20], comportamiento en la mar [21], maniobrabilidad [22], potencia, sistema de propulsión, estabilidad [23] y sus costos. El desplazamiento y la eslora son los dos valores más representativos cuando se intenta disminuir los costes, ya que están relacionados directamente con la necesidad de acero para la construcción y su futura capacidad de carga.

Como muchos de los proyectos de ingeniería, estos buques prototipo deben pasar previamente por la realización de distintos ensayos con modelos del buque a escala en canales de experiencias hidrodinámicas, como los representados en la Figura 10. Este buque se ensayó para conocer su resistencia al avance y comportamiento en el mar en las instalaciones del canal de la Universidad Austral de Chile. Tras las consecuentes regresiones, cálculos y análisis, los diferentes módulos de los programas de arquitectura naval ofrecieron los siguientes datos de las características principales del buque.



Figura 10. Ensayos a escala y características principales

Como ejemplo de lo estudiado, en la Figura 11 se presenta un círculo de evolución del buque con 35° de timón a su velocidad máxima.

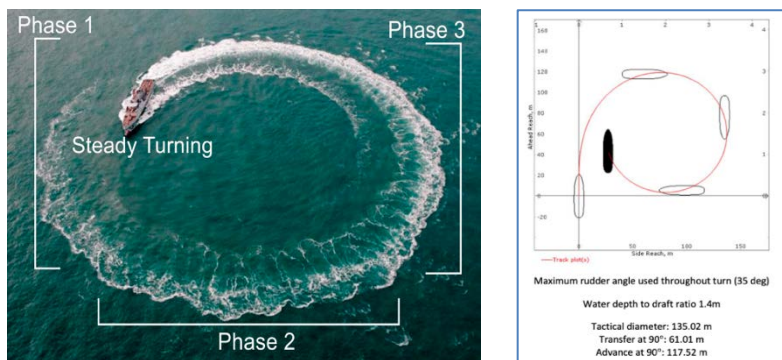


Figura 11. Círculo de evolución

### 3.1 Módulos de misión

En el mundo de la construcción naval, la modularidad se empezó a aplicar en la arquitectura naval, como un método de optimización de tiempos y materiales en la construcción y reparación de los buques [24, 25], mediante procesos constructivos basados en módulos, o *bloques constructivos* como se les llama en los astilleros, para en la actualidad sesgar esta idea hacia una idea del mundo militar de los *módulos de misión* [26], es decir, se pasó el término de la construcción a la operación del buque, o dicho de otra forma, operar con unos contenedores que, en base a distintas configuraciones, consiguen que el buque cumpla con las capacidades requeridas, gracias a la flexibilidad y adaptabilidad que le confieren los contenidos de dichos contenedores de misión [27]. La idea es que el buque esté operando en el Pacífico colombiano en sus misiones sanitarias o de seguridad y que ante una emergencia ponga rumbo a la localización problemática y que, en camino a dicha área, sobre su cubierta los helicópteros puedan descender los contenedores específicos con los equipos, sistemas y carga necesaria para poder actuar ante cada actuación de emergencia.

De momento, se han estudiado 3 tipos de configuraciones de módulos (Figura 12), una enfocada a un puesto de mando y control para la coordinación de las operaciones, otra de equipos de intervención sanitaria como quirófanos y un tercero como misiones de buzos y rescate. Hay muchísimas posibilidades más que se irán desarrollando a lo largo del proyecto o para futuras necesidades.



Figura 12. Análisis de modularidad

En la Figura 13 se presenta una versión del buque que podría ser utilizada en la mayoría de su tiempo, asistiendo como atención médica a zonas del interior del país.



Figura 13. Módulos sanidad

### 3.2 Microrredes eléctricas

Con el ánimo de disminuir el ciclo de vida del buque, se le diseñó un sistema de microrredes eléctricas [28]. Una microrred terrestre tradicional es una red de distribución eléctrica de baja tensión compuesta por fuentes de energía distribuida (microturbinas, celdas de combustible, etc.) junto con dispositivos de almacenamiento (volantes de inercia, condensadores y baterías) y cargas flexibles [29].

Dichos sistemas de microrredes pueden funcionar de manera no autónoma si están interconectados a la red principal, o de manera autónoma si están desconectados de la red. Por lo tanto, una microrred es una plataforma que integra fuentes o micro generación, unidades de almacenamiento y cargas controlables ubicadas en una red de distribución local, la cual debe ser capaz de manejar la operación tanto en estado normal conectada a la red, como en modo de fallo o emergencia aislada de la red.

La diferencia entre una microrred y una red pasiva con micro fuentes radica principalmente en la gestión y coordinación de los recursos disponibles [30]. Así, el sistema de potencia eléctrica a bordo del buque se consideró como una microrred aislada al permanecer el barco en el mar, pero también puede funcionar

como una microrred conectada a la red eléctrica principal cuando se encuentra en muelle o en puerto [31]. De esta manera, muchas ideas y conceptos de las microrredes terrestres se pueden adaptaron al sistema de potencia del buque, dando lugar a lo que actualmente se le ha denominado *shipboard microgrid* o microrred a bordo [32].

### 3.3 Propulsión híbrida con hidrógeno

Dadas las áreas de actuación de este buque, tremendamente críticas desde el punto de vista medioambiental [33], se ha diseñado otra versión híbrida [34] para la propulsión del buque que se complemente con propulsión basada en hidrógeno [35] mediante una pila de combustible que mueve un motor eléctrico [36]. Este tipo de combustible no produce emisiones y se considera ideal para cuando el buque navegue por zonas de alto valor ecológico [37, 38]. La capacidad instalada a bordo es de 830 kwh y para alimentar la pila de hidrógeno se utilizan contenedores cilíndricos con un peso 1.250 kg. Este sistema añadido de hidrógeno se montaría pegado al mamparo de proa de la cámara de máquinas y debajo de la cubierta donde se colocan los dos contenedores en paralelo (Figura 14).

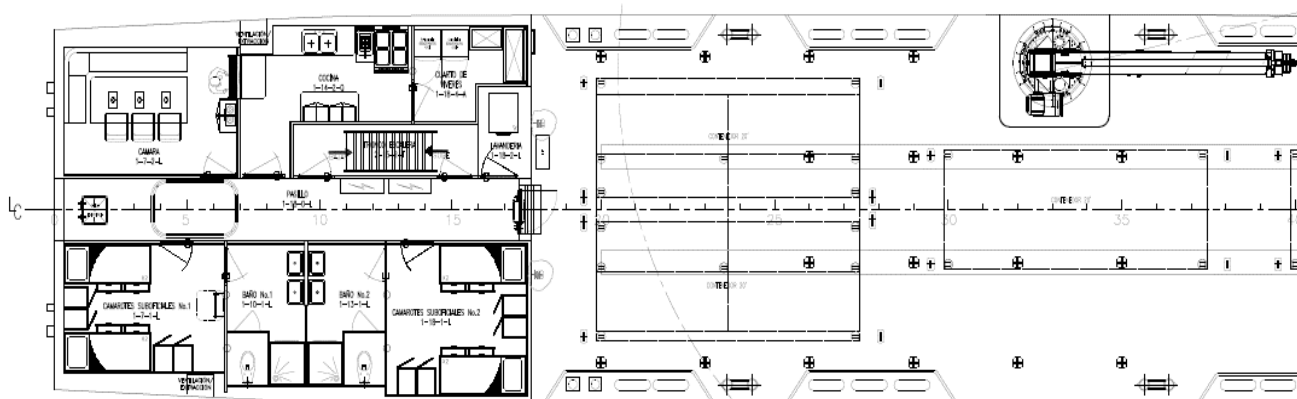


Figura 14. Cubierta de trabajo

### 3.4 Arco spray de aluminio

La base de esta investigación en este buque es el conseguir minimizar el efecto de la corrosión [39] sobre el acero, en base al recubrimiento de este metal con aluminio, la profundización de este estudio y de la metodología de la pulverización térmica *arco spray* permitirán una mayor vida útil de ambos metales y que en conjunto permitan una protección mejor del casco de los buques y con ello, se consigue un buque más seguro, confiable, resistente, duradero en el tiempo y que contamine menos, al aguantar mucho más tiempo sobre dicho casco.

La técnica de arco spray es un proceso de metalización por arco eléctrico [40], así que el equipo es utilizado para la aplicación de capas de aluminio sobre el acero naval, los cuales no poseen una habilidad fácil de adherirse a tal superficie, por lo cual podemos explicar que la técnica de arco spray consiste en el proceso de metalización mediante unos alambres metálicos, los cuales se funden a más de 5.000°C por medio de un arco eléctrico, Figura 15, con lo que el material que fue fundido es atomizado por un chorro de aire comprimido e impulsado contra la superficie de acero que va a ser recubierta.

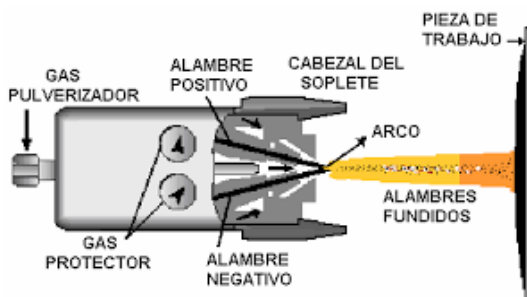


Figura 15. Esquema del proceso de arco spray térmico

Como resultados obtenidos para la mejora del ciclo de vida [41], en la Figura 16, se muestra una comparación de distintas pinturas utilizadas actualmente en los astilleros con la propuesta tras las 3.000 horas de trabajo, figura 16, en la cámara de niebla salina y a la izquierda de la imagen una de las probetas cubierta con la nueva solución propuesta. El procedimiento llevado a cabo para exponer y monitorear las probetas de acero naval ASTM A 131 en su comportamiento a la acción corrosiva del agua de mar en la cámara de niebla en el Laboratorio de Materiales de la Escuela Naval Almirante Padilla fue la norma ASTM B117 [42], complementada con el handbook de ASM y la norma técnica colombiana NTC 1156 [43].



**Figura 16.** Probetas tras 3.000 horas

Tras las 3.000 horas de ensayo, se evidenciaron zonas con oxidación en todas las probetas control, pero no hubo corrosión presente en las probetas de aluminio bajo la acción salina con los parámetros establecidos por la norma, ni en las probetas de 350 micras ni en las de 450 micras, simplemente pequeños depósitos de sal. Con microscopio y cumplidas las 3.000 horas en la cámara, ya se pudieron apreciar mini poros de oxidación sobre las probetas de aluminio de 350 micras, pero no en la de 450, y ambas conservan un excelente aspecto exterior.

#### 4. CONCLUSIONES

Se han ido presentando elementos de diseño y algunas tecnologías que se han desarrollado para que este proyecto de buque de ayuda humanitaria sea un hito para el país y una fuente de cooperación internacional en el Pacífico americano. Del desarrollo del proyecto y las tecnologías innovadoras desarrolladas se pueden destacar:

- Los módulos de misión son una excelente solución para atender a los distintos tipos de desastres y situaciones de emergencia que la naturaleza o un accidente humano pueden provocar. La ventaja de estos módulos es su flexibilidad y adaptabilidad, sin requerir costosas modificaciones en sus plataformas para los diferentes roles operativos.
- El requerimiento crítico del calado no superior a 1,20 metros afecta a todo el diseño del buque BALC-L, necesiéndose estudios específicos de estabilidad y peso muerto.
- Se ha completado en el simulador la representación virtual (características principales, pesos, formas, inercias, cubiertas, etc.) del buque. El buque demuestra una buena maniobrabilidad con referencia a la normativa BV NR483 MANOEUVRABILITY en todas las condiciones, incluso en las realizadas con las condiciones meteo-marinas extremas.
- Dado el alto coeficiente de bloque para conseguir una buena capacidad y una mínima resistencia al avance, el comportamiento en la mar del buque no es óptimo. En olas irregulares de estado de la mar SSN 3, el buque no alcanza los límites máximos establecidos en las reglas BV en VERTREP y CONREP, en valores RMS. Los estudios hidrodinámicos llevados a cabo para optimizar su resistencia al avance, comportamiento en la mar y maniobrabilidad han demostrado la validez del prototipo de buque que, dadas las características fluviales del continente, este prototipo gracias a su modularidad, puede adaptarse a las distintas particularidades de cada zona fluvial del país.
- Para que el buque tenga una propulsión totalmente sin contaminación se estudió la posibilidad de llevar 6 tanques de hidrógeno con un peso de 1250 kg para una pila de combustible que produciría 831 kWh.



- Con el diseño de estos módulos de misión, el Buque de Apoyo Logístico y Cabotaje Liviano BALC-L (Figura 17) de la Armada de Colombia podrá realizar un necesario trabajo dentro de las entidades públicas de carácter nacional involucradas en el Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres al disponer de la capacidad de respuesta para afrontar estas situaciones.



Figura 19. Render del buque BALC-L

## REFERENCIAS

- [1] BBC. (2010). El terremoto de Haití deja ya más de 2.100 muertos y casi 10.000 heridos. BBC News.
- [2] OPS. (2020). Respuesta a los huracanes. Organización Panamericana de salud.
- [3] Arenas F. (2021). Hace 36 años una avalancha sepultó a Armero y mató a 25.000 personas. El Tiempo.
- [4] Peñas V. (2017). La catástrofe de Mocoa (Colombia): Un desastre anunciado previsible que podía haberse evitado. Recuperado: <https://www.cienciasagrarias.medellin.unal.edu.co>
- [5] Riola J. et al. (2022). La movilidad del futuro buque de transporte BALC-L para ayuda humanitaria. En XXVI Congreso Nacional de Ingeniería. Ibagué, Colombia.
- [6] Chin I. et al. (2002). Design, simulation and evaluations of automated container terminals. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 3(1), 12- 26.
- [7] Mayo A. y Nohria N. (2005). In their time: The truck driver who reinvented shipping. Harvard Business School. Recuperado: <http://hbswk.hbs.edu/item/5026.html>
- [8] Rico H. (2021). Puerto de Cartagena, primera terminal de contenedores de América Latina. Caracol.
- [9] González F. (2007). El contenedor: La caja que cambió el mundo económico. Universidad de La Coruña.
- [10] Ceballos S. et al. (2021). El contenedor: Una caja que revolucionó el transporte de mercancías. Fondo Editorial Universidad Católica del Oriente.
- [11] CEC. (2006). Freight logistics in Europe - key to sustainable mobility. Commission of the European Communities.
- [12] Mintransporte. (2015). Plan maestro fluvial. Ministerio de Transporte de Colombia.
- [13] Georgijevifá M. y Zrnifa N. (2005). Technical parameters and constructions of container cranes for river port terminals. En 9th International Conference Mechanical Engineering. Bratislava, Eslovaquia.
- [14] Oliveira J. (2017). William Froude y el primer canal de experiencias hidrodinámicas. Recuperado: <https://www.vadebarcos.net>
- [15] ENAP. (2015). Actualización del simulador de puente full misión de la Escuela Naval de Cadetes. Recuperado: <https://www.escolanaval.edu.co>
- [16] Alvarado D. y Vásquez O. (2022). Diseño y validación del arreglo estructural de un buque de apoyo logístico ligero fluvial mediante análisis directo. En Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica. Madrid, España.
- [17] Alvarado D. et al. (2022). Ship synthesis model for the conceptual design of a riverine logistic support ship. En International Congress on Developments and Advances in Defense and Security. Barranquilla, Colombia.
- [18] BV. (2022). Guidelines for fuel cell systems on board commercial ships. Bureau Veritas.
- [19] Lloyds Register. (2014). Rules and regulations for the classification of naval ships. Recuperado: [www.lr.org](http://www.lr.org)
- [20] Baquero A. (2009). Resistencia al avance del buque. Editorial UPM.
- [21] Álvarez G. (1991). Formas de cascos. El Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo. Recuperado: <https://www.oa.upm.es>
- [22] Carreño J. et al. (2000). Mathematical model for maneuverability of a riverine support patrol vessel with a pump-jet propulsion system. Universidad Politécnica de Madrid.
- [23] Pérez R. y Riola J. (2012). Criterios de estabilidad después de averías en buques de guerra. Revista General de Marina 263, 457-469.
- [24] Díaz J. et al. (2021). Desarrollo de un modelo de simulación en construcción naval para estimación de tiempo y capacidad de un astillero: Caso COTECMAR. En International Congress on Developments and Advances in Defense and Security. Cartagena, Colombia.
- [25] Díaz J. et al. (2020). Consideraciones para un modelo de simulación de procesos aplicado en construcción naval: Caso Armada de Colombia. Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informacao E29, 553-569.

- [26] Larijader C. (2001). Modular platform-based surface ship design. MIT Libraries Document services.
- [27] Manley D. (2018). The NATO drive to mission modularity. *Future Surface Vessel Paps*.
- [28] Faisal M. et al. (2018). Review of energy storage system technologies in microgrid applications: issues and challenges. *IEEE Access* 6, 35143–35164.
- [29] García F. et al. (2020). Power quality management of interconnected microgrids using model predictive control. *Elsevier IFAC* 53(2), 12918-12923.
- [30] Gianni M. et al. (2021). Outlook of future implementation of PEMFC and SOFC onboard cruise ships. En *E3S Web Conference*. Pisa, Italia.
- [31] Kumar D. y Zare F. (2019). A comprehensive review of maritime microgrids: system architectures, energy efficiency, power quality, and regulations. *IEEE Access* 7, 67249–67277.
- [32] Lien C et al. (2019). Happiness is a hybrid electric: A diesel direct-current microgrid. *IEEE* 56(8), 42–47.
- [33] DNV. (2003). Guidelines for the use of fuel cell systems on board of ships and boats. Det Norske Veritas.
- [34] Cifuentes B. et al. (2019). Producción de H<sub>2</sub> apto para celdas de combustible a partir de la conexión del reformado con vapor de etanol y la oxidación preferencial de CO. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- [35] Salaet S. y Roca J. (2010). Agotamiento de los combustibles fósiles y emisiones de CO<sub>2</sub>: Algunos posibles escenarios futuros de emisiones. *Universidad de Santiago de Compostela. Rev. Gallega de Economía* 19(1), 1-19.
- [36] García A. (2010). Producción, almacenamiento y distribución de hidrógeno. Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial.
- [37] UPME. (2020). Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia. Ministerio de Minas y Energía.
- [38] ABS. (2021). Hydrogen as marine fuel. American Bureau of Shipping.
- [39] Estupiñan H. et al. (2014). Evaluación de la corrosión de una aleación Pb-Ca-Sn por medio de técnicas electroquímicas. Universidad Nacional de Colombia.
- [40] Riola J. y Garnica M. (2021). Ensayos con aluminio en cámara de niebla salina bajo la norma ASTM B117. En III Congreso de Ciencia, Tecnología e Innovación Naval. Barranquilla, Colombia.
- [41] Fernández A. et al. (2019). Optimization of the life cycle in the warships: maintenance plan and monitoring for cost reduction. En *International Ship Design & Naval Engineering Congress Singapore*.
- [42] Jiménez H. y Milano Y. (2017). Corrosión acelerada en medio salino y adherencia del sistema de pinturas depositadas sobre el acero. *Revista Mundo Fesc*. 13, 48-55.
- [43] ICONTEC. (1998). Norma ASTM B 117, procedimiento para el ensayo en cámara de niebla salina. Norma Técnica Colombiana.

# Transformaciones de las relaciones laborales a raíz del Covid-19: Un análisis desde la academia

Bárbara Patricia Arias Cortés<sup>1</sup>

Maryluz Castro Moreno<sup>2</sup>

*Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia*  
Colombia

La pandemia del Covid-19 ha dejado huellas imborrables en el mundo, tanto a nivel humano como a nivel organizacional, pero también ha sacado a flote la resiliencia de la humanidad y la habilidad para recomponer empresas y organizaciones. Conforme la sociedad cambia se ha ido reconstruyendo el tejido social y las estructuras en medio de las situaciones adversas. En este capítulo se abordan los cambios normativos que se han dado en las relaciones laborales en Colombia, entre marzo de 2020 y agosto de 2022, y las implicaciones que esos cambios han generado en las relaciones de trabajo. Básicamente, el estudio se centra en el análisis de dos figuras o formas que han permitido el desarrollo de labores durante la pandemia y que, al parecer, vinieron para quedarse: el teletrabajo y el trabajo en casa o trabajo remoto, y de igual forma cuál ha sido su aporte al desarrollo de las relaciones laborales en el mundo actual y futuro. Asimismo, se analiza el papel que han cumplido algunas instituciones en torno a la garantía de los derechos de los trabajadores en el país en el tiempo de pandemia.

---

<sup>1</sup> Abogada, Especialista en Derecho Laboral y Seguridad Social y Magíster en Derechos Humanos

Contacto: [barbara.arias@uptc.edu.co](mailto:barbara.arias@uptc.edu.co)

<sup>2</sup> Licenciada en Matemáticas y Estadística, Especialista en Pedagogía y Docencia, Especialista en Estadística y Magíster en Didáctica de las Matemáticas.

Contacto: [maryluz.castro@uptc.edu.co](mailto:maryluz.castro@uptc.edu.co)

## 1. INTRODUCCIÓN

La aparición del Covid-19 ha desatado muchos cambios en el mundo. Desde la manera de interactuar unos seres humanos con otros, hasta la forma en que se desarrollan las relaciones laborales, nada se ha escapado del cambio.

Como parte de esa premisa encontramos que las relaciones y los entornos de trabajo han sufrido el embate de la pandemia, y por ende las empresas, empleadores y trabajadores se han visto abocados a acudir a nuevas maneras de organización.

De acuerdo a lo señalado, en el presente trabajo se pretende dar respuesta al siguiente cuestionamiento: ¿Cómo se han transformado las relaciones laborales en Colombia con fundamento en los cambios normativos dados a partir de la pandemia causada por el Covid-19?

Resolver dicho cuestionamiento lleva a analizar lo que ha sucedido en el campo jurídico en el periodo más reciente, valga decir desde marzo de 2020 a agosto de 2022, pues en dicho periodo se encuentra una gran variedad de normas que se han expedido por diferentes órganos e instituciones y que de alguna manera han querido sentar las bases de un nuevo orden jurídico que ha nacido luego de la pandemia.

## 2. MARCO CONCEPTUAL

En el marco de la pandemia generada por el Covid-19 el gobierno colombiano ha producido múltiples normas en aras de regular diversos escenarios de la vida humana. Las primeras medidas estuvieron enfocadas a la contención del virus, por lo cual se declaró el estado de emergencia, que en esencia es una situación de orden especial contemplada en la Constitución Política de 1991, donde por sus características, se le otorgan facultades especiales al presidente de la República. Así tenemos que el presidente de la República queda investido con potestades que le permiten *dictar decretos con fuerza de ley, destinados exclusivamente a conjurar la crisis y a impedir la extensión de sus efectos*, como se evidencia en [1].

Lo anterior ha permitido que, en el marco del estado de emergencia, el gobierno colombiano haya expedido múltiples decretos para regular diversos aspectos del orden jurídico, y donde una de las áreas que más ha sido objeto de regulación es la laboral. Sin embargo, es necesario aclarar también que la regulación que se ha dado en el ámbito laboral no se encuentra solo en decretos expedidos por el presidente, pues adicionalmente se han expedido algunas leyes por parte del Congreso de la República, junto con circulares y resoluciones provenientes de algunos ministerios, como se analizará más adelante.

Por ende, es primordial comprender entonces que las regulaciones expedidas en torno a lo laboral no vienen solo en forma de decretos, sino que realmente encontramos un conjunto amplio de normas que han modificado las relaciones en torno al trabajo. Dentro del marco anterior procederemos así a analizar las distintas normas producidas entre marzo de 2020 y agosto de 2022, donde resaltan figuras tales como *el teletrabajo y el trabajo en casa o remoto*, que han sido las que principalmente se han utilizado para poder dar continuidad a las labores en el marco de la emergencia sanitaria.

### 2.1 Teletrabajo

El concepto del teletrabajo se acuñó en los años 70 en Estados Unidos por Jack Nilles a quien se le adjudica la autoría del término. Igualmente, como parte de los orígenes del teletrabajo se refiere lo expuesto en [2]:

*Desde la década del 70, en medio de la crisis del petróleo, en Estados Unidos varias empresas comenzaron a implementar el teletrabajo, utilizando la telefonía como herramienta principal para llevar a cabo las funciones de manera remota. Hoy en día el teletrabajo ha roto barreras y no solo se aplica para hacerle frente a temas de movilidad y contaminación, sino también a temas como la inclusión social y la calidad de vida.*

De tal forma el teletrabajo ha venido evolucionando y si bien empieza como la posibilidad de desarrollar labores ante una crisis, ha permanecido en el tiempo y se ha convertido en una forma útil para realizar actividades en el marco de las relaciones de trabajo.

Para el caso colombiano el teletrabajo se regula por primera vez en el año 2008 y se define como aparece en [3]: *es una forma de organización laboral, que consiste en el desempeño de actividades remuneradas o prestación de servicios a terceros utilizando como soporte las tecnologías de la información y la comunicación TIC para el contacto entre el trabajador y la empresa, sin requerirse la presencia física del trabajador en un sitio específico de trabajo.*

Como puede verse en la definición señalada la razón de ser del teletrabajo se sustenta en el uso de tecnologías como medio para desarrollar las funciones o actividades asignadas a los trabajadores, situación que en buena medida facilita las relaciones laborales pues no se requiere necesariamente la presencia física del trabajador en un lugar fijo. De igual forma el teletrabajo puede desarrollarse en una de las siguientes modalidades como se señala en [4]:

- *Autónomos* utilizan su propio domicilio o un lugar escogido para desarrollar su actividad profesional, puede ser una oficina, o local comercial. Trabajan siempre fuera de la empresa y solo acuden a la oficina en algunas ocasiones.
- *Móviles* no tienen un lugar de trabajo establecido y las herramientas primordiales para desarrollar sus actividades son las TIC en dispositivos móviles.
- *Suplementarios* laboran dos o tres días a la semana en su casa y el resto del tiempo lo hacen en una oficina.

Acoger alguna de las modalidades ya referidas, depende claramente de las necesidades de personal que tenga el empleador, de la naturaleza o tipo de actividad que se vaya a desarrollar, de la infraestructura tecnológica y herramientas que se requieran, y de la disponibilidad del trabajador.

Si bien a partir de la ley expedida en Colombia se propone el teletrabajo como una opción laboral, también es cierto que antes de la pandemia no era una forma muy utilizada. Puede afirmarse que con la crisis y la pandemia generadas por el Covid-19, se hizo necesario acudir a tipos como este que ya estaban contenidos en la legislación pero que no eran los más comunes. Además, cabe distinguir que dicho tipo no es aplicable a todos los casos, en la Figura 1 se muestran cuáles son los aspectos que tienen incidencia en el teletrabajo de acuerdo con lo expuesto en [5].

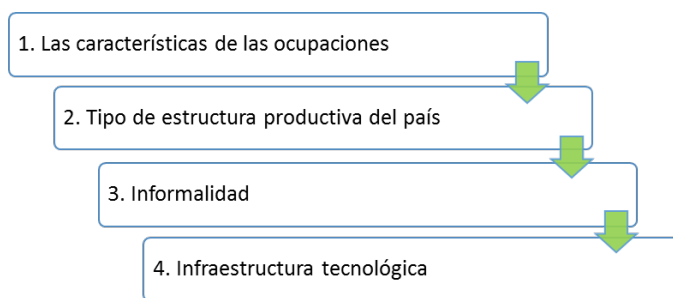


Figura 1. Aspectos que inciden en el teletrabajo [5]

Conforme a lo planteado en [5], y en relación con el primer aspecto se tiene que no todas las ocupaciones o actividades son susceptibles de manejarse a través del teletrabajo, pues algunas requieren necesariamente de la presencialidad del trabajador, tal es el caso por ejemplo de las labores del agro.

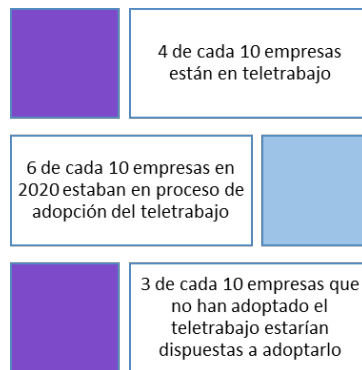
El segundo aspecto se refiere a que *países con un gran sector agropecuario que requiere trabajo presencial tienden a contar con una menor proporción de trabajo que puede ejecutarse a través del teletrabajo* [5]. Este punto va en coherencia con el anterior pues, como ya se señaló en este tipo de labores la presencialidad no es una opción, ya que si bien, algunas actividades pueden tecnificarse como es el caso de un sistema de riego, solo por señalar un caso, también es cierto que otras labores requieren la presencia humana para que desarrolle algo concreto en un momento determinado.

El tercer factor implica que los oficios y trabajos que se encuentran en la informalidad tampoco pueden acudir realmente a esta forma, ya que justamente los trabajadores que se encuentran en informalidad

carecen de un espacio físico propio para desarrollar la labor, y asociado a ello se presenta también la carencia de medios tecnológicos para cumplir con las actividades.

Y, por último, para acoger este tipo laboral es necesario contar con una infraestructura tecnológica que permita la conectividad, su acceso y que además los trabajadores tengan los conocimientos o competencias digitales necesarias.

Frente al caso colombiano se han hecho varios estudios de percepción y penetración del teletrabajo en empresas y conforme, a [6], tenemos las cifras que se muestran en la Figura 2.



**Figura 2.** Cifras del teletrabajo en Colombia [6]

En relación con los datos señalados puede apreciarse que el teletrabajo es una figura que va en auge en Colombia, al igual que sucede en otras partes del mundo, sin embargo, como ya se ha planteado previamente, el poder acoger esta forma no depende únicamente del interés de las partes, sino que requiere de una serie de elementos externos que permitan la verdadera aplicabilidad de este tipo.

Adicional a la ley 1221 de 2008 tenemos que, como se menciona en [7], en 2012 se expidió el Decreto 884 que, entre otras cuestiones, señala las condiciones que rigen el teletrabajo, las relaciones entre empleadores y trabajadores, y las obligaciones para las Administradoras de Riesgos Laborales ARL. También en 2012 se produjo la Resolución 2686 que señala las entidades que conforman la Red de Fomento del Teletrabajo y las obligaciones que les atañen.

Ahora bien, en particular sobre los aspectos más relevantes que deben tenerse en cuenta en la vinculación de teletrabajadores, cabe destacar los señalados en [8], así:

1. La voluntariedad que implica que las partes (empleador y trabajador) tengan la intención de acudir al teletrabajo como la forma idónea para el desarrollo de actividades, bajo este supuesto entonces es necesario que las partes mencionadas suscriban un contrato o acuerdo por escrito donde queden claras las condiciones que rodean la labor.
2. En el caso que lo señalado se de en el marco de una empresa u organización que cuente con reglamento interno de trabajo, dicho reglamento debe ajustarse para que contemple dentro de su contenido un capítulo o apartado referente al teletrabajo.
3. Es de anotar que, en términos de igualdad frente a los demás trabajadores, los teletrabajadores deben estar afiliados al sistema de seguridad social integral para contar con los respectivos cubrimientos en salud, pensiones y riesgos laborales.
4. La reversibilidad que hace referencia a una potestad del empleador y un derecho del trabajador a volver a su lugar habitual de trabajo en las instalaciones del empleador una vez se decida no continuar en la modalidad de teletrabajo.

Cabe destacar que las normas mencionadas en este apartado, posteriormente fueron integradas en el Decreto 1072 de 2015, que corresponde al Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo. Luego de la

producción normativa que se ha referido hasta el momento, y teniendo en cuenta la finalización de la emergencia sanitaria decretada por parte del Gobierno Nacional, parte de las normas ya tratadas fueron modificados por [9], al plantear en concreto los factores de la Figura 3.



Figura 3. Factores relevantes en el teletrabajo [9]

- El retorno a la presencialidad lo pueden decidir las partes en cualquier momento del desarrollo del contrato de trabajo, solo basta con que así lo quieran.
- En referencia con el modelo de alternancia, ello implica que los trabajadores pueden estar unos días laborando fuera de la empresa u organización y otros días en ella, en este caso el tipo a aplicar sería el *teletrabajo suplementario*, lo cual ya se explicó en un apartado anterior, cuando se habló de los tipos de teletrabajo.
- Conforme a esta norma el reglamento de trabajo ya no requiere modificarse para incluir lo referente al teletrabajo, basta con que se suscriba el contrato respectivo y se aclare en que modalidad de teletrabajo se desarrollarán las labores.
- Se da la posibilidad a que en el marco del contrato se defina si el empleador o el trabajador aportará los equipos y quien asumirá los costos de servicios necesarios para el desarrollo de las labores tales como: internet, energía eléctrica y telefonía.

Adicional a lo señalado, es necesario destacar que en el año 2022 se ha planteado la necesidad de fomentar e implementar el teletrabajo, pues es una forma de organización que cada vez toma mayor fuerza. De tal forma, se viene construyendo la Política Pública de Fomento e Implementación del Teletrabajo, como se plantea en [10], proceso que se compone de las siguientes fases: 1) formulación y reglamentación que va hasta septiembre de 2022, 2) implementación que se desarrollará en octubre de 2022, y 3) seguimiento y evaluación que se llevará a cabo en el año 2023.

En el marco del cronograma señalado es importante que los gremios y representantes tanto de trabajadores como de empleadores participen en la construcción de esta política pública que es de vital importancia.

## 2.2 Trabajo en casa o trabajo remoto

Ante la contingencia generada por la pandemia del Covid-19, además del teletrabajo empezaron a surgir otras opciones que permitieron dar continuidad a las labores, y a la vez poder cumplir con las disposiciones gubernamentales en torno al distanciamiento y la contención del virus. En dicho contexto aparece el trabajo en casa o trabajo remoto como una opción viable que fue acogida por diversas entidades y empresas. El trabajo en casa o trabajo remoto, consiste entonces en la posibilidad que tiene el trabajador de realizar las labores desde su lugar de habitación sin que se genere el traslado físico, a una institución u organización. Como antecedente o primera regulación en este aspecto podemos señalar lo contenido en [11] y [12]:

*El trabajo en casa o remoto debe tener una jornada de trabajo limitada, y en el caso que se compruebe que se trabajaron horas extras, estas deben ser remuneradas. Las Administradoras de Riesgos Laborales*

*(ARL) deben enviar recomendaciones sobre postura y ubicación de los elementos de trabajo, por ende, el empleador debe incluir el trabajo en casa para la evaluación y control de riesgos en el Plan Anual del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo y establece el derecho a la desconexión digital.*

En cumplimiento de las normas señaladas anteriormente, el empleador debe notificar a la ARL sobre los trabajadores que realizarán trabajo en casa, adicionalmente el empleador debe realizar seguimiento a las condiciones de salud del trabajador, y este último debe cumplir con las normas del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo, y reportar e informar sobre su estado de salud.

Con el antecedente señalado en 2021 se expidió una ley para regular esta forma de organización laboral como aparece en [13], y allí se determinó a grandes rasgos que: se habilita tanto a los servidores públicos como a los trabajadores del sector privado para desempeñar funciones o actividades, de forma transitoria o excepcional, fuera del sitio de trabajo, privilegiando el uso de tecnologías, sin que esto varíe la vinculación laboral existente entre las partes.

El suministro de equipos y demás herramientas de trabajo en principio le corresponden al empleador, pero si existe acuerdo entre las partes, el trabajador podrá proveer sus propios elementos. Previo a iniciar el trabajo en casa o remoto, la entidad debe informar por escrito a sus trabajadores sobre la habilitación de esta modalidad y la duración de la misma.

Ahora bien, otros cambios que se han introducido a la regulación del trabajo en casa aparecen en [14], como a continuación se expone: se trata de un mecanismo temporal y excepcional, y se podrá utilizar esta habilitación para uno o más trabajadores, o se puede acudir también a *la alternancia*, es decir el cumplimiento de las labores unos días de manera presencial en la empresa u organización y otros días desde la casa. Incluso como novedad se incluye, que se pueda realizar *trabajo en casa desde el extranjero*, con autorización expresa del empleador y garantizando la afiliación y cubrimiento de los riesgos a que pueda verse expuesto el trabajador. El cubrimiento corre a cargo de las entidades que hacen parte del sistema de seguridad social.

También, de conformidad con lo estipulado en [14], surgen algunas obligaciones especiales para las ARL, tales como: instruir a los empleadores para identificar, evaluar, valorar y controlar los riesgos a que puede estar expuesto el trabajador, realizar los ajustes tecnológicos que se requieran para cumplir con el reporte de accidentes de trabajo y enfermedades laborales de forma virtual, e incluir en sus actividades de promoción y prevención el trabajo en casa.

Dentro del desarrollo normativo sobre la regulación del trabajo en casa, aparece también el derecho al *auxilio de conectividad*, que debe ser reconocido a quienes devenguen hasta dos (2) salarios mínimos legales mensuales vigentes, y se les reconoce en reemplazo del auxilio de transporte. Este derecho tiene vigencia mientras presten sus servicios bajo la habilitación del trabajo en casa y tiene los mismos efectos salariales del auxilio de transporte, es decir que sirve de base junto con el salario para liquidar las prestaciones sociales.

Lo anterior implica que mientras el trabajador esté realizando trabajo en casa recibirá lo referente al auxilio de conectividad, pues aquí lo importante es contar con los recursos que garanticen el acceso a internet y a las TIC, y una vez regrese a la presencialidad recibirá lo correspondiente por concepto de auxilio de transporte, pues en este escenario lo determinante es que el trabajador cuente con los medios necesarios para movilizarse de su casa al trabajo y viceversa. Cabe anotar que los dos beneficios mencionados no son acumulables, es decir, se tiene derecho al uno o al otro, pero no a los dos a la vez.

Con la adopción de formas laborales como el trabajo en casa, es del caso señalar, que se requiere definir unos límites para evitar abusos, y como respuesta a ese nivel de garantía aparece el *derecho a la desconexión digital*, el cual para el 2022 viene a ser consagrado en una norma independiente. El derecho en mención es definido de la siguiente forma en [15]:

*(...) es aquel que tienen todos los trabajadores y servidores públicos, a no tener contacto, por cualquier medio o herramienta, bien sea tecnológica o no, para cuestiones relacionadas con su ámbito o actividad*



*laboral, en horarios por fuera de la jornada ordinaria o jornada máxima legal de trabajo, o convenida, ni en sus vacaciones o descansos. Por su parte, el empleador se abstendrá de formular órdenes u otros requerimientos al trabajador por fuera de la jornada laboral.*

Este derecho ha cobrado gran relevancia en el marco del trabajo en casa o remoto pues es innegable que bajo esta modalidad lograr conciliar la vida personal y la laboral es supremamente difícil, y en aras de evitar abusos por parte de los empleadores en la extensión de la jornada laboral al encontrarse el trabajador en su casa gran parte del día, se hace necesario establecer límites en favor de los trabajadores.

### 3. MÉTODO

El tipo de investigación corresponde al método histórico-lógico, que con fundamento en lo expuesto por [16] se refiere a lo siguiente:

*Es el método que permite enfocar el objeto de estudio en un decurso evolutivo, destacando los aspectos generales de su desarrollo, las tendencias de su progreso, las etapas de su desenvolvimiento, sus conexiones fundamentales y causales. Esto posibilita entender su comportamiento histórico y explicar su fisonomía actual*

De acuerdo a lo anterior, se aplicará este método, teniendo en cuenta que el propósito de este trabajo es, con fundamento en la técnica de análisis documental, mostrar los principales cambios dados a partir de la normatividad colombiana, que han transformado las relaciones laborales y han puesto de presente además la necesidad de adaptarse a las nuevas condiciones en el mundo del trabajo.

El análisis tomará en cuenta las diversas normas jurídicas producidas entre marzo de 2020 y agosto de 2022, en las que se incluyen leyes, decretos legislativos, resoluciones y circulares producidas por diferentes órganos del Estado Colombiano, valga decir, normas expedidas por el Congreso de la República, presidente de la República, Ministerio de Trabajo y Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.

A partir del análisis de las normas citadas, veremos cuáles han sido las transformaciones que han sufrido las relaciones laborales, y de manera crítica analizaremos cuál ha sido el impacto de dichas transformaciones en el desarrollo del contrato de trabajo con miras al futuro.

### 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

La pandemia generada por el Covid-19 ha implicado que los gobiernos a lo largo del mundo, hayan tenido que expedir diferentes normas para regular diversos aspectos de la vida cotidiana. Para el caso colombiano la primera parte de la pandemia (a partir de marzo de 2020), al igual que en otras partes del mundo implicó el confinamiento total de la población, en aras de contener el virus, esto condujo a que las actividades comerciales y laborales se detuvieran casi por completo, salvo lo referente a servicios básicos y productos de primera necesidad.

Como respuesta a la crisis sanitaria y económica se empezó a producir una nutrida variedad de normas para regular la situación, analizando cómo dentro de lo posible, ir retomando actividades y labores. Esto llevó a que, dentro de la declaratoria del estado de emergencia sanitaria, también se empezaran a regular las situaciones de orden laboral, pero con la dificultad de estar confinados en nuestros hogares, esto llevó a aplicar nuevas formas y prácticas pues la labores ya no podían desarrollarse de la forma tradicional. En ese contexto aparecen *el teletrabajo* y *el trabajo en casa* como posibles opciones para que las organizaciones y la sociedad en general pudieran seguir funcionando.

Ya se ha hecho un recorrido normativo en el que se ha mostrado el avance general de las dos formas laborales relacionadas desde el inicio de la pandemia en Colombia hasta el momento actual, pero valga aclarar que, en este acápite, se señalarán cuáles son las ventajas, desventajas y en general las implicaciones que pueden producirse a partir de la implementación de estas dos figuras. Indiscutiblemente la digitalización de la sociedad y del trabajo generan un avance importante más aun cuando la tecnología va abarcando de forma vertiginosa todos los escenarios de la vida, permitiendo además situaciones que hace

décadas tal vez no eran siquiera imaginables. Eso ha llevado a que las comunidades y las labores se transformen pues estas deben responder al contexto actual.

Precisamente como lo plantea [17], *una de las transformaciones del trabajo facilitadas por la digitalización es el teletrabajo*, en esencia porque esta figura posiblemente contribuye a conciliar de mejor forma el trabajo y la vida familiar, permite descongestionar el tráfico urbano y a su vez descontaminar el ambiente. Así tenemos que, en grandes ciudades, afectadas por problemas de congestión vehicular, el trabajo remoto y el teletrabajo les han permitido a los trabajadores optimizar su tiempo, pues al no tener que trasladarse de un lugar a otro, ese tiempo se ha podido utilizar en el trabajo o la vida familiar.

El hecho de estar en casa y realizar desde allí sus labores ha sido beneficioso también para muchos trabajadores, pues se ahorra en gastos de transporte, y para aquéllos que tienen hijos menores les ha permitido estar más cerca de ellos y compartir más parte del día que antes de la pandemia, como se aprecia en [18], y se complementa con la Figura 4.

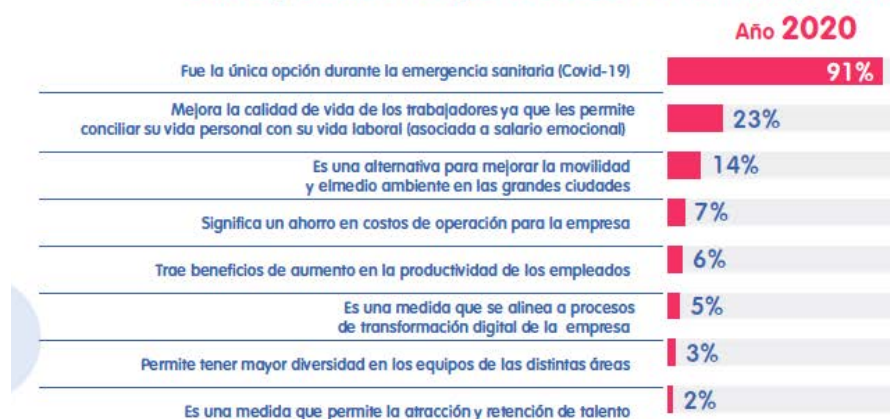


Figura 4. Causas que condujeron a la adopción del teletrabajo y trabajo en casa [18]

En consonancia con lo anterior, también puede señalarse que en cuanto a los empleadores, muchas empresas han encontrado que estas formas laborales facilitan el control y medición de las tareas que desarrollan sus trabajadores a lo largo de la jornada, así como también ahorran en costos, pues pagan menos por arrendamientos, impuestos, servicios públicos como energía eléctrica, telefonía e internet, también hay un ahorro en equipos, e incluso algunas han podido digitalizarse por completo sin la necesidad de un lugar físico para el desarrollo de sus labores, y piensan incluso seguir en esta modalidad, siempre y cuando sea posible.

Para esto mismo cabe referir lo señalado en [18], donde se indica que se duplicó la adopción del teletrabajo, pues para el año 2018 el 44% de las empresas lo aplicaban en su parte administrativa y financiera y ese porcentaje en el 2020 pasó a ser del 80% en las áreas ya mencionadas. De igual forma, según lo expuesto en [19] no pueden perderse de vista las Macrotendencias del trabajo a 2030 que se refieren a: 1) la automatización de la producción, 2) el trabajo remoto permanente, y 3) la digitalización definitiva del comercio (*e-commerce*).

Las señaladas tendencias tienen una necesaria mediación de lo tecnológico, y también pueden generar fuerte impacto en la contratación de personal, pues por ejemplo la automatización de los procesos productivos puede implicar desplazamiento de mano de obra y por ende pérdida de empleos. En cuanto a la segunda tendencia, el que el trabajo remoto sea permanente puede presentar algunas desventajas que más adelante se tratarán, y en cuanto a la tercera tendencia, esta conlleva que las relaciones comerciales se den a través de plataformas donde el contacto humano es mínimo o nulo por completo.

Todas las transformaciones reseñadas, han conducido a que las empresas deban ajustar sus prácticas conforme a los cambios normativos que se han venido produciendo en nuestro país. Ello ha llevado a que se revisen las funciones que cumplen los trabajadores al interior de las empresas y organizaciones, así como la necesidad de trasladar o adquirir equipos, y la adopción de controles efectivos sobre los puestos de

trabajo en casa, para medir a los trabajadores y sus resultados, e igualmente con miras a evitar posibles enfermedades laborales y accidentes de trabajo, entre otras cuestiones.

Adicionalmente, ha sido necesario, en algunos casos, ajustar la jornada laboral, estableciendo por ejemplo turnos de trabajo, para aquellos casos en que se requiera presencialidad, para que se respeten los aforos permitidos y evitar aglomeraciones en una misma jornada, que puedan conducir al aumento de casos positivos de Covid-19.

Es importante destacar en todo este contexto el papel que han jugado entidades como el Ministerio de Trabajo y la Corte Constitucional, en pro de garantizar los derechos de los trabajadores y evitar los abusos que pueden darse por parte de los empleadores en modalidades laborales como las que se han señalado. La misión que han cumplido estos dos organismos, en parte, se ve reflejada en las circulares y resoluciones que ha producido el ministerio para regular el trabajo en casa y el teletrabajo. Asimismo, el papel de la Corte Constitucional está plasmado en sus sentencias y decisiones sobre normas que han sido demandadas por considerarlas violatorias de los derechos de los trabajadores. Ejemplo de ello puede verse en [20] donde la Corte estableció que los teletrabajadores tienen los mismos derechos que los demás trabajadores en Colombia, y en específico se refirió a que tienen derecho al reconocimiento y pago de horas extras cuando se compruebe que estas se han laborado.

Ahora bien, figuras como las analizadas han mostrado grandes beneficios en el contexto de pandemia, pero también cabe señalar que estas muestran desventajas como las siguientes: si bien internet es algo relativamente común en la sociedad actual, es igualmente cierto que todavía grandes sectores de la población no tienen acceso a este servicio, lo cual impide desarrollar las actividades que se sustenten en el.

Muchas veces el hecho de desarrollar labores desde la casa puede convertirse en un problema si no se cuenta con una adecuada organización de horarios y tareas, y el límite entre la vida familiar y la laboral puede diluirse. También puede caerse en el error de pensar que como el trabajador está gran parte de su tiempo en la casa, esto significa que debe estar disponible en cualquier momento para cumplir labores y tareas, eso sí cabe señalar que en este aspecto se ha avanzado bastante con la regulación del derecho a la desconexión digital, pero también es necesario aclarar que si bien existen normas o controles por parte de entidades como el Ministerio de Trabajo esto no garantiza del todo que las normas se cumplan a cabalidad o que los abusos no puedan presentarse.

## 5. CONCLUSIONES

La pandemia generada por el Covid-19 trajo cambios en diversos escenarios de la vida, entre ellos las relaciones laborales, las cuales no van a ser las mismas después de la pandemia, pues muchas de las estrategias y modalidades implementadas han producido efectos positivos y tanto empleadores como trabajadores quieren seguirlas aplicando.

Tradicionalmente la casa y el lugar de trabajo habían estado separadas, pero en modalidades como el teletrabajo y el trabajo en casa o remoto esa separación se disolvió produciendo ventajas y desventajas. Por una parte, se han acercado las familias, los padres y madres trabajadores han podido pasar más tiempo con sus hijos, pero por otra la falta de una adecuada distribución del tiempo, en algunos casos no ha permitido conciliar la vida privada o familiar con la laboral.

Incluso los tiempos de descanso del trabajador pueden llegar a reducirse ante una prolongada jornada laboral provocada voluntariamente por el mismo, pues en modalidades como las analizadas la ausencia de supervisión directa por parte del empleador puede generar desorden en el manejo de los tiempos de trabajo y acarrear incumplimiento de las tareas asignadas.

La falta de desconexión del trabajador de plataformas, redes y sistemas relacionados con el trabajo, puede minar sus periodos de descanso e impedirle compartir tiempo de calidad con su familia. En este aspecto juega un papel determinante que el empleador respete los tiempos de descanso del trabajador evitando dar órdenes e instrucciones o asignar tareas en dichos periodos.

Las relaciones laborales no son un elemento estático, pues el hecho de que estén asociadas a algo inherente al ser humano como es el trabajo, implica que se van transformando a la par con los seres humanos y la sociedad misma. Por esta razón, es necesario que las relaciones laborales de hoy se piensen en torno a las megatendencias del mundo del trabajo, donde la tecnología juega un papel nuclear.

Implementar de forma permanente modalidades como el teletrabajo o el trabajo en casa en un país como Colombia, que tiene una alta brecha tecnológica implica la necesaria presencia del Estado para robustecer la infraestructura tecnológica, para que la población en general pueda acceder a servicios que hoy son prácticamente vitales como el internet.

Si bien el teletrabajo desde el año 2008 se reguló en Colombia, también es cierto que este y otras modalidades de trabajo asociadas con la tecnología se incrementaron con la pandemia del Covid-19, pues allí fue absolutamente necesario acudir a formas diferentes a las tradicionales para dar continuidad a las actividades en el marco del contrato de trabajo, pero en estos escenarios la tarea no está concluida y se requiere del compromiso de las diversas instituciones para que estas modalidades puedan llegar a más población y se cumplan a cabalidad.

Es importante que en el caso del teletrabajo y el trabajo en casa los empleadores fortalezcan los nexos con las ARL para que se revisen las condiciones de los puestos de trabajo en casa, con miras a evitar enfermedades laborales y accidentes de trabajo.

La participación de actores sociales, como por ejemplo los gremios de trabajadores y los empleadores es importante en procesos como el que se da actualmente en relación con la construcción de la política pública de fomento e implementación del teletrabajo. Estos ejercicios ciudadanos pueden ayudar a que las políticas que se formulen sean más acordes a la realidad y a las necesidades de empleadores y trabajadores.

El papel que ha cumplido el Ministerio de Trabajo en torno a la regulación de estas nuevas formas laborales ha sido importante, pero a veces se queda corto para evitar abusos por parte de los empleadores, sin embargo, es de destacar que el cumplimiento de los derechos y garantías laborales debe responder más bien a un proceso de concientización de los empleadores y no a los controles que haga el Estado.

## REFERENCIAS

- [1] Constitución Política de Colombia. (1991). Artículo 215. Recuperado: [http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/constitucion\\_politica\\_1991\\_pr007.html](http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/constitucion_politica_1991_pr007.html)
- [2] Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia. (2016). Historia del teletrabajo. Recuperado: [https://www.youtube.com/watch?v=keKFJUiEQwU\\_](https://www.youtube.com/watch?v=keKFJUiEQwU_)
- [3] Congreso de la República de Colombia. (2008). Ley 1221. Artículo 2, Inciso 1. Recuperado: [http://www.secretariasenado.gov.co/senado//basedoc/ley\\_1221\\_2008.html#:~:text=La%20presente%20ley%20tiene%20por,y%20las%20telecomunicaciones%20\(TIC\)](http://www.secretariasenado.gov.co/senado//basedoc/ley_1221_2008.html#:~:text=La%20presente%20ley%20tiene%20por,y%20las%20telecomunicaciones%20(TIC))
- [4] Congreso de la República de Colombia. (2008). Ley 1221. Artículo 2, Inciso 2. Recuperado: [http://www.secretariasenado.gov.co/senado//basedoc/ley\\_1221\\_2008.html#:~:text=La%20presente%20ley%20tiene%20por,y%20las%20telecomunicaciones%20\(TIC\)](http://www.secretariasenado.gov.co/senado//basedoc/ley_1221_2008.html#:~:text=La%20presente%20ley%20tiene%20por,y%20las%20telecomunicaciones%20(TIC))
- [5] Weller J. (2020). La pandemia del Covid-19 y su efecto en las tendencias de los mercados laborales. CEPAL.
- [6] Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia y Ministerio del Trabajo. (2021). Quinto Estudio de Percepción y Penetración del Teletrabajo en Empresas Colombianas 2020. Recuperado: [https://mintic.gov.co/portal/715/articles-179742\\_recurso\\_1.pdf](https://mintic.gov.co/portal/715/articles-179742_recurso_1.pdf)
- [7] Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia. (2021). Marco jurídico del teletrabajo. Recuperado: <https://teletrabajo.gov.co/622/w3-article-8098.html>
- [8] Presidencia de la República de Colombia. (2012). Decreto 884. Recuperado: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=47216#:~:text=El%20objeto%20del%20presente%20decreto,Teletrabajo%20y%20teletrabajador>
- [9] Presidencia de la República de Colombia. (2022). Decreto 1227. Recuperado: <https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%201227%20DEL%2018%20DE%20JULIO%20DE%202022.pdf>
- [10] Ministerio de Trabajo. (2022). Marco jurídico del teletrabajo. Resolución 3192. Por la cual se reglamentan los plazos y la metodología para la elaboración de la política pública de fomento e implementación del Teletrabajo de que trata la Ley 1221 de 2008. Anexo 2.

- [11] Ministerio de Trabajo. (2020). Circular 41. Recuperado: <https://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/60876961/Circular+0041-2020.PDF/98d19065-352d-33d2-978e-9e9069374144?t=1591222>
- [12] Ministerio de Trabajo. (2021). Circular 21. Recuperado: <https://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/0/Circular+0021.pdf/8049a852-e8b0-b5e7-05d3-8da3943c0879>
- [13] Congreso de la República de Colombia. (2021). Ley 2088. Recuperado: [http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_2088\\_2021.html](http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_2088_2021.html)
- [14] Ministerio de Trabajo. (2022). Decreto 649. Recuperado: <https://consultorsalud.com/wp-content/uploads/2022/04/DECRETO-649-DEL-27-DE-ABRIL-DE-2022.pdf>
- [15] Congreso de la República de Colombia. (2022). Ley 2191. Recuperado: <https://www.pwc.com/co/es/prensa/Articulos/ley-2191-de-2022.pdf>
- [16] Villabella C. (2020). Los métodos en la investigación jurídica. Algunas precisiones. En Cáceres E. (ed.), Pasos hacia una revolución en la enseñanza del derecho en el sistema romano-germánico. Universidad Nacional Autónoma de México.
- [17] Weller J. (2020). La pandemia del Covid-19 y su efecto en las tendencias de los mercados laborales. CEPAL.
- [18] Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia y Ministerio del Trabajo. (2021). Quinto Estudio de Percepción y Penetración del Teletrabajo en Empresas Colombianas 2020. 11-13. Recuperado: [https://mintic.gov.co/portal/715/articles-179742\\_recurso\\_1.pdf](https://mintic.gov.co/portal/715/articles-179742_recurso_1.pdf)
- [19] McKinsey Global Institute. (21021). The postpandemic economy. The future of work after COVID 19. Recuperado: <https://img.lalr.co/cms/2021/02/23084228/mgi-the-future-of-work-after-covid-19-report-feb-2021.pdf>
- [20] Corte Constitucional de Colombia. (2021). Sentencia C-103. Recuperado: <https://www.corteconstitucional.gov.co/Relatoria/2021/C-103-21.htm>

# Entendiendo la Transdisciplinariedad: Un ejercicio que traspasa lo disciplinario

July Alexandra Villalba Rodríguez<sup>1</sup>  
*Politécnico Gran Colombiano*  
Colombia

Se analizan los componentes disci, inter, multi, pluri y transdisciplinarios como categorías de estudio y prácticas en las ciencias tradicionales y la necesidad que se plantea en el mundo moderno, que puede ser estudiado desde la transdisciplina para solucionar problemas que las disciplinas por sí solas no han podido resolver. Se estudian sus clasificaciones y definiciones, así como los fundamentos ontológicos en los que basan su concepción, su historia y significado, para mostrar que la teoría transdisciplinaria puede brindar un sentido amplio del saber sobre la naturaleza.

---

<sup>1</sup> Profesional en Negocios Internacionales y Estudiante de Doctorado en Pensamiento Complejo.  
Contacto: [jvillalba@poligran.edu.co](mailto:jvillalba@poligran.edu.co)

## 1. INTRODUCCIÓN

Los cambios que trae consigo la evolución educativa y los procesos inmanentes a la transformación del ser, requieren estudiar y analizar aquellos componentes tradicionales que se han forjado desde la mirada inter, multi, pluri, disci y transdisciplinar, categorías, que han sido punto de partida en la enseñanza de las ciencias tradicionales; sin embargo, el mundo moderno cambia las perspectivas y demanda una interconexión aún más completa de los saberes; siendo así, este documento plantea un estudio desde la transdisciplina, siendo esta un componente fundamental para dar respuesta a las problemáticas que las disciplinas por su propia esencia no han podido resolver.

Sumado a esto el documento recopila una contextualización que clasifica y define desde los fundamentos ontológicos en los que basan la concepción, la historia y el significado, para de esta forma, mostrar que la teoría transdisciplinaria puede brindar un sentido amplio del saber sobre los elementos que conforman el mundo.

Por otra parte, demuestra que la Transdisciplinariedad es un esquema cognitivo que permite *atravesar* las disciplinas [1], que trabaja desde un espacio forjado entre varias dimensiones que promueve un constante flujo de información, organizando los conocimientos que trascienden las disciplinas de una forma radical; además la transdisciplina fomenta un estudio pleno del conocimiento lo más completo posible, de tal forma que sea posible crear diálogos la diversidad que caracteriza al Ser; diálogos visto desde la complejidad, desde la transdisciplina que observe y analice el mundo como una cuestión constante y cambiante.

El crecimiento de los saberes a través de la historia ha aumentado los procesos de desigualdad entre aquellos que la poseen y quienes carecen de los mismos, *fundamentando así desigualdades crecientes en el seno de los pueblos entre las naciones de nuestro planeta* [2].

Entonces, en este documento se aborda la Transdisciplina desde el ejercicio académico-conceptual y la ambición del Pensamiento Complejo; estos dos factores articulados brindan una sinergia entre los dominios disciplinarios, que se han visto afectados por el quiebre y la separación que ejercen el pensamiento disgregador que compone la problemática del conocimiento, *pues aísla lo que separa y oculta todo lo que religa, interactúa* [1]. Además, se justifica en la formulación de *estrategias disciplinarias* que pretenden acotar el conocimiento hasta tal punto que sea evidentemente imposible e incomprensible visualizar un marco global de las necesidades del mundo moderno; pues han construido sus metodologías a través de los denominados *alveolos disciplinarios*, que cada vez son más estrechos, taponados y sin oportunidades de interacción entre ellos.

Anudado a esto, es increíble creer que dentro del marco en el que las grandes disciplinas parecen corresponder a esencias y materias heterogéneas: lo físico lo biológico, lo antropológico, olvidan factores que no corresponden precisamente a sus áreas de estudio pero que hacen parte de la escena global. También se debe considerar que el principal problema que aqueja las condiciones actuales, educativas, de sociedad y de la era del conocimiento, radica en seguir desarrollando disciplinas independientes que acumulan conocimiento entre ellos mismos, sin compartir los hallazgos y saberes con otras disciplinas.

El error ha radicado en que *la ciencia se ha vuelto ciega por su incapacidad de controlar, prever, incluso concebir su rol social, por su incapacidad de integrar, articular, reflexionar sus propios conocimientos* [1], ocasionando que el espíritu humano no puede aprehender el enorme conjunto de saberes disciplinarios y limitando el acceso al conocimiento universal.

Es claro reconocer que *el Ser ha venido siendo condenado al pensamiento incierto, a un pensamiento acribillado de agujeros, a un pensamiento que no tiene ningún fundamento absoluto de certidumbre* [1]. Por el contrario, desde el Pensamiento Complejo se aspira al conocimiento multidimensional, articulador y unificado de la concepción del Ser y la Naturaleza. Morin ha planteado la necesidad de una unificación de saberes, sin embargo, esta *unificación no tendría ningún sentido, si fuera únicamente reduccionista, reduciendo al nivel más simple de organización los fenómenos de organización compleja pues sería insípida si se hiciera efectiva envolviéndose en una generalidad omnipresente, como la palabra sistema* [1].

La unificación tendría un sentido aún más amplio si muestra la capacidad de aprehender al mismo tiempo, además de crear unidad y diversidad, continuidad y rupturas en el conocimiento; es en este punto que se reconoce la transdisciplina como sinónimo de indisciplina, pues Morin plantea que todo cuerpo de principios se resiste al menor cuestionamiento, rechaza con violencia y desprecio como conocimiento *no científico todo lo que no corresponde al modelo* [1].

No obstante, lo anterior se formula para reconocer la necesidad de traspasar conceptos y grietas teóricas, pero, también para divulgar los desafíos que presenta la Transdisciplinariedad como actor en este siglo lleno de migraciones, problemas sociales, ambientales, de salud, pandemias y destrucción de tejidos sociales; debido a que ninguno de ellos ha sido abordado desde el concepto transdisciplinario, simplemente desde la percepción de disciplinas específicas, que lamentablemente no van a poder dar una cobertura total a las necesidades de cada una de las poblaciones afectadas.

Entonces, ¿será la Transdisciplinariedad la oportunidad para ampliar las redes de conocimiento y atravesar las disciplinas? El concepto de Transdisciplinariedad es *comúnmente confundido con la pluridisciplinariedad e interdisciplinariedad* [3], pero es definida también como *la necesidad de una feliz transgresión de las fronteras entre las disciplinas, de una superación de la pluri y la interdisciplinariedad*.

Siendo así, la teoría de la transdisciplinaria incita a redescubrir el sujeto y el comienzo de una nueva etapa en la historia, pues por su propia naturaleza de querer reconocer los saberes universales y aplicarlos a sus respectivas necesidades; sin embargo, esta idea se ha vuelto utópica y casi imposible de creer, pues no es fácil comprender cómo funciona la transdisciplina, y el adaptar un nuevo término en medio de un cientifismo clásico de las ciencias que trunca su ejercer. Un ejemplo claro de lo anterior se ve visualizado en las dos revoluciones importantes en la historia, la revolución cuántica y la revolución informática, de aquí surge la ciencia moderna, aquella que se atrevió a romper abruptamente con los paradigmas de la antigua visión del mundo; de esta misma forma se fundamenta la Transdisciplina pues pretende revolucionar el conocimiento haciendo una separación total entre el sujeto que conoce su realidad y la realidad a la que se enfrenta.

También las revoluciones sociales a lo largo del siglo han determinado aquellas condiciones colectivas del quehacer universal del conocimiento; aun así, los cambios han sido mínimos, frente a la magnitud de saberes inexplorados que han de venir. Después de todo, el concepto de la transdisciplina es tan sorprendente, pero tan propio de la vida que cada día se transforma y demanda.

Hay que mencionar además que el pensamiento transdisciplinario y el Pensamiento Complejo hablan desde una misma perspectiva, en verdad se consideran como una unidad anclada en la naturaleza de los procesos conceptuales, naturales, sociales, individuales y colectivos, que atienden a las estrategias cognitivas que configuran los conocimientos y los saberes de cada una de las Ciencias. *El paradigma de la complejidad establece protocolos epistemológicos para el abordaje de una realidad que en sí misma ya es compleja* [2]. La Transdisciplinariedad tiene su raíz también en la complejidad, en el caos, en los procesos no lineales, y en muchas áreas de la ciencia que por su naturaleza permite ser descrita y analizada en términos amplios.

## 2. MARCO CONCEPTUAL DE REFLEXIÓN

En cuanto a la disciplinariedad, las disciplinas tienen una historia, un nacimiento, una institucionalización, una evolución, una dispersión. *Las disciplinas surgen desde la sociología de las Ciencias del conocimiento, de una reflexión interna sobre ella misma, pero también del conocimiento externo* [4].

Mas aún, la disciplina consta de un mayor número de piezas separadas y estudiadas por diferentes disciplinas; *esta simplificación se ha hecho más robusta al determinar la cantidad de partículas a estudiar o componentes de cada una disciplina o de cada teoría, desarrollando una súper unificación de las interacciones* [3]. La disciplina es una categoría organizacional en el seno del conocimiento científico, la división y la especialización del trabajo; una disciplina tiene naturalmente la autonomía absoluta sobre su componente de estudio, así como la delimitación clara de sus fronteras y los lineamientos que la constituye;



además de consolidar las técnicas que están establecidas para elaborar y conformar las teorías propias. Al mismo tiempo la disciplina varía, así como lo plantea Max-Neef: *las personas que se han especializado en una misma disciplina siempre tendrán dificultades para comprender sus propios resultados, pues no tienen una visión amplia de un espectro de saberes aún más complejos* [5], al mismo tiempo la inteligencia colectiva es un factor de comunidad, que debe forzar al cerebro a generar redes colectivas de conocimiento. Sin embargo, esta estrategia disciplinaria segrega los saberes e interrumpe la transferencia de conocimientos.

Hoy en día existen cantidades de disciplinas, sin embargo, se requiere un diálogo establecido, serio, racional y congruente que pueda crear valor y dar respuestas a las necesidades de una comunidad y de una sociedad del conocimiento. Sería apropiado afirmar que la suma de muy buenos especialistas, con buenos saberes, con conocimientos específicos en sus campos, definitivamente generaría más incompetencia en la forma de analizar, de conocer el plano técnico y de su inserción en los diferentes campos del conocimiento.

Por lo que se refiere a la disciplinaria, *surge la especialización en aislamiento que incrementa lealtades a la disciplina hasta llegar a sentir que la suya es más importante que de las demás* [5]. Así mismo, las disciplinas han creado unas simetrías, que exigen que todas las interacciones ya establecidas deben trabajar unánimemente entre ellas mismas; lo que mantiene el estatus quo de las ciencias y por ende es difícil de quebrar dichas asimetrías y lograr la disrupción entre las interacciones fuertes y débiles de cada una. Por lo que, al fomentar la especialización excesiva y la fragmentación del conocimiento, *parece haber convertido la intención interdisciplinaria en la búsqueda utópica y nostálgica, de la unidad de la ciencia.* [6]

## 2.1 Pluridisciplinaria

Otro de los conceptos con los cuales se asocia este ensayo corresponde a la pluridisciplinaria, que corresponde al estudio de un objeto en una misma disciplina por varias disciplinas a la vez, un ejemplo claro es el estudio de una civilización analizado desde múltiples disciplinas. Ahora bien, es necesario pensar qué pasaría si todas las personas pudieran inyectarse conocimiento en su cerebro de diferentes disciplinas. Tal vez no podrían comprender nada, porque solamente tendrían un conocimiento parcializado de cada una de las áreas de estudio y no sería capaz de establecer nexos o redes de resultados entre estas disciplinas.

Acorde con lo anterior la pluridisciplinaria pretende hacer un cruce entre las disciplinas y el objeto de estudio para obtener el conocimiento del objeto y analizarlo desde varias de sus perspectivas, no obstante, aunque la pluridisciplinaria aporta más a las disciplinas en cuestión, como la historia, el arte, la matemática, la psicología, también desborda las disciplinas, esto implica la cooperación entre las disciplinas, pero con un resultado sin coordinación ni relacionamiento; pero, normalmente las áreas de conocimiento son muy compatibles entre sí, lo que permite mayor comprensión de los ideales y un mismo nivel jerárquico.

## 2.2 Interdisciplinaria

La interdisciplinaria tiene como objetivo y ambición diferenciarse de la pluridisciplinaria, pues pretende realizar una transferencia de métodos de una disciplina a otra mediante, lo que denomina los *tres grados*: grado de aplicación, grado tecnológico y grado engendramiento de nuevas disciplinas.

No obstante, la realidad de los componentes estructurales del sistema en el que vivimos, está marcado y destinado por la Interdisciplinaria, algunas personas temen a la disolución de la especialización pues, es complicado entender los niveles de rigor intelectual y sería inequívoco ignorar las aportaciones del conocimiento que cada una de estas disciplinas han realizado; pero no es un secreto que se ha inhibido la interacción entre las ciencias físico-matemáticas y las ciencias humanas. Es aquí cuando es indispensable instaurar un auténtico diálogo entre las mismas; sumado a esto se han creado unas guerras disociadoras que permiten afirmar que hay una conflagración entre las ciencias, pero la pregunta es ¿quién contra quién?

Por otra parte los investigadores se han desplazado y sentido amenazados e ilegítimos por otros nuevos saberes que surgen a medida de las necesidades del conocimiento; Sin embargo, este temor está infundado sin ninguna causa, pues las ciencias no van a desaparecer, simplemente van a transformarse y para lograr

captar el conocimiento apropiado de las otras y así intentar formar una megas disciplinas; es en este proceso interdisciplinario que los científicos de diferentes áreas se deben inspirar a través del uso de las metodologías y las técnicas de las otras disciplinas, *para valorar las Ciencias, valorar los racionamientos y los hechos, y así derribar los detractores y los defensores de las posturas simplificadoras y unificadoras del conocimiento* [7].

Además, Lanz afirmaba que *los enfoques interdisciplinarios pueden ser considerados como un paso adelante respecto a la perspectiva multidisciplinaria* [8]. La interdisciplinariedad ha sido organizada en niveles jerárquicos a diferencia de la pluridisciplinariedad aquí hay coordinación del nivel inferior hasta el nivel superior en total existen cuatro tipos de niveles: nivel empírico, pragmático, nivel normativo y nivel valórico; *el propósito que hay en cada nivel está dado por el nivel inmediatamente superior* [5].

La interdisciplinariedad puede significar pura y simplemente que *diferentes disciplinas se sienten en una misma mesa en una misma asamblea, como las diferentes naciones se reúnen en la ONU sin poder hacer otra cosa que afirmar cada una sus propios derechos nacionales y sus propias soberanías en relación con la usurpación del vecino* [4].

Además puede considerarse como, *el resultado de un proceso de sinergia que requiere el curso de las partes y propicia la emergencia de cosas* [6] en la interdisciplinariedad, la colaboración permite saltar muros que separan las disciplinas, por lo tanto se puede partir de una certeza clara, esta no podría existir sin las disciplinas y tampoco se puede prescindir de los especialistas, muchos menos de los campos interdisciplinarios cuyos crean formas de especialización que poseen gran potencial.

Entonces, la interacción de varias disciplinas con características comunes crea interdisciplinariedad, sin embargo, aquí es donde comienza a haber caos cuando, se empieza a hablar de multidisciplinar y Transdisciplinariedad.

### 2.3 Multidisciplinariedad

La investigación multidisciplinaria, *representa un avance de cara a los viejos estilos clasistas de la investigación que han forjado los dilemas de la humanidad* [8]. La lógica disciplinaria y la locura lógica multidisciplinaria tienen sus orígenes en la misma concepción y contenido conceptual es muy similar; pero es la multidisciplinariedad la que permite el estudio secuencial de diferentes áreas de conocimiento, aún sin existir conexión alguna entre estas áreas; esto surge en el momento que se *intentan crear equipos multidisciplinarios con investigadores corrientes que quieren hacer su análisis separadamente desde su propio conocimiento disciplinario* [8]. Al final del proceso lo único que se obtiene son una serie de informes separados, sin síntesis integradora y sin una solución general al problema.

Además, se diferencia de las otras formas de agrupación disciplinaria, al considerar un proyecto o un objeto que les es común para ser resolutivo, pero las disciplinas son llamadas como técnicas especializadas en otros momentos, pero la multidisciplinariedad pretende, por el contrario, que estas se encuentren en una profunda interacción, para así *tratar de concebir. este objeto y este proyecto como un ejemplo de la hominización* [4].

### 2.4 Transdisciplinariedad

Después del recuento realizado, es momento de hablar sobre Transdisciplinariedad, el cual se establece en la misma palabra, *Trans* que significa -entre las disciplinas- y -a través- de las disciplinas, más allá de toda disciplina, pretende entender el mundo y sus unidades, además del conocimiento que lo conforma.

La transdisciplina cuestiona la existencia de algo extra que se halle entre las disciplinas y que el pensamiento clásico que ha olvidado en su afán de mantener los conocimientos estructurados como en una bola de cristal; esto, genera que no exista interacción con otros entornos disciplinares; es aquí cuando se forja el vacío epistemológico que el pensamiento clásico trae consigo, logrando afirmar que *la Transdisciplinariedad es un absurdo sin objeto*; por el contrario, para la Transdisciplinariedad, el pensamiento clásico no es

absurdo, al contrario, es un reconocido y restringido mundo de saber del cual basa su información para atravesar y entender. Con respecto a las semejanzas teóricas, Nicolescu plantea que *la transdisciplina viene con la excepción de -a través y más allá -de las disciplinas* [3]. Esto plantea una racionalidad abierta, un enfoque, una mirada relativa, una definición y objetividad en el concepto transdisciplinario.

Para Piaget *la Transdisciplinariedad abarca metas más ambiciosas y la desaparición de fronteras del conocimiento* [6], es decir, que la transdisciplina penetra el sistema de la ciencia y elimina la fragmentación arbitraria que lleva a la búsqueda del conocimiento mediante las leyes naturales como un todo.

Cabe señalar que la Transdisciplinariedad converge desde una estructura discontinua pues rompe rotundamente con el concepto estructuralista, considerando los saberes desde diferentes niveles de realidad, lo que permite incluir un interés por la dinámica de la acción entre varios niveles de realidad a la vez, pasa adquirir el conocimiento disciplinario, dejando de lado el paradigma de una disciplina y remplazándolo por el de una hiper-disciplina que se nutre de una investigación disciplinaria; entonces, el concepto transdisciplinario, fundamenta sus estudios en investigaciones disciplinarias y transdisciplinarias, en este caso ninguna es protagonista ni antagonista, las dos son complementarias, sumado a que logra tener como finalidad la comprensión del mundo presente.

Con respecto a los pilares de la Transdisciplinariedad, se puede definir que hacen parte de los niveles de realidad, de la lógica del tercero incluido y la complejidad; éstos determinan la investigación transdisciplinaria identificando sus tres pilares y postulados en la ciencia moderna.

Mientras tanto, otra de las características que tiene este concepto es que es frecuentemente confundida con la interdisciplinariedad y con la pluridisciplinariedad, vistas anteriormente, esto se explica en medida porque el hecho de que las tres desbordan las disciplinas; pero así *esta confusión es muy nociva en la medida que oculta las finalidades diferentes de estas tres nuevas perspectivas* [4].

A pesar de que la Transdisciplinariedad tiene una relación con la disciplinariedad y la pluridisciplinariedad y la interdisciplinariedad, es imposible o absurdo que no cobrara distinción alguna, pues la Transdisciplinariedad quedaría despojada de todos sus saberes, conocimientos y eficacia, por tanto, quedaría reducida a la nada.

Max-Neef argumenta que *la disciplina y la transdisciplina no son antagónicas, sino que también se complementa y generan enriquecimientos recíprocos del conocimiento que facilitan la comprensión de la complejidad* [5]. Entonces la transdisciplina más que una nueva disciplina o super disciplina, es en realidad un modo distinto de ver el mundo más sistémico, más holístico. Esto mismo lo planteaba Nicolescu al hablar que *la Transdisciplinariedad debe tener en cuenta una realidad multidimensional que está estructurada en varios niveles y que definitivamente acaba con la unidimensional, con el pensamiento clásico* [3].

También puede ser concebida desde la visión transcultural, transreligiosa, transnacional, transhistórica y transpolítica, que en definitiva *conduce en el plano social un cambio radical de perspectiva y de actitud* [3]. Por lo tanto, no es posible hacer una mirada transdisciplinaria del conocimiento considerando solamente el interior del discurso epistemológico de la modernidad, pues, así como Lanz lo nombra, *la perspectiva de lo transdisciplinario es justamente encontrar un lugar de convergencia, un punto que amplíe la labor y que reconfigure la epistemología teórica en los que se han creado las diferentes disciplinas* [8].

Entonces, se requiere redefinir el contexto ético-político y dar un sentido propio de la producción de conocimiento, que desarrolle la coordinación entre todos los niveles; sumado a esto las disciplinas del nivel inferior de la pirámide describen el mundo como es, desde las leyes de la física, de la naturaleza y de los principios que cobran la vida en las sociedades.

Max-Neef [5] estipula que la Transdisciplinariedad pone en jaque de lo que somos capaces de hacer y cuestiona cómo se ha aprendido, lo que se es capaz de hacer, lo que se quiere hacer y finalmente lo que se debe hacer y cómo se quiere hacer; en otras palabras, la transdisciplina pasa de algo empírico a un nivel propositivo y continúa al nivel normativo y valórico creando múltiples relaciones verticales.

### 3. REFLEXIÓN RESULTADO

A continuación, se plantean los argumentos que sustentan la Transdisciplinariedad en un escenario global y demandante y, para entender el concepto, es necesario que se establezca desde un marco general y completo, pues en varias ocasiones se pierde el dialogo, cuando no se capta las características de la coyuntura política y cultural, social y económica de las naciones y más cuando se colocan los protagonismos de los autores que lideran la agenda en un momento histórico determinado, y que olvidan las totalidades de las poblaciones, los sistemas a los que pertenecen, el contexto y los conocimientos.

La epistemología de la Transdisciplinariedad empieza a generarse también desde los niveles de realidad planteados por Nicolescu, quien determina los principios de alteración y la complejidad, asimismo Max-Neef quien lo cita en su obra con la aseveración *se debe entender por válida aquello que resiste nuestras experiencias, parte de sensaciones, descripciones, imágenes o formalizaciones, matemáticas* [5].

Ahora a esto se le debe sumar la teoría filosófica de los tres mundos: el mundo en que comprende todos los objetos y estados físicos, el mundo que es de las experiencias subjetivas o estados de conciencia, y el mundo que es el cultural procedido por el ser humano, incluyendo el lenguaje. Nicolescu plantea también las tres regiones de realidad: la región de la física clásica, la de la física cuántica y la de experiencias religiosas y filosofía; como resultado, se debe comprender que, *si bien es posible y necesario la investigación disciplinaria, hay que tener presente siempre la transdisciplina en sí misma incluso cuando haya mucho para descubrir por investigar la transdisciplinario edad es, pues, a estas alturas, tanto herramientas como proyecto* [3].

Por otra parte, Edgar Morin plantea algo imposible, los denominados *comprendidos e integrados* [4] y afirma que los modos de ver el mundo y los diferentes niveles de realidad citados por Nicolescu, asociados a la lógica del tercio incluido, esboza una visión de proceder que aclaran el espectro de la Transdisciplinariedad. No se pretenden separar en polos opuestos las relaciones dipolares que sean en la naturaleza, en la vida y en la sociedad, al contrario, aquí debe haber relaciones monopolares que permitan crear relaciones responsables y que haya crecientes interrelaciones sistémicas y tejidos sociales [4].

En la *Carta a la Disciplinaria* [2] se concreta que *todo intento de reducir alguna definición o concepto y disolverlo en estructuras formales, no importa cuáles sean, es incompatible con la visión transdisciplinaria*. Dicho de otra manera, la Transdisciplinariedad se complementa al enfoque disciplinario, emerge y confronta las disciplinas para obtener nuevos resultados y que se articulen entre ellos, descrita también *como la piedra angular de la unificación semántica y operativa de las acciones mediante una racionalidad abierta* [2], el discurso transdisciplinario no cae del cielo, es un efecto directo del funcionamiento global de la epistemología moderna [8].

Algo que se debe tener claro es que esta visión transdisciplinaria está abierta en la medida en que trasciende cada campo de las ciencias exactas, estimulándolos para que dialoguen y para que se reconcilien en lo que el ego del conocimiento los ha convertido. Pero también hay que precisar que la Transdisciplinariedad no es una nueva religión y filosofía, simplemente plantea un diálogo entre las Ciencias y conduce una actitud abierta hacia los mitos y hacia quienes respetan sus creencias.

Por ende, la ética transdisciplinaria rechaza toda actitud que se oponga al diálogo y a la discusión de cualquiera que sea el origen del, ya sea de orden, ideológicas, científico, científista, religiosa, económica, política, filosófica, etc. No solo la transdisciplina es normalmente legítima por las carencias de base de la cultura académica, o por las dificultades efectivas que confrontan a los investigadores, por la intraducibilidad de los repertorios epistemológicos. Lanz aporta al concepto el hecho de que la epistemología rompe la lógica disciplinaria, los parámetros para la ampliación del conocimiento y para la creación de nuevas metodologías que trasciendan las disciplinas [8].

Considerando que el paradigma transdisciplinario establece su repertorio en nociones y conceptos y categorías que se articulan con nuevas redes de verdad, entendiendo los requisitos del método y las

plataformas, tecno-procedimentales pertinentes a los distintos saberes; también penetra un sistema entero de ciencia, elimina fragmentación arbitraria, lleva a la búsqueda del conocimiento de la naturaleza.

A pesar de todo, la transdisciplina tiene un problema en la práctica, pues hasta el momento nadie sabe cómo hacer para que las barreras entre las disciplinas desaparezcan, hay una extensa bibliografía de pensadores que han trabajado mucho en esta propuesta. Empero, el lenguaje formal que domina el fondo del asunto y los elaborados discursos acerca de la necesidad de un metalenguaje que permita la explicación y borrar las fronteras del conocimiento, parece un sueño utópico para quienes anhelan esta práctica en el escenario real, pues falta alcanzar claridad respecto a los niveles de realidad en el mundo de lo social. Aunque es posible tener una amplia concepción de la Transdisciplinariedad a la hora de resolver problemas sociales que determinen el quehacer del ser, por su esencia la Transdisciplinariedad, como proyecto, está destinada a mejorar la comprensión del mundo y de la naturaleza.

Una forma para aplicar la transdisciplina es apuntar a los modelos que aborden los procesos de producción de conocimiento sobre una mirada de estrategias cognitivas que hagan posible, a través del conocimiento compartido y la identificación de problemas los saberes de todas las disciplinas para entender y crear una nueva racionalidad.

Ahora bien, al hablar del método científico, a pesar de tener una validez universal y que sus protocolos procedimentales sean adaptados a diferentes ambientes de diferentes disciplinas, es importante recalcar que este método no es el adecuado para un enfoque transdisciplinario, pues solamente visualiza su objetivo desde una misma perspectiva.

Parece complicado de lograr y es que la metodología en la transdisciplinaria es el desafío más importante para el conocimiento, no brinda una solución del todo, pero por lo menos empieza a acercarse a las tendencias de convertir una metodología en la variable más determinante en las Ciencias; no obstante el crear una metodología estructurada puede ser el talón de Aquiles para la Transdisciplinariedad, pues las metodologías tradicionales generan problemas y falacias, simplemente se establecería en posiciones universales que no plantean un análisis crítico. Entonces el reto a adherir es la construcción de nociones, conceptos y categorías cuyos contenidos brinden un proceso investigativo transversal, transdisciplinario y que atraviese cada uno de los componentes de la ciencia.

Las técnicas de investigación no deberían ser neutras, tampoco pertenecer ontológicamente a un constructo teórico en particular; aunque no existe la tal metodología transdisciplinaria se ha creado un paradigma transcomplejo que plantea diversas exigencias del método, así como protocolos metodológicos que no son cualesquiera, es decir, que no se pueden dar por universalmente válidos. Para Edgar Morin: *Cuando uno no encuentra la solución en una disciplina, la solución viene desde afuera de la disciplina.*

También se debe considerar hablar del compromiso de la educación con la perspectiva transdisciplinaria, pues esta tiene una directa incidencia en el terreno de formación, y es aquí cuando la lógica disciplinaria que se ha instalado desde hace varios siglos, consolidando un paisaje de disciplinas entre objetos y métodos en una organización escolar, no es consciente de todo el sistema educativo que se está diseñando, creando un discurso disciplinario del cientificismo, desde los estudios preescolares hasta los postdoctorales. Es aquí cuando se debe desmontar el viejo paradigma y crear una condición básica para transitar toda una vida de perspectivas disciplinarias.

#### 4. CONCLUSIONES

La disciplinariedad, la pluridisciplinariedad, la interdisciplinariedad y la Transdisciplinariedad son cuatro flechas de un mismo arco del conocimiento [3].

La relación entre ellas es multireferencial y multidimensional, y se tienen en cuenta concepciones de tiempo e historia y la transición plena no excluye la existencia de un horizonte trashistórico, que no constituye una nueva religión ni filosofía. Por lo general, los estudios se han enfocado en la razón y olvida, se olvida el relacionamiento que debe haber para dar un sentido amplio al pensamiento.

Se podría afirmar que una perspectiva transdisciplinaria es una estrategia cognitiva que pone en movimiento sus propios pivotes teóricos, según el escenario del que se estudia, además representa un claro desafío a la tradicional lógica binaria y lineal aristotélica.

Pues presenta esquemas cognitivos que pueden atravesar las disciplinas, a veces con virulencia tal que las coloca en dificultades complejas las cuestiones interdisciplinarias, multidisciplinarias o transdisciplinarias que han operado y han jugado un rol fecundo en la historia de las Ciencias. Se debe orientar a las nociones claras que están implícitas en ellas, es decir, la cooperación y la mejor articulación al objeto común y mejor proyecto en común.

Para culminar, se quiere traer recalcar en la tercera Ley de la Transdisciplinariedad *en el sentido de que solo por lo que no está es posible que esté lo que está y por lo que se está, es posible que no esté lo que no está* [4].

## REFERENCIAS

- [1] Morin E. (1998). Introducción al Pensamiento Complejo. Gedisa.
- [2] Anes J. et al. (1994). Carta de la Transdisciplinariedad. Convento de Arrábida.
- [3] Nicolescu B. (1994). Manifiesto de la Transdisciplinariedad. Du Rocher.
- [4] Morin E. (2015). Sobre la interdisciplinariedad. Pensamiento complejo.
- [5] Max-Neef M. (2004). Fundamentos de la Transdisciplinariedad. Universidad Austral de Chile.
- [6] Piaget J. (2005). La interdisciplina desde los sistemas complejos. Ciencias.
- [7] Sokal A. y Bricmont J. (1997). Imposturas intelectuales. Paidós.
- [8] Lanz R. (2010). Diez preguntas sobre transdisciplina. Estudios transdisciplinarios.

# El riesgo psicosocial en vendedores ambulantes: Una reflexión situada

Sebastián Galvis Arcila<sup>1</sup>

Cristian Fernán Muñoz<sup>2</sup>

*Corporación Universitaria Minuto de Dios*

Colombia

El interés de este trabajo es identificar efectos de los riesgos psicosociales en los vendedores ambulantes de la ciudad de Pereira, Colombia, durante la pandemia por Covid-19. Estos riesgos son una causa que genera un alto índice de preocupación, pues existe un vacío de conocimiento ante los peligros que estas personas viven a diario y cómo sobrellevarlos. Para ello se identificaron los factores que implican riesgos psicosociales para la realización de las labores diarias de vendedores ambulantes en la ciudad. En este trabajo se proponen aspectos concretos que, al visibilizarse, permiten trazar alternativas que lleven a mejorar la calidad de vida laboral de los vendedores, para el desarrollo de las tareas diarias de forma segura, que brinden una respuesta a la satisfacción laboral, personal y familiar. Como parte de una investigación en curso, este trabajo pretende demostrar que el riesgo psicosocial en los vendedores ambulantes no ha sido tratado como tema de interés por parte del gobierno local, aunque afecta de forma negativa al trabajador a la vez que conlleva a que se desencadene otro tipo de riesgos.

---

<sup>1</sup> Psicólogo y Magíster en Educación.

Contacto: [sebastian.galvis@uniminuto.edu](mailto:sebastian.galvis@uniminuto.edu)

<sup>2</sup> Psicólogo y Magíster en Educación.

Contacto: [cmunozmunoz@uniminuto.edu.co](mailto:cmunozmunoz@uniminuto.edu.co)

## 1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el Departamento Nacional de Estadística DANE [1], la informalidad en Colombia se ubica en un 48% con una proporción aproximada para hombres de 45% y para mujeres 48% ocupados. Cifras como estas contrastan con los indicadores latinoamericanos, que alarman respecto a la situación de millones de personas que tienen una fuente de trabajo no regulada ni protegida por el marco legal vigente. Con este tipo de ocupación remunerada se generan distintas problemáticas que recaen muchas veces en la precariedad de las condiciones de trabajo, la ausencia de garantías contractuales y de protección social como en salud; así como los riesgos ocupacionales que se manifiestan en diversas dimensiones de la vida de las personas que comparten esta condición.

En los datos proporcionados por el DANE es necesario visualizar la cifra de 5,65 millones de personas que trabajan informalmente en las 23 ciudades importantes del territorio nacional, lo que en la ciudad de Pereira se traduce en un 40,2% de trabajadores informales, siendo este uno de los niveles más bajos del país. Por su parte, el informe sobre trabajo decente en las Américas, reseña los factores principales como se categoriza este tipo de trabajo que se da en contexto rural, en trabajo doméstico, trabajo asalariado e independiente que cuenta la labor al por menor, lo que incluye comercio ambulante y negocios pequeños.

Ante esta preocupante realidad y en medio de la aflicción generalizada por la no satisfacción de necesidades básicas de estas personas que a menudo son cabeza de familia, se han venido adelantando proyectos de investigación en atención a esta problemática con la intención de generar conocimiento sobre el que se puedan llevar a cabo iniciativas para la atención y el cuidado de este sector poblacional por los muchos riesgos relacionados con lo psicológico, social, económico y de salud [2]. Entre los estudios que han sido rastreados, se encuentra la preocupación por los riesgos psicosociales que afecta a los trabajadores informales y entre ellos a vendedores ambulantes, pues en ellos el estrés, los bajos ingresos, la ausencia de protección social entre otros, hacen parte de un contexto de investigación en el que se han identificado retos importantes que deben estudiarse en pro de la consolidación de estrategias para la intervención de las comunidades.

La literatura relacionada muestra descriptivamente que las preocupaciones de los vendedores ambulantes en la región están relacionadas con sus bajos ingresos, problemas de salud pública y enfermedades, condiciones de trabajo estresante, disfuncionalidad familiar, jornadas extenuantes, desgaste físico, conflictos interpersonales, entre otros. Desde ese punto de vista, se hace necesario conocer en detalle a través de una caracterización de la población, cómo repercuten dichos efectos, y para ello, se realiza una aproximación directa en la que es de interés conocer aquellas características de trabajo que generan afectación a la salud mental y física de cada uno de las personas que componen la comunidad de vendedores ambulantes de un sector específico de la ciudad de Pereira-Risaralda.

A esto hay que agregarle que la regulación del espacio público por parte del gobierno, limita muchas veces su uso común, lo que genera una cantidad de dificultades de orden interpersonal, grupal y social; en el derecho al trabajo se encuentra un apoyo para la realización de actividades económicas permitiendo a los ciudadanos procurarse el sustento a través de ventas y otras actividades que les permiten devengar; pero a menudo este se ve vulnerado por disposiciones que les restan oportunidades y es allí donde los efectos nocivos como estrés, ansiedad y excesiva preocupación, generan un impacto negativo en sus vidas y en sus relaciones interpersonales.

En este capítulo se presenta el consolidado de la revisión bibliográfica que consistió en un rastreo de investigaciones sobre el tema, algunas de las categorías que fueron abordadas en la búsqueda fueron: trabajo informal, riesgo psicosocial, vendedor ambulante, Covid-19 y estrés. A partir de esta información se identificaron los estudios para los antecedentes y otros que proporcionaron información importante respecto al apartado metodológico y también teórico.

Con el propósito de desarrollar el tema central acerca del riesgo psicosocial en vendedores ambulantes, fue necesario revisar no solo el concepto de ley y reglamentación, sino las afectaciones sobre la salud, los modelos de prevención del riesgo, así como la identificación situacional de dichas personas.



A continuación, se presentan las categorías en las que se agruparon las investigaciones de manera sistemática, que tienen que ver con aspectos teóricos determinantes para comprender la realidad de los vendedores ambulantes de la región; entre estos se encuentran: riesgos intra e interpersonales, estrés laboral, percepciones de bienestar y tipos de actividades que desempeñan.

Todo esto con motivo de una aproximación al fenómeno basada en los aportes científicos que en esta materia intentan generar transformación social desde la proposición de acciones situadas que beneficien a este sector de la población con: atención, acompañamiento y apoyo institucional.

## **2. MARCO CONCEPTUAL**

Como parte de la arquitectura conceptual que se construye en perspectiva de la problemática a estudiar, conviene significar algunas categorías investigativas que dan cuenta de las relaciones entre distintos factores para la construcción de un modelo de comprensión del riesgo psicosocial en los vendedores ambulantes.

### **2.1 Complicaciones psicológicas**

De por sí las personas que están en aislamiento social, con movilidad restringida y bajo contacto con los demás son vulnerables a presentar complicaciones psiquiátricas que van desde síntomas aislados hasta el desarrollo de un trastorno mental como insomnio, ansiedad, depresión y trastorno por estrés postraumático TEPT. Ya en el contexto de una pandemia es importante tener en consideración la pérdida de funcionamiento que puede acompañar a la enfermedad adquirida, y esto a su vez representarse en desmoralización y desamparo, llegando a configurar un estado de duelo [3].

### **2.2 Pensamientos y emociones**

Debido a la alta contagiosidad del virus y al número cada vez mayor de casos confirmados y muertes en el mundo, las emociones y los pensamientos negativos se extienden amenazando la salud mental de la población. Según la experiencia de epidemias y pandemias pasadas, se conoce que los pacientes y el personal de salud pueden padecer situaciones de miedo a la muerte y presentar sentimientos de soledad, tristeza e irritabilidad [4].

Más allá de los riesgos médicos, el impacto psicológico y social de esta pandemia es indiscutible. Algunas líneas de investigación han trabajado la comprensión de cómo la sociedad define el origen y el impacto de las epidemias y cómo las afrontan, siendo el afrontamiento emocional clave en este proceso.

### **2.3 Falta de recursos económicos**

Una de las características de que se pueden evidenciar durante esta crisis ha sido el cese de las operaciones comerciales y de la economía a nivel global trayendo problemas de desempleo e incertidumbre frente al panorama productivo, es por esta razón que la investigación tiene una visión no solo desde el punto de vista psicológico, si no desde todas las áreas de funcionamiento del ser humano. A medida que la falta de recursos económicos aumenta, el estrés también lo hace, porque se empiezan a generar restricciones en los hábitos de vida. Por esta razón una crisis económica desencadena otra cantidad de sucesos estresantes, como por ejemplo la imposibilidad de usar automóvil, la pérdida de vivienda por incumplir los pagos de la hipoteca, la restricción al acceso a los servicios de salud e incluso carencia de alimentos [5].

### **2.4 La crisis financiera en tiempos de cuarentena**

Las pérdidas financieras pueden ser un problema durante la cuarentena, ya que las personas no pueden trabajar y tienen que interrumpir sus actividades profesionales sin planificación previa; los efectos parecen ser duraderos. En los estudios examinados, las pérdidas financieras resultantes de la cuarentena crearon graves trastornos socioeconómicos y se determinó que eran un factor de riesgo de síntomas de trastornos psicológicos y de ira y ansiedad varios meses después de la cuarentena [6].

## 2.5 La incertidumbre

Dentro del panorama global todavía no se puede hablar de fechas o aproximarse a frente a qué momento la situación empezara a normalizarse es por esta razón que la población puede experimentar mucha incertidumbre. La sensación de incertidumbre aparece como causa de que la mente tiene una sensación de control sobre los acontecimientos del mundo y sobre la rutina, pero cuando se pierde ese control a causa de una situación adversa se pierde la capacidad de estructurar la realidad y de tener control sobre ella [7].

## 3. MÉTODO

Se llevó a cabo una revisión de la literatura sobre riesgo psicosocial en vendedores ambulantes que estuvieran publicadas en bases de datos de libre acceso y privado. Para analizar dicha información se tuvieron en cuenta algunos criterios de la matriz de análisis de contenido como son: tema, teoría, palabras clave, autores, afiliación, país, metodología, variables y análisis.

Las bases de datos que se consultaron fueron Google académico, Redalyc, Scielo, Dialnet y Scopus, así mismo se realizó una búsqueda de antecedentes a través del repositorio de la Biblioteca virtual Rafael García Herreros, de la Corporación Universitaria Minuto de Dios. La elección de los trabajos se realizó teniendo en cuenta que se encontraran publicados durante los últimos 5 años (2018-2022), que hicieran parte de las bases de datos antes mencionadas, que estuvieran completos en su contenido y que la población con la que se hubiera trabajado fuera el de vendedores ambulantes.

Los descriptores utilizados para la búsqueda de la información fueron: riesgo psicosocial, vendedores ambulantes, riesgo en trabajadores informales, riesgo ocupacional en vendedores, *informal job*. Inicialmente, se encontraron 48 artículos que cumplían con los criterios anteriormente establecidos, no obstante, por otros aportes que se realizaron durante el proceso, este número creció hasta 53 fuentes analizadas.

Se procedió al análisis de contenido en uso de una matriz para facilitar la interpretación de la información, la cual se estructuró derivada de la rejilla de antecedentes en donde se sistematizaron los datos correspondientes a cada fuente. Por ser este trabajo derivado de la revisión de la literatura, se ocupará principalmente de revisar el problema y mostrar los resultados que se han realizado en los últimos años.

## 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 4.1 Problemáticas asociadas a los vendedores ambulantes

Los vendedores ambulantes debido a su actividad laboral, se encuentran expuestos a diferentes tipos de peligros que pueden atentar tanto a su integridad física como mental. Este sector es catalogado como un trabajo informal según el proyecto Ley 100, en el cual determina a los vendedores ambulantes como *Los que realizan su labor recorriendo las vías y demás espacios de uso público, sin estacionarse temporal o permanentemente en un lugar específico, utilizando un elemento móvil portátil o su propio cuerpo para transportar las mercancías*. Dada su particularidad nómada de comercio y su calidad de trabajo informal, tanto la sociedad como los mismos vendedores ambulantes han desechado la consideración frente al riesgo de accidentalidad o la posibilidad de contraer enfermedades al ejercer este tipo de labor.

Según Women In Globalized Informal Employment WIEGO, de la proporción del total del empleo informal, generalmente los vendedores ambulantes representan entre el 15% y el 25% en las ciudades africanas, el 10% y el 15% en las ciudades asiáticas, y el 5% y el 10% en las ciudades latinoamericanas; a nivel nacional en la India, el número estimado de vendedores ambulantes excede 3,1 millones, en Brasil alrededor de 2 millones, y en México casi 1,3 millones [8].

Uno de los países donde más se presentan ventas ambulantes es la India, precisamente en las ciudades de Hyderabad, Chennai y Bangalore, donde el 67% de la población presenta des empleabilidad. Aunque estas ciudades tuvieron un importante desarrollo de software y tecnología, ocultaron una población en

condiciones de pobreza extrema, generando escenarios para el comercio y negocios en el espacio público, convirtiéndose en la principal fuente generadora de recursos de las familias más necesitadas.

Por otra parte, dichos mercados informales en la India se presentan desde la década de los noventa, en la cual el gobierno tomó la iniciativa de generar una integración de las ventas informales para que hicieran parte del espacio público, brindándole a los vendedores una actividad legítimamente protegida; por lo cual en 2004 se desarrolló una política nacional que establecía que los vendedores informales pasaran a ser formales. 10 años después, con la ayuda del Ministerio de ley y justicia y sindicatos como el Comité de Ventas Ambulantes Ciudadano CVAC, el cual estaba formado por los trabajadores, se obtuvo un reconocimiento a las ventas ambulantes como entes activos de la economía del país [9].

En lo que respecta a esta situación en Colombia, en un estudio realizado en la Localidad de Chapinero de la ciudad de Bogotá, se expresa que una de las problemáticas sociales con enorme magnitud es la de los vendedores ambulantes, mencionando así distintos acontecimientos desde su nacimiento hasta el desarrollo de este fenómeno, entre los cuales están: la violencia de los años veinte, la depresión económica de los años treinta, el desplazamiento de campesinos como consecuencia del conflicto armado y el aumento de los enfrentamientos de la guerrilla, el estado y grupos familiares [10].

Por otra parte, en este mismo estudio se identificó que en diciembre de 2004 existían 300 vendedores callejeros clasificándose en semi estacionarios (250), ambulantes (46) y estacionarios (4). Para los primeros meses del año 2005 se encontró un incremento de 133 vendedores callejeros teniendo como resultado 433 en total. Dichos resultados demostraron que la modalidad semi estacionarios fue la que presentó mayor incremento. Dada la importancia social que tiene para los habitantes de la ciudad de Bogotá la convivencia con los vendedores, resulta imprescindible abordar esta problemática desde la psicología social, pues conocer las actitudes de los vendedores ambulantes en la zona resulta de gran relevancia para comprender dicho fenómeno.

En la situación global de confinamiento en el hogar debido al brote de Covid-19, la mayoría de las personas están expuestas a una situación estresante sin precedentes de duración desconocida. Esto puede no solo aumentar los niveles de estrés, ansiedad y depresión durante el día, sino también interrumpir el sueño. Es importante destacar que, debido al papel fundamental que desempeña el sueño en la regulación de las emociones, la alteración del sueño puede tener consecuencias directas en el funcionamiento emocional del día siguiente [11] esto en los vendedores ambulantes se ve mayormente debido a que sus ventas se ven disminuidas, porque en la cuarentena las personas evitan comprar su mercancía.

Teniendo en cuenta este último aspecto, cabe destacar que, socialmente hablando, esta relación de convivencia armoniosa entre los vendedores y otros habitantes del sector (en su mayoría, trabajadores formales), sería mucho más fácil de construir si las personas ajenas al modelo laboral ambulante adquirieran el conocimiento y la consciencia suficientes para analizar todos aquellos factores que, muy por fuera del hecho de no registrarse tributariamente como comerciantes, vulneran, afectan incluso amenaza la integridad del vendedor ambulante.

Algunos de estos factores a considerar son: Las largas jornadas laborales de los vendedores, las posturas forzadas mantenidas por largos intervalos de tiempo (lo que, a la larga, puede manifestarse como dolores cervicales y musculares, para aquellos vendedores que requieren en transporte de mercancía pesada u otras labores físicas), el riesgo de deshidratación y la amenaza de desarrollar algún problema de salud debido a la constante exposición a los rayos solares, la dificultad para compartir tiempo de dispersión y descanso con otros miembros de su núcleo familiar que no se desempeñen como vendedores ambulantes (esto debido a que los fines de semana se intensifica su jornada laboral, por lo que abstenerse de descansar esos días en los que el flujo de personas es mayor, sería renunciar a un día económicamente fructífero).

## 4.2 Aportes investigativos

El riesgo psicosocial en trabajadores ambulantes se convierte en un eje de análisis complejo por las características disimiles que pueden presentar las personas en diversos contextos; razón por la cual es

necesario realizar una pesquisa investigativa que dé cuenta de los avances sobre la temática a nivel internacional, pero ante todo a nivel nacional, persiguiendo así concretar una discusión que brinde elementos suficientes como fundamento teórico y metodológico de la propuesta.

En primer lugar, es preciso resaltar los aspectos motivacionales que tienen que ver con la labor del vendedor ambulante, para ello referimos a [12], cuya pretensión principal es la de definir las motivaciones de los vendedores ambulantes y sus compradores. Para ello se realizaron entrevistas a profundidad a 7 vendedores ambulantes y 7 compradores. Dentro de los hallazgos más destacados de este trabajo se encuentran que los vendedores ambulantes se muestran dispuestos a cooperar y brindar información de sus problemáticas más allá de lo que se les pregunta, probablemente esto se da por la necesidad que tienen de sentirse escuchados y apoyados por los órganos competentes. Se encontró que el horario de trabajo depende del flujo de transeúntes, siendo su jornada mayor a 8 horas rutinariamente. En general la sensación que tienen al trabajar de esta forma es positiva, muestran gratitud y comodidad al hacer su labor y algunos no solo se dedican a la venta ambulante, sino que la alternan con otras labores.

Los resultados también apuntan a su situación estratégica, en tanto son conscientes de su servicio al satisfacer necesidades de compradores que no pueden ir a un supermercado por falta de tiempo. También manifiestan opiniones positivas asociadas con la obtención de ingresos, la independencia laboral y la libertad de trabajar a pesar de sus dificultades de salud. Si bien los problemas con la policía, la competencia y la pérdida de sus mercancías son preocupaciones constantes en la vida de estas personas, muestran un interés por cuidarse entre ellos desde la camaradería y la colectivización, que les hace permanecer en solicitud abierta frente a los gobiernos para que apalanquen sus iniciativas de cara a la capacitación, reubicación y tributación.

En curso de estudios cualitativos que contribuyen al estudio de identidad de los trabajadores informales, se encuentra [13], cuya intención fue comprender los sentidos y la identidad laboral de trabajadores informales del área metropolitana, el autor propuso usar un diseño fenomenológico para interpretar las respuestas dadas por los participantes a una entrevista semiestructurada que se realizó tras el diligenciamiento de una ficha sociodemográfica aplicada a 15 personas vendedores informales, 8 de ellos eran hombres y 7 mujeres.

Los resultados muestran que existe una apropiación identitaria de los vendedores ambulantes desde sus labores, no obstante, ellos presentan dificultades para las características propias del entorno; no obstante, las experiencias que viven moldean su personalidad y permite el desarrollo de habilidades. La forma como son vistos los vendedores depende significativamente de la forma de relacionarse con las políticas públicas, a menudo estas son restrictivas y faltas de garantías para ellos lo que genera algunos estigmas sociales que deben ser atendidos. Así mismo, el estudio encontró que esta labor hace parte del proyecto de vida de las personas y de cómo se vislumbran a futuro lo cual repercute en el interés de seguir siendo vendedores y quizá emigrar a la formalidad sin desatender el servicio social y comercial que prestan.

En [14] se empleó un diseño no experimental-transversal con un alcance descriptivo exploratorio. Para la recolección de la información se realizó un tipo de muestreo no probabilístico desde el cual se aplicó la Bateria de instrumentos para la evaluación de riesgos psicosociales del ministerio de protección social y la universidad Javeriana en 2010 a 89 personas; además, contó en su validación con análisis factorial y la estimación del coeficiente de correlación. Los resultados del estudio muestran que los trabajadores informales presentan unas características socioeconómicas que permanecen en el tiempo, las cuales les perjudican en distintos aspectos y son motivo de propuestas estratégicas para mitigarlas. Al menos un 20% de los participantes en el estudio mostró riesgo psicosocial muy alto y se destaca la necesidad de desarrollar habilidades de afrontamiento frente a situaciones estresantes. Por un lado, los ingresos no son suficientes para cubrir sus necesidades y por otro, las problemáticas familiares les afectan en su labor de manera permanente.

Así mismo, se encontró una correspondencia entre los distintos factores de riesgo psicosocial, en especial, entre los factores intralaboral y extralaboral, lo que permite inferir que los programas tendientes a prevenir o mitigar uno de los factores, contribuirá colateralmente en otros factores. En este mismo sentido, el estudio

sobre riesgos psicosociales en empresarios informales [15] tomó por objetivo *realizar un análisis comparativo entre las condiciones socioeconómicas y los riesgos a los cuales están expuestas estas personas*, logrando determinar que los vendedores de este sector tienen largas jornadas laborales e ingresos no constantes, que les afecta en aspectos relacionados con salud y la accidentalidad laboral.

Este tipo de estudios de riesgo amplía la comprensión del impacto que tienen los riesgos psicosociales en las comunidades de trabajadores informales y se propone *caracterizar los riesgos prevalecientes de los vendedores informales*. En el perfil sociodemográfico los investigadores valoraron los riesgos de los trabajadores usando la GTC 45 de 2012 Guía Técnica Colombiana, constatando que se trata de personas con nivel educativo bajo que subsisten con ganancias diarias que muchas veces no son suficientes para cubrir las necesidades propias y familiares, además, las jornadas de aproximadamente 12 horas diarias junto a los riesgos ambientales de ruido y temperatura son los que más les afectan; y dentro de las rutinas laborales monótonas, los participantes mencionaron haber padecido dolores de espalda y piernas. Igualmente, los niveles de estrés son evidentemente altos y reforzados por la poca cultura del autocuidado.

El objetivo en [16] fue *analizar la relación entre los factores de riesgo psicosocial y estrés de los trabajadores informales en la ciudad de Bogotá* y sus resultados se contrastan perfectamente con lo mencionado anteriormente, por cuanto en los hallazgos, los autores mencionan que existe un efecto negativo directo en el desempeño de los trabajadores informales cuando estos atraviesan por situaciones personales y familiares difíciles, generándose un impacto sobre su atención y olvidando aspectos importantes relacionados con su labor. En todas estas investigaciones los hallazgos sugieren una necesidad de generar proyectos de intervención que contribuyan en el bienestar de los trabajadores y para ello es prudente tener en cuenta el círculo de apoyo y la comunicación positiva con aquellas personas que hacen parte de su grupo social inmediato, a fin de mejorar la sensación de aislamiento que se convierte en un riesgo importante a considerar.

En este mismo sentido se muestran los resultados del estudio de la universidad de Cundinamarca [17], en el que se compararon las variables estrés y ansiedad, y se realizó un análisis en perspectiva psicológica cognitivo conductual, que a partir del enfoque cuantitativo con diseño no experimental lograron realizar una toma de información con vendedores ambulantes autorizados y no autorizados, siendo 20 el número por cada uno de esos grupos. Así mismo los instrumentos que se aplicaron fueron el cuestionario de estrés versión 3 que hace parte de la batería de riesgo psicosocial del Ministerio de Protección Social; así como el inventario de Ansiedad Rasgo-Estado.

El equipo de investigación concluyó al respecto que las políticas públicas sobre ventas ambulantes en espacio público aumentan y reducen los niveles de estrés, ante todo cuando las acciones de los órganos de control generan riesgo en las ventas debido a la incautación de mercancía, imposición de multas y desalojo. Un aspecto destacado que presenta el estudio es que los beneficios de trabajar como vendedor ambulante a menudo superan los problemas asociados a los riesgos y a las problemáticas personales que presentan, por lo que se identifica un número considerable de riesgos que no superan las recompensas obtenidas en flexibilidad horaria, ausencia de jefes supervisores e incluso aumento de ingresos.

Como parte de los trabajos que se han realizado respecto a las condiciones de vida de los vendedores ambulantes, en [18] trabajan sobre una propuesta cuantitativa descriptiva que permite establecer que el nivel de escolaridad en este contexto es un aspecto importante para la formalización laboral, lo que implica que la falta de educación se convierte en uno de los principales aspectos que determinan la elección de las personas por la informalidad. En este mismo estudio se muestra que los trabajadores no tienen condiciones dignas de vida al correlacionar las condiciones laborales con las condiciones en que viven y señalan exposiciones agravantes relacionadas con la seguridad social, el rechazo social y el desamparo del Estado.

Por su parte, en [19] abordan otros aspectos que permiten enmarcar en una perspectiva legal administrativa esta discusión; el objetivo general de este trabajo fue *Identificar las condiciones de seguridad laborales y sus efectos en la salud de los vendedores ambulantes*, para conseguirlo, se realizó un análisis documental de 37 artículos sobre el tema, los cuales fueron analizados descriptivamente. Entre los principales hallazgos está el que los vendedores ambulantes no presentan una percepción positiva de los

apoyos gubernamentales hacia ellos, lo que se convierte en una problemática que precisa considerarse para brindar a este sector poblacional asesorías que fortalezcan la comunicación y la participación con el fin de mejorar sus condiciones laborales y familiares. En ese sentido, la crítica sobre el desamparo legal a los vendedores ambulantes permite pensar en la necesidad de reflexionar en la política pública que vele por estas condiciones esenciales.

Para contextualizar estos resultados, en [20] se mencionan los efectos nocivos de la informalidad en perspectiva de la afectación de la clase trabajadora que a su vez genera formas de exclusión. En su trabajo muestra la gran variedad de la venta ambulante y los millones de personas y familias que viven alrededor de esa condición de informalidad, que es muy superior en los países de más bajos recursos. Desde su análisis global de la venta ambulante y, siguiendo a [21], resalta el rol de los migrantes en los países desarrollados, puesto que esa es la principal labor que llevan a cabo para su subsistencia. Desde ese panorama poco alentador, se identifican problemáticas asociadas con el desamparo institucional y la represión policial que se traduce en una oposición a las ventas informales en el espacio público. Así mismo, menciona que las largas jornadas laborales a las que se exponen estos trabajadores les ponen en constante riesgo ante todo porque no cuentan con acceso a la seguridad social.

Al intentar contextualizar estos resultados, en [22] aplicaron el instrumento de la Encuesta Nacional del sector informal diseñada por el Ministerio de la protección social en 2007 a 74 vendedores ambulantes, y pudieron determinar que *el ruido, las altas temperaturas, el calor, el frío y los riesgos de tránsito, psicosocial y biomecánico, representaron los mayores riesgos a los cuales están expuestas estas personas*. Resulta interesante en los hallazgos de este trabajo que las condiciones de salud y de trabajo son deficientes y constatan lo que otros autores han evidenciado como parte de preocupación por su calidad de vida, lo que supone un reto social que debe atenderse de manera multisectorial.

Al referir la necesidad de intervenir ante las problemáticas de esta población, es necesario reflexionar en iniciativas que vinculen la política pública con la intervención comunitaria, y al respecto se muestra el trabajo de la Corporación Universitaria Minuto de Dios [23], cuyo propósito principal fue *diseñar un programa de capacitación para mejorar las condiciones de seguridad y salud en el trabajo de vendedores ambulantes de alimentos* y en cumplimiento del mismo llegaron a considerar que tanto las condiciones de trabajo como factores externos repercuten negativamente en la salud física y psicológica de los vendedores.

Siendo este un trabajo cualitativo interpretativo, partió de la aplicación de un cuestionario y una lista de verificación a 21 vendedores y permitiendo así identificar que las familias a las que ellos pertenecen tienen un número de integrantes de entre 3 a 5 personas y con un promedio de 4 hijos. Además encontraron que en su mayoría se trata de madres solteras con una media de 25 años de edad y nivel educativo de primaria y secundaria. Se encontró que a pesar de estar afiliadas al Sistema de Identificación de Potenciales Beneficiarios de Programas Sociales SISBEN, que no cuentan con afiliaciones pensionales ni riesgos laborales. Los principales riesgos son el físico respecto a altas temperaturas, y en segunda instancia los riesgos psicosociales y biológicos.

Como parte de los trabajos de especialización de la misma institución [24], en el año de la pandemia por Covid-19 realizan un trabajo para describir las condiciones laborales y sus efectos en la salud de los vendedores ambulantes en Colombia, persiguiendo identificar las condiciones laborales y sus efectos en la salud de los vendedores ambulantes, y para esto aplicaron un checklist y entrevistas a 5 vendedores para una adecuada estructuración de una matriz de peligros de la que desprendió lo siguiente:

Aunque los vendedores ambulantes pueden acceder a algunos beneficios que pueden brindar algunos entes públicos, no existe una reglamentación general que regule su labor. Por lo tanto, las características pueden variar de una región a otra, así como los aspectos de vulnerabilidad que presentan; uno de ellos es la falta de capacitación recibida para el desarrollo de habilidades comunicativas y participativas que les benefician. Desde aquí surge la necesidad de planear e implementar estrategias con un alcance local y también intersectorial desde donde se pueda alcanzar un sistema integrado de gestión con resultados positivos, puesto que no se debe olvidar que esta comunidad representa una importante fuerza de empleo y hace parte de la activación económica.

Otros estudios muestran el impacto de los riesgos psicosociales con un énfasis en el estrés, como es el caso de [25], cuyo objetivo fue *Analizar la relación entre los factores de riesgo psicosociales y estrés en los trabajadores informales en la ciudad de Bogotá*. El método propuesto fue descriptivo correlacional con un muestreo representativo de 350 personas vendedoras ambulantes de la localidad de Suba a las que se les aplicó una versión modificada de la ya citada Batería de Riesgo Psicosocial.

Entre los principales hallazgos se encontró que hay aspectos internos y externos que generan riesgo alto en la realización de las labores económicas de los vendedores. Se evidenció también por las variables sociodemográficas que estas personas pertenecen a la clase media en su mayoría, y respecto a las dimensiones internas, tomadas por los autores como más determinantes, los aspectos que destacan son: demandas esfuerzo físico, jornadas del trabajo, influencia del trabajo entorno al exterior, control de autonomía y relaciones sociales en el trabajo.

También, respecto al conflicto que pueden presentar muchos de ellos entre familia y trabajo, las autoras mencionan que:

*Los factores extralaborales muestran que las situaciones familiares, personales y el entorno social afectan directamente al trabajador informal debido a que este tipo de trabajo es más permeable y susceptible al cambio ocasionado en cualquier eje que integre su funcionalidad, los cambios generan un impacto directo pues llegan al colaborador de manera inmediata y no existe un filtro o ente regulador organizacional que lo amortigüe.*

En tal sentido, los efectos negativos del estrés, también se suman a los riesgos hasta aquí mencionados, puesto que causan dolencias y malestares tales como cefaleas, dificultades estomacales, así como musculares. Por otro lado, las rutinas de trabajo se informan entre 6 y 8 horas lo que se compara con la jornada del trabajo formal en Colombia, lo que conlleva a una discusión explicativa del fenómeno desde los aportes de algunos autores [26], se distingue entre el dualismo que tipifica a los vendedores ambulantes como parte de una clase inferior. El autor reflexiona sobre el modelo estructural que fortalece la idea de la consecución de mano de obra económica ante la amplia demanda y oferta de las grandes empresas. El modelo reconoce el trabajo ambulante como una forma de resistir los costos del empresariado, y finalmente, estos tres modelos se integran en una postura en la que convergen sus tesis centrales respecto al fenómeno de estudio.

En [27] se propusieron determinar el riesgo ergonómico al que están expuestos los trabajadores informales, del centro de esa ciudad, y para ello se realizó un estudio cuantitativo, descriptivo, transversal. Participaron 98 hombres y mujeres ocupados en actividades de comercio, elegidos mediante un muestreo aleatorio simple. Se aplicó la Encuesta Nacional de Condiciones de Salud y Trabajo del Comercio Informal del Ministerio de la Protección Social, con previa firma del consentimiento informado.

Toda la información se realizó a través del programa Stata 14 para lograr describir a los participantes desde sus características sociodemográficas, las condiciones de salud y las condiciones laborales relacionadas con el riesgo ergonómico. Lo que se halló fue que estos vendedores están expuestos a riesgos asociados a movimientos y posturas, levantamiento de pesos y jornadas laborales que pueden conllevar a trastornos musculoesqueléticos. De igual forma, se evidenció que el 50% de los trabajadores refieren que sus lugares de trabajo tienen una planta física deteriorada, lo que hace necesario que se *psicoeduce* en condiciones mínimas para la realización de su labor.

Respaldando estos resultados, en [28] se propusieron asociar los riesgos psicosociales con las características sociodemográficas y para ello, se fundamentaron en un estudio cualitativo descriptivo en el que trabajaron con 117 vendedores ambulantes a los que se les aplicó un cuestionario de caracterización de vendedores ambulantes diseñado en colaboración con el observatorio de políticas públicas de la universidad ICESI. El estudio da a conocer aspectos poco visibles como la falta de oportunidades para esta población, así como la falta de educación y de apoyo del gobierno.

Razones todas estas que fortalecen el trabajo ambulante en consideración de la satisfacción de necesidades básicas. La informalidad laboral no está asegurando el sustento para las familias de los trabajadores y es así como se requiere de una medida que aporte económicamente como complemento a la calidad de vida

de estos colombianos, puesto que sus circunstancias de riesgo psicosocial influyen negativamente en el bienestar social.

En un estudio con objetivos similares [29] se aplicó una entrevista a 54 comerciantes informales haciendo un muestreo aleatorio y resaltaron aspectos importantes de la población como el nivel académico y su forma de desempeñarse como comerciante en perspectiva del espacio público. De allí se concluyó que estos vendedores tienen rutinas estacionarias y se agrupan de ciertas formas generando tensiones y exposición a altos niveles de contaminación auditiva y visual.

De los participantes el 78% son hombres en una media de edad de 39 años. Las construcciones para los vendedores son del tipo casetas y chazas mientras que los ambulantes usan triciclos y carretas. También se informa en este trabajo que mayormente las actividades tienen que ver con las ventas de frutas, verduras y bebidas refrescantes, así como mercancías, celulares, periódicos y cigarrillos.

Respecto a la dimensión salud que se repite como criterio de análisis en muchos de los antecedentes consultados, [30] presenta, desde una lógica cuantitativa transversal, los resultados articulados al propósito fundamental del estudio de identificar las condiciones de Seguridad y Salud en el trabajo de los trabajadores informales que laboran en un centro comercial de la ciudad de Bogotá [30]. Se halló que los trabajadores informales del centro comercial de Fontibón para la época en la que se realizó el estudio se encontraban en un rango de edad entre 18 y 45 años, mayormente en un nivel educativo de bachillerato y pertenecientes a estratos 2 y 3.

Se trata de trabajadores que en muchos casos aceptan múltiples trabajos y muestran desconocimiento sobre legislación laboral y salud en el trabajo. Esta población no contaba con condiciones de seguridad y salud laboral a pesar de que ellos las conciben como apropiadas, no obstante, se percibe la falta de afiliación al sistema de seguridad social y la informalidad contractual que les puede generar sanciones legales.

Algunas de las condiciones ambientales que enfrentan estos trabajadores son el exceso de ruido del centro comercial, iluminación inadecuada por falta de mantenimiento a lámparas y bombillas y cambios fuertes de temperatura por exceso de aire en el primer nivel y falta de ventilación en el segundo piso. No se presentan graves problemas de salud en los trabajadores, lo que no implica que estas dejen de desarrollarse, teniendo en cuenta que al no contar con un sistema médico vigente se hace difícil hacer seguimiento a las condiciones de salud de los trabajadores.

## 5. CONCLUSIONES

El análisis realizado en este trabajo revela que los estudiantes de ingeniería, a pesar de poseer entrenamiento formal en lógica matemática, frecuentemente aplican un razonamiento pragmático para resolver problemas. La preferencia por este razonamiento plantea ciertas preocupaciones acerca de su capacidad para tomar buenas decisiones en la vida laboral. Debido a que en el razonamiento cotidiano de estos profesionales se requiere estrictos requisitos lógicos, los contenidos curriculares se deberían estructurar con el objetivo de desarrollar en ellos una lógica diferenciadora, porque en las decisiones profesionales de ingeniería es necesario respetar una serie de reglas lógicas.

La necesidad del razonamiento lógico en la vida profesional de los ingenieros lleva a la conclusión de que en sus procesos formativos se debe enfatizar en la lógica y el pensamiento sistemático. Los ingenieros deben ser capaces de seleccionar adecuadamente un razonamiento lógico para cada situación, y de alternar entre el razonamiento cotidiano, el formal y riguroso, y la solución creativa y heurística de los problemas.

Por todo esto es necesario potencializar en ellos una buena capacidad para reflexionar acerca de las funciones cognitivas y de las habilidades meta-cognitivas. Por lo tanto, el objetivo de desarrollar la capacidad lógico-interpretativa y abstractiva necesita ser abordado explícitamente en los planes de estudios.

Este análisis también indica que el lenguaje afecta más de lo esperado la capacidad de razonamiento lógico formal de los ingenieros. El resultado sugiere que el lenguaje, como medio de estudio, tiene un efecto más



fuerte en el aprendizaje de la ciencia y la ingeniería de lo que se cree comúnmente. Si este hallazgo se confirma con estudios posteriores se deberá prestar mayor atención a la forma como se capacita en lectura y escritura en general. Sin embargo, se necesita más estudios para confirmar y explicar en qué medida las influencias lingüísticas influyen el desarrollo del razonamiento lógico.

La lógica y el razonamiento lógico son importantes en la formación y el desarrollo profesional de los ingenieros. En ninguna otra área del conocimiento es tan necesaria este tipo de formación, porque a través de su adecuado desarrollo serán capaces de ampliar la gama de cosas que conocen y comprenden, de propiciar el auto conocimiento, de comprender los problemas y de presentar soluciones eficientes y eficaces.

Por lo tanto, los sistemas educativos y los programas curriculares deberán darle la importancia que se merecen estas áreas, e incluirlas relacionadamente en los currículos.

De esta manera será posible que los futuros ingenieros puedan resolver adecuadamente los complicados problemas de la sociedad del siglo XXI en el nuevo orden mundial.

## REFERENCIAS

- [1] DANE. (2021). Censo Nacional de Población y Vivienda-CNPV-2018. Microdatos anonimizados.
- [2] Duarte K. et al. (2021). Consecuencias del trabajo informal durante la pandemia del Covid-19 en la ciudad de Ibagué. Trabajo de grado. Universidad EAN.
- [3] Ramírez J. et al. (2020). Efectos del aislamiento social en el sueño durante la pandemia COVID-19. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica* 37(4), 134-145.
- [4] Apaza C. et al. (2020). Factores psicosociales durante el confinamiento por el Covid-19-Perú. *Revista Venezolana de Gerencia* 25(90), 402-413.
- [5] Marcos A. et al. (2013). Crisis económica y crisis del Estado de Bienestar: El papel del derecho administrativo. Reus.
- [6] Brooks S. et al. (2020). El impacto psicológico de la cuarentena y cómo reducirla: Revisión rápida de las pruebas. *Lancet* 395, 912-920.
- [7] Orejuela J. et al. (2020). Reimaginar el futuro pospandemia. Editorial USC.
- [8] Esquivel V. (2010). The informal economy in greater Buenos Aires: A statistical profile. WIEGO.
- [9] Correa D. (2015). ¿Qué sucede con los vendedores ambulantes en la India? *El Espectador*.
- [10] Borja H. et al. (2008). Actitudes del vendedor ambulante de la localidad de Chapinero frente a sus condiciones laborales y políticas. *Diversitas: Perspectivas en psicología* 4(2), 279-290.
- [11] Altena E. et al. (2020). Tratar los problemas del sueño durante el confinamiento en el hogar debido al brote de COVID-19: Recomendaciones prácticas de un grupo de trabajo de la Academia Europea CBT-I. *Revista de investigación del sueño* 29 (4), e13052.
- [12] Moncada C. y Ordóñez L. (2018). Prácticas de ventas informales en Bogotá: Significado y motivaciones para vendedores y compradores. *Disertación Doctoral. Universidad Externado de Colombia.*
- [13] Calderón C. (2020). Construcción de sentido e identidad laboral en trabajadores del sector informal: Vendedores ambulantes del área metropolitana de Bucaramanga. Trabajo de grado. Universidad Autónoma de Bucaramanga.
- [14] Alvarado A. y Arango A. (2021). Factores de riesgo psicosocial en trabajadores informales de la plaza de mercado del Municipio de Facatativá. Trabajo de grado. Universidad de Cundinamarca.
- [15] Rodríguez P. y Vera Y. (2020). Diagnóstico de las condiciones de seguridad y salud en el trabajo de los vendedores informales de Cúcuta. Trabajo de grado. Universidad Libre.
- [16] Tafur V. et al. (2019). Riesgos psicosociales y estrés en trabajadores informales en la ciudad de Bogotá. Trabajo de grado. Universidad Santo Tomás, Bogotá.
- [17] Rodríguez D. et al. (2018). Análisis comparativo de los niveles de ansiedad y estrés entre vendedores autorizados y no autorizados del municipio de Mosquera. Trabajo de grado. Universidad de Cundinamarca.
- [18] Macías C. et al. (2019). Condiciones de vida y de trabajo de los venteros ambulantes informales del corredor vial Ayacucho en la zona centro de la ciudad de Medellín. *Revista CIES Escolme* 10(2), 51-66.
- [19] Alfonso N. et al. (2021). Condiciones de seguridad y efectos sobre la salud para vendedores ambulantes en Colombia. Trabajo de grado. Corporación Universitaria Minuto de Dios.
- [20] Martínez G. (2017). La participación del empleo informal en la estructura del mercado laboral en Tunja departamento de Boyacá 2007-2010-2014. Trabajo de grado. Universidad Santo Tomás.
- [21] Grabis J. (2015). Precariedad laboral, exclusión social y economía popular. In *Sustainable Humanity, Sustainable Nature: Our Responsibility* (pp. 1-56). Vaticano.

- [22] Álvarez K. et al. (2020). Condiciones de trabajo y salud de los vendedores ambulantes de la Plaza de Cayzedo de Cali. En Ordóñez E. y Velasco K. (eds.), *Salud y educación: Horizontes y retos investigativos contemporáneos* (pp. 35-56). Editorial Universidad Santiago de Cali.
- [23] Niño A. et al. (2020). Diseño programa capacitación en seguridad y salud en el trabajo para vendedores ambulantes de alimentos preparados en el barrio Minuto de Dios. Trabajo de grado. Corporación Universitaria Minuto de Dios.
- [24] Linares M. y López I. (2020). Descripción de las condiciones laborales y sus efectos en la salud de los vendedores ambulantes en Colombia. Trabajo de grado. Corporación Universitaria Minuto de Dios.
- [25] Gómez N. et al. (2019). Riesgos psicosociales y estrés en trabajadores informales en la ciudad de Bogotá. Trabajo de grado. Universidad Santo Tomás.
- [26] Ferreira M. (2014). Las nociones de trabajo informal y trabajo precario en el análisis de la calidad del empleo en Colombia. *Revista Lebre* 6, 29-58.
- [27] Hernández P. et al. (2021). Riesgo ergonómico en trabajadores informales de la zona céntrica de la ciudad de Cali, Valle. *Movimiento Científico* 15(1), 78-89.
- [28] Pinzón L. (2020). Caracterización de los vendedores ambulantes que laboran entre la cll. 35 con cra. 15 hasta la cra. 17 del área metropolitana de Bucaramanga. Trabajo de grado. Universidad Cooperativa de Colombia.
- [29] Cabrales A. (2018) Caracterización de las causas asociadas a la problemática de invasión del espacio público en el centro de Montería. Universidad Pontificia Javeriana.
- [30] Farieta P. et al. (2017). Condiciones de seguridad y salud en el trabajo de los trabajadores informales que laboran en un centro comercial de la ciudad de Bogotá, durante los meses de septiembre y octubre de 2017. Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana.

# Metaproblema: Ejercicio transdisciplinar de reflexión para la iniciación en la investigación científica

Joaquín Pegueros<sup>1</sup>  
*Escuela Normal Miguel Hidalgo*  
México

El problema con que parte todo proyecto de investigación científica se enmarca en una comunidad que mantiene ideas comunes e identifica significados y convenciones en un campo de conocimiento. A partir de utilizar el término más generalizado, y construido de las convenciones históricas, que es la definición de realidad, toda proyección a resolver adquiere validez y justificación. La ciencia como institución fundamenta sus criterios universales como prescripciones en modo paradigmático, modelos construidos convencionalmente, y cada modelo pauta los dominios de comprensión o recopilación de conocimiento referido y enmarcado, que puede tomarse acríticamente y abordar solo problemas visibles para los especialistas y dejar por fuera otros globales invisibles, no siempre de lo real, que corresponden a epistemológicas, en parte, de la tradición e interpretación que la mediación del lenguaje, por determinaciones históricas y otras propiamente humanas, como lo biológico o neuropsicológico. Desde esta perspectiva se plantea que la ciencia misma puede no ser exenta de áreas inconscientes y, a partir del posicionamiento de la Era Moderna, la ciencia pudo abordar y resolver problemas singulares con específica cualidad, y desplazar otros.

---

<sup>1</sup> Licenciado en Filosofía, Licenciado en Pedagogía, Magíster en Educación superior, Magíster en Psicoanálisis y Doctor en Pensamiento Complejo.  
Contacto: [joaquinpesa@hotmail.com](mailto:joaquinpesa@hotmail.com)

## 1. INTRODUCCIÓN

El contenido de este corto escrito ofrece un ejercicio de filosofía de la ciencia, una breve visión de historia, de formas e implicaciones en el planteamiento de problema con lo que protocolariamente noveles profesionistas nos iniciamos en la investigación científica. Se esboza aquí una serie de reflexiones en que se comprenden las determinaciones del propio observador como introspección para dimensionar realidad y problemas que investigador se plantea y que son útiles en la formación o iniciación de universitarios que para obtener su título profesional realizan investigación que, aunque se ha dedicado para áreas de ciencias humanas y sociales donde se emplean más métodos interpretativos, hay aportes para otros campos.

Se ofrecen son reflexiones para nuevas generaciones de profesionales en iniciación al trabajo científico, la posibilidad de haber en los planteamientos incompletitud en contemplar dimensiones de tejido epistemológico complejo. Los planteamientos problemáticos se enmarcan y delimitan desde dentro de una disciplina, con elementos de un programa de actos en los procesos protocolarios desde presupuestos, hipótesis, metodologías, referentes que, tomados en forma de obviedad y por consecuencia, conllevan un tanto de posición acrítica, e incluso puede haber problemas invisibles solo advertidos al colocarnos desde el exterior de la actividad científica que demanda una parte meta cognitiva. Y a esto nos aproximamos.

El producto y efecto de la ciencia no es exento de atributos de los problemas propios y singulares de nuestra era puede guardar como causa causante en parte una visión enmarcada en la noción de realidad en que se originó; en su autovaloración más general se delimita en la auto atribución de ser civilizados en una etapa histórica singular. Así pues, en esta breve exposición se concibe que los contenidos, la profundidad de planteamientos de investigación, los marcos teóricos referenciales y hasta las mismas hipótesis en alguna forma y en alguna parte encierra implicaciones modernas de pensar y asumir la *realidad de nuestra era y referencia específica* en que se recomienda para el novel investigador iniciar sus reflexiones cuando opera y delimita sus problemas evitando cierto grado de postura acrítica al contemplar desde fuera de su área de conocimiento.

El planteamiento de un problema con que se inicia todo proyecto de investigación científica es un problema que se enmarca en una comunidad que guarda ideas comunes e identifica significados, convenciones en un área de conocimiento la plataforma que le respalda o brinda solidez, generalmente los planteamientos se erigen desde preceptos o presupuestos como constructos históricos, por ejemplo, el más relevante en que encierra las convenciones científicas es el término *realidad*. Desde ahí cobra verdad y justificación todo planteamiento a resolver, de manera que la herencia y las mediaciones de lenguaje al interior en la dimensión fáctica se convierte en determinaciones para el novel observador (investigador).

Es esto lo que se da seguimiento como problema de estudio aquí y ahora, es la naturaleza misma en que se hacen algunos planteamientos como problema en la práctica de producción científica, lo que hemos propuesto conceptualizar como metaproblema. Esto se considera un ejercicio transdisciplinario y óptica crítico-filosófica por un esfuerzo de ver desde fuera a las áreas disciplinarias como instancia desde donde se plantean o determinan los problemas de investigación, para lo cual, se emplea en parte un aporte como recurso del método histórico en tanto es preciso colocar como una etapa en el pasaje histórico del inmensurable proceso evolutivo del pensamiento mismo.

Además, por la naturaleza filosófica se implica un carácter crítico en el sentido y aporte Kantiano que aproxima a cuestionar en qué está volcada la atención, qué valores están en juego, qué produce y cómo altera o guarda simbiosis el hombre de esta era de pensamiento científico con su mundo o realidad fenoménica y posible; coloca cara a cara su identidad misma del hombre en esta etapa de su historia en contraste con otras etapas pasadas y posibles futuros; aproxima a ver desde fuera al pensamiento disciplinar-científico, en un segmento entre dogma y escepticismo. Y con esto, se extiende a integrar otro recurso teórico metodológico, esto es, los aportes conceptuales del inconsciente en que la reflexión se nutre para plantear que la practica científica puede guardar parte inconsciente en su seno.

En este tipo de abordaje de amplitud panorámica sistémica sugiere comprender que no puede tenerse, una realidad, esto es, su conocimiento o descripción y los planteamientos problemáticos de ello, fuera de sus

determinaciones potenciales. Son considerados elementos determinables en la lectura de realidad contenidos y enfoques ya históricas, ya biológicas, ya culturales como dialogo entre saberes que le colocan en una etapa de la evolución histórica en las formas de pensar o concepciones de realidad. Incluir estos saberes que aquí se presentan y en tanto se concluyen planteamientos por encima de datos específicos quedando en serie de reflexiones y propuestas hipotéticas más allá de los propios contenidos, es por lo que se ofrece considerar como ejercicio transdisciplinario. De esta manera se plantea como meta problema a los abordajes o formas de los planteamientos de problema en la práctica inicial científica para así abrir otro ciclo reflexivo.

## 2. ELEMENTOS CRÍTICOS DE APERTURA A LA REFLEXIÓN

### 2.1 Planteamiento de un problema de investigación: ¿desde lo real o desde lo consensual?

Todo proyecto de investigación científica se inicia protocolariamente con el planteamiento de un problema, y un problema científico siempre se concibe como un vacío en el conocimiento que guarda al interior de su agencia u sistema, algo azaroso, incapacidad de medición o dominio, dificultad de control; algo que no se explica desde su acervo. Por esto, lo que subyace a los planteamientos con que inicia y se orienta una investigación son preguntas: ¿por qué? ¿En qué medida? ¿Hasta dónde? ¿Qué causa, de qué manera? Más, desde su planteamiento hasta la orientación a la resolución de un problema se enmarca en una comunidad que guarda ideas comunes e identifica significados y convenciones en un campo de conocimiento.

La forma operativa para plantear un problema y la orientación a soluciones es como lo planteaba Peirce, *recurrir a consensos y modelos explicativos convencionalmente contruidos*, lo cual ofrece como una epistemología social de la ciencia o teoría consensual de la verdad. Esto es, se trata de que la opinión está predestinada a ser reconocida por todos los que investigan para lo que se entiende por verdad, y el objeto que representa como real. Dato que en texto Edgar Serna escribe en estos términos:

*Aunque a menudo se lee en el sentido de que verdad es aquello en lo que converge a largo plazo la comunidad de investigadores, esta noción se puede interpretar más precisamente como que la verdad (y lo real) depende del acuerdo de la comunidad de investigadores, o que es el efecto de lo real que surgirá de la aceptación de los productos finales por parte de ellos [1].*

En esto referente a convenciones también lo tenemos entre varias afirmaciones en este ejemplo, Poncairé escribe: *nuestra geometría no es más que una especie de convención de lenguaje* [2]. Por esto un planteamiento tiene su valor y criterios de verdad desde una plataforma que le respalde o brinde solidez, esto es, en consenso o comunidad, un área de conocimiento y una época específicos. Pero la mayor de las convenciones en que se sostienen los modelos, los acervos y en general la producción científica, se encuentra en principios históricos que marca sus propias fronteras, corresponde al presupuesto de la *realidad* como un tipo de experiencia general que subyace sólida, universal y objetiva; común a todo campo específico de conocimiento. Supuesto que ofrece como lectura de lo *real*/solamente una forma material, el concepto mismo de *realidad*, fundado en un principio adoptado por la filosofía empirista cuyo criterio senso-perceptible pone por tanto frontera a referencias o elementos metafísicos.

Desde estas prescripciones el consenso asiente qué es válido y qué no; qué es y qué no es, qué cobra lugar en lo real o qué es utópico. (Lo determinado está en concepción convenida de realidad). Desde aquí cobra verdad y justificación todo planteamiento como problema de investigación a resolver, y entran en conflicto sí salen del concepto definido de *realidad*. Entonces, en la práctica de la producción de saber que la comunidad de especialistas en un área de conocimiento presupone un dominio de conceptos, códigos e indicadores desde donde dan medida las explicaciones de un campo de la *realidad*. De forma paradigmática las realizaciones científicas relatadas, por los libros de texto científicos menciona Thomas Kuhn *Exponen el cuerpo de la teoría aceptada, ilustran muchas o todas sus aplicaciones apropiadas y comparan éstas con experimentos y observaciones de condición ejemplar* [2], y extiende con datos históricos con estas palabras:

*... muchos de los libros clásicos famosos de ciencia desempeñaban una función similar. La Física de Aristóteles, el Almagesto de Tolomeo, los Principios y la óptica de Newton, la Electricidad de Franklin, la Química de Lavoisier y la Geología de Lyell —estas y muchas otras obras sirvieron implícitamente, durante cierto tiempo, para definir los problemas y métodos legítimos de un campo de la investigación para generaciones sucesivas de científicos [2].*

Ese dominio conceptual son prescripciones y elementos decisivos en los referentes desde donde pueden hacerse los planteamientos de problemas, orientación de objetivos e incluso para decidir qué planteamientos hipotéticos pueden ser considerados y cuales no para su estudio.

Desde la afirmación de que un problema es de alguna forma y grado determinado por el sujeto que investiga; lo que plantea o asume como problema en tanto que le significa, porque está inmerso en esa cultura, como escribió Erwin Schrödinger *toda ciencia está en estrecha relación con la cultura humana en general y que los descubrimientos científicos... no tienen sentido fuera de su concepto cultural* [3]. Se necesita una ciencia que no sea un sistema cerrado sin contemplan las necesidades sociales y fines de humanidad universal, es indispensable considerar que:

*Una ciencia teórica no consciente de que aquellas de sus construcciones consideradas relevantes y transcendentales están eventualmente destinadas a ser enmarcadas en conceptos y palabras, que tienen sentido para una comunidad educada y de convertirse en parte y parcela de una imagen general del mundo* [4].

Los elementos para plantear, dimensionar o dar seguimiento a un problema en dicho marco nos lo ofrece *la ciencia normal* [2]. Y solo dicha comunidad educada en ello garantizan el tratamiento a los problemas de investigación, para esto también puede apoyar las siguientes palabras

*En la clase disciplinaria de problemas, tales elementos son establecidos por el especialista, el único que conoce el origen del problema y entiende los términos en los cuales es formulado. Así, los especialistas son los únicos responsables de resolver problemas debido a su pericia* [5].

Pero esta parte específica es conveniente entenderlo no como postura crítica, sino parte de lo descriptivo como datos para articular elementos determinables que han marcado destino en la historia del pensamiento científico y en la sociedad con características propias de pensar, marcando una época sí se sigue el enfoque histórico que teje este documento, ofreciendo encontrar indicadores que ponen de manifiesto en parte cómo es que se han erigido las concepciones desde la tradición, incluso posturas extremas pero latentes que plantean:

*La ciencia debería ser la ocupación de comunidades de hombres que viven al margen de materias mundanas. La comunidad científica ideal debería por tanto verse protegida de las presiones, necesidades y exigencias de la sociedad. El progreso científico debería ser un proceso esencialmente independiente, al cual perturbarían o retrasarían todas las influencias externas, todo interés que surgiera de la participación del científico en otras actividades culturales, sociales o económicas* [4].

Con un tanto que se vive esto y sin perder el planteamiento inicial, los problemas parecen ser planteados desde ese tipo de consensos y en el lenguaje en que la *realidad* es expuesta mediada por una conceptualización en el seno de sociedades de especialistas a través de los signos como dijera Paul Ricoeur *se afirma así la condición originalmente lingüística de toda experiencia humana* [6].

Y ahora, el planteamiento de un problema en el marco de validez presenta que solo un consenso o un sujeto involucrado es capaz de asumir la concepción de *realidad* propia que deriva de la conceptualización en juego; los signos de ecuación o gráficos que representan a lo real vehiculan el entendimiento; el conocimiento solo puede ser significativo o asimilado en la medida que están asociadas a un cuerpo de códigos que ya sea conocido anteriormente, y dicho significado es validado sí guarda el criterio de lo prescrito como *ciencia aceptada o normal* que ya anticipadamente lo referimos a Kuhn.

Lo dicho conduce a entender que un planteamiento problemático es problema para quien lo alberga como tal (no solo un sujeto, sino un sujeto cultural histórico, pueblo o sociedad); está internada en el hombre y no en una realidad fuera y autónoma. Llevemos esto a dimensión de las observaciones empíricas (aunque solo de inicio para movernos un tanto en la lectura de tradición y llegar a la idea general) pero este ejercicio es más próximo a comprender la *objetividad entre paréntesis* [7], en este afán ilustrativo el fenómeno que se sugiere como ejemplo y siguiendo este planteamiento filosófico de lo *real*, es el calentamiento global por alcance a ámbito mundial y actualidad.

Como problema, no se agota en el ámbito de la realidad óptica, en ámbito de substancia material, en lo que se hace manifiesto por los sentidos, sino lo que le trae o le significa al hombre que sabe lo que representa

en consecuencia, no es un problema para el que no sabe, para quien no advierte sus dimensiones o la gravedad del fenómeno, tampoco para quien le rebasa con problemas más directos y profundos. Convocando a imaginación ¿qué sentido o significado puede tener el calentamiento global para quien esta en cuenta de sus días ante una enfermedad terminal? O para quienes la inseguridad, violencia social, guerra, hambre tienen presencia palpable, a piel sensible de amenaza mortal. Por tanto, la medida de un problema es para quien es sensible en la forma y grado que le significa; los círculos de consensos, o las áreas disciplinares pueden solo ver como problema aquello en lo que están y les significa, en una comunidad y época específica.

En astrofísica como también en la mecánica cuántica, se tocan antinomia de materia, la no materia solo puede verla el que cree en el modelo y que conoce la tecnología que medida, entre el hombre que la estudia y la realidad que él está convencido estudiar. De aquí que hay que marcar no solo la diferencia en niveles de realidad, sino niveles de percepción como lo propuso Nicolescu [8].

Tenemos entonces que, un planteamiento problemático en un área de conocimiento científico pasa por un consenso, en una comunidad de especialistas que dimensiona, calibra o cumple una función de filtro que *puede no verse como problema* desde otra percepción a superficie de literatura científica u otra etapa del pensamiento. Sí un planteamiento de problema en una investigación es permeado acervo de saber y por tanto en el lenguaje, esto nos coloca a *plantear como problema al problema desde el que inicia un planteamiento de investigación, enmarcada en un consenso, área disciplinar, tiempo o modelo teórico*.

A esto entonces se puede inferir y de ahí esbozar este análisis que tanto o en que forma el planteamiento de un problema se encuentra encriptado en el sentido, en la significación, en síntesis, en lo que *representa lo real*, y por esto se asume en este trabajo que el problema de alguna investigación puede no estar basada en lo real ontológicamente hablando, sino en lo epistemológico; internada en el hombre y no en una realidad fuera y autónoma. Se advierte en torno a la idea que es problema para quien lo alberga como problema no solo como un sujeto singular, sino en el sentido de un sujeto cultural histórico, pueblo o sociedad y desde todo esto y lo anticipado se ofrece enunciar como meta problema. Para tratarlo ahora se presenta continuar con un análisis correspondiente a los marcos de referencia en la dimensión fáctica que del tema guarda implicaciones.

## 2.2 Implicaciones teórico-conceptuales por mediación del lenguaje

En este marco de problemas o proximidad meta problemática por ser parte central de epistemología de la ciencia el lenguaje como mediación, se emprendió el proyectó en la ciencia del siglo XX, con ideal una depuración de lenguaje que se creyó como el ideal evolucionado de la ciencia por los integrantes del círculo de Viena *como principio idealizante fundamental posibilitador de la unidad semántica del lenguaje de la ciencia, propongo el principio empirista de la reducción de los términos del lenguaje a términos de lenguaje ordinario que refiere a predicados observables de objetos físico* [8]. Puede ilustrar un poco más una de las afirmaciones concretas de Carnap [8], que *concibió ese proyecto de unidad bajo la forma de un análisis lógico-sintáctico de las condiciones que hacen posible la construcción de lenguajes* [9].

Sin embargo, estos mismos ideales quedaron rebasados por los hallazgos mismos de la ciencia, como lo es el orden de lo cuántico o la astrofísica, en el que el objeto de conocimiento supera dimensiones senso-perceptibles, el empirismo como criterio de validez y elemento estructural que formó parte de la ciencia moderna se presenta entonces insuficiente:

*La realidad empírica no se nos ofrece en ningún momento de manera directa, limpia; más bien se trata de un enunciado nuestro, supuestamente descriptivo de la realidad. La contrastación con fines de corroborar o refutar nuestra hipótesis no es una contrastación ente enunciado y realidad, sino de un enunciado con otro enunciado* [10].

Este problema epistemológico de la *experiencia* se presenta ya insuficiente pero inevitable en el conocimiento científico, el paso que sostiene a lo empírico como necesidad de validez ahora para las dimensiones de *realidad* macro cósmica y micro cósmica se resuelve desde modelos, (validados por lo convencional como los problemas que son y solo puede ver el que lo conoce o si hay el consenso), pues lo

*real* es mediado por los modelos, signos, símbolos convencionales en disciplinas científicas por especialistas en ese campo de estudio. La sustitución de la parte sensible es un modelo explicativo se encierran conceptos y significados solo enmarcados en una construcción paradigmática, capaz de concentrar niveles de abstracción representantes de lo real. Pues no es el concepto que tenemos aquí en juego como realidad o bien como ejemplo el *átomo* sino un modelo y en suma una idea, o bien en el primer ejemplo del calentamiento global que no se agota en el fenómeno, sino en un estado cultural en el que guarda significado.

Las mismas palabras que vehiculan el conocimiento, solo pueden ser significativas en la medida que están asociadas a un significado que ya sea conocido con anticipación. Pero esto que se afirma también es incompleto; tampoco es el significado el que nos lleva a conocer algo, sino que, es el conocimiento de la cosa significada lo que nos permite conocer el signo, en síntesis, son las cosas conocidas permiten conocer las nuevas dimensiones de los signos y facilitan la construcción de la significación.

La significación o interpretación no se pone a prueba con una verdad que decidiría por el sí o por el no, solamente es verdad en tanto que se sigue verdaderamente. El *locus communis* *¿tienes que verlo para creerlo! siempre se debería leer junto a su inversión ¿tienes que creer para verlo!* [11]. En el campo de la ética el biólogo chileno Humberto Maturana narra algo relacionado a esto que implica la plataforma de juicios o concepciones:

*Es por eso que los discursos sobre los derechos humanos, los discursos éticos fundados en la razón nunca van más allá de quienes los aceptan de partida y no pueden convencer a nadie que no esté ya convencido. Solo si aceptamos al otro, el otro es visible y tiene presencia* [12].

Retomando, el papel de los conceptos, significación y su referencia a una parte objetual, material, no se agota en la representación sino la idea que en este círculo se encierra. Esto es, en la representación una semejanza que es semejante a lo por ella semejado, es relevante alertar que no es la relación entre el concepto de la cosa real a la que hace referencia y lo significativo, sino a la relación entre esta unidad. Más que concepto que sirve de base a modelos y los modelos mismos enmarcados en la literatura o iniciación académica como saberes base para la producción científica, se imprime en ello ideas, concepciones, elementos paradigmáticos.

### 3. LO HISTÓRICO COMO CONJUNTO DE DETERMINABLES EN LA CONSTITUCIÓN CIENTÍFICA

Como se dijo al principio al abrir este listado de implicaciones mediáticas, no puede tenerse, una realidad fuera de sus determinaciones potenciales, sean histórico-culturales como se esboza en este apartado o bien ya biológicas como se aborda el siguiente subtema, son elementos determinables que colocan el saber en una etapa de la inmensurable evolución humana. Pues, *lo que nosotros somos hoy lo somos, al mismo tiempo, como un producto de la historia por eso...lo común e impercedero se halla inseparablemente unido a lo que somos históricamente* [13].

La actividad del pensamiento es realidad histórica, cambiante e inacabada, en esta, la actividad científica sugiere entenderse solo como identidad a una etapa entre tantas del pensamiento en el inmensurable proceso de evolución, que puede considerarse como otras etapas reconocidas como el pensamiento mítico, pensamiento filosófico y, en ese orden, el pensamiento científico:

*La ciencia representa el último paso en el desarrollo espiritual del hombre y puede ser considerado como el logro máximo y característico de la cultura. Se trata de un producto verdaderamente tardío y refinado, que no puede desarrollarse sino en condiciones especiales* [14].

El pensamiento científico fue posible por los antecedentes que dieron fruto del pensamiento filosófico, como también este fue posible gracias a la madurez que alcanzó el pensamiento mítico y, por lo tanto, desde la iniciación a la investigación la perspectiva histórica permite comprender la producción de conocimiento científico como un pasaje, una etapa de pensamiento que en su dimensión operativa estimuló el desarrollo de ciertos eventos y al mismo tiempo que ha inhibido otros.

Los indicadores históricos, los consensos, son elementos de evidencia que determinan de alguna manera los planteamientos de problemas de investigación y trasluce la edad del pensamiento, los niveles o alcances



del conocimiento, el potencial de lectura y sobre posición ante la naturaleza (los planteamientos de Einstein no pudieron verse o surgir en edad media, ni los problemas de la edad media conservan significativo sentido en los planteamientos de Einstein).

### 3.1 Elementos estructurales paradigmáticos

#### 3.1.1 El concepto átomo en que se concibe la *constitución misma de la realidad* como una convicción histórico-cultural

El concepto fue propuesto desde lo que Leucipo y luego más puntual Demócrito 460 a 370 A. C que buscaban los elementos constitutivos del universo, plantearon como la base o esencia constitutiva de este y de los diversos cuerpos partículas indivisibles [15], que aunque Aristóteles no lo consideró para su planteamiento de la *physis* o Filosofía Natural [16] con el Renacimiento, reaparecen y cobran valor aquellos planteamientos filosóficos y con ello la puesta concepción materialista de la constitución de la realidad que en la historia de pensamiento se despliega con sabios como Galileo que esfuerza sus observaciones por explicar el comportamiento de fenómenos de la naturaleza con:

- 1) *el descubrimiento de Kepler, de que la estructura del sistema planetario sigue un orden geométrico, y*
- 2) *el libro de Newton en el que se demuestra que la maquinaria del mundo sigue leyes que pueden expresarse en forma matemática y que tanto la mecánica celestial como la terrestre se explican de acuerdo con esas leyes* [17].

Fueron esto planteamientos que llevarían más tarde a dimensión de atomismo matemático. El concepto convencional (a-tomo) *átomo* fue acuñado en un tiempo en que la tecnología existente para entonces se le presentaba como partícula indivisible. Este precepto de la constitución universal de lo real por partículas indivisibles y otros presupuestos estructuró una visión de mundo que aun hoy nos determina.

Desde esa pretensión materialista la ciencia en su génesis puso distancia a la metafísica para solo responder a la constitución de lo físico, sin embargo, los preceptos de la constitución universal de lo real por partículas indivisibles entraron en crisis cuando con la evolución de sistemas matemáticos del siglo XVII se plantea que matemáticamente en la realidad nada es indivisible. ¡Y ahora nos parece lógico, su incapacidad de dividir la partícula no tiene que ver con su naturaleza ontológica! No es indivisible en sí, sino para el que lo estudia y le dio nombre a su juicio, la incapacidad de dividir dicha unidad le dio su nombre y de él se creó un paradigma, una delimitación, concepción y formas de asumir la realidad.

Ahora la era tecnológica que ha hecho posible la división atómica ha creado implícitamente una nueva noción o concepción de realidad. Y con ello cambios paradigmáticos y por tanto una serie de nuevos planteamientos problemáticos. Pues, *Hasta comienzos del siglo XX la física clásica consideraba la partícula como el objeto primero irreductible, indivisible, claramente definible, identificable, medible.* [18] Tenemos entonces que los problemas que el hombre de ciencia se plantea pueden asumirse como planteamientos propios en el marco prescrito y saberes en esas áreas con dominios que se tienen hasta ese momento.

#### 3.1.2 Lo otro, correspondiente a la forma de explicación causal

Que consiste en la explicación, no en la constitución de los fenómenos en el mundo real. En este tema el más representativo es el pensamiento aristotélico con su *Organon: Investigación científica y la búsqueda de causa* [19]. La explicación de los fenómenos ya no se queda en una dimensión ontológica, si bien el mundo consta de cosas propiedades y relaciones, la *ratio* se extiende a el estudio de estas últimas.

Para cerrar la herencia Histórica se sintetiza cuatro planteamientos próximos. Concerniente a que se perdió la continuidad del pensamiento de antigüedad clásica ante la emergencia de la inquietud religiosa cuya evolución cuando logro sobreponer su poder generó interpretaciones caprichosas al orden de lo real y fue lo que a la reaparición de la filosofía clásica está emergiera con mayor intensidad y que dio lugar a:

1. Por una parte ante el poder argumentativo de *la evidencia que la observación directa ofreció* con los estudios de muchos naturalistas y más tarde el empirismo inglés, con cuyos métodos se dejaba hablar

a la naturaleza misma, entonces los datos de la observación contradecían los libros de los sabios que fue común y monumental evidencias como lo de Copérnico y así nace un nuevo clima opuesto a las tesis escritas de personajes históricos singulares como el mismo Tolomeo, también sufren el descrédito Aristóteles, Plotino, Agustín de Hipona, Tomas de Aquino entre otros de la escolástica.

2. *La formulación y aplicación de modelos matemáticos que ofrecieron un lenguaje universal y perenne, que rebasaba toda postura y acervo particular de cualquier sujeto, cuyos aportes están desde Galileo, Descartes, Leibniz.*
3. *Los hallazgos de Newton* que ofreció leer la realidad desde leyes generales con la aplicación de los modelos matemáticos a los datos de observación directa. Y el nuevo valor que cobra la experimentación.
4. La obra de Augusto Isidoro Comte, que plantea en su *teoría de los tres estados, la explicación evolutiva del pensamiento hasta colocar a una etapa actual científica*, superada de todo pensamiento mítico y metafísico.

Bajo esta concepción se fundó todo planteamiento en campo de las ciencias físicas esencialmente como paradigma de todo problema en el orden de lo real. Por lo tanto, en este marco cobra validez la convención de los preceptos. Fuera de esta tradición en que se enmarca la convicción conceptual y empírica que constituye parte estructural de la metodología de la ciencia nada guarda validez, será doxa (mera opinión).

### 3.2 Extensión crítica

La percepción del mundo exterior o de *lo que refiramos como realidad contiene solo existencia de la parte que se conoce en la etapa y condición humana que se vive; Desde su tecnología creada a su etapa, fuera de sus medios y edad del pensamiento hay realidad invisible*, o bien una realidad solo vista por sus prescripciones o tradición, por las formas y delimitaciones son un constructo social que como en la vida cotidiana también lo científico guarda en cierta forma y medida, un estándar de lo cotidiano, digámoslo con apoyo en las palabras de [20]:

*La realidad de la vida cotidiana se presenta ya objetivada, o sea, constituida por un orden de objetos que han sido designados como objetos antes de que yo apareciese en escena. El lenguaje usado en la vida cotidiana me proporciona continuamente las objetivaciones indispensables y dispone el orden dentro del cual éstas adquieren sentido y dentro del cual la vida cotidiana tiene significado para mí.*

De este modo inferimos que no tenemos conocimiento de una realidad en sí, sino una realidad en constructo social e histórico, en *el tiempo en que se piensa y comunica*. Como nos ofrece Gadamer con el concepto de historicidad que:

*no enuncia algo sobre el modo de ser de una estructura procesual, sino sobre el modelo de ser del hombre que está en la historia...el concepto de instante pertenece a ese contexto. No designa un punto temporal históricamente decisivo, sino el momento en que vive la historicidad la existencia humana [21].*

Visto así, como acervo general el saber científico que se ha orientado como universal, nos coloca en este trabajo cara a cara asumiendo al saber universal constructo de la humanidad como causa causal que nos coloca en lo que hoy sabemos y sus formas. Esto por tanto lleva a plantear la posibilidad de extensión de algunas otras determinaciones.

## 4. OTROS DETERMINABLES MULTIDISCIPLINARES, BIOLÓGICO-NEURO-PSICOLÓGICOS

Positivamente ayudándonos con un antecedente introductorio de Kant, donde el sujeto cognoscente percibe esa realidad desde sus esquemas *a priori*, lo que conocemos es un fenómeno, no el *noúmeno*, no se conoce la cosa en sí, sino en mí como me aparece [22]; desde este referente no hay posibilidad de una realidad ajena externa que conozcamos tal como es, sino como se nos presenta; una realidad a la medida de nuestra condición humana, una realidad y su conocimiento determinado como hemos visto por la historia y ahora esbozamos por su condición psicológica y biológica. La mente acomoda la percepción del mundo exterior por las categorías preexistentes como tiempo y espacio, esto lleva a plantear y sostener:

*Como lo físico, tampoco lo psíquico es necesariamente en la realidad según se nos aparece. No obstante, nos dispondremos satisfechos a experimentar que la enmienda de la percepción interior no ofrece*

*dificultades tan grandes como de la percepción exterior, y que el objeto interior es menos incognoscible que el mundo exterior* [23].

Hay una realidad psíquica que no es ni material, ni experimentable, sino por el contrario inmaterial y apriori. No puede omitirse la instancia que precede a todo dato empírico extensible de la concepción material de realidad y refinado del razonamiento científico. La realidad psíquica es apriori, no solamente en el sentido temporal como precedente a la empírea, sino en termino de continente de todo contenido empírico, a los planteamientos problemáticos que presuponen razonamiento, donde el razonamiento no es neutral ni ciego ni infranqueable a la pulsión constitutiva de la filogenia humana, sino en esa posibilidad de ser remolcado por la pasión como lo expresó F. Nietzsche señalando *que la razón es sierva del deseo* [24], Poincaré se aproximó a esto al entender que, el hombre de ciencia de las matemáticas es que sus adeptos encuentran en ellas *goces análogos a los que proporcionan la pintura y la música, entendía que el sabio no estudia la naturaleza porque sea útil, sino porque encuentra placer en el orden armonioso de las partes* [25]. Siguiendo esta línea podemos pensar que hay algo más que la racionalidad en la dimensión factual de ciencia y nos pone de relieve la pasión, la voluntad de poder, un goce en el dominio y sobreexposición en la naturaleza. Maturana lo expresa en estos términos: *La ciencia como un dominio cognoscitivo es un dominio de acciones, y como tal, es una red de conversaciones que implican declaraciones y explicaciones que son validadas por el criterio de validación de explicaciones científicas bajo la pasión de explicar* [26].

Freud conceptualiza esa relación de sujeto y realidad en el aparato psíquico en que los procesos del sistema inconsciente son *atemporales y tienen sustitución de la realidad exterior*. Ahora, si asociamos aportes de neurobiología, comprendemos que: *Los mecanismos internos receptivos guarda o graba la información que le acomoda a información preexistente* (funcional operativa) por historia particular como proceso adaptativo [27]; como mecanismo natural *discrimina, olvida o deshecha para actualización permanente* lo que no es operativa o dinámicamente constitutiva a su ontogenia [28]. En toda actualización u orientación de algún proceso como sistema dinámico o autopoietico, su operación interna demanda atención, y en ello se juega una jerarquía de datos en un fluir de cambios en términos de acoplamiento estructural [29].

De esta forma como los organismos interaccionan con el entorno, así, los sistemas en su auto organización dinámica funcionan selectiva y discriminativamente; en el paso de su desarrollo adaptativo esta forma sigue una lógica de permanente actualización que deja fuera, en el pasado o en almacén de memoria a algunos datos inoperantes. Los mecanismos de acoplamiento estructural o adaptación selectivos y dinámicos desechan datos degenerados de valor, que para lo psíquico se ubica conceptualmente como lo que constituye un área amnésica y por tanto frontera de saber consciente o vigente. Ubicado entre la memoria filética y la memoria a corto plazo, la de trabajo aproxima más a un operar semi automático o a base mecanizada. Aunque es un esbozo esto nos ofrece que no solo un organismo opera por indicadores externos de lo real, sino fundamentalmente desde sus propios datos internos filogenéticos y ontogenéticos.

Por analogía como didáctica para esta explicación, para referir a la comunidad científica, su frontera que guarda un grado o proximidad de inconsciente son sus preceptos de remoto consenso que, en tanto pasado lejano, como tradición y acervo validado se instrumentaliza y ya no se cuestiona, y al tiempo se asume en cierto grado o forma acrítica. Toda realidad supuestamente hallada es una realidad inventada y su inventor no tiene conciencia del acto de su invención [30, 31].

En cuanto a esto podríamos encontrar algunas asociaciones de correspondencia isomorfa con el psicoanálisis: tenemos también desde una temprana producción escrita de Freud ya un problema de la realidad en su texto *Proyecto de una psicología*, en donde esboza una distinción entre *realidad del pensar y realidad externa* [32], dicha distinción bajo el binomio *realidad psíquica y realidad material* se propone distinguir y tener en su consideración permanente.

*Así como Kant nos alertó para que no juzgásemos a la percepción como idéntica de lo percibido incognoscible [...] así el psicoanálisis nos advierte que no hemos de sustituir el proceso psíquico inconsciente, que es el objeto de la conciencia, por la percepción que esta hace de él. Como lo físico, tampoco lo psíquico es necesariamente en la realidad según se nos aparece* [33].

Esto nos trasluce un problema epistémico que, aunque es viejo, lo real ya en términos de lo tangible o psíquico, no puede tomarse a superficie y fundamentar todo una idea absoluta y acabada de *realidad*. Es

conveniente retomar el ejercicio del isomorfismo del psicoanálisis referente a el inconsciente que ofrece que, por sus características de *unicidad*, el inconsciente no sabe distinguir *lo otro* (no es alguien separado), sino un reflejo de sí mismo. La ciencia como un complejo unitario no puede ver otro saber o verdad fuera de sus propios principios, códigos, método de sus preceptos de lo *real*/basado en lo tangible.

En cuanto a su característica de *atemporalidad* el *inconsciente*, no se rige por las leyes del espacio-tiempo como las conocemos, solo graba información relevante para la supervivencia por información comprimida tras generacional e histórica funcional; en cuanto a esto y reforzado por la teoría de sistemas puede ilustrar que los planteamientos que se hacen desde un sistema, por ejemplo, una investigación disciplinar en un área de conocimiento opera aplicando y buscando datos delimitados (como ya se dijo, prescripciones e inscripciones) solo funcionales en su propio campo cerrado.

Y, en tanto que el inconsciente es *simbólico*, los actos son representativos y simbólicos, al operar con códigos en dicho ámbito, no distingue entre lo *real* y lo imaginario o virtual, pues funcionan sintéticamente. Estas partes propias del inconsciente conviene leerse de manera isomórfica, referente a lo simbólico que como en intra subjetivo, en lo intersubjetivo puede utilizarse o llevarse a tratar lo simbólico para referir modelos abstracto-explicativos, constructos en consensos o comunidades que representan niveles de realidad en que no alcanzan los sentidos o soportes observables. Esto es, en lo macro como en lo microscópico, las ciencias del espacio y la física cuántica emplean más que fórmulas, diseños representativos o *simbólicos* en los que el investigador puede desenvolverse a distancia de lo que lo común tiene como *realidad*, puede decir el científico que esa es la verdadera *realidad* porque soporta las pruebas matemáticas, las predicciones y variables estudiadas.

La relación entre esta postura de operación psíquica y *realidad* nos ofrece a este planteamiento la arquitectura orgánico-biológica que simplemente no está hecha para que todo lo que ocurra tenga una transcripción a la consciencia humana, sino, interpretando, sintetizando. Así opera la o funciona el aparato que discierne la información, lo orgánico acomoda datos externos e internos en su acoplamiento estructural, la memoria *economiza* la operación mecanizada a cada condición de actividad. Recuperando el planteamiento Kantiano ¿qué puedo saber? en sus mismas conclusiones, sabemos que no podemos conocer sino, el fenómeno como nuestra naturaleza humana lo posibilita a causa de nuestras categorías.

Esto hoy de alguna forma es respaldado por las ciencias neuro-biológicas en que la realidad que se conoce es mediada y predeterminada por la condición biológica, en la que se implican dos condiciones: nuestra *filogenia* como especie, y nuestra *ontogenia* por nuestra historia individual. También por otra parte, ya algunos Antropólogos como Levys Strauss señalaron que la mente desde *ab initio* se encuentra equipada con un conjunto de estructuras innatas [34]. Y la misma ciencia puede no escapar por ser producto de las propias determinaciones de naturaleza humana, ya que, a las disciplinas le ahogan fenómenos de amplia dimensión, que se desbordan en fronteras disciplinares, por ejemplo: la creciente violencia, peligros de equilibrio y habitabilidad del planeta, que no se reducen a áreas de saberes, sino condiciones que demandan atención de múltiples saberes, perspectivas y dimensiones para estudiarse a sí misma como producto e identidad de humanidad.

Se trasluce la posibilidad de que algunos problemas globales en alguna forma son vulnerables a limitaciones por decisiones políticas, negociaciones, estrategias, campañas. La investigación científica al operar acriticamente sus propios saberes lenguajes desde sus principios puede estar más cerca a dogma y ante la evidencia del poder de destrucción que ha reinado no puede ser ingenuo el pensamiento del siglo XXI, sin reparar, (la mayor parte de recursos o los proyectos más ambiciosos y apoyados son los de la inteligencia militar) *El crecimiento contemporáneo de los saberes no tiene precedente en la historia humana* [8], y sin embargo en este escrito con carácter crítico se permite relativizar tal grandeza o logro, sí asentimos con esta cita del mismo autor que, *por primera vez en su historia, la humanidad tiene la posibilidad de autodestruirse, por completo, y sin ninguna posibilidad de regreso* [8] para esto algo nos puede respaldar de la obra el sistema internacional como historia que la guerra no ha estado soportada fuera de la ciencia, o inversamente, en enunciado afirmativo la ciencia en su historia guarda partes exigidas y arropada por fines bélicos:

*... sin precedentes históricos en la distribución del [poder]... al hermanarse la ciencia, la tecnología y la economía, el crecimiento económico, la movilización de los recursos y el aprovechamiento de la tecnología en el campo del armamento, el poder económico y el relativo a la política exterior progresivamente llegaron a significar lo mismo [35].*

Con base a esta cita que asentimos y la historia lo respalda, volcada en esas fuerzas estructurales, los problemas de hambrunas de violencia, de inequidad, la subsistencia en masas sociales con altos índices cuantitativos, no están suficientemente contemplados en los lenguajes, de realidad, de causalidad de lógica estructurada en los modelos científicos, ni leída en la comunidad que plantea los problemas a investigar. Esto lleva a entender y reconocer determinaciones como pulsión de su naturaleza humana misma. Más se propone que son sus efectos mismos de su práctica, problemas externos en tanto que las comunidades se plantean problemas al interior. Y por tanto parecen invisibles o inabordables por las disciplinas particulares.

Creemos que en la formación como en la práctica de investigación científica y no está de más nutrir el pensamiento introspectivo o partir del estado crítico, que dé cuenta del lugar que nos coloca como observadores de una realidad construida, reconocer la agencia del hombre desde *el principio absolutamente incondicional de todo el conocimiento* no definido ni demostrado pues: *el hombre no está solo localmente presente en el mundo, sino que, por naturaleza, está también implicado en él* [36].

Dicho investigador como sujeto expresa el acto que no se presenta ni se puede presentar entre las determinaciones empíricas, y es el único que hace posible toda conciencia. Esto es, con idea de Fichte, *El yo agente y producto de la acción, la cosa que obra, y la cosa producida por la acción; en él la acción y lo hecho son una sola y misma cosa, razón por la cual este Yo soy, es la expresión de un acto, pero del solo acto posible* [37], pues no se puede hacer ciencia con conciencia desde lo externo que se sabe o presupone de realidad, sino desde el cognoscente, con la actitud crítica metacognitiva que asume la posibilidad de lo no consciente o sub consciente.

En el operar la misma investigación en tanto todo planteamiento de problema de investigación marcha como necesidad de conocer lo desconocido es siempre determinado de preceptos por lo conocido porque preexiste, no en lo real, sino en el acervo de la humanidad que al dejar la unidad empírica pasa por suma a generalidad, a lo abstracto y a constitución de lo simbólico; no está de más reconocer en la actividad de investigación, la posibilidad de una realidad psíquica que no es ni material, ni experimentable, sino por el contrario inmaterial y a priori, necesaria, precedente y consecuente a todo evento como fenómeno problemático con posibilidades de conexión múltiple, pues se propone que *la realidad en la mayor generalidad que el ser humano vive, opera y se auto construye, no está dividida como la ciencia que estudia dicha realidad* [38]. En el reconocimiento de entender como punto de partida la *realidad* como un tejido causal, una red compleja y que puede respaldar esta cita

*Pero el problema teórico de la complejidad es el de la posibilidad de entraren las cajas negras. Es el de considerar la complejidad organizacional y la complejidad lógica. En este caso, la dificultad no está solamente en la renovación de la concepción del objeto, sino que está en revertir las perspectivas epistemológicas del sujeto, es decir, el observador científico* [39].

De alguna manera esta cita todo lo antes expuesto alerta la importancia de considerar la relación entre el observador y lo observado. Ante el grado alcanzado de saberes desde la ultra microfísica y ultra microfísica, en que las nociones empíricas, los conceptos, y los preceptos históricos demandan revestirse y con ello la ciencia ha iniciado y gesta una nueva etapa que tendrá destino en la evolución del pensamiento humano, lo cual implica pauta imperativa en la formación inicial del investigador, empezando desde la posición del observador como actitud crítica y no desde lo presupuesto externo como realidad acrítica.

## 5. CONCLUSIONES

Se proponen reconocer para los planteamientos críticos lo que se presentan e integran las determinaciones que implican realidad y extensión unitaria del investigador como meta problema.

Se esboza el requerimiento de recursos explicativos auxiliares como por ejemplo la realidad psíquica u otra dimensión ya sea contenida o continente de realidad material.

Esta recursividad propositiva plantea como una propuesta introductoria asumir la demanda de crisis humana como problema mayor que engloba problemas de realidad específicas desde donde se apertura reconocer esto antes dicho solo como introductorio para abordar problema de nuestra actualidad que ha traído como efecto multicausal lo que se reconoce como crisis de pensamiento a dimensiones de este orden global que la humanidad vive, para ver en qué medida o manera las múltiples formas de crisis como unidad es un efecto mismo de los usos del saber, causa causante del mismo saber científico-tecnológico.

Cosa que desde el interior de la producción científica como sistema no podrá ver o plantearse como problema lo que ha creado el mismo uso y practica del saber.

## REFERENCIAS

- [1] Serna E. (2015). Ciencia y pensamiento complejo. Editorial Instituto Antioqueño de Investigación.
- [2] Kuhn T. (1972). La estructura de las revoluciones científicas. Fondo de Cultura Económica.
- [3] Schrödinger E. (1952). Are there Quantum Jumps? The British Journal for the Philosophy of Science 3, 109-123.
- [4] Prigogin I y Stengers I. (1997). La nueva Alianza: Metamorfosis de la ciencia. Alianza Editorial.
- [5] Verusca D. y Passos A. (2010). Transdisciplinariedad y filosofía de la ciencia: ¿Una solución posible al problema de la privatización del conocimiento? En Suárez R. y Peláez Á. (eds.), Observaciones filosóficas en torno a la transdisciplinariedad (pp. 149-177). Anthropos.
- [6] Ricoeur P. (2002). Del Texto a la acción. Ensayos de Hermenéutica II. Fondo de Cultura Económica.
- [7] Maturana H. (1995). La Realidad: ¿Objetiva o construida? II. Anthropos.
- [8] Niculescu B. (1996). Transdisciplinariedad, Manifiesto. Multiversidad Mundo Real Edgar Morin.
- [9] Cedrés A. (2010). La enciclopedia de la ciencia unificada y la cuestión de la transdisciplina. En Suárez R. y Peláez Á (eds.), Observaciones Filosóficas en torno a la transdisciplinariedad (pp. 68-89). Anthropos.
- [10] Serrano J. (1990). Filosofía de la ciencia. Trillas.
- [11] Zizek S. (2012). Viviendo en el final de los tiempos. Akal.
- [12] Maturana H. (2001). Emociones y Lenguaje en Educación y Política. Dolmen.
- [13] Hegel G. (1985). Lecciones sobre la historia de la filosofía. Fondo de Cultura Económica.
- [14] Casirer E. (1945). Antropología Filosófica. Fondo de Cultura Económica.
- [15] Tradici J. (1950). Historia de la filosofía. Editorial Difusión.
- [16] Aristóteles. (2016). Tratados de lógica. Porrúa.
- [17] Pérez R. (2012). La Revolución Científica. Fondo de Cultura Económica.
- [18] Morin E. (2001). El Método I: La naturaleza de la Naturaleza. Cátedra.
- [19] Larroyo F. (2016). Tratados de Lógica. Porrúa.
- [20] Berger P y Luckmann T. (2001). La construcción Social de la Realidad. Amorrortu Editores.
- [21] Gadamer H. (1989). Verdad y Método II. Ediciones Sígueme.
- [22] Kant E. (1970). Crítica de la Razón Pura. Clásicos Bergua.
- [23] Blas L. y Azcona M. (2012). La realidad en Freud. Revista de Filosofía y Psicoanálisis 2, 33-50.
- [24] Nietzsche F. (2016). La gaya Ciencia. Editorial Tecnos.
- [25] Escudero M. (2013). Modelling in Science Education and Learning. IUMPA.
- [26] Maturana H. (1995). La Realidad: ¿Objetiva o construida? Anthropos.
- [27] Beichmar M. y Leiberman C. (1997). Harmann y psicología del yo. En Norberto A. (ed.), Psicoanálisis después de Freud (pp. 140-147). Paidós.
- [28] Ortega C. y Franco J. (2010). Neurofisiología del aprendizaje y la memoria. Med. Pub Journals archivos de Medicina 6(1), 456-467.
- [29] Maturana H. y Varela F. (1984). El Árbol del Conocimiento. Editorial Universitaria.
- [30] Watzlawick P. (1981). La realidad inventada. Gedisa.
- [31] Watzlawick P. y Krieg P. (1995). El ojo del observador, contribuciones al constructivismo. Gedisa.
- [32] Freud S. (1996). Obras completas. Ensayo XVI, Libro 1. Editorial Biblioteca Nueva.
- [33] Freud S. (2003). Lo inconsciente 1915. Amorrortu.
- [34] Hallpike C. (1986). Fundamentos del pensamiento primitivo. Fondo de Cultura Económica.
- [35] Krippendorff E. (1985). El sistema Internacional como Historia. Fondo de Cultura Económica.
- [36] Copleston F. (1996). Historia de la Filosofía. Ariel.
- [37] González Z. (1886). Historia de la Filosofía. Universidad Autónoma de Nuevo León
- [38] Pegueros J. (2020). Crisis, contexto y pensamiento en la educación de la era global: Una mirada crítica. En Serna E. (ed.), Revolución en la formación y la capacitación para el Siglo XXI. Editorial Instituto Antioqueño de Investigación.
- [39] Morin E. (2001). Introducción al pensamiento complejo. Gedisa.

# Análisis del uso del lenguaje con perspectiva de género en noticias de prensa escrita que reportan feminicidios

Laura Gineth Caicedo Mosquera<sup>1</sup>  
Paula Alejandra Valencia Sánchez<sup>2</sup>  
Diana Carolina Tibaná Ríos<sup>3</sup>  
*Corporación Universitaria Minuto de Dios*  
Colombia

En Colombia se reportan diariamente casos de feminicidios que evidencian la relevancia de esta problemática y su connotación como asunto de incidencia pública. Las noticias emitidas en medios de comunicación masiva, como los periódicos, se encargan de anunciar información de interés socio-comunitario a través de la palabra escrita y su significado y, en este trabajo, se busca analizar el uso del lenguaje de género dentro de la prensa nacional. La investigación se realizó bajo el paradigma hermenéutico con el cual se analizaron los procesos comunicativos del discurso, y corresponde al diseño de investigación mixta, con modalidad de revisión documental. Para la recolección de la información se utilizaron herramientas e instrumentos como el resumen analítico de trabajo social RATS y fichas de caracterización. Se seleccionó una muestra de 39 periódicos nacionales y 163 artículos de prensa escrita, publicados en 2020 sobre feminicidios. Los resultados muestran la presencia, ausencia y manifestación de las principales categorías de análisis: lenguaje sexista, sustantivos de doble forma, sustantivos epicenos y heterónimos. En las conclusiones se presenta una reflexión crítica a partir de los hallazgos obtenidos y recomendaciones como punto de inicio de nuevas investigaciones, que permitan comprender el objeto de estudio.

---

<sup>1</sup> Estudiante de Trabajo social.

Contacto: [laura.caicedo-m@uniminuto.edu.co](mailto:laura.caicedo-m@uniminuto.edu.co)

<sup>2</sup> Estudiante de Trabajo social.

Contacto: [paula.valencia@uniminuto.edu.co](mailto:paula.valencia@uniminuto.edu.co)

<sup>3</sup> Trabajadora social y Magíster en Desarrollo educativo y social.

Contacto: [dianactibanar@gmail.com](mailto:dianactibanar@gmail.com)

## 1. INTRODUCCIÓN

El término feminicidio nace como la máxima expresión de la violencia de género, proviene del neologismo *femicide*, que se remonta al siglo XX y se originó en Reino Unido por la escritora y activista feminista Diana Russell, quien buscaba destacar el significado del término asociándolo al asesinato de una mujer por condiciones de género [1]. El término feminicidio que busca representar a las víctimas de esta problemática, va más allá de un concepto jurídico. El código penal colombiano en la Ley 599 del 2000 declara en el artículo 104A que el término feminicidio es considerado cuando se cometiere contra una mujer por el hecho de ser mujer, con una pena que incurrirá en prisión entre 250 y 500 meses [2]. Además de ello este término, dentro de la ley colombiana, ingresa en 2008, y es conocido como delito autónomo en la Ley 1761 de 2015 comúnmente conocida como Ley Rosa Elvira Cely [3].

A nivel Latinoamérica la ONU lanzó oficialmente *la Ley Modelo Interamericana para Prevenir, Sancionar y Erradicar la Muerte Violenta de Mujeres y Niñas* [4], documento que busca crear y actualizar la legislación en la región, así como fortalecer las acciones integrales de prevención, protección, atención, investigación, persecución, sanción y reparación para garantizar el derecho de todas las mujeres y niñas a una vida libre de violencia. Este modelo tiene como fin internacionalizar los diferentes modos de prevención e información para así evitar la propagación de esta problemática.

La violencia hacia la mujer es una problemática que se ha visibilizado con el paso del tiempo. Según el Observatorio de Feminicidios Colombia a nivel país se llevaron a cabo 630 feminicidios en 2020 [5], según el reporte del Medicina Legal los casos aumentaron en 8,6% respecto al año inmediatamente anterior [6].

Con el fin de producir el estado de la cuestión sobre el tema se rastrearon investigaciones en repositorios de instituciones como la Corporación Universitaria Minuto de Dios, Universidad Nacional de Colombia, Universidad del Tolima, Universidad Nacional de San Agustín y Pontificia Universidad Católica del Perú, y bases de datos como EBSCO, ProQuest, Scielo, Dialnet, entre otras.

El rastreo documental permitió constatar que a nivel internacional son significativas las investigaciones realizadas en el contexto latinoamericano, en países como El Salvador, México y Perú. En El Salvador, dos estudiantes de la Universidad de El Salvador realizaron una investigación cualitativa [7], analizando el lenguaje sexista y de género en las noticias de prensa en dos periódicos locales. Las escritoras hicieron un análisis desde la perspectiva crítico- social del lenguaje de género y concluyen que en los periódicos analizados no se hace uso de un lenguaje con perspectiva de género, como consecuencia se invisibiliza a la mujer.

México registra altos índices de violencia de género, según el Secretariado de Sistema Publica de dicho país en 2020 se reportó un aumento del 0,98% de víctimas de feminicidios, es por ello que [8] buscó visibilizar el uso del lenguaje de género y sus raíces patriarcales. Dentro de esta investigación se analizaron los juicios, prejuicios y valoraciones del discurso de los medios de comunicación. Se concluyó que el no uso del lenguaje de género tiene una relación proporcional a la cantidad de reporteros del sexo masculino que cubren una noticia de esta índole.

En [9] se plantea la visibilización de esta problemática en los medios de comunicación, para ello la investigación giro entorno a dos periódicos locales y dos categorías centrales: la disputa patriarcal y el fenómeno criminológico, es por ello que la escritora propone evaluar el panorama del lenguaje desde una perspectiva de género. En [10] se aborda el discurso periodístico con perspectiva de género en dicho periódico nacional. Da a conocer el tratamiento de los medios de comunicación y su propósito, el cual es direccionar un pensamiento y una mayor sensibilización del tema para responder a la equidad social entre géneros, esta investigación exalta la importancia de la representación de las víctimas de feminicidios dentro de la prensa escrita.

En [11] las autoras describen los estereotipos y actitudes dominantes dentro de la sociedad actual, para posteriormente indicar la relevancia de difundir este tipo de noticias teniendo en cuenta la representación de género. Por su parte, [12] analiza la cuestión a partir de las construcciones de género en la prensa escrita



de la revista semana, entre enero y diciembre de 2015. Su objeto de estudio fue el impacto de los medios de comunicación y su responsabilidad social.

Como tendencia en los antecedentes del tema de investigación se destacan las metodologías investigativas de corte cualitativo y basadas en el análisis del discurso escrito, la realización de revisiones documentales y análisis de narrativas encontradas en la prensa.

El papel que ocupa el uso del lenguaje en la representación o no de la violencia está asociada con su característica ontológica. El lenguaje desde sus formas más primitivas da respuesta a una necesidad humana: la comunicación. Según [13] el lenguaje constituye un reflejo y, a la par, una poderosa arma que se está utilizando en el proceso de la reprogramación de la violencia. Reprogramar la violencia, implica educar, y concebir el lenguaje de género como un tema de relevancia dentro de una sociedad que está en busca de la equidad.

El lenguaje posee significados, interpretaciones y símbolos; las percepciones del lenguaje y sus usos lingüísticos hacen parte de la relación del léxico y las características culturales dentro de una sociedad [14]. El análisis de dicho lenguaje es pertinente en la actualidad ya que:

*A través de sus análisis podemos obtener una visión detallada que nos permite observar que el funcionamiento de las lenguas es capaz de construir identidades individuales y colectivas. Estos análisis hacen aportes de información consideradas valiosísimas al respecto de las relaciones (de poder, de solidaridad, de dominio o de resistencia) que las personas, vistas como verdaderos agentes sociales, van construyendo, manteniendo y cambiando [15].*

Según el análisis realizado los medios de comunicación tradicionales entre los que se encuentran la televisión, la radio y la prensa son una fuente primaria de información reconocida por la ciudadanía. El uso del lenguaje y sus interpretaciones están inmersos dentro de dichos medios, cuyo fin es dar a conocer una realidad dentro de un contexto local, nacional e internacional.

Los medios de comunicación audiovisuales y escritos formulan las noticias para informar y contextualizar a una comunidad, el eje principal es la audiencia, por lo cual deben considerarse flexibles y con capacidad de adaptabilidad a la era tecnológica, es por ello que la migración de los medios de comunicación físicos a los digitales ha presentado una gran incidencia en su utilidad [16]. La evolución de la comunicación por medios digitales ha permitido que la comunidad conozca la realidad de su contexto de una manera cercana, a su vez, han hecho posible tener a la mano información de valor frente a problemáticas mundiales, por ejemplo, la relacionada con casos de feminicidio. El desarrollo histórico de las noticias escritas ha repercutido en el contexto político-social de la nación, no obstante, es importante conocer las consecuencias del discurso, basado en el lenguaje escrito, cuando se comunica un hecho violento.

Comprender el lenguaje de género parte de entender que es toda expresión verbal o escrita que utiliza preferiblemente vocabulario neutro, o bien hace evidente el masculino y el femenino, evitando generalizaciones del masculino para situaciones o actividades donde aparecen mujeres y hombres [17]. Teniendo en cuenta este concepto, es importante conocer la aplicabilidad del lenguaje de género, un uso donde se incluyen a las mujeres y a los hombres bajo las mismas condiciones, considerando que ambos desempeñan cualidades iguales y que estas deben ser destacadas con la misma importancia.

El lenguaje con perspectiva de género se compone de diferentes aspectos del lenguaje: los sustantivos heterónimos, epicenos, palabras de doble forma y el lenguaje sexista; en su conjunto hacen parte de la construcción de lo que hoy se busca reestructurar y reconstruir del lenguaje.

El lenguaje sexista se define como el conjunto de métodos empleados en el seno del patriarcado para poder mantener en situación de inferioridad, subordinación y explotación al sexo dominado: el femenino [18]. El lenguaje sexista fue creado por una sociedad jerarquizada por aquellos que dominaban la realidad, es decir, los hombres [19] Teniendo en cuenta el impacto del lenguaje sexista, su historia y proceso como influyente de la desigualdad, es relevante analizar de qué modo se evidencia dentro de las noticias de prensa sobre feminicidios ocurridos en el país en 2020.

Las palabras de doble forma, los sustantivos heterónimos y los sustantivos epicenos basan su expresión en elementos gramaticales del uso del lenguaje. Las palabras de doble forma son palabras o expresiones que son genéricas o despersonalizadas y se opta por la forma femenina y la masculina, especialmente en singular [20], es decir, utiliza terminaciones diferentes bajo la misma raíz, por ejemplo, *rey-reina, alumno-alumna, actor-actriz*. Se puede evaluar la clasificación masculina de los sustantivos, es decir son palabras que solo definen a un género, por ejemplo, la palabra *todos*, aunque se use de manera genérica la tipificación del término es masculina, como se puede deducir existe la opción de utilizar la acepción *todas* cambiando la terminación y resultando inclusiva respecto al género.

Otro claro ejemplo de estos sustantivos son las palabras usualmente utilizadas en una masculinidad generalizada, es decir aun teniendo la versión femenina predomina la versión masculina, como por ejemplo si se dice *las estudiantes tienen amigos* solo se hace referencia a amigos de género masculino ¿y las amigas? El término puede usarse para visibilizar los dos sexos, sin embargo, por costumbre de la lengua se prescinde de las palabras de doble forma. Por otra parte, los sustantivos epicenos invisten por igual a personas de sexo masculino o femenino independientemente de su género gramatical. Estos se conciben como:

*Sustantivos que, aunque designan seres sexuados, no marcan formalmente la diferencia de sexo, ni con desinencias ni con la combinación de artículo, determinante o adjetivo. Estos son los sustantivos con género epiceno. Pertenecen a un solo género gramatical (masculino o femenino)[21].*

Ejemplos de sustantivos epicenos los podemos encontrar en persona, víctima, personaje, cría, gorila, de allí que *la persona, el personaje* podrían hacer alusión a hombres o mujeres, al igual que *cría* a machos o hembras, la concordancia está condicionada por el género del sustantivo que forma parte del grupo nominal y no por el sexo de la entidad designada [22].

En contraste, los sustantivos heterónimos utilizan palabras diferentes para referirse al género opuesto, su base o raíz no tiene coincidencia como ocurre con los sustantivos de doble forma. cambian su base léxica según el género del referente [23]. Para ejemplificar se encuentran los casos de hombre-mujer, nuera-yerno y padre-madre.

A partir de las anteriores categorías en relación con el lenguaje este estudio plantea la siguiente pregunta: ¿Cómo se manifiesta el uso del lenguaje con perspectiva de género en la prensa escrita nacional sobre feminicidios ocurridos en Colombia en 2020?

## 2. MÉTODO

La metodología de este estudio corresponde al paradigma hermenéutico. Según [24] corresponde analizar el proceso comunicativo y discursivo que se ha generado dentro de la historia. Ahora bien, el análisis de discurso sobre las noticias de prensa escrita, responde al diseño mixto, el cual se refiere a un enfoque que puede ser comprendido como un proceso que recolecta, analiza y vierte datos cuantitativos y cualitativos, en un mismo estudio [25].

La modalidad de la investigación es revisión documental, considerando que esta modalidad de investigación supone una revisión cuidadosa y sistemática de estudios, informes, noticias o literatura con el fin de analizar e interpretar las expresiones características de la revisión documental [26]. Teniendo en cuenta que los medios de comunicación juegan un papel importante en la construcción de representaciones sociales y políticas, resulta relevante esta modalidad en tanto contribuye metodológicamente a entender estas estructuras sociales y discursivas dentro del texto.

Para lograr los objetivos de la investigación se implementó la técnica de análisis del discurso, considerada como una técnica de análisis potente y precisa la cual es elegida porque el objeto de estudio lo requiere al buscar conocer el modo en el que la prensa escrita representa un acontecimiento particular [27].

El muestreo fue de corte dirigido, este tipo de muestreo selecciona las unidades importantes desde el criterio de los investigadores, teniendo en cuenta la representación de cada selección, en este tipo de muestreo se buscan hacer estimaciones puntuales y es recomendable usarlo en investigaciones de análisis y sondeo [28]. Para este corpus se seleccionaron como muestra periódicos 39 periódicos nacionales

digitales de acceso abierto, con una periodicidad diaria ya que de esta manera se podría observar a profundidad las noticias redactadas en el transcurso del año 2020 dando una muestra total de 163 noticias de prensa escrita, clasificadas por regiones como se evidencia en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Numero de artículos de prensa escrita seleccionados por región

| Región    | Artículos | Periódicos seleccionados  |
|-----------|-----------|---|
| Caribe    | 43        | Zona Cero, Hora 7/24, El Universal, El Pilón, El País Vallenato, El Meridiano, Sucre Noticias, La Piragua, El Informador, Santamarta Al Día, La Libertad.   |
| Andina    | 89        | El Tiempo, El Espectador, El Nuevo Siglo, Extra, Pulzo, Semana, Las 2 Orillas, Confidencial Colombia, El Diario, Q´Hubo, El Colombiano, Así Es Cúcuta, Crónica Del Quindío, El Quindiano, El Diario, El Expreso, Risaralda Hoy, La Vanguardia Liberal, El Nuevo Día, El Olfato, A La Luz Pública. |
| Amazónica | 3         | Diario Del Norte, La Guajira  |
| Pacífica  | 12        | Al Dia, La Libertad, El Nuevo Liberal, Diario De Occidente, Q´Hubo Cali, 90 Minutos, The Archipiélago Press, Soy Buena Aventura.  |
| Orinoquia | 16        | Llano Al Mundo, El Frente.  |
| Total     | 163       |   |

Teniendo en cuenta la información recolectada y la cantidad de noticias de prensa analizada se logró identificar dentro del rastreo una gran cantidad de periódicos los cuales no tenían un archivo documental o el acceso a él requería el pago de una membresía, dichos periódicos se descartaron considerando el acceso que se tenía de ellos en la web.

Es importante destacar que el aporte y los beneficios de esta investigación serán positivos ya que se espera ser de gran ayuda dentro de la formulación de análisis dentro del lenguaje y discurso periodístico enfocado en el lenguaje de género, además de esto se generan grandes aportes para las disciplinas de las ciencias humanas, teniendo en cuenta la interdisciplinariedad de la investigación, los beneficios de esta investigación se centran en dar a conocer las posibles carencias de conocimiento y la importancia de un lenguaje inclusivo dentro de los espacios de comunicación y en general en la cotidianidad ciudadana; además de ello se busca resolver la falta de conocimiento dentro del campo del discurso con perspectiva de género.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Con miras a responder a la pregunta de investigación, se realizó un proceso de codificación que permitió consolidar los siguientes hallazgos presentados en la Tabla 2. Se consideraron elementos asociados al lenguaje sexista, las palabras de doble forma, sustantivos heterónimos y sustantivos epicenos dentro de los artículos de prensa escrita. Además, en el ejercicio investigativo se logró identificar el género de las y los autores de algunas de las noticias analizadas, esto considerando que en 127 casos no se presenta el nombre de quien escribe, no obstante, 20 de las noticias fueron escritas por hombres y 16 por mujeres, esto dando paso a un contexto previo del uso del lenguaje de género en las noticias de feminicidios ocurridos en 2020.

**Tabla 2.** Uso de lenguaje de género en 163 noticias de prensa escrita sobre feminicidios en Colombia 2020

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| <b>Lenguaje Sexista</b>        |     |
| Presenta                       | 18  |
| No presenta                    | 145 |
| <b>Palabras de doble forma</b> |     |
| Se usa                         | 25  |
| No se presenta                 | 85  |
| No se usa                      | 53  |
| <b>Sustantivos heterónimos</b> |     |
| Se usa                         | 33  |
| <b>Sustantivos epicenos</b>    |     |
| Se presenta                    | 110 |

#### 3.1 Lenguaje sexista

El lenguaje sexista dentro de las noticias de prensa escrita y la narrativa que se utiliza puede generar procesos de inclusión donde las mujeres y los hombres se visibilizan de manera igualitaria donde por medio de estos procesos se da una sociedad democrática.

Teniendo en cuenta la codificación de datos presentada, se evidencia que 18 artículos de prensa poseen comentarios y lenguaje sexista por parte de quien escribe o por narraciones de testigos, una premisa considerada dentro de la selección y recolección de información estaba enfocada en quien dijo que, es decir el autor de la frase sexista, dentro de algunos ejercicios periodísticos se destacan los de la Figura 1.

## Nuevo feminicidio en Cundinamarca: hombre borracho asesinó a su pareja



Figura 1. Encabezado del artículo y fragmento subrayado de noticia de prensa escrita con presencia de lenguaje sexista

En este caso, se considera el feminicidio como escándalo en vía pública, dándole más protagonismo a la afectación del orden público que a la situación que conlleva a la muerte y asesinato de una mujer, no obstante, se destaca que dicho comentario lo expresó un funcionario de La Policía Nacional, como se muestra dentro del contexto de la noticia es importante sugerir que no solo se evalúe el lenguaje de los y las periodistas si no también se revise las declaraciones de testigos o terceros, esto con el fin de no generar un discurso impulsado por las noticias de prensa escrita que contribuyan a la minimización y normalización de un hecho desafortunado como lo es un feminicidio.

Dentro de las noticias el encabezado, con el cual se busca llamar la atención del público lector, es considerado relevante frente al significado que transmite. Un claro ejemplo de lenguaje sexista dentro de los titulares se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Encabezado de noticia de prensa escrita con presencia de lenguaje sexista

Expresiones de este tipo hacen que dentro de la sociedad se atente contra la dignidad de la mujer, de manera implícita pretende justificar un feminicidio atribuyéndole especial atención al lugar o actividad que se encontraba desarrollando la víctima, se evidencia una intención de burla, amarillismo y sátira sobre el hecho ocurrido. Es importante destacar y reflexionar que la muerte de una mujer por el hecho de ser mujer merece ser contada con la importancia e impacto que constituye este delito.

Es por ello que pese al objetivo económico de ventas y los titulares los cuales deben contener un factor de intriga para así cautivar al lector, es importante analizar que se está diciendo y cuál es su impacto en la sociedad, esto con el fin de generar una mitigación de aspectos culturales como la minimización de un feminicidio, el machismo y el patriarcado. También se evidenciaron comentarios sexistas por parte de funcionarios públicos, como el de la Figura 3.

La familia o seres cercanos a las víctimas, a la hora de reportar una desaparición que potencialmente puede terminar en un feminicidio como ocurrió en este caso, son víctimas de este tipo de lenguaje sexista, el funcionario al manifestar que *hay que ver si aparece viva o muerta, o eso debe estar con un man* minimiza la preocupación de las familias y la responsabilidad de las instituciones estatales frente a las denuncias expuestas con anterioridad por la víctima para activar las rutas de atención. Se sugiere que se analice si

expresiones sexistas como la mencionada por el funcionario público en realidad sustenta la noticia que se quiere dar o si por el contrario solo aporta a la construcción de una sociedad donde se denigre al género femenino.

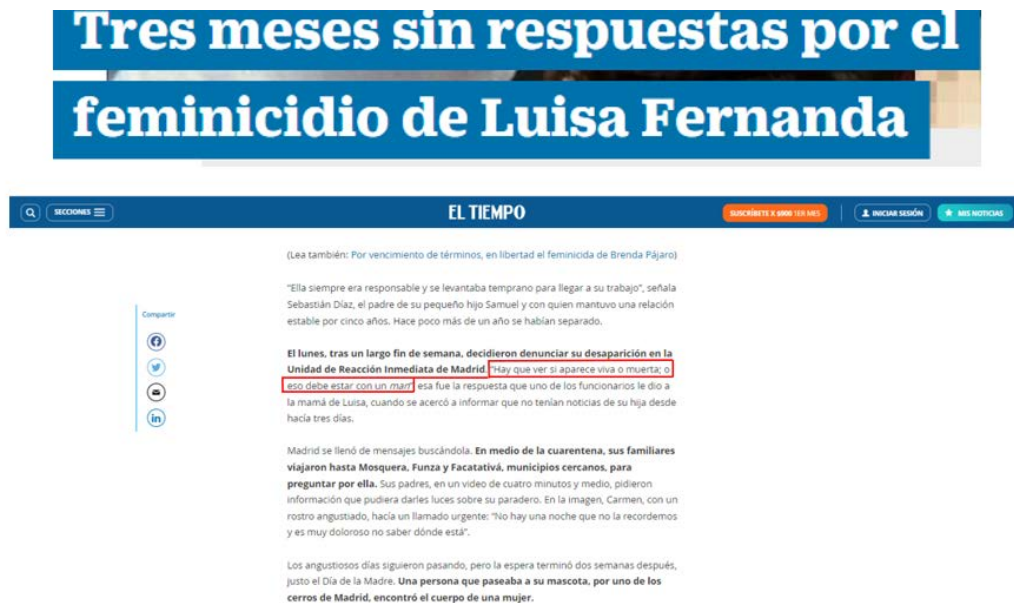


Figura 3. Encabezado del artículo y fragmento subrayado de noticia de prensa escrita con presencia de lenguaje sexista

Justificar un hecho violento bajo la razón de un *mal momento* envía un mensaje a la población lectora que promueve la naturalización y aceptación de estos hechos (Figura 4). Considerar el feminicidio como un *hecho aislado* por parte del victimario desconoce el potencial maltrato previo que pudo ocurrir en el escenario de lo privado y busca concederle al feminicida cierta consideración. Es de recordar que este tipo de calificativo se asemeja al de *crimen pasional*, que por una parte buscaba excusar al feminicida y por otra parte le atribuye cierta sospecha al comportamiento de la víctima. Lo anterior producto de una construcción machista que oculta la violencia de género.

Considerando lo anterior es importante destacar que:

*El sexismo se observa en el uso diferenciado en los tratamientos, en los usos de cortesía, en la enorme cantidad de formas peyorativas que existen para nombrar a las mujeres, en las designaciones asimétricas, los vacíos léxicos, las figuras retóricas, el orden de aparición de las palabras y en la referencia a las mujeres como categoría aparte, subordinada o dependiente en las ciencias, la historia y las artes, en las leyes y las religiones; en lo privado y lo público [29].*



Figura 4. Encabezado del artículo y fragmento subrayado de noticia de prensa escrita con presencia de lenguaje sexista

El sexismo está inmerso dentro de cada parte del sistema patriarcal que aún permanece en nuestra actualidad, las justificaciones, minimizaciones, los estereotipos y las frases denigrantes demuestran como el machismo y sexismo se involucra dentro de los ejercicios de prensa, no obstante, es importante destacar que el ejercicio dentro del campo investigativo sugiere la revisión de los decálogos de cada periódico, pues si bien es cierto, construir un país libre de sexismo hace parte de deconstruir ideales culturales. Es importante tener en cuenta la reprogramación una violencia, implica educar a una sociedad que no conoce el lenguaje de género, puesto que es evidente que en Colombia el uso del lenguaje de género o lenguaje sexista en un tema relativamente nuevo, un tema que aún está en busca de tomar fuerza dentro de la sociedad actual.

De este modo dentro de la minimización y naturalización que se presenta dentro de las noticias de prensa escrita, se puede encontrar la tipificación del crimen dentro de los encabezados de dichos artículos, el uso de palabras *asesinato* u *homicidio* en casos de feminicidios, solo da cuenta de la relevancia que se le da a esta problemática, esto considerando que Colombia posee una Ley la cual esclarece y sentencia estos hechos atroces contra las mujeres, algunos ejemplos se observan en la Figura 5.



Figura 5. Recopilación de encabezados de noticias de prensa escrita que no usan el término feminicidio

El no uso de la palabra feminicidio dentro de los encabezados de noticia, desconoce que se refiere a un crimen de muerte hacia la mujer por ser mujer, ser claro del delito que se comete y se busca dar a conocer es un paso para generar impacto social y cultural, dentro del lenguaje. Es por ello que se recomienda incluir la palabra *feminicidio* dentro de los titulares de la noticia, esto con el fin de reconocer a la víctima y comunicar de manera clara y asertiva.

El lenguaje es resultado de múltiples impactos sociales y culturales a los cuales debemos someterlos a un cambio, cambio que busque transformar la percepción del lenguaje que usamos a diario ya que hemos normalizado múltiples errores dentro de él que impide avanzar a la implantación del lenguaje de género.

### 3.2 Sustantivos de doble forma

Los sustantivos de doble forma buscan contrarrestar e incluir a las mujeres en espacios donde socialmente no han sido consideradas. Como el lenguaje, el uso de estas palabras se basa en la utilización de las dos formas gramaticales de un sustantivo, por ejemplo *niños y niñas* en donde se tiene en cuenta lo masculino y femenino, en este orden de ideas dentro de la codificación se encontró que en 25 de los casos de noticias de prensa escrita, los y las escritoras hacen uso de los sustantivos de doble forma, la distinción de estas palabras de manera ejemplificada corresponde a *niños y niñas, vecinas y vecinos* teniendo en cuenta lo anterior, es importante destacar que se generan la distinción, como se evidencia en uno de los casos donde el masculino general de médico, se vio enfocado hacia el género femenino expresándose como *Médica del centro asistencial*.

Es importante considerar que hay alternativas por explorar para crear usos del lenguaje que ayuden a incrementar la igualdad [29]. Un claro ejemplo de estas alternativas es el uso de las palabras doble forma, quienes buscan una equidad e inclusión en el lenguaje.

En el caso de 85 noticias no se presenta sustantivos de doble forma, no obstante, en 53 se logró evidenciar la falta de sustantivo de doble forma, *sus amigos, investigadores, vecinos* son sustantivos utilizados para distinguir desde el género masculino, es decir se sugiere utilizar *amigos y amigas, investigadores e investigadoras y vecinos o vecinas* de este modo se tendría en cuenta a los dos géneros gramaticales, es importante conocer que impide que se usen estas formas de expresión.

Las palabras de doble forma juegan un papel importante en el lenguaje de género, ya que de manera cultural no se utilizan, ha existido por costumbre el uso de un lenguaje cuya expresión general es la masculinidad de la lengua. Expresiones que definen solo a un género como *sus vecinos, amigos, los profesionales, investigadores, funcionarios* es la muestra de un lenguaje donde el género femenino no se ve representado.

### 3.3 Sustantivos epicenos

Los sustantivos epicenos son genéricos, gramaticalmente no definen ningún género, se consideran asexuados, ya que no genera una distinción ni masculina ni femenina, el sustantivo con más frecuencia es *familiares* con 36 menciones de 163 artículos analizados, es un término que se refiere a un sustantivo que no posee marca de género y que su marcación está dada en los determinantes o adjetivos que los acompañan. Luego podrían darse excepciones, como ocurre en todos los sistemas lingüísticos naturales, porque morfológicamente se han construido de manera anómala [30].

Los sustantivos epicenos son genéricos, engloban tanto a hombres como a mujeres [31]. Considerando esto los sinónimos heterónimos identificados con mayor frecuencia corresponden de manera ejemplificada a *familia, comunidad, ciudadanía*, de esta forma es importante destacar que este grupo de sustantivos se diferencia por una distinción gramatical que no permite en lo absoluto la diferenciación del sexo y el género [32]. Considerando lo anterior no se admite ninguna alteración formal ni el cambio del género.

### 3.4 Sustantivos heterónimos

Los sustantivos heterónimos son aquellos que generan una distinción del género femenino y masculino desde palabras totalmente diferentes, es decir a diferencia de los sustantivos de doble forma que varían a partir de una raíz común, por ejemplo: hijo/hija, los heterónimos cambian de manera completa, por ejemplo: hombre-mujer, padre-madre, nuera-yerno [33]. Es de señalar que estos sustantivos juegan un papel importante dentro del lenguaje de género ya que es aquí donde se evidencia el uso del lenguaje con dicha perspectiva.

Teniendo en cuenta lo anterior y destacando que el uso de estos sustantivos heterónimos da como resultado la visibilización de ambos géneros desde la raíz gramatical del español, en los resultados de este artículo se logró evidenciar que en 33 artículos de prensa se usaron estos sustantivos, de manera ejemplificada se encuentran casos como *el hombre y mujer* en este caso se logró evidenciar que dentro de los relatos de las noticias de feminicidios se destaca el género masculino y femenino.

Sin embargo, es importante reconocer que actualmente no existe un lenguaje no sexista universal o uno que funcione a la perfección, todo cambio lleva tiempo, y al tratarse de la lengua, un cambio puede implicar siglos. Nosotros como sociedad somos quienes construimos la lengua [31] teniendo en cuenta lo anterior es importante destacar que el lenguaje desde su inicio fue creado donde las mujeres no eran consideradas como sujetos participativos, y el reflejo de ello son los sustantivos heterónimos, no obstante, en la actualidad las mujeres han podido ingresar en espacios patriarcales, y comenzar desde la difusión de las noticias y el discurso juega un papel educativo, de lo que culturalmente y socialmente hemos concebido como lenguaje.

## 4. CONCLUSIONES

El español a diferencia de otras lenguas utiliza el masculino como género no marcado en el sistema gramatical. Ello es, el uso del término masculino en los nombres de personas para designar tanto a hombres

como a mujeres [34] y esto hace que se utilice por costumbre en la escritura y el habla. Por otra parte, [34] expresa que el desdoblamiento de los géneros gramaticales no tiene por qué estar vedado ni tiene por qué ser sistemático y es que usar el *todos* y *todas* y otras dobles formas suelen ser difíciles de sostener en la extensión completa de un documento o discurso, por lo general se usan al inicio o en ciertos escenarios que requieren de esa distinción. Esto se suma a la defensa por el uso de la economía del lenguaje que básicamente consiste en decir más con la menor cantidad de palabras posibles.

Otra discusión ha girado en torno al uso de ciertos signos como arroba (@), que pierde sentido en el uso oral, porque no hay manera de pronunciar, por ejemplo, la palabra *sobrin@*, ésta tendría que decirse, algo así como, *sobrinoarroba*. De allí que esta acepción haya sido sujeta de múltiples críticas.

En general se observan posturas a favor y en contra del uso de las palabras de doble forma. Sin embargo, es importante considerar que el lenguaje más allá de su expresión gramatical también tiene un componente simbólico, esto es, está cargado de significados.

Algunos colectivos feministas luchan por la visibilización, tanto en la cotidianidad como en el uso del lenguaje, del género femenino. Es usual hacer alusión a la famosa frase *lo que no se nombra, no existe* de George Steiner para dar cuenta de la importancia del lenguaje inclusivo y que visibilice en particular a las mujeres. También, se ha cuestionado el androcentrismo que pone a los hombres en el centro de la construcción del conocimiento, incluidas las normas gramaticales. Mientras tanto un cúmulo de lingüistas luchan por aclarar que algunos nombres de personas masculinos no hacen alusión al sexo, en este sentido existiría un masculino inclusivo tal como lo dispone actualmente la RAE [35].

El trabajo realizado desde instituciones nacionales e internacionales orientadas a la no discriminación y el lenguaje no sexista ha sido cuantioso. Hoy en día se encuentran orientaciones como las dadas por *el manual para la comunicación libre de sexismo y discriminación para la prevención y eliminación de las violencias contra las mujeres* de la secretaria de la mujer de Bogotá; el texto de *recomendaciones para ser incluyentes desde el lenguaje* de la consejería presidencial para la equidad de la mujer; y otras guías de lenguaje inclusivo que prevalecen en instituciones de educación superior para elaborar piezas comunicativas y documentos académicos en las universidades. En general la propuesta del uso de lenguaje no sexista es ampliamente divulgada y algunas veces acogida.

Es importante señalar que las guías, manuales y orientaciones por lo general incluyen elementos tanto gramaticales como socioculturales como los abordados en esta investigación. Esto teniendo en cuenta que el lenguaje forma un conjunto de construcciones abstractas en las cuales inciden juicios, valores y prejuicios que se aprenden y se enseñan, que conforman maneras de pensar y de percibir la realidad [29]. El lenguaje sexista contiene atribuciones de comportamientos, roles, atributos según el sexo y generalmente ponen a unos en posición de ventaja de otros, como se observó en los resultados analizados sobre los titulares y contenidos de algunos artículos de prensa que más allá del uso de palabras de doble forma, sustantivos epícoros y heterónomos mostraban un lenguaje sexista.

A modo de recomendación y dados los resultados de este estudio, se sugiere realizar una exploración sobre los condicionantes de la redacción periodística. Como se observó, algunos artículos hacen uso de palabras de doble forma, epícoros o heterónomos sin embargo no es claro de dónde surge la motivación por su uso o no uso. De otro lado es fundamental erradicar de la redacción en prensa el lenguaje sexista, con atribuciones respecto al sexo que deja en desventaja a la mujer, victimizándola aún posterior a su muerte e invisibilizando el rol y lugar de sus familiares, además transmiten un mensaje machista, patriarcal y violento al justificar las violencias de género, incluido el feminicidio como su máxima expresión.

## REFERENCIAS

- [1] Saccomano C. (2017). El feminicidio en América Latina: ¿vacío legal o déficit del Estado de derecho? Revista CIDOB d'Afers Internacional 67, 51-78.
- [2] Congreso nacional. (2000). Ley 599. De las normas rectoras de la ley penal colombiana. Bogotá.
- [3] Ramírez J. (2018). El Feminicidio en Colombia. Trabajo de grado. Universidad La Gran Colombia.



- [4] Observatorio de Igualdad de Género de América Latina y el Caribe. (2019). Recuperado: <https://oig.cepal.org/es/indicadores/muerte-mujeres-ocasionada-su-pareja-o-ex-pareja-intima>
- [5] Observatorio de feminicidios de Colombia. (2020). Recuperado: [observatoriofeminicidioscolombia.org/%2Findex.php%2Fseguimiento%2Fboletin-nacional%2F434-vivas-nos-queremos-boletin-mensual-sobre-feminicidios-en-colombia-junio-de-2020](http://observatoriofeminicidioscolombia.org/%2Findex.php%2Fseguimiento%2Fboletin-nacional%2F434-vivas-nos-queremos-boletin-mensual-sobre-feminicidios-en-colombia-junio-de-2020)
- [6] Gómez J. (2020). RCN Radio. Recuperado: <https://www.rcnradio.com/bogota/feminicidios-en-bogota-han-aumentado-un-86-este-ano>
- [7] Alfaro S. y Méndez K. (2013). Análisis sobre el uso del lenguaje sexista en las noticias de la sección nacional de los periódicos la prensa gráfica y el diario de hoy durante los meses de noviembre y diciembre de 2012. Trabajo de grado. Universidad del Salvador.
- [8] García E. y Villanueva M. (2020). Víctimas y victimarios de feminicidio en el lenguaje de la prensa escrita mexicana. *Revista Científica de Educomunicación* 89, 51-60.
- [9] Muñoz F. (2016). Discursos sobre el feminicidio en la prensa escrita: El Comercio (2012) y Trome (2013): entre la visibilización/invisibilización del fenómeno. *Feminismos descoloniales del Sur. Lenguas, memorias y genealogías coloniales* 112, 97-125.
- [10] Cabrera A. (2018). Violencia de género y feminicidio en la prensa escrita: caso "La República". Trabajo de grado. Universidad Nacional de San Agustín.
- [11] Flore P. (2017). Cubrimiento periodístico y visibilidad del feminicidio en El Heraldo. Trabajo de grado. Universidad del Norte.
- [12] González L. (2017). Análisis crítico de las estrategias discursivas y su incidencia en los interlocutores, a partir de las construcciones de género en la prensa escrita de la Revista Semana, entre enero y diciembre del 2015. Trabajo de grado. Universidad del Tolima.
- [13] Barraca J. (2010). El lenguaje de género como violencia y promotor de la misma. *Revista Comunicación y Hombre* 7, 173-182.
- [14] Pozzo M. y Soloviec K. (2011). Culturas y lenguas: La importa cultural en la interpretación lingüística. *Tiempo de educar* 88, 171-205.
- [15] Matos M. (2006). Antropología lingüística: nuevas relaciones. En III Simposio Internacional José Carlos Lisboa de didáctica del español como lengua extranjera. Rio de Janeiro, Brasil.
- [16] García I. (2014). Estudio de un medio especializado impreso y de su versión digital: El caso de Autopista y Autopista.es. Disertación doctoral. Universidad Complutense.
- [17] Consejo Nacional de la Cultura y las Artes. (2016). Guía de lenguaje inclusivo de género. Chile.
- [18] Suba V. (2000). Diccionario ideológico feminista I. 3ra ed.
- [19] Leal S. (2001). El lenguaje sexista. Universidad de Sevilla. Trabajo de grado. Universidad de Sevilla.
- [20] Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. (2011). Guía para el uso no sexista del lenguaje. Recuperado: [https://www.inmujeres.gob.es/servRecursos/formacion/GuiasLengNoSexista/docs/Guiaslenguajenosexista\\_.pdf](https://www.inmujeres.gob.es/servRecursos/formacion/GuiasLengNoSexista/docs/Guiaslenguajenosexista_.pdf)
- [21] Español correcto. (2014). En español correcto. Expresión y escritura 67, 1-15.
- [22] Calvo Y. (2013). Redacción con lenguaje inclusivo. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- [23] Etchecury C. et al. (2019). La interrelación de la migración y la educación. *Humanidades migrantes*. En VI Encuentro de Egresados y estudiantes de posgrado.
- [24] Ocaña L. (2015). Enfoques y métodos de investigación en las ciencias humanas y sociales. Ediciones de la U.
- [25] Barrantes R. (2014). Un camino al conocimiento, un enfoque cualitativo, cuantitativo y mixto. Editorial EUNED.
- [26] Cifuentes R. (2011). Diseño de proyectos de investigación cualitativa. Noveduc.
- [27] Sayago S. (2014). El análisis del discurso como técnica de investigación cualitativa y cuantitativa en las ciencias sociales. *Cinta moebio* 45, 1-10.
- [28] Sordo L. et al. (2013). Muestreo dirigido por los participantes para el estudio de poblaciones de difícil acceso. Madrid.
- [29] Guiachard C. (2018). Manual de comunicación no sexista hacia un lenguaje incluyente. Instituto Nacional de las Mujeres.
- [30] Zuluaga L. (2016). La enseñanza del género gramatical en español como segunda lengua. *Sophia* 89, 207-215.
- [31] Martínez M. (2007). Lenguaje de género: ¿necesidad o necedad? *EntreTextos*.
- [32] Reinosová N. (2009). El género de los sustantivos (con especial atención al género femenino). Trabajo de grado. Masarykova univerzita.
- [33] Caldevilla D. (2013). El papel de la prensa escrita como agente socializador. *Revista de Estrategias, Tendencias e Innovación en Comunicación* 39, 205-222.
- [34] Miranda P. (2018). El género y la lengua. *Revista Turner* 56, 1-12.
- [35] Giró J. (2020). El masculino inclusivo en español. *Revista Española de Lingüística* 50(1), 35-64.

# Análisis de los procesos de prensado de la harina de pescado a través de técnicas de aprendizaje automático

Viren Lalit Daswani Daswani<sup>1</sup>  
Carla Francisca Figueroa Larraín<sup>2</sup>  
Vivian Natali Segovia Barros<sup>3</sup>  
Francisco Javier Cartes Arenas<sup>4</sup>  
<sup>1, 3, 4</sup> *Universidad Arturo Prat*  
<sup>2</sup> *Centro de Formación Técnica Tarapacá*  
Chile

La utilización de herramientas que aporten en la disminución de costos, el aprovechamiento de la materia prima y el aseguramiento de calidad, entre otras acciones, son relevantes al momento en que una empresa pretende ser más competitiva. Esta es la intención de Corpesca S.A., una empresa dedicada a la elaboración de harina y aceite de pescado, que ofrece harinas de calidades estándar, especial, prime y super prime. Actualmente, la empresa dirige sus esfuerzos a mejorar el proceso productivo, que se ve afectado por la amplia variabilidad en las condiciones y características de la materia prima, lo que hace que los operadores tengan que tomar continuamente decisiones sobre cuáles son los parámetros más adecuados a utilizar, en especial en el proceso de prensado. El objetivo de este estudio es aplicar técnicas de aprendizaje automático en el proceso de prensado en Corpesca S.A. En primera instancia esto se logró mediante el análisis del proceso, luego se identificaron las variables involucradas y se recopilaron datos, con el fin de construir una base de datos que permitiera desarrollar distintos modelos de aprendizaje automático. Dentro de los resultados se obtuvo una aproximación de los parámetros de proceso de prensado óptimos, según el ingreso de ciertas variables que caracterizan la materia prima. La implementación requiere un sistema de recolección y almacenamiento de datos que permita contar con los suficientes para mejorar el modelo constantemente, para utilizarlos en la predicción de parámetros de operación y no depender de la experiencia e intuición de los operadores.

---

<sup>1</sup> Ingeniero Civil Industrial.  
Contacto: [virendaswani@gmail.com](mailto:virendaswani@gmail.com)

<sup>2</sup> Ingeniero Civil Industrial.  
Contacto: [cfigueroa@cftestatalestarapaca.cl](mailto:cfigueroa@cftestatalestarapaca.cl)

<sup>3</sup> Ingeniero Civil Industrial y Doctor en Sistemas de Ingeniería.  
Contacto: [vsegovia@unap.cl](mailto:vsegovia@unap.cl)

<sup>4</sup> Magíster en Estadística Aplicada.  
Contacto: [fcartes@unap.cl](mailto:fcartes@unap.cl)

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, el entorno empresarial es cada vez más exigente en términos de calidad de productos y servicios, por lo que, para perdurar en el tiempo se vuelve imprescindible identificar deficiencias y trabajar para solucionarlas [1], existen variadas herramientas para el logro de este objetivo y la utilización del aprendizaje automático ha tomado un gran protagonismo en los últimos tiempos [2]. Esto se debe a que la posibilidad existente de generar y almacenar grandes volúmenes de datos ha llevado a un avance en técnicas de análisis de estos, logrando extraer información valiosa que apoye a la toma de decisiones [3]. Inclusive las industrias están desarrollando modelos más robustos capaces de analizar una cantidad de datos más grandes y complejos ofreciendo resultados más precisos, lo cual permite a las organizaciones identificar más rápidamente oportunidades rentables y riesgos potenciales [4].

Existen empresas de diversos rubros que han implementado mecanismos que permiten el uso de datos para la mejora de sus productos y servicios, una de las empresas más reconocidas en aplicar esta técnica es Amazon, quienes desde un principio tuvieron claridad de que los datos son una herramienta valiosa. Además de esta compañía, existen otros casos en donde las empresas se han beneficiado por codificar el valor oculto que tienen sus datos [5].

En las compañías manufactureras también surge la necesidad de producir conocimiento a partir de los datos generados en sus procesos y así diseñar nuevas formas de operar. Un ejemplo con este tipo de industria es utilizar los datos procedentes de máquinas de manufactura, principalmente obtenidos por medio de sensores ubicados a lo largo del proceso productivo, que al ser combinados con un efectivo análisis de la demanda permite una producción óptima, minimizando el desperdicio y el retrabajo [6].

El objetivo de este estudio es analizar la variación de la calidad de la harina de pescado con características conocidas de la materia prima. Además, se presenta la aplicación de técnicas de aprendizaje automático en el proceso de prensado con el propósito de brindar un aporte en la toma de decisiones respecto a los parámetros que se deben utilizar durante la operación según las características de la materia prima, para obtener la mejor calidad de harina posible. Los datos utilizados para realizar este análisis fueron obtenidos de Corpesca S.A., empresa productora de harina de pescado ubicada en el norte de Chile, que ofrece harina de pescado de calidad prime, super prime, especial y estándar.

## 2. MARCO CONCEPTUAL

### 2.1 Harina de pescado

La harina de pescado es un producto orgánico compuesto principalmente de proteínas, es utilizada como ingrediente base en la elaboración de alimentos para la industria agroalimentaria y acuícola, debido a su alto nivel de energía, y esenciales compuestos. Chile figura como uno de los principales productores y exportadores de harina de pescado, encontrándose cuarto en cuanto a producción a nivel mundial y segundo en cuanto a exportaciones con 210 mil toneladas exportadas durante el 2021, siendo superado solo por Perú según las estadísticas entregadas por [7].

La harina de pescado se puede elaborar a partir de subproductos o de pescado no apto para el consumo humano. Principalmente se utilizan especies pelágicas, como lo son la anchoveta, el jurel y la caballa.

### 2.2 Proceso productivo de la harina de pescado

La producción de la harina de pescado en su gran totalidad se elabora según el método de prensado húmedo que consiste en las etapas de Captura de materia prima, Descarga, Cocción, Prensado, Secado y Molienda. Existen estudios que indican que la calidad de la harina de pescado está influenciada por múltiples factores a lo largo del proceso productivo, siendo el prensado un factor determinante para cumplir con los criterios de calidad establecidos por la misma empresa, ya que en esta etapa se busca eliminar la mayor cantidad de agua posible en el pescado y además extraer el aceite contenido, el cual no se elimina en ninguna etapa posterior del proceso y condiciona la calidad del producto final [8], es por estas

razones que continuamente se realizan pruebas para medir la humedad y la grasa que se está obteniendo del proceso de prensado y así realizar modificaciones a los parámetros del equipo para conseguir los mejores resultados, estos parámetros dependen directamente de la materia prima con la que se esté trabajando, la cual es variable en términos de descomposición y composición, lo que conlleva a estar en una continua toma de decisiones respecto a cómo proceder en la elaboración.

### 2.3 Generalidades de modelo lineal

El modelo de regresión lineal es un algoritmo de aprendizaje supervisado utilizado en machine learning cuyo propósito es determinar patrones entre una o múltiples variables independientes con una variable de dependiente de naturaleza continua, mediante el ajuste de una ecuación lineal [9]. La regresión lineal simple es aquel modelo en que hay una única variable independiente, mientras que regresión lineal múltiple hay más de una variable independiente [10]. Este modelo considera que la media  $\mu$  de la variable dependiente  $y$ , de un conjunto de observaciones, se relaciona de forma lineal con las variables independientes o predictoras, denotadas por  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , considerando que los predictores pueden ser continuos o categóricos. Es decir, la ecuación que representa esta relación viene dada por la *ecuación (1)*  $\mu(y) = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_nx_n$ .

De la ecuación anterior  $\beta_0$  es el valor medio que toma la variable dependiente cuando todas las variables predictoras toman el valor cero, esta es la ordenada de origen o conocida como intercepto; los  $\beta_j$  son conocidos como los coeficientes parciales de regresión de cada variable y es el efecto medio que tiene sobre la variable de respuesta el incremento de una unidad de la variable independiente cuando el resto de las variables se mantiene constante [11].

Para garantizar que las conclusiones extraídas del modelo de regresión lineal ajustado sean válidas, se deben verificar existen cuatro supuestos basados en el desarrollo matemático del modelo [12], estos supuestos además permiten analizar los resultados obtenidos del modelo con el objetivo de volver a ajustarlo las veces que sea necesario hasta llegar a un modelo óptimo. Estos supuestos son:

- *Linealidad*: Indica la existencia de una relación lineal entre la variable dependiente con la variable independiente. Este supuesto se puede comprobar mediante la gráfica de los valores predichos versus los valores reales, en donde se debe observar visualmente que las predicciones se ajustan a una línea recta, en tal caso se puede dar por cumplido este supuesto.
- *Homocedasticidad*: Los residuos del modelo deben de tener una varianza constante, en caso contrario existe una heterocedasticidad, esto puede surgir en la presencia de valores atípicos o de apalancamiento extremo. Para verificar el cumplimiento de homocedasticidad se puede utilizar gráficas de dispersión de los valores ajustados contra los residuos estandarizados, de no haber una tendencia en los residuos (creciente o decreciente), se podría considerar que los errores tienen varianza constante.
- *Normalidad*: Este supuesto se verifica utilizando los residuos del modelo los cuales deben distribuirse normalmente. Es decir, cuando la gráfica se asemeja a una distribución normal o forma de campana. Otra forma de visualizar de manera gráfica este supuesto es utilizando el diagrama Q-Q en donde se puede concluir que el conjunto de datos se distribuye razonablemente normal cuando la forma de la gráfica se asemeja a una línea recta.
- *Multicolinealidad*: Asume que los predictores no están correlacionados entre sí. Esto se puede observar mediante una matriz de correlaciones en donde se indican qué tan fuerte es la relación entre las variables predictoras. En la Tabla 1 se presentan la clasificación de correlaciones según el coeficiente de Person [13].

En la práctica no siempre se cumplen o se puede demostrar el cumplimiento de todos los supuestos. Sin embargo, esto no significa que el modelo sea útil. Lo importante es tener conciencia de lo que significan y del impacto que esto tiene en las conclusiones que se extraen del modelo ajustado [10].

**Tabla 1.** Clasificación de correlaciones

| Rango       | Correlación |
|-------------|-------------|
| $r=0$       | Nula        |
| $0<r<0,2$   | Muy baja    |
| $0,2<r<0,4$ | Baja        |
| $0,4<r<0,6$ | Moderada    |
| $0,6<r<0,8$ | Alta        |
| $0,8<r<1$   | Muy alta    |
| $r=1$       | Perfecta    |

### 3. MÉTODO

#### 3.1 Recolección de datos

Los datos utilizados en este estudio provienen de las bases de datos y reportes pertenecientes a la empresa Corpesca S.A. y corresponden al período 2021, de donde se extrajeron las características de la materia prima que se miden previo a su ingreso al proceso de cocción, entre estas características se observa el porcentaje que le corresponde a cada especie y la composición proximal de la materia prima contenida en ese pozo. Además, se extrajo los parámetros que se utilizaron en el equipo de prensado durante el procesamiento de la materia prima de un pozo en particular.

Para la confección del modelo, se empleó el algoritmo de regresión lineal múltiple y regresión lineal múltiple Ridge. Se utilizó el lenguaje de programación Python en el entorno de programación Júpiter. De los parámetros utilizados en el equipo de prensado se definieron los siguientes criterios para seleccionar la variable dependiente:

- *Influencia:* Existen variables que se controlan en los equipos para verificar su buen funcionamiento, pero que no se ven influenciadas por las características de la materia prima, es decir, no es relevante predecir éstas en función de las variables que se están considerando como independientes, y por tal motivo se excluyen.
- *Disponibilidad:* Este criterio señala que los datos deben existir o su recopilación es una tarea viable. Aunque a veces se puede asumir que no todos los datos serán de la mejor calidad, pero se debe procurar contar con una base de datos con la máxima calidad posible considerando los recursos disponibles. Estos tienen que aprovecharse y utilizarse de la manera más adecuada [14].
- *Veracidad:* Este criterio indica que los datos de las variables deben ser correctamente registrados, ya que si estos tienen una pobre calidad los resultados que se obtendrán serán inciertos y poca creíbles [14].

#### 3.2 Variables del estudio

Los predictores que se eligieron son aquellos que la empresa utiliza para el proceso de caracterización de la materia prima. En la Tabla 2 se detallan las variables utilizadas para ajustar el modelo, la notación en dichos modelos, una breve descripción de lo que miden y la unidad de medida. De las variables mencionadas Anchoa, Jurel, Caballa, Otros, Prot, Gra, Cen, Hum, Sal y TVN son las variables independientes o predictores, y RPM es la variable explicada.

**Tabla 2.** Descripción de las variables de estudio

| Variable                  | Notación | Descripción  | Unidad de medida | Naturaleza |
|---------------------------|----------|--|------------------|------------|
| Anchoveta                 | Anchoa   | Razón de anchoveta contenida en la descarga, varía entre 0 - 1         | Razón            | Continua   |
| Jurel                     | Jurel    | Razón de jurel contenida en la descarga, varía entre 0 y 1             | Razón            | Continua   |
| Caballa                   | Caballa  | Razón de caballa contenida en la descarga, varía entre 0 y 1           | Razón            | Continua   |
| Otros                     | Otros    | Razón de otras especies contenidas en la descarga, varía entre 0 y 0,3 | Razón            | Continua   |
| Proteína de materia prima | Prot     | Porcentaje de proteína de la materia prima, varía entre 12,2% y 20,3%  | Porcentaje       | Continua   |

|  |     |  |            |          |
|--|-----|--|------------|----------|
| Grasa de materia prima                   | Gra | Porcentaje de grasa de la materia prima, varía entre 2,5% y 13,1%  | Porcentaje | Continua |
| Humedad de materia prima                 | Hum | Porcentaje de agua de la materia prima, varía entre 65,9% y 81,7%  | Porcentaje | Continua |
| Sal de materia prima                     | Sal | Porcentaje de sal que contiene la materia prima, varía entre 0,4% y 1,5%   | Porcentaje | Continua |
| Ceniza de materia prima                  | Cen | Porcentaje de ceniza que contiene la materia prima, varía entre 1,8% y 3,3%  | Porcentaje | Continua |
| Nitrógeno total volátil de materia prima | TVN | Concentración de nitrógeno total volátil, utilizado para medir el nivel de frescura de la materia prima, varía entre 9 mg N/100 g y 116 mg N/100 g | mg N/100 g | Discreta |
| Revoluciones por minuto de la prensa     | RPM | Revoluciones por minuto con las que opera la prensa, varía entre 0,89 RPM y 3,25 RPM   | RPM        | Continua |

### 3.3 Procedimiento

Una vez recabada la información que conformó la base de datos, se realizó un análisis exploratorio, proceso en el cual se determinó la existencia de datos ausentes y atípicos, y el cálculo de las medidas de resumen tales como la media aritmética y la desviación estándar. También se visualizó la distribución de los datos de cada variable a través de histogramas, se estudió el grado de intensidad de las relaciones entre los predictores calculando correlaciones simples y correlaciones parciales. El nivel de confianza utilizado para los análisis estadísticos en este estudio corresponde al 95%.

Posteriormente se ajustó el modelo de regresión lineal múltiple y el modelo de regresión lineal múltiple Ridge, empleando las revoluciones por minuto de la prensa RPM como variable dependiente. Para el ajuste de los modelos se consideraron dos grupos de datos, el primero estuvo conformado por el 80% de los datos iniciales y se denominó *conjunto de entrenamiento* con el cual se construyeron los modelos, mientras que el segundo grupo denominado *conjunto de prueba* se conformó por el 20% restante y su finalidad fue validar los modelos.

Decidir la forma de distribución de los datos en ambos conjuntos es algo arbitrario, aunque como regla general se utiliza un conjunto de prueba que contenga el 25% de los datos [15].

Finalmente, se realizó una comparación de las métricas entre ambos modelos para determinar el que mejor explique la variación de la velocidad de la prensa (RPM) con respecto a los predictores. Estas métricas correspondieron a las más utilizadas para estimar el rendimiento y evaluar el ajuste de los modelos de regresión lineal, las cuales son [16]:

- MSE: El error cuadrático medio (MSE) mide el error que hay entre dos conjuntos de datos, es decir, compara un valor predicho y un valor conocido. Cuanto más pequeño sea el valor del MSE mejor será el modelo ya que los valores predichos y observados son más cercanos, si se obtiene un valor de 0, esto quiere decir que el modelo es perfecto.
- RMSE: La raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE) es una extensión del error cuadrático medio. Es importante destacar que el RMSE equivale a la raíz cuadrada del MSE, lo que significa que las unidades del RMSE son iguales a las del valor objetivo que se predice.
- MAE: Se calcula como un promedio de diferencias absolutas entre los valores objetivo y las predicciones. El MAE es una puntuación lineal, lo que significa que todas las diferencias individuales se ponderan por igual en el promedio.
- R<sup>2</sup>: El coeficiente de determinación, o R<sup>2</sup> está estrechamente relacionada con el MSE. Éste siempre tendrá un resultado menor o igual a 1 indiferente del tamaño de los valores.

## 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 4.1 Análisis exploratorio

#### 4.1.1 Datos ausentes y atípicos

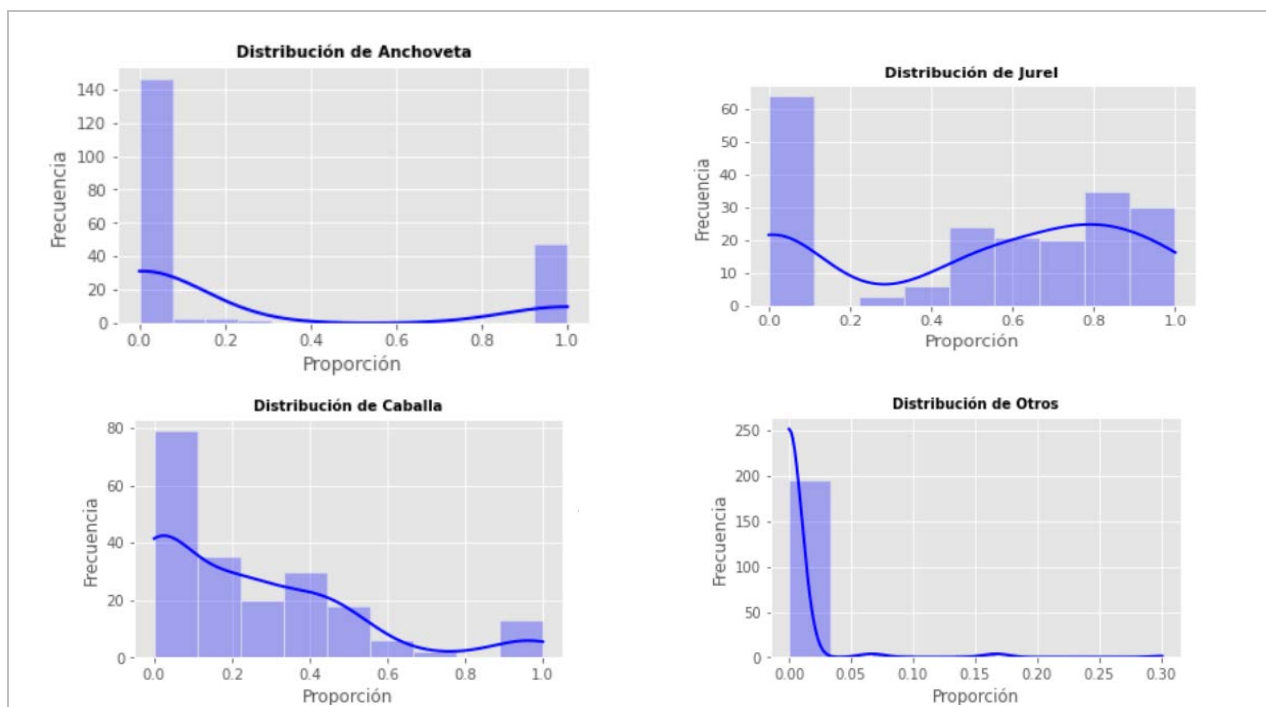
De acuerdo con el análisis exploratorio se detectaron 24 datos ausentes, por lo que se decidió eliminar las observaciones a las cuales estaban asociados para no perjudicar la eficiencia de predicción del modelo. Posteriormente, el tamaño final de la muestra fue de 201 observaciones, lo que se encuentra dentro de la recomendación de que sean entre 10 y 20 veces el número de predictores del modelo [10]. También se detectaron valores atípicos, sin embargo, con los datos históricos de la empresa se confirmó que la presencia de este tipo de datos es común y se debe a las características químicas del pescado. Con respecto a las medidas de resumen, en la Tabla 3 se exhibe el valor mínimo, máximo, media aritmética y desviación estándar de cada variable considerada en el estudio.

**Tabla 3.** Medidas de resumen de las variables de estudio

| Variable | Mínimo | Máximo | Media | Desv. Estándar |
|----------|--------|--------|-------|----------------|
| Anchoa   | 0      | 1      | 0,25  | 0,43           |
| Jurel    | 0      | 1      | 0,50  | 0,38           |
| Caballa  | 0      | 1      | 0,24  | 0,27           |
| Otros    | 0      | 0,3    | 0,00  | 0,03           |
| Prot     | 12,2   | 20,3   | 18,07 | 1,54           |
| Gra      | 2,5    | 13,1   | 8,18  | 2,83           |
| Hum      | 65,9   | 81,7   | 71,19 | 3,70           |
| Cen      | 1,8    | 3,3    | 2,45  | 0,46           |
| Sal      | 0,4    | 1,5    | 0,71  | 0,28           |
| TVN      | 9      | 116    | 27,47 | 16,72          |
| RPM      | 0,89   | 3,25   | 1,95  | 0,48           |

#### 4.1.2 Distribución

En la Figura 1 se exhibe la distribución de cada variable predictora y se observa que la variable *otros* toma el valor cero en la mayor parte de las observaciones, en consecuencia, al igual que en el conjunto de datos anteriormente analizado y dado el bajo aporte estadístico, se decidió no considerarla como una variable dentro del análisis.



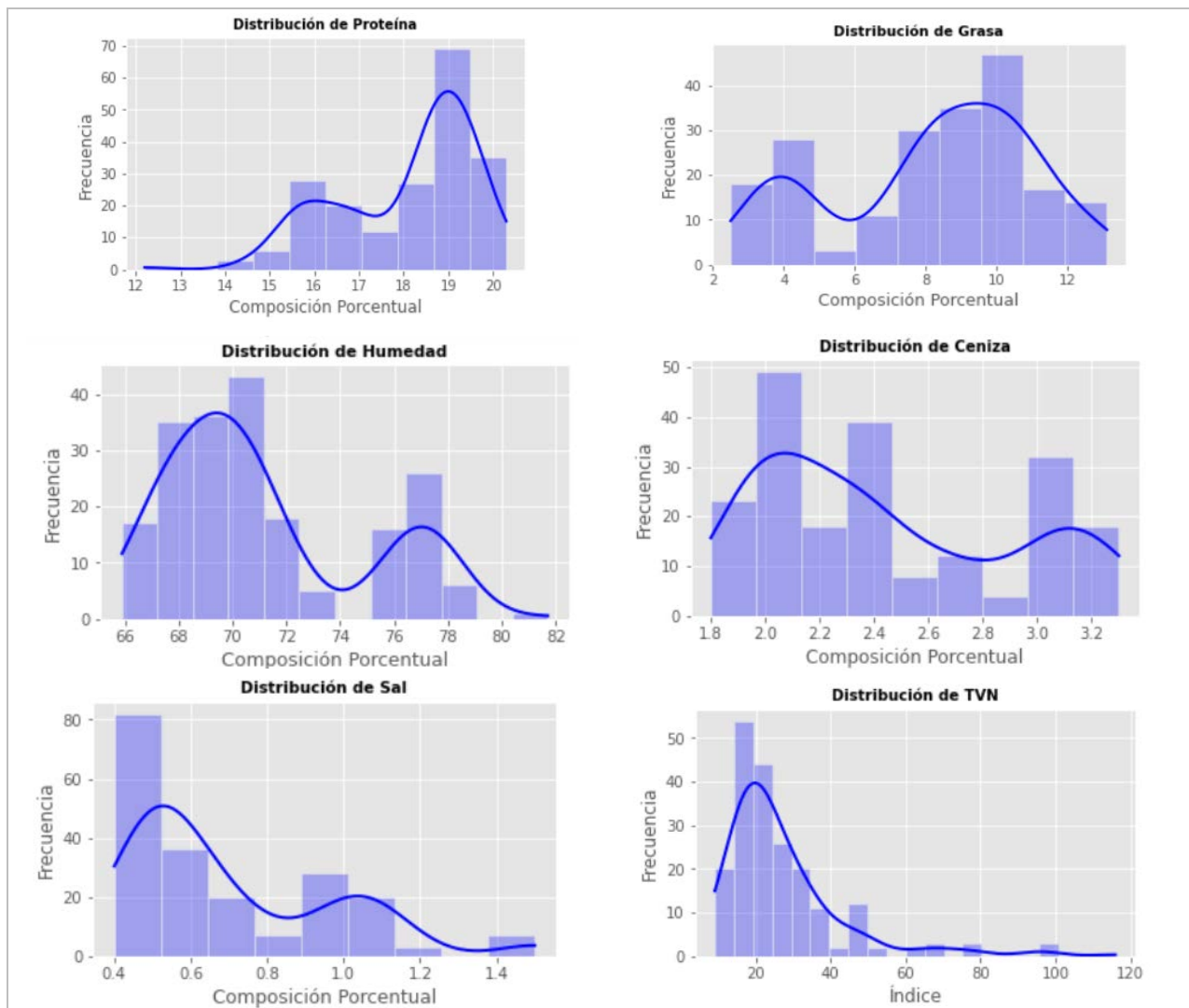


Figura 1. Distribución de predictores

#### 4.1.3 Análisis correlacional simple y parcial

A continuación, se analizaron las correlaciones simples entre las variables utilizando el coeficiente de correlación de Pearson ( $r_1$ ), las cuales quedan representadas en la Tabla 4. Se denotan con un asterisco (\*) aquellas correlaciones consideradas altas [13].

Tabla 4. Correlaciones simples entre las variables de estudio

|         | Anchoa | Jurel | Caballa | Prot   | Gra    | Hum   | Cen   | Sal  | TVN |
|---------|--------|-------|---------|--------|--------|-------|-------|------|-----|
| Anchoa  | 1      |       |         |        |        |       |       |      |     |
| Jurel   | -0,77* | 1     |         |        |        |       |       |      |     |
| Caballa | -0,50  | -0,16 | 1       |        |        |       |       |      |     |
| Prot    | -0,78* | 0,57  | 0,45    | 1      |        |       |       |      |     |
| Gra     | -0,85* | 0,48  | 0,67*   | 0,63*  | 1      |       |       |      |     |
| Hum     | 0,90*  | -0,54 | -0,67*  | -0,84* | -0,94* | 1     |       |      |     |
| Cen     | 0,85*  | -0,54 | -0,57   | -0,60* | -0,92* | 0,86* | 1     |      |     |
| Sal     | 0,71*  | -0,54 | -0,37   | -0,67* | -0,64* | 0,70* | 0,67* | 1    |     |
| TVN     | 0,67*  | -0,54 | -0,28   | -0,49  | -0,57  | 0,58  | 0,63* | 0,49 | 1   |

Según el análisis correlacional, se observa que existe una correlación inversa muy alta ( $r_1=-0,85$ ) entre Anchoa y Grasa, una correlación directa muy alta ( $r_1=0,9$ ) entre Anchoa y Humedad, una correlación directa muy alta ( $r_1=0,85$ ) entre Anchoa con Ceniza, una correlación inversa muy alta ( $r_1=-0,84$ ) entre Proteína y Humedad, una correlación inversa muy alta ( $r_1=-0,94$ ) entre Humedad y Grasa, una correlación inversa muy alta ( $r_1=-0,92$ ) entre Ceniza y Grasa, y una correlación directa muy alta ( $r=0,86$ ) entre Ceniza y Humedad. En la Tabla 5, se muestran los coeficientes de correlación parcial ( $r_2$ ) entre las variables de estudio.



**Tabla 5.** Correlaciones parciales entre las variables de estudio

|         | Anchoa | Jurel  | Caballa | Prot   | Gra    | Hum   | Cen  | Sal   | TVN |
|---------|--------|--------|---------|--------|--------|-------|------|-------|-----|
| Anchoa  | 1      |        |         |        |        |       |      |       |     |
| Jurel   | -0,98* | 1      |         |        |        |       |      |       |     |
| Caballa | -0,97* | -0,99* | 1       |        |        |       |      |       |     |
| Prot    | 0,12   | 0,15   | 0,12    | 1      |        |       |      |       |     |
| Gra     | 0,12   | 0,13   | 0,12    | -0,90* | 1      |       |      |       |     |
| Hum     | 0,08   | 0,07   | 0,04    | -0,93* | -0,94* | 1     |      |       |     |
| Cen     | 0,17   | 0,13   | 0,13    | -0,33  | -0,57  | -0,40 | 1    |       |     |
| Sal     | -0,05  | -0,07  | -0,06   | -0,15  | -0,04  | -0,05 | 0,17 | 1     |     |
| TVN     | 0,13   | 0,09   | 0,09    | -0,09  | -0,07  | -0,10 | 0,14 | -0,02 | 1   |

Del análisis correlacional parcial se obtuvo que existe una correlación parcial inversa perfecta ( $r_2=-0,98$ ) entre Anchoa y Jurel, una correlación parcial inversa perfecta ( $r_2=-0,97$ ) entre Anchoa y Caballa, una correlación parcial inversa perfecta ( $r_2=-0,99$ ) entre Jurel y Caballa, una correlación parcial inversa muy alta ( $r_2=-0,9$ ) entre Proteína y Grasa, una correlación parcial inversa muy alta ( $r_2=-0,93$ ) entre Proteína y Humedad, y una correlación parcial inversa muy alta ( $r_2=-0,94$ ) entre Humedad y Grasa.

Basado en las correlaciones simples y parciales se decidió excluir Humedad, que presentó correlaciones fuertes con más de una variable, por lo que esta no aporta información adicional al modelo. Por otro lado, no se eliminaron las variables Anchoa, Jurel y Caballa, a pesar de la correlación parcial existente entre ellas, son importantes en el estudio ya que la composición proximal es distinta en cada especie.

## 4.2 Ajuste de modelo

### 4.2.1 Regresión lineal múltiple

El ajuste del modelo se ejecutó realizando una primera iteración donde se incluyeron todas las variables, para las iteraciones posteriores se descartaron aquellos factores cuya significancia fue mayor al 5% y así obtener un modelo que solo considerara las variables estadísticamente significativas.

Además, para los dos modelos desarrollados en este estudio el intercepto debe tomar valor cero, en caso contrario RPM podría ser negativo o positivo cuando todas las demás variables fueran nulas, es decir, cuando no exista materia prima que procesar.

De los resultados del ajuste del modelo, mostrados en la Tabla 6, se presentan para cada variable el valor del coeficiente, el error estándar, el estadístico de prueba t y el nivel de significancia. Se denota con asterisco (\*) aquellos niveles de significancia menores al 5%. La biblioteca de programación utilizada para aplicar este algoritmo fue *scikit learn* o *sklearn*.

**Tabla 6.** Resultados primera iteración del modelo de regresión lineal múltiple

| Predictor | Coefficiente | Error estándar | Estadístico t | Sig.   |
|-----------|--------------|----------------|---------------|--------|
| Anchoa    | -0,1031      | 0,753          | -0,137        | 0,891  |
| Jurel     | 0,4391       | 0,81           | 0,542         | 0,588  |
| Caballa   | -0,0646      | 0,875          | -0,074        | 0,941  |
| Prot      | 0,0277       | 0,035          | 0,799         | 0,426  |
| Gra       | 0,0717       | 0,03           | 2,372         | 0,019* |
| Cen       | 0,359        | 0,168          | 2,141         | 0,034* |
| Sal       | -0,0984      | 0,156          | -0,629        | 0,530  |
| TVN       | -0,0046      | 0,003          | -1,799        | 0,074  |

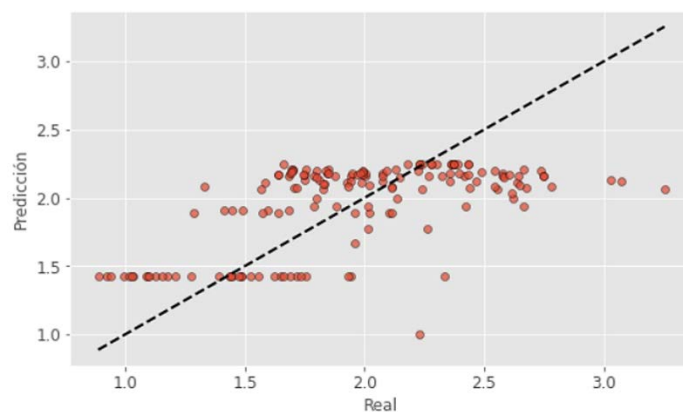
Según estos resultados, los factores que influyen significativamente en RPM fueron Proteína (Sig. 0,019) y Grasa (Sig. 0,034). Sin embargo, las variables Anchoa, Jurel y Caballa deben estar incluidas en el ajuste del modelo, debido a que tienen que ser consideradas según la proporción que se utilizarán para el proceso productivo, porque influyen en el ajuste del RPM de la prensa. Luego de descartar las variables que poseen un mayor valor p se ajusta nuevamente el modelo reiteradas veces hasta lograr que todas las variables sean significativas. La Tabla 7 presenta la información del modelo final.

**Tabla 7.** Resultados iteración final del modelo de regresión lineal múltiple

| Predictor | Coefficiente | Error estándar | Estadístico t | Sig.    |
|-----------|--------------|----------------|---------------|---------|
| Anchoa    | 1,4276       | 0,065          | 21,872        | <0,001* |
| Jurel     | 2,2495       | 0,054          | 41,718        | <0,001* |
| Caballa   | 1,8854       | 0,092          | 20,471        | <0,001* |

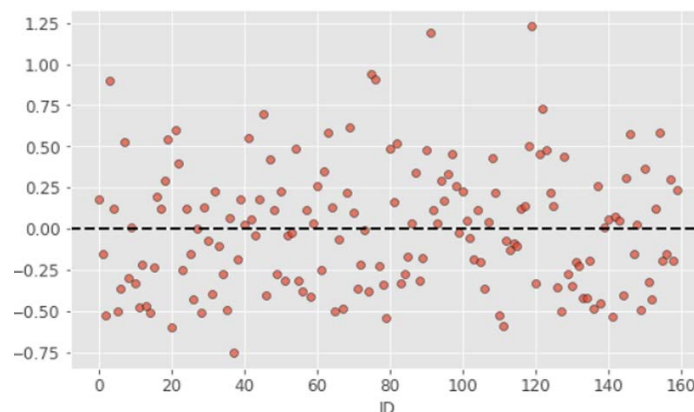
A partir de los valores obtenidos de las métricas de evaluación del modelo lineal, que fueron calculadas tanto para el conjunto de entrenamiento como para el conjunto de prueba, se obtuvo que  $R^2$  es 0,369 para el conjunto de entrenamiento, mientras que para el conjunto de prueba este valor asciende a 0,545, lo cual indica que se ajusta de forma similar ante la presencia de nuevos datos. Además, el MSE fue 0,145 para el conjunto de entrenamiento y para el conjunto de prueba fue 0,110. Por su parte el MAE para el conjunto de entrenamiento fue 0,310 y para el conjunto de prueba fue 0,281. Finalmente, el RMSE para el conjunto de entrenamiento fue 0,381 y para el conjunto de prueba fue 0,331, estos valores indican que en promedio las predicciones tienen un error de 0,300 RPM aproximadamente.

A continuación, se presenta la evaluación de los supuestos del modelo a partir del estudio de los residuos. En la Figura 2 se puede observar que existen zonas de buen rendimiento al ajustarse a la línea de tendencia, aunque estas van solo entre 1,8 y 2,4 RPM. Esto puede explicarse debido a que la bondad de ajuste del modelo es relativamente débil. Además, producto de esto mismo es que no se puede aceptar el supuesto de linealidad ya que no todos los puntos se aproximan a la línea de tendencia.



**Figura 2.** Diagrama de valores predichos versus valores reales

Luego, se analizó el supuesto de homocedasticidad considerando la gráfica de la varianza de los errores. Como se puede observar en la Figura 3 la varianza de los errores es razonablemente constante a lo largo de todas las observaciones del conjunto de entrenamiento, por ende, se puede concluir que se cumple el supuesto de homocedasticidad.



**Figura 3.** Diagrama de varianza de los errores

Para comprobar la normalidad de los residuos, se lleva a cabo una inspección visual de los diagramas de residuos del modelo. La Figura 4 muestra la distribución de los residuos y permite observar que los datos no se aproximan a una curva normal, mientras que al analizar la Figura 5 que contiene el gráfico cuantil-

cuantil (Q-Q) se aprecia que los puntos si se aproximan razonablemente bien a la diagonal, por lo tanto, se puede aceptar la hipótesis de normalidad.

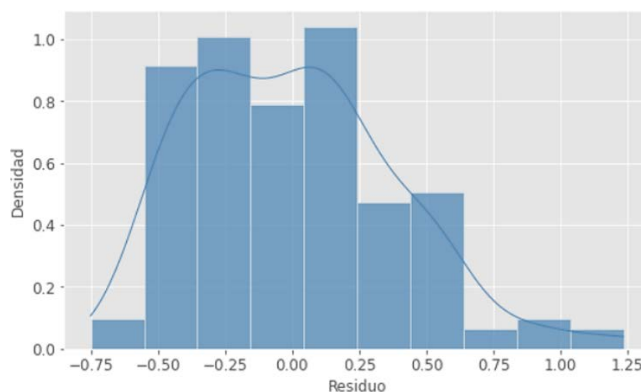


Figura 4. Distribución de residuos

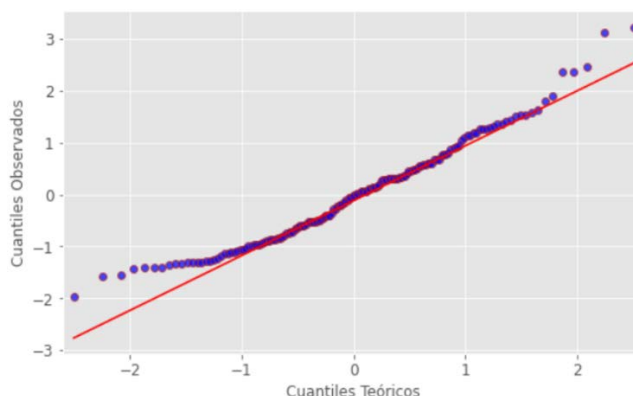


Figura 5. Diagrama de cuantiles teóricos

Según los resultados, se concluye que este modelo indica que es suficiente con conocer las proporciones de las especies en la materia prima para predecir un valor de RPM a utilizar en la prensa, es decir, que las características químicas que esa materia prima tenga no son de gran relevancia.

#### 4.2.2 Regresión lineal múltiple regularización Ridge

El modelo de regresión lineal múltiple con regularización Ridge busca el mejor hiperparámetro Lambda a través de la indagación por medio de una validación cruzada con los datos de entrenamiento optimizando el valor de RMSE [17]. Y la finalidad de haber ajustado este modelo fue atenuar el efecto de la alta correlación existente entre predictores detectada en el proceso de ajuste del modelo de regresión lineal múltiple, además de minimizar la influencia sobre el modelo de los predictores menos relacionados con la variable respuesta. Por las mismas razones expuestas en la sección anterior, el intercepto se consideró nulo.

Para el entrenamiento del modelo se dividen los datos en un conjunto de entrenamiento y un conjunto de prueba, estableciendo un 80% y un 20% de los datos respectivamente, obteniendo el valor óptimo del hiperparámetro Lambda ( $\lambda = 3.107866187782014$ ). En la Tabla 8 se especifican los coeficientes obtenidos en el ajuste del modelo de regresión lineal múltiple de regularización Ridge para cada variable.

Tabla 8. Resultados regresión lineal Ridge

| Variable | Coficiente  |
|----------|-------------|
| Anchoa   | -0,10108514 |
| Jurel    | 0,29300634  |
| Caballa  | -0,15901829 |
| Prot     | 0,05321593  |
| Gra      | 0,06201469  |
| Cen      | 0,22764693  |
| Sal      | -0,03967136 |
| TVN      | -0,00481819 |

Dado que la utilización de este modelo no entrega los valores necesarios para validar que cada variable utilizada sea significativa, se analizaron los residuos del modelo para verificar que los coeficientes obtenidos y las métricas del modelo sean fiables, además al igual que en modelo anteriormente desarrollado se comprueban los supuestos que se tienen que cumplir.

En base al cálculo de los valores obtenidos de las métricas de evaluación del modelo lineal con regularización Ridge, tanto para el conjunto de entrenamiento como para el conjunto de prueba, se obtuvo que  $R^2$  es 0,405, mientras que para el conjunto de prueba este valor asciende a 0,645, lo cual indica que el modelo se ajusta de manera similar ante la presencia de nuevos datos. Además, el MSE fue 0,137 para el conjunto de entrenamiento y para el conjunto de datos de prueba fue 0,086. Por su parte el MAE para el conjunto de entrenamiento fue 0,300 y para el conjunto de prueba fue 0,254. Finalmente, el RMSE para el conjunto de entrenamiento fue 0,370 y para el conjunto de prueba fue 0,293.

En la Figura 6 se puede observar que existen zonas de rendimiento desiguales, los valores predichos por el modelo cuando los valores reales son bajo los 1,5 RPM están levemente sobreestimados y los valores que se encuentran sobre los 2,5 RPM se alejan cada vez más de la línea de tendencia. A pesar de estos resultados, la mayoría de los valores predichos se ajustan razonablemente, por lo tanto, se acepta el supuesto de linealidad.

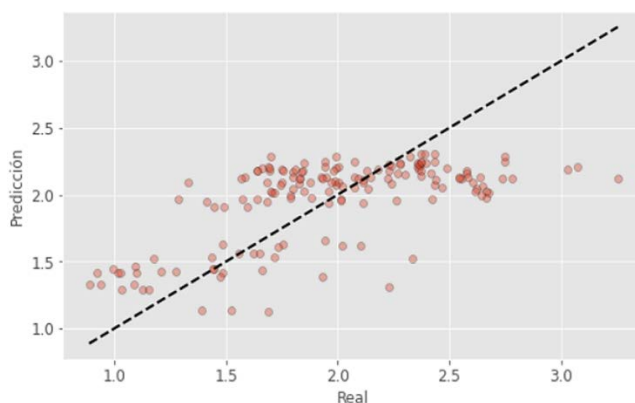


Figura 6. Diagrama de valores predichos versus valores reales

Luego, se realizó una inspección visual para comprobar el supuesto de homocedasticidad de los residuos. Como se visualiza en la Figura 7 la varianza de los errores es razonablemente constante a lo largo de todas las observaciones del conjunto de entrenamiento, por ende, se puede concluir que en este modelo también se cumple el supuesto de homocedasticidad.

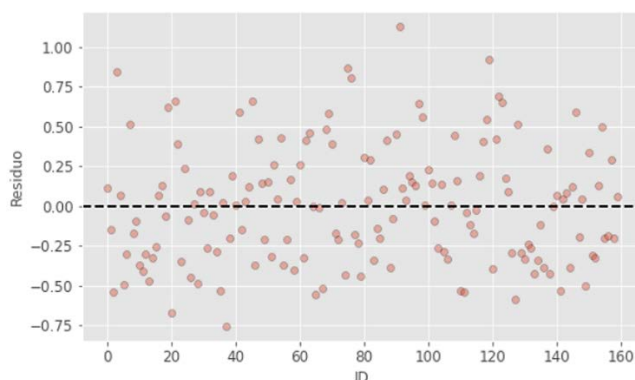


Figura 7. Diagrama de residuos

Se observa que la distribución de los errores del modelo se asemeja a una distribución normal como se puede apreciar en la Figura 8, luego al realizar una inspección visual a la Figura 9 se puede ver que los puntos si se aproximan razonablemente bien a la diagonal exceptuando las colas, por lo tanto, se puede aceptar la hipótesis de normalidad. En conclusión, este modelo considera todas las variables predictoras, atenuando el efecto de las correlaciones vistas anteriormente. Las predicciones realizadas son levemente mejores a las del modelo anterior, pero genera predicciones lejanas a lo real sobre los 2,5 RPM.

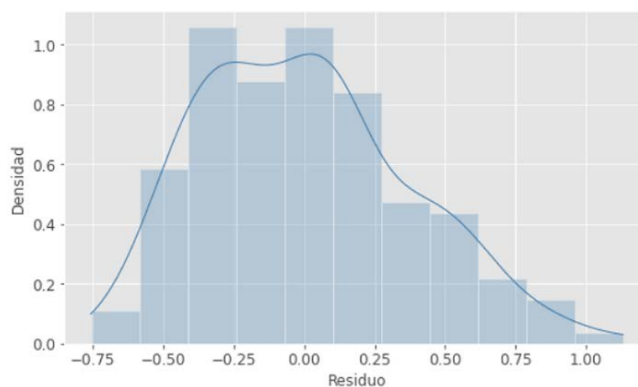


Figura 8. Distribución de los residuos

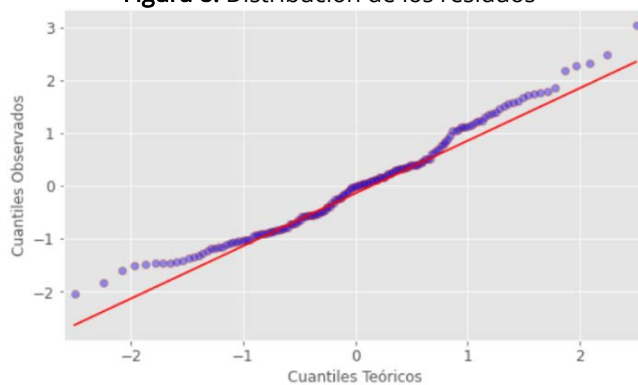


Figura 9. Diagrama de cuantiles teóricos

### 4.3 Selección del modelo de aprendizaje automático

En esta sección se presentan las comparaciones de los dos modelos ajustados con la finalidad de seleccionar el modelo que obtuvo una mejor respuesta en las predicciones. Esta evaluación se basó solo en las métricas RMSE y  $R^2$ , esta decisión se fundamenta en que la primera permite evaluar la diferencia entre los valores predichos y los valores reales del modelo, además de estar expresada en las mismas unidades que la variable dependiente, mientras que la segunda permite determinar la capacidad de un modelo para predecir futuros resultados. Se descartaron las métricas MSE y MAE, porque no entregan información adicional entregada por el RMSE.

En Tabla 9 se muestran los principales resultados obtenidos de los modelos desarrollados, donde se presentan las variables independientes consideradas con sus respectivas métricas y el cumplimiento de los supuestos necesarios. Esta información se considera para evaluar el mejor modelo.

Tabla 9. Resultados principales de los modelos ajustados

| Modelo                               | Regresión Lineal Múltiple | Regresión Lineal Múltiple Regularización Ridge |
|--------------------------------------|---------------------------|--|
| Variables independiente consideradas | Anchoa                    | Sí   |
|                                      | Jurel                     | Sí   |
|                                      | Caballa                   | Sí   |
|                                      | Proteína                  | No   |
|                                      | Grasa                     | No   |
|                                      | Ceniza                    | No   |
|                                      | Sal                       | No   |
|                                      | TVN                       | No   |
| Variable                             | Dependiente               | RPM  |
| Métricas de la regresión lineal      | MAE                       | 0,281  |
|                                      | MSE                       | 0,11   |
|                                      | RMSE                      | 0,311  |
|                                      | $R^2$                     | 0,545  |
| Cumplimiento de supuestos            | Linealidad                | No   |
|                                      | Colinealidad              | No   |
|                                      | Homocedasticidad          | Sí   |
|                                      | Normalidad                | Sí   |

El modelo Ridge tiene un  $R^2$  de 0,645 posicionándose en primer lugar y su RMSE es de 0,293 posicionándose en primer lugar. Analizando el cumplimiento de los supuestos para este modelo, se observa que no se satisface el supuesto de colinealidad, producto de la relación existente de las variables anchoveta, jurel y caballa, pero como se explicó anteriormente lo que hace este algoritmo es atenuar los efectos de las correlaciones entre las variables dependientes y por ende no tiene un impacto tan alto como en el modelo de la prensa, en el cual no se considera ningún ajuste que amortigüe este efecto. Por lo que el modelo seleccionado es el Ridge, considera todas las especies, es el que tiene un mejor coeficiente de determinación, un error más pequeño y cumple tres de los cuatro supuestos necesarios.

## 5. CONCLUSIONES

Los modelos ajustados no tienen un alto grado de precisión con respecto a las predicciones, esto se refleja en las métricas de cada uno, si bien el RMSE de los modelos arroja un resultado menor a 0,29 RPM de error, lo cual es aceptable según la realidad de la situación, el coeficiente de determinación no supera un 70%, esto quiere decir que las variables incluidas en los modelos explican a lo más un 70% de la variabilidad observada en la velocidad de la prensa o RPM prensa.

Es por esta razón que la consideración de otras variables que estén influyendo en este proceso es recomendable, por ejemplo, considerar el estado físico de la pesca previo a procesarse, ya que los mismos operarios y otras personas relacionadas al área mencionan que entre más rota se encuentre la materia prima, más sal absorbe y este es el parámetro que más se suele desviar al clasificar la harina en las categorías correspondientes, por lo tanto, entender cuál es la mejor forma de procesar en estos casos podría ser relevante.

Por otra parte, es importante destacar que los modelos se entrenan, es decir, aprenden de los datos que existen y si estos no son de calidad, los resultados obtenidos de éstos tampoco serán los más precisos. En este caso, en el proceso de recopilación de datos se presentaron dificultades para la obtención de datos de buena calidad, entre las dificultades encontradas están:

- Falta de datos históricos de variables relevantes a causa de la ausencia de sensores que almacenen estos datos o debido a lecturas poco fiables.
- Información no digitalizada.
- La trazabilidad del proceso de una materia prima en particular se tiene que llevar a cabo en base a información que se encuentra dispersa en múltiples informes de distintas áreas de la empresa.
- Ausencia de una base de datos que contenga todas las variables requeridas, que se pueda extraer de manera inmediata.
- Calidad y correcta ubicación de los sensores en el equipo de prensado.

Al implementar soluciones a las dificultades mencionadas, se podrían generar mejores conjuntos de datos, y por ende obtener modelos con mejores ajustes que realicen mejores predicciones. La importancia de esta mejora es la ayuda para los operadores de estos procesos y que no solo se dependa de su experiencia, ya que es muy complejo poder retener todo el conocimiento adquirido por los operadores a lo largo de los años a través del traspaso mediante los diálogos internos que mantienen entre ellos.

Finalmente, el modelo seleccionado, a pesar de no haber obtenido un coeficiente de determinación más cercano a 1, es una buena referencia en especial para los operadores que se están integrando y que no tienen la suficiente experiencia para abordar los desafíos que se le presenten al tener que procesar materia prima novedosa.

## REFERENCIAS

- [1] Guerra Y. (2016). La mejora continua de los procesos en una organización fortalecida mediante el uso de herramientas de apoyo a la toma de decisiones. Revista empresarial.
- [2] Rodríguez D. (2020). Industrial IoT. Machine learning en la industria 4.0. Universitat Politècnica de Catalunya Barcenolatech.

- [3] Gonzales A. y Alba F. (2017). Machine learning en la industria: El caso de la siderurgia. Economía industrial.
- [4] Quantilus. (2020). Quantilus. Recuperado: <https://quantilus.com/why-is-machine-learning-important-and-how-will-it-impact-business/>
- [5] Kelio L. (20 de 02 de 2020). BBC. Recuperado de: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-51546041>
- [6] Tabares L. y Hernández J. (2014). Big data analytics: Oportunidades, retos y tendencias. Recuperado: [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38520697/Tabares\\_Hernandez\\_2014-big\\_data\\_analytics\\_FINAL.pdf?1440041913=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DBig\\_Data\\_Analytics\\_Oportunidades\\_Retos\\_y.pdf&Expires=1626138342&Signature=EqtlewC1-Hhkh25bO8Om](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38520697/Tabares_Hernandez_2014-big_data_analytics_FINAL.pdf?1440041913=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DBig_Data_Analytics_Oportunidades_Retos_y.pdf&Expires=1626138342&Signature=EqtlewC1-Hhkh25bO8Om)
- [7] Index Mundi. (2021). Index mundi. Recuperado: <https://www.indexmundi.com/agriculture/?producto=harina-de-pescado&variable=produccion&l=es>
- [8] Grasso F. (1973). Apuntes sobre tecnología del pescado: Harinas y aceites de pescado y aprovechamiento de residuos.
- [9] Liakos K. et al. (2018). Machine learning in agriculture: A review. Sensors.
- [10] Joaquin A. (2016). Ciencia de datos. Recuperado: [https://www.cienciadedatos.net/documentos/27\\_regresion\\_logistica\\_simple\\_y\\_multiple.html](https://www.cienciadedatos.net/documentos/27_regresion_logistica_simple_y_multiple.html)
- [11] Granados R. (2016). Modelos de regresión lineal múltiple. Universidad de Granada, Economía aplicada.
- [12] Batista A. et al. (2016). Regresión lineal simple y múltiple aplicación en la predicción de variables naturales relacionadas con el crecimiento microalgal. Tecnología en marcha.
- [13] Roy I. et al. (2019). Correlación: No toda correlación implica causalidad. Revista alergia México.
- [14] Planas M. et al. (2004). La importancia de los datos. Scielo.
- [15] Müller A. y Guid S. (2016). Introduction to machine learning with python.
- [16] Yashwanth N. (2020). Towards data science. Recuperado: <https://towardsdatascience.com/evaluation-metrics-model-selection-in-linear-regression-73c7573208be>
- [17] Rodrigo J. (2020). Ciencias de datos. Obtenido de <https://www.cienciadedatos.net/documentos/py17-regresion-logistica-python.html>

# Identificación del nivel de dependencia de adultos mayores institucionalizados en un asilo

Zoraya Trinidad Cáceres Bermón<sup>1</sup>

Luisa Liliana Lara Gómez<sup>2</sup>

*Universidad de Pamplona*

Colombia

Con el envejecimiento el ser humano presenta disminución de su rendimiento físico, afectando en gran medida su funcionalidad e independencia para la realización de sus actividades básicas cotidianas. Esta investigación tiene como objetivo identificar el nivel de dependencia de los adultos mayores institucionalizados del Asilo San José de Pamplona, Colombia. Se realizó un estudio cuantitativo, descriptivo y de corte transversal, entre febrero y diciembre de 2018; la muestra estuvo conformada por 94 adultos mayores institucionalizados; se aplicó la Escala de Barthel para valorar funcionalidad física en términos de dependencia o independencia en las actividades básicas de la vida diaria ABVD. En los resultados predomina el rango de edades de 80-89 años, 38,3% (n=36), de 94 adultos mayores y el género masculino con el 62,7% (n=59). El 43,6% (n=41) de los adultos mayores mostró una leve dependencia, el 42,6% (n=40) son independientes, el 9,6% (n=9) dependencia total, el 3,2% (n=3) severa dependencia y el 1,1% (n=1) moderada dependencia en relación a sus ABVD. Así mismo, el 45,74% (n=43) de la población estudiada utiliza soporte para la deambulaci3n. El estudio pone en evidencia el alto grado de dependencia de esta poblaci3n para las ABVD y la necesidad de prestar atenci3n oportuna a la misma.

---

<sup>1</sup> Fisioterapeuta, Especialista en Pedagogía Universitaria, Magíster en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, y Doctora en Educación.

Contacto: [zcaceres@unipamplona.edu.co](mailto:zcaceres@unipamplona.edu.co)

<sup>2</sup> Fisioterapeuta, Especialista en Rehabilitaci3n Cardiopulmonar, Magíster en Educaci3n y Doctora en Ciencias de la Educaci3n.

Contacto: [lulilago@unipamplona.edu.co](mailto:lulilago@unipamplona.edu.co)



## 1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo a los datos proporcionados en Colombia por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE [1], el índice de envejecimiento de la población colombiana se encuentra en 20,5%; presentándose como un proceso heterogéneo en las diferentes ciudades del país, al igual que como se muestra en otros países. El mismo DANE confirma que el grupo de personas en edades de 60 años y más se ha incrementado, evidenciando así el proceso de envejecimiento de la población colombiana. En América Latina la población de ancianos es la de mayor crecimiento. Se espera que para el año 2025 la población de adultos mayores supere el 20% y para el 2050 se aproxime al 30% [2].

El envejecimiento es un proceso fisiológico que comienza en la concepción y normalmente, origina cambios particulares de la especie a través de la vida, los cuales ocasionan diversas limitaciones, deteriorando sus funciones, y produciendo restricciones al acomodo del organismo en concordancia con el medio [3]. En poblaciones ancianas se aumenta el sedentarismo, ocasionando disminución de la actividad física, lo que se convierte en un elemento determinante en la aparición de algunas enfermedades como la hipertensión, la osteoporosis, diabetes, debilidad muscular, entre otras; que promueven variaciones en sus estados de ánimo y mala percepción de su calidad de vida, causando en algunos casos el agravamiento de las patologías. En la etapa de la vejez se exteriorizan niveles superiores de dependencia y discapacidad, que pueden fluctuar entre el 20 y 53% [4].

Cada vez resulta más evidente que una parte importante del deterioro físico en el ser humano se debe a las complejas interacciones establecidas entre los determinantes genéticos del envejecimiento, a la aparición de ciertas enfermedades y a la falta de actividad física; el anterior proceso puede atenuarse con la realización de actividad física regular en todas las etapas de la vida, siendo más requerida en adultos mayores [5].

En la población adulta mayor institucionalizada, es más frecuente el nivel de dependencia debido al sedentarismo y al des acondicionamiento físico; estos factores se reúnen y provocan un mayor deterioro, ocasionando dificultades para alcanzar un nivel de independencia óptimo en las actividades de la vida diaria AVD. De esta manera, la capacidad de desempeñar actividades y roles en la cotidianidad, como bañarse, alimentarse, movilizarse, entre otros, sin necesidad de supervisión o asistencia se ve notablemente disminuida en la población adulta mayor [6]. Por tal motivo, la evaluación de estas actividades permite conocer el grado de independencia y autonomía en que se encuentra dicha población [7].

Los adultos mayores poseen diferentes niveles de deterioro, básicamente, causados por las diferencias en el ejercicio, la dieta y las maneras de afrontar los problemas y solucionarlos [8]. Es importante valorar los entornos sociales, ya que los mismos influyen de manera positiva o negativa en el proceso de envejecimiento. En los ancianos, el lugar de residencia, en una institución específica para esta población o su hogar, puede revelar las diferencias en la capacidad funcional y percepción en cuanto a su calidad de vida; asociándose la institucionalización con diversos resultados negativos como la disminución en su calidad de vida y el aumento de la mortalidad [9]. Por tanto, los cambios presentados en las capacidades físicas, mentales y sociales en los adultos mayores; alteran de igual forma su calidad de vida y la percepción que de ella se tiene.

Para tener una mayor visión al respecto, se efectuó búsqueda y revisión de la literatura científica con la finalidad de localizar diferentes estudios a nivel nacional e internacional orientados a valorar el grado de dependencia o independencia en las actividades de la vida diaria en la población adulta mayor y su incidencia en la misma.

En [8] se utilizaron las Escalas de Barthel y las de capacidades de autocuidado junto al Cuestionario SF-36 de calidad de vida. El estudio fue realizado mediante la entrevista a la población de adultos mayores asistentes a consulta en una unidad de salud; de los cuales el 54,3% fueron mujeres. Dentro de los hallazgos se puede destacar que un 56% de los sujetos entrevistados consideran que su salud es regular lo cual está relacionado con la percepción de su calidad de vida en la dimensión física. De la misma manera, en [10] recurrieron a la investigación observacional prospectiva y analítica en los adultos mayores usuarios del Instituto Mexicano del Seguro Social; utilizando para la valoración de la población las escalas de KATZ, así como las de Lawton y Brody.

En [7] efectuaron un trabajo donde se revisaron los temas relacionados con la medición de la capacidad funcional en la población anciana a partir de una evaluación geriátrica integral, y se incluye dentro de ésta la evaluación biomédica, funcional, social y psicológica de la población adulta mayor. En la evaluación funcional se estudiaron las AVD como el indicador más relevante en este caso; donde se utilizó el índice de Barthel como criterio de puntuación para determinar el nivel de dependencia, así como el índice de KATZ y la escala de Lawton y Brody como los instrumentos de mayor utilidad al valorar niveles de funcionamiento más elevados y complejos en las actividades instrumentales de la vida diaria.

De igual forma, el objetivo en [11] fue determinar la funcionalidad física de personas mayores institucionalizadas y no institucionalizadas en Barranquilla. Dentro de los hallazgos más relevantes se puede mencionar que el lugar de residencia, así como el uso de ayudas para la deambulación y la presencia de antecedentes médicos, están conexas con la funcionalidad en los adultos mayores que conformaron la muestra de estudio.

En [12] buscaron determinar la funcionalidad y grado de dependencia en el adulto mayor institucionalizado como información básica para el diseño de un programa de intervención específica. Fue un estudio descriptivo realizado con adultos mayores institucionalizados. Entre los resultados de éste se resalta que hay predominio del género masculino en los adultos mayores institucionalizados, que a su vez presentaron una dependencia leve, pero con un mayor grado de autonomía, a diferencia de los resultados en las mujeres, donde es mayor la frecuencia de independencia.

Así mismo, en [13] hallaron que el dolor impacta negativamente en la independencia funcional y la percepción de calidad de vida de la población adulta mayor, lo cual los predispone a desenlaces adversos. En el mismo estudio, se establece que las enfermedades crónicas de difícil tratamiento como la artritis, la falla cardíaca, la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica EPOC o la depresión tienen un alto grado de asociación con el dolor.

Teniendo como base los estudios descritos y de acuerdo a todo lo expuesto anteriormente, es fundamental la presente investigación, la cual tiene como objetivo identificar el nivel de dependencia de los adultos mayores institucionalizados del Asilo San José de Pamplona, Colombia; prestando atención a los factores epidemiológicos, contextuales y funcionales; los cuales se constituyen en un sustento teórico que permitirá a mediano plazo implementar o plantear intervenciones acordes a necesidades en salud para los adultos mayores. Así mismo, es importante la injerencia en esta población, ya que los factores de riesgo no controlados en la etapa adulta acrecientan las alteraciones que favorecen principalmente el deterioro del adulto mayor, afectando con ello su funcionalidad y calidad de vida; lo cual se deriva en mayor dependencia de los mismos.

Se requiere incrementar los estudios relacionados con la población adulta mayor y dar a conocer los hallazgos de las mismas para tomar decisiones que aporten a la solución de los problemas de salud que aquejan a nuestra sociedad y que requieren de líderes capaces de orientar los cambios necesarios para solventar los mismos en la comunidad.

## **2. MÉTODO**

En esta investigación se utilizó un estudio cuantitativo, descriptivo y de corte transversal, el cual fue realizado durante el año 2018. El estudio se llevó a cabo en el Asilo San José de la ciudad de Pamplona, Norte de Santander, Colombia, un centro de albergue de adultos mayores del sector público que fue creado en el año 1893 y es dirigido desde su creación por las Hermanitas de los ancianos desamparados, caracterizadas por atender población vulnerable y de muy bajos recursos o sin ellos. Para 2018 en el Asilo residían 96 adultos mayores, quienes en su gran mayoría tenían entre 1 y 10 años de permanencia en este hogar; sin embargo, la muestra para el presente estudio estuvo conformada por 94 sujetos que cumplían los criterios de inclusión para participar en el mismo: 1) adultos mayores que residan en el Asilo San José de Pamplona, Norte de Santander, Colombia; 2) suficiente función cognitiva para participar; y 3) que deseen participar en el estudio y que firmen el consentimiento informado.

## 2.1 Criterios de Exclusión

- Adultos Mayores que no residen en el Asilo San José, ocasionales o de paso en el Asilo San José de Pamplona, Norte de Santander, Colombia.
- Adultos Mayores con algún tipo de limitación que afecte la calidad de la información suministrada o impida totalmente su comunicación (Capacidad mental alterada).

## 2.2 Procedimiento

Para la ejecución del estudio se dio a conocer la propuesta a la Madre superiora del Asilo San José de Pamplona y posterior a su aval se obtuvo el listado de los adultos mayores institucionalizados en el albergue. Seguidamente, se solicitó a cada participante la firma del consentimiento informado explicándole el objetivo de la investigación y el plan de trabajo a seguir. Posteriormente, se aplicó el instrumento índice de Barthel que contenía datos sociodemográficos como la edad, el género, el estado civil, seguidos de la funcionalidad o independencia, uso de ayudas externas en la deambulaci3n y antecedentes patol3gicos de importancia; tambi3n se tom3 talla y peso de los adultos mayores para calcular el índice de masa corporal IMC de cada uno; de igual forma, se revisaron las historias clínicas de la poblaci3n objeto de estudio para establecer antecedentes patol3gicos.

## 2.3 Análisis Estadístico

Para la recolecci3n de la informaci3n se utiliz3 como herramienta un diario de campo en Excel en el que se consolid3 la informaci3n relacionada con la edad, género, estado civil, talla, peso, IMC y se efectu3 el registro de los resultados de la aplicaci3n de cada uno de los instrumentos. Para el análisis estadístico, se proces3 la informaci3n en el programa SPSS versi3n 23.0, se gener3 un análisis descriptivo de las variables numéricas y nominales y análisis de correspondencia con Chi-cuadrado, con un intervalo de confianza del 95% y un valor de  $p < 0.05$  aceptado como estadísticamente significativo.

## 2.4 Declaraci3n sobre aspectos éticos

Las consideraciones éticas se basaron seg3n la declaraci3n de Helsinki, la resoluci3n 8430 de 1993 de investigaci3n científica en Colombia, catalogada como un estudio sin riesgo ya que no se plasma ninguna intervenci3n o modificaci3n intencionada de las variables biol3gicas, fisiol3gicas, psicol3gicas o sociales de los individuos participantes en el estudio [14]; debido a que los instrumentos utilizados son cuestionarios; y la ley 1581 de 2012 que vela por la protecci3n de datos personales.

Se cont3 con la aprobaci3n del Comité de Ética de la Universidad de Pamplona. La participaci3n fue libre y voluntaria y se firm3 el formato de consentimiento informado por cada participante, dando la posibilidad de rehusar o abandonar el estudio en cualquier momento sin ning3n perjuicio. Los nombres de cada uno de los participantes en la investigaci3n se mantuvieron en absoluta reserva para garantizar la protecci3n de su identidad. No existi3 ning3n tipo de daño hacia los adultos mayores, ya que la investigaci3n no es invasiva.

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

De los 94 sujetos valorados, el 62,7% ( $n=59$ ) son del género masculino y 37,3% ( $n=35$ ) de género femenino. En cuanto a la edad, el 38,3% ( $n=36$ ) oscila entre 80 a 89 años, el 35,1% ( $n=33$ ) 70 a 79 años, el 19,2% ( $n=18$ ) 60 y 69 años y el 7,4% ( $n=7$ ) es mayor de 90 años; frente al índice de masa corporal *IMC* seg3n la *OMS* [15], el 58,5% ( $n=55$ ) presenta peso normal, el 34% ( $n=32$ ) sobrepeso, el 4,2% ( $n=4$ ) obesidad tipo I, y el 3,2% ( $n=3$ ) delgadez aceptable; correspondiente al estado civil, 78,7% ( $n=74$ ) son solteros, 13,8% ( $n=13$ ) viudos, 4,2% ( $n=4$ ) separados y 3,2% ( $n=3$ ) casados; en cuanto al empleo de ayudas externas el 54,2% ( $n=51$ ) no utiliza alguna ayuda externa, 18,1% ( $n=17$ ) emplea el caminador, 16,0% ( $n=15$ ) el bord3n y 11,7% ( $n=11$ ) la silla de ruedas; el 77,6% ( $n=73$ ) del total de la poblaci3n presenta diversos antecedentes patol3gicos destacándose la prevalencia de la *Enfermedad Pulmonar Obstructiva Cr3nica EPOC* [16] en el 21,3% ( $n=20$ ) de la poblaci3n, seguida de la hipertensi3n arterial con 19,2% ( $n=18$ ).

Con relación a la puntuación obtenida en el índice de Barthel, 43,6% (n=41) de los adultos mayores mostró una leve dependencia, 42,6% (n=40) independencia total, 9,6% (n=9) dependencia total, 3,2% (n=3) severa dependencia y 1,1% (n=1) moderada dependencia en relación a sus ABVD.

En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos en cuanto a la relación entre el Nivel de dependencia y el género. Se observa que, al comparar el nivel de dependencia según el género, se destaca que son independientes el 54,3% de las mujeres frente al 35,6% de los hombres; y se presenta una dependencia leve en 56% de los hombres frente al 22,8% de las mujeres.

**Tabla 1.** Relación del Nivel de Dependencia con el Género.

| Género    | Nivel de Dependencia |      |                  |      |                      |     |                    |     |                   |     | Total |      |
|-----------|----------------------|------|------------------|------|----------------------|-----|--------------------|-----|-------------------|-----|-------|------|
|           | Independiente        |      | Leve Dependencia |      | Moderada Dependencia |     | Severa Dependencia |     | Total Dependencia |     |       |      |
|           | n                    | %    | n                | %    | n                    | %   | n                  | %   | n                 | %   | N     | %    |
| Femenino  | 19                   | 20,3 | 8                | 8,5  | 1                    | 1,1 | 2                  | 2,1 | 5                 | 5,3 | 35    | 37,3 |
| Masculino | 21                   | 22,3 | 33               | 35,1 | 0                    | 0   | 1                  | 1,1 | 4                 | 4,3 | 59    | 62,7 |
| Total     | 40                   | 42,6 | 41               | 43,6 | 1                    | 1,1 | 3                  | 3,2 | 9                 | 9,6 | 94    | 100  |

En la Tabla 2 se describen los resultados obtenidos al relacionar el nivel de dependencia de la población estudiada con la edad. Al relacionar el nivel de dependencia con la edad se establece que los adultos mayores que se encuentran en un rango de edad de 60 a 69 años y de 70 a 79 años son independientes en un 12,8% (n= 12) y en un 18,1% (n= 17) respectivamente; el 21,3% (n= 20) que están entre 80 a 89 años tienen grado de dependencia leve y los que poseen 90 años o más muestran un nivel dependencia total en un 4,3% (n=4) y leve en el 3,2% (n= 3).

**Tabla 2.** Relación del Nivel de Dependencia con la Edad

| Edad            | Nivel de Dependencia |      |                  |      |                      |     |                    |     |                   |     | Total |      |
|-----------------|----------------------|------|------------------|------|----------------------|-----|--------------------|-----|-------------------|-----|-------|------|
|                 | Independiente        |      | Leve Dependencia |      | Moderada Dependencia |     | Severa Dependencia |     | Total Dependencia |     |       |      |
|                 | n                    | %    | n                | %    | n                    | %   | n                  | %   | n                 | %   | N     | %    |
| De 60 a 69 años | 12                   | 12,8 | 5                | 5,3  | 0                    | 0   | 0                  | 0   | 1                 | 1,1 | 18    | 19,2 |
| De 70 a 79 años | 17                   | 18,1 | 13               | 13,8 | 0                    | 0   | 1                  | 1,1 | 2                 | 2,1 | 33    | 35,1 |
| De 80 a 89 años | 11                   | 11,7 | 20               | 21,3 | 1                    | 1,1 | 2                  | 2,1 | 2                 | 2,1 | 36    | 38,3 |
| =< 90 años      | 0                    | 0    | 3                | 3,2  | 0                    | 0   | 0                  | 0   | 4                 | 4,3 | 7     | 7,4  |
| Total general   | 40                   | 42,6 | 41               | 43,6 | 1                    | 1,1 | 3                  | 3,2 | 9                 | 9,6 | 94    | 100  |

En la Tabla 3 se presentan los resultados al relacionar el Nivel de dependencia con el estado civil de los mismos. Relacionando el nivel de dependencia con el estado civil se evidencia que la población soltera presenta un nivel de dependencia leve en un 36,1% (n=34) y total independencia en un 33% (n=31).

**Tabla 3.** Relación del Nivel de Dependencia con el Estado Civil

| Estado Civil | Nivel de Dependencia |      |                  |      |                      |     |                    |     |                   |     | Total |      |
|--------------|----------------------|------|------------------|------|----------------------|-----|--------------------|-----|-------------------|-----|-------|------|
|              | Independiente        |      | Leve Dependencia |      | Moderada Dependencia |     | Severa Dependencia |     | Total Dependencia |     |       |      |
|              | n                    | %    | n                | %    | n                    | %   | n                  | %   | n                 | %   | N     | %    |
| Casado       | 2                    | 2,1  | 1                | 1,1  | 0                    | 0   | 0                  | 0   | 0                 | 0   | 3     | 3,2  |
| Separado     | 1                    | 1,1  | 1                | 1,1  | 0                    | 0   | 1                  | 1,1 | 1                 | 1,1 | 4     | 4,3  |
| Soltero      | 31                   | 33,0 | 34               | 36,1 | 0                    | 0   | 2                  | 2,1 | 7                 | 7,4 | 74    | 78,7 |
| Viudo        | 6                    | 6,4  | 5                | 5,3  | 1                    | 1,1 | 0                  | 0   | 1                 | 1,1 | 13    | 13,8 |
| Total        | 40                   | 42,6 | 41               | 43,6 | 1                    | 1,1 | 3                  | 3,2 | 9                 | 9,6 | 94    | 100  |

La Tabla 4 muestra los resultados derivados de la relación entre el Nivel de dependencia con el empleo de ayudas externas para la marcha de los adultos mayores participantes del estudio. Comparando el uso de ayudas externas con el nivel de dependencia se muestra que entre los adultos mayores con nivel de dependencia leve 17,0% (n=16) emplean caminador para la marcha; 16,0% bordón (n=15) y 10,6% (n=10) ninguna ayuda. Se encontró relación estadísticamente significativa entre nivel de dependencia y género (p= 0,035); y altamente significativa entre el nivel de dependencia con la edad (p=0,000), y el nivel de dependencia con el empleo de ayudas externas (p=0,000).

**Tabla 4.** Relación del Nivel de Dependencia con el Empleo de Ayudas Externas para la Marcha.

| Ayudas Externas | Nivel de Dependencia |      |                  |      |                      |     |                    |     |                   |     | Total |      |
|-----------------|----------------------|------|------------------|------|----------------------|-----|--------------------|-----|-------------------|-----|-------|------|
|                 | Independiente        |      | Leve Dependencia |      | Moderada Dependencia |     | Severa Dependencia |     | Total Dependencia |     |       |      |
|                 | n                    | %    | n                | %    | n                    | %   | n                  | %   | n                 | %   | N     | %    |
| Bordón          | 0                    | 0    | 15               | 16,0 | 0                    | 0   | 0                  | 0   | 0                 | 0   | 15    | 16,0 |
| Caminador       | 0                    | 0    | 16               | 17,0 | 0                    | 0   | 1                  | 1,1 | 0                 | 0   | 17    | 18,1 |
| Silla de Ruedas | 0                    | 0    | 0                | 0    | 0                    | 0   | 2                  | 2,1 | 9                 | 9,6 | 11    | 11,7 |
| Ninguna         | 40                   | 42,6 | 10               | 10,6 | 1                    | 1,1 | 0                  | 0   | 0                 | 0   | 51    | 54,2 |
| Total           | 40                   | 42,6 | 41               | 43,6 | 1                    | 1,1 | 3                  | 3,2 | 9                 | 9,6 | 94    | 100  |

Los resultados del presente estudio coinciden con los hallazgos de Pinillos y Prieto [11], donde la funcionalidad de las personas mayores está relacionada con el lugar de residencia, las ayudas o soportes para la deambulación o desplazamiento y la presencia de antecedentes médicos. A su vez, también se presentan coincidencias con los hallazgos de Laguado et al. [12], donde hay un predominio del género masculino en los adultos mayores institucionalizados y en el cual en las mujeres se presenta un mayor grado de independencia; datos contrarios al estudio de Castellanos et al. [17], en el que se halló un predominio del género femenino con un 80,4% del total de la muestra.

De igual forma, se presentan diferencias entre los resultados del presente estudio, esta vez en relación con el estado civil de los participantes, ya que la gran mayoría son solteros con un 78,7% del total de la muestra, opuesto al estudio de Castellanos et al. [17], donde el mayor número está representado en personas casadas y viudas.

El estudio elaborado por Delgado [18] presenta coincidencias en sus resultados con la presente investigación en cuanto a que la edad promedio predominante de los participantes se encuentra alrededor de los 80 años; de igual forma, se evidenció mayor grado de independencia en las mujeres. Sin embargo, con relación al nivel de dependencia, se revelan diferencias en cuanto a que se presenta mayor independencia en los adultos mayores en edades entre 60 y 70 años.

Zavala y Domínguez [10] afirman que la valoración del estado de salud del anciano a través de la medición de su situación funcional permite optimizar su atención. El propósito de la valoración funcional es conocer y clasificar el nivel de independencia para la realización de las actividades de la vida diaria AVD, lo cual se constituye en una ayuda importante para crear y planificar protocolos para su manejo. El estudio de estos autores, encontró que el 74% de la población valorada presentó algún grado de dependencia para perpetrar al menos una actividad básica de la vida diaria AVDB; y que la edad avanzada en los adultos mayores incrementa el riesgo de dependencia básica, lo cual concuerda con los resultados de la presente investigación. Así mismo, los resultados del presente estudio son equilibrados con los hallazgos de Pinillos y Prieto [13], donde se observa una relación significativa entre el nivel de dependencia con la edad de los adultos mayores y su condición adicional de estar institucionalizados.

Comparando los hallazgos de este estudio con respecto a la presentación de antecedentes patológicos en la población adulta mayor, se destacó la prevalencia de Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica EPOC en el 21,3%, contrario al estudio de Melguizo et al. [19], donde la hipertensión arterial es la principal enfermedad padecida en el 37,1% de los estudiados. Identificar los niveles de dependencia en los adultos mayores institucionalizados establece el eje que fundamenta la condición general de salud de esta población [20], lo cual permite un acercamiento real en cuanto a su funcionalidad y nos invita a recapacitar sobre la forma de resolver y atender la situación presentada.

#### 4. CONCLUSIONES

La dependencia para las ABVD se presentó en un elevado porcentaje de la población adulta mayor institucionalizada participante en el estudio, con mayor exposición en el género masculino; de igual forma, se evidenció que un gran porcentaje de esta población necesita ayudas externas para su deambulación, impactando en cierta medida su calidad de vida.

El estudio permite identificar la población adulta mayor institucionalizada en el Asilo San José de Pamplona que presenta mayores niveles de dependencia a las actividades de la vida diaria, y de esta forma posibilita la intervención de manera oportuna para evitar un mayor deterioro en la salud de esta población.

En el sistema de salud colombiano, urge una reestructuración en la cual la población adulta mayor sea tenida en cuenta no sólo para resolver algunos problemas de salud comunes a la misma, sino para promover planes de prevención, que le permitan al ser humano, llegar a edades avanzadas siendo activo, saludable e independiente en sus actividades básicas cotidianas.

## REFERENCIAS

- [1] DANE. (2020). Proyecciones nacionales y departamentales de población 2005-2020. Estudios Postcensales. Departamento Nacional de Estadística.
- [2] Molero M. y Pérez M. (2011). Salud y calidad de vida en adultos mayores institucionalizados. INFAD. Revista de Psicología 1(4), 249-258.
- [3] Landinez N. et al. (2012). Proceso de envejecimiento, ejercicio y fisioterapia. Revista Cubana Salud Pública 38(4), 562-580.
- [4] Yoshida D. et al. (2012). Prevalence and causes of functional disability in an elderly general population of Japanese: The Hisayama study. Journal of Epidemiology 22(3), 222-229.
- [5] Chávez M. et al. (2014). Efecto de un programa de ejercicios fisioterapéuticos sobre el desempeño físico en adultos mayores institucionalizados. Revista Española de Geriátria y Gerontología 49(6), 260-265.
- [6] Marventano S. et al. (2016). Multimorbidity and functional status in institutionalized older adults. European Geriatric Medicine 7(1), 34-39.
- [7] Rodríguez J. et al. (2014). Evaluación geriátrica integral, Importancia, ventajas y beneficios en el manejo del adulto mayor. Panorama Cuba y Salud 9(1), 35-41.
- [8] Loredó MT. et al. (2016). Nivel de dependencia, autocuidado y calidad de vida del adulto mayor. Revista UNAM Enfermería Universitaria 13(3), 159-165.
- [9] Herazo Y. et al. (2017). Calidad de vida, funcionalidad y condición física en adultos mayores institucionalizados y no institucionalizados. Revista Latinoamericana de Hipertensión 12(5), 174-181.
- [10] Zavala M. y Domínguez G. (2011). Funcionalidad para la vida diaria en adultos mayores. Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social 49(6), 585-590.
- [11] Pinillos Y. y Prieto E. (2012). Funcionalidad física de personas mayores institucionalizadas y no institucionalizadas en Barranquilla, Colombia. Revista de Salud pública 14(3), 438-447.
- [12] Laguado E. et al. (2017). Funcionalidad y grado de dependencia en los adultos mayores institucionalizados en centros de bienestar. Gerokomos 28(3), 135-141.
- [13] Borda MG. et al. (2016). Dolor en el anciano: Calidad de vida, funcionalidad y factores asociados. Revista Española de Geriátria y Gerontología 51(3), 140-145.
- [14] Ministerio de Salud. (1993). Resolución 008430 por la cual se establecen las normas académicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud. Recuperado: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/RESOLUCION-8430-DE-1993.PDF>
- [15] OMS. (2018). Obesidad y sobrepeso. Organización Mundial de la Salud.
- [16] GOLD. (2017). Guía de bolsillo para el diagnóstico, manejo y prevención de la EPOC. Una guía para profesionales de la asistencia sanitaria. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease.
- [17] Castellanos J. et al. (2017). Condición física funcional de adultos mayores de Centros Día, Vida, Promoción y Protección Integral, Manizales. Hacia promoción Salud 22(2), 84-98.
- [18] Delgado T. (2014). Capacidad funcional del adulto mayor y su relación con sus características sociodemográficas, Centro de Atención residencial geronto geriátrico Ignacia Rodulfo viuda. de Canevaro. Trabajo de grado. Universidad de San Martín de Porres. Lima, Perú.
- [19] Melguizo E. et al. (2014). Calidad de vida de adultos mayores en centros de protección social en Cartagena, Colombia. Aquichan 14(4), 537-548.
- [20] Díaz M. y Torres E. (2011). Funcionalidad del adulto mayor y el cuidado enfermero. Gerokomos 22(4), 162-6.

# La migración vista como un reto común, tanto para el país expulsor como para los de tránsito y destino

Venancio Gerardo Calva Olmos<sup>1</sup>

Mario Pacchiano de la Garza<sup>2</sup>

*Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología*

México

La migración se puede considerar como un derecho humano y que cualquier persona tiene de poder dejar su país natal, ya sea para mejorar su vida, lograr un trabajo digno que le permita superarse y apoyar a su familia para tener un hogar digno o tranquilidad de contar con un servicio médico que le asegure tratamiento y medicamentos que necesite. Es terrible, pero también las personas pueden querer migrar hacia un país que les pueda ofrecer seguridad. En su país son perseguidos por causa de sus ideas, de su trabajo o de sus posesiones: tierra, animales o negocios. Migran por no querer estar con personas violentas. Migran por los efectos del cambio climático, los huracanes, erupciones, terremotos, plagas o sequías. Estos fenómenos pueden soportarse en una ocasión, pero no una tras otra y así por dos o tres o más años consecutivos. Los desplazados pueden recurrir a esa acción debido a eventos climáticos o a grupos armados que los expulsan de sus pueblos, sin embargo, mantienen la idea de regresar a sus lugares de siempre y por ello permanecen cerca, cruzan las fronteras mientras esperan que la zona donde habitan se pacifique. Los migrantes en cambio buscan moverse hacia un país para intentar ponerse a salvo. Pero para lograrlo requieren avanzar por otros países limítrofes con el suyo, padeciendo hambre, cansancio, sed, malos tratos, violencia y un sinnúmero de injusticias. Llegando a la frontera del país deben esperar un tiempo indeterminado para saber si son o no aceptados. De ahí que la migración se convierta en un reto común para el país expulsor, el de tránsito y el de destino. La propuesta que se hace aquí consta de dos partes: 1) otorgar un documento de tránsito que sea avalado por el país de tránsito así como el país receptor, el que se integraría un seguro de servicios médicos para tener acceso a los servicios de salud, y con el que tendría la certeza de ser aceptado en el país destino; y 2) una representación del país destino, en uno de los países de mayor migración, es decir, una especie de viceconsulado que solo atendería solicitudes migrantes, y a su ingreso el migrante estaría bajo la protección del país destino. De esta manera se tendría una migración más humana, ordenada y programada.

---

<sup>1</sup> Doctor en Ingeniería.

Contacto: [gerardo.calva@icat.unam.mx](mailto:gerardo.calva@icat.unam.mx)

<sup>2</sup> Magíster en Ingeniería.

Contacto: [mpg01@yahoo.com](mailto:mpg01@yahoo.com)

## 1. INTRODUCCIÓN

Migrar, representa un reto, un reto para quienes los reciben, un reto para quienes los apoyan y un reto para los países que se encuentran en su camino. ¿Qué involucra esa palabra? personas queriendo cambiar de nacionalidad porque no están de acuerdo con su país de nacimiento, ¿Pero es sólo el deseo de cambiar de nacionalidad? Habrá situaciones en las que las personas busquen otras oportunidades, las que no encuentran en su país de origen, o será que tal vez, realmente no existen oportunidades en sus países aun cuando las busquen.

Tal vez lo que han encontrado no es lo que buscan, no es lo mejor para ellos. Las personas deberían migrar por gusto por querer conocer otros países, por ver si en otros países pueden dedicarse a otras actividades que les reporten mejoras, mejores sueldos mejores escuelas para sus hijos. Encontrar no solo un área de trabajo sino tener varias opciones para su desarrollo. Es bastante complicado querer definir en un par de palabras los motivos por los que las personas migran, y bastante más complicado encontrar una única solución para la migración. Lo que motiva la migración no es la misma para una persona o grupos de personas, mucho menos para grupos de países de una región.

Dentro de todos los motivos que puedan impulsar a una persona o grupos de personas a migrar, se debe tener en consideración algo muy importante algo muy grave y que puede ser no sólo el único motivo para migrar, pero sí uno que en algunos pueblos ciudades o países causa terror la inseguridad, causada por una violencia descontrolada. La inseguridad que se vive en los países no es privativa de uno sólo, en la mayoría de las ciudades o municipios se vive una violencia incontrolable y ese, es un motivo sino el principal, si uno que impulsa fuertemente la migración.

Hay quienes pueden vivir en medio de la violencia, aquellos que son partícipes o promotores de la misma. Pero no todos quieren padecer violencia, y no todos quieren dejar amigos, casa municipio pueblo o país, y sin embargo no tienen otra opción. Lamentablemente todo va interconectado porque la violencia genera falta de empleo, temor a sufrir agresiones, temor al acudir a sus labores a sus escuelas, y lo terrible, los expone a padecer hambre. Cualquier persona común podrá afirmar que no quiere ver a sus hijos con hambre con sed, pero la inestabilidad social genera para la mayoría de las personas que la padecen todas esas lamentables situaciones.

La migración para pobladores de algunos estados y países puede ser una meta que desde niños se plantean. Para muchos pobladores de estados bien identificados, su mayor aspiración al llegar a una edad es poder ir hacia otro país, migrar. En Latinoamérica, la gran mayoría tiene como meta, migrar hacia los Estados Unidos. Es su ilusión lo ven como su destino, casi como una obligación, y no porque en su lugar de origen no tengan o no puedan conseguir un trabajo un medio de subsistencia, sino que es ya una verdadera tradición migrar hacia ese país. Ellos mismos narran peripecias que algunos de sus conocidos y familiares les han contado acerca de cómo es que llegan a EU. Algunos esperan tener dieciséis años para pasar la frontera y llegar a las ciudades donde saben que viven sus amigos o sus familiares.

Sería bueno poder asegurar que cualquiera que busque migrar hacia otro país lo pueda hacer, debería poder tener ese derecho, el derecho de salir de su país de origen para asentarse en otro país. Sin importar si es un país vecino o es un país al otro lado del mundo. Hay quienes buscan dejar su continente su país de origen para arribar a otro país. Los EU representan para muchos su país ideal o el único país donde ellos creen que podrán vivir tranquilamente

Hemos escuchado de las migraciones de bielorrusos a Polonia, lo mismo que del norte de África hacia España o Italia, esto no es privativo de un lugar de un país, es una situación que pone en alerta tanto a países receptores como a los que en ocasiones son países de tránsito, países que sirven de unión entre el país expulsor y el país receptor o destino. El país de tránsito tiene un gran problema entre sus manos ya que muchos de los migrantes realizan su viaje en caravanas, caminando. Cuando las fronteras entre países se pueden alcanzar en un par de días de caminata se puede imaginar el paso que deben llevar para lograr avanzar por el país de tránsito, y hay que tener en consideración que durante la jornada están expuestos a todos los problemas, como los problemas que pueda representar el cambio de alimento, porque podrán



llevar a cuestas algunas porciones de alimento pero cuando los trayectos a recorrer son grandes, ese alimento no es suficiente para realizar ese recorrido. Lo mismo sucede con el agua, luego están las condiciones climáticas del país por donde transitan, cambios de temperatura lluvias o por el contrario tierras áridas. Encontrarse con la fauna nativa que puede no ser similar con la que normalmente trata en su país de origen.

Cuando la migración es entre países que comparten idioma los problemas son ligeramente menores ya que esa barrera es franqueable, hablar el mismo idioma les permite solicitar ayuda, alimentos, servicios médicos, agua.

Cuando la migración es hacia el continente americano las travesías que realizan pueden parecer inimaginables. Actualmente se pueden detectar migrantes de Haití de la India de Rusia de Turquía.

México para la gran mayoría de migrantes en América es un país de tránsito. Caravanas de migrantes que avanzan por México formadas por más de dos mil personas incluyendo mujeres y niños además de hombres tanto jóvenes como de mayor edad, buscan avanzar hasta el norte del país para de ahí cruzar hacia los EU. Pero el camino hacia la frontera les lleva mucho tiempo cuando se recorre caminando. Su paso por los estados puede causar inconvenientes para la población y sus gobiernos ya que como se mencionó en párrafos anteriores, requieren de alimentos y servicios médicos.

Dentro de los servicios médicos se debe considerar que muchos de ellos tal vez no han sido vacunados, no cuentan con vacunas que los protejan y protejan a los ciudadanos de los estados por donde van avanzando. De aquí que sea muy oportuno promover posibles soluciones integrales. Soluciones que ayuden a un tránsito más sencillo y seguro para todos los migrantes.

Este no es un problema sencillo, es un problema que debe ser abordado de una forma abierta participativa, las soluciones se deben buscar escuchando a todas las voces no solo de los especialistas en ciencias políticas. Los problemas que una migración genera son muy diversos, por ello todas las áreas deben participar, las ingenierías los especialistas de la salud, los especialistas en leyes y todos los observadores de los derechos humanos.

Estudiar los motivos de la migración desde el mayor número de puntos de vista es aconsejable, como el de la psicología, desde el punto de vista de ambientalistas, de comerciantes, de especialistas en política de Centroamérica y del Caribe. Todos pueden aportar sus ideas sus consejos y experiencias, muchos de ellos tal vez desde el punto de vista de agregados culturales, inclusive de embajadores, o de cónsules. La voz de todos los interesados en lograr una migración pacífica segura y sobre todo ordenada.

## **2. LOS GRUPOS DE DESPLAZADOS Y LOS GRUPOS DE MIGRANTES**

Los desplazados y los migrantes son fenómenos recurrentes entre estados de un país, y también se presentan en fronteras de los países. Los motivos por los que se suceden dichos fenómenos pueden variar. Pueden provocarse por malentendidos entre límites territoriales que con seguridad terminan en hechos violentos. En ocasiones el desplazamiento de personas es motivado por disputas familiares. En otros más, sucede cuando el jefe de familia o jefa de familia tiene que desplazarse con toda la familia debido a que el trabajo que puede desempeñar, se encuentra en un estado diferente al estado en el que originalmente se formó su familia. Todos son motivos que justifican que una persona o personas se trasladen unos cuantos kilómetros entre pueblos, o como se mencionó, llegar a cruzar fronteras entre países. El motivo que puede provocar un desplazamiento brusco, repentino, pueden ser los hechos de violencia. La violencia es un muy grave problema que no se limita a una región o país. Es un problema que se sucede y que debería ser solucionado cuanto antes.

Los desplazados en ocasiones realizan el traslado durante un tiempo procurando retornar a sus lugares de origen, porque es ahí donde muchos nacen y crecen y se desenvuelven en su medio ambiente con cierta confianza. Sin embargo, habrá situaciones por las que muchos prefieran ya no retornar a sus lugares de origen porque la situación que los hizo desplazarse sigue, no hay solución a esos problemas.

Los motivos para desplazarse pueden ser por violencia; salud; economía o por trabajo. Es posible tratar por separado cada uno de esos motivos que se mencionan para intentar solucionar uno a uno, pero al mismo tiempo, puede resultar que sean una mezcla de todos. La violencia se menciona como uno de los motivos para desplazarse, pero también están la falta de servicios de salud, escases de trabajo provocada por una mala economía en sus países, además de los malos manejos administrativos. Todo afecta la vida de los pobladores convirtiéndolos en candidatos a desplazados. Para tratar de visualizar el enorme problema que motiva los desplazamientos se presenta un diagrama en la Figura 1.



**Figura 1.** Factores que promueven que las personas se desplacen

## 2.1 Motivos que provocan la migración

Los migrantes son grupos de personas que buscan abandonar en la mayoría de los casos de forma definitiva sus lugares de nacimiento, los lugares donde siempre habían vivido. En ocasiones los migrantes toman la decisión de salir de sus poblados de sus ciudades debido a que quieren huir de conflictos que se suscitan en sus lugares de origen. La migración se puede dar dentro de su propio país o hacia otros países lo que puede provocar disgustos por la internación no autorizada en los países por donde se transita o donde se busca entrar y permanecer de forma definitiva, para huir de los problemas que los amenazan.

Un tema sumamente importante cuando se habla de migración son los menores de edad. La cancillería mexicana atendió a mil 252 niños víctimas del delito de trata de personas, mediante su red consular. La cifra reportada para el año 2021 es cuatro veces la reportada en el año 2020. Se les brinda amparo bajo la Ley de Protección a Víctimas de trata TVPRA. Esta ley les autoriza a que los menores permanezcan en EU. La mayoría de los casos se presentaron en estados fronterizos como Texas, California y Arizona, además de estados del centro de ese país como Iowa y Kansas [1].

Se ha planteado que siete de cada diez menores migrantes viajan solos, y se tiene esta cifra porque son detenidos y deportados. Se menciona que el 77,8 por ciento de los menores de edad mexicanos, deportados durante los primeros tres meses del año 2022 fueron localizados solos, y así lo declararon. La mayoría del grupo de menores de edad, apenas supera los 12 años. Los que están por debajo de esta edad van acompañados de un familiar adulto o en ocasiones van bajo el cuidado de un adulto que se declara como tutor. Durante 2022 se deportaron de los EU hacia México, a más menores de edad, en comparación con los tres años anteriores.

Para intentar ordenar estos sucesos es que se menciona a la migración y al desplazamiento, como eventos separados, en los que tal vez sus orígenes puedan coincidir sin que siempre sea así, ya que como se mencionó en párrafos anteriores en algunas comunidades poblados o ciudades, muchos migran por tradición. Y los desplazados por la violencia creciente. Se desplazan por miedo por necesidad no por gusto. Sin embargo, surge el cruce de eventos, ya que algunos migran por seguridad, por salvar sus vidas. Lograr la visa humanitaria es uno de los objetivos que pretenden muchos de los migrantes que llegan de países en los que la violencia generalizada los expulsa, algunos más argumentan motivos políticos, que actualmente se está volviendo un motivo altamente peligroso para quienes ejercen una cierta profesión en su país de origen. Pero la visa humanitaria exige ciertas condiciones para ser otorgada.

## 3. LUGARES BUSCADOS/SELECCIONADOS PARA MIGRAR

En América Latina el lugar preferido por muchos para migrar son los EU. Su lugar objetivo, su lugar final de residencia para muchos. Un lugar soñado, anhelado para cumplir su sueño americano. Habrá quien logre

migrar hacia ese país mediante trámites convencionales, trámites que se realizan en las delegaciones consulares de los EU en sus propios países. Para algunos migrantes les resulta un poco más sencillo su traslado y residencia en ese país debido a que cuentan con familiares con la residencia, y que promueven su llegada y estadía.

Una buena razón para migrar hacia algunos estados o incluso una ciudad en específico lo motiva precisamente que parte de la familia ya se encuentra radicando en ese estado, en esa ciudad, y se han establecido de manera exitosa manteniendo empleos estables. En ocasiones esos estados o ciudades se vuelven lugares fijos para la migración de varias familias. Lo anterior se puede apreciar en ciudades como Nueva York o los Ángeles. Aunque claro, es posible hablar no de una ciudad sino de estados como California, que representa un lugar de asentamiento latino casi tradicional. Son varios los estados de la unión donde se encuentran asentados migrantes latinos. Hasta aquí se menciona a quienes buscan migrar a ese país con la declarada intención de buscar la ciudadanía y por ello se enfocan en cumplir con todos los requisitos establecidos.

### **3.1 Solicitudes de asilo**

Se considera que existe una crisis migratoria en Europa, así como en América, según se mencionó en el congreso convocado por el Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM. En dicho evento se mencionó que México, en el año 2021, fue el tercer país en el mundo, en recibir el mayor número de solicitudes de asilo, solo después de EU y de Alemania [2].

Lo anterior se refuerza con las declaraciones de la Oficina en Washington para asuntos Latinoamericanos WOLA, México recibió 130 mil 627 solicitudes de asilo durante 2021 [3]. Además, declararon que, de todas las solicitudes de asilo, 89 mil 613, son personas solicitantes en la ciudad de Tapachula Chiapas. Lo que está provocando una verdadera crisis humanitaria, esto debido a la estrategia seguida para intentar lograr una contención en la frontera sur del país. La misma organización recomienda elevar el nivel de atención, con la finalidad de evitar posibles escenarios de abuso y discriminación.

El asilo solicitado por migrantes que llegan a México, proviene de personas que son de varias nacionalidades, de entre los solicitantes, se encuentran las personas provenientes de Haití, Honduras, Cuba Chile, Venezuela, el Salvador, Guatemala, Brasil, Nicaragua, Colombia. De todas estas naciones Haití se destaca por el número de solicitudes, las personas solicitantes alcanzaron las 51 mil 337 [3].

### **3.2 Lugares de origen de los migrantes**

Al mencionar a los EU como lugar destino de migrantes, no es posible mencionar solo a Latinoamérica, porque a ese país EU, buscan llegar personas de las más diversas nacionalidades. Es cierto que actualmente su primer destino para muchos migrantes de otros países del mundo es alguna ciudad de Latinoamérica, para después iniciar la travesía hacia el país que se proponen como objetivo final.

Los migrantes que llegan a México, algunos, buscan obtener asilo en el país e inmediatamente buscan la manera de sustentar su estancia mediante un trabajo remunerado que les permita sobrevivir a ellos y sus familias, esto cuando viajan acompañados. Proviene como se mencionó de varios países del continente americano, sin embargo, también arriban de diversos puntos del planeta, por ello se puede estimar que la lista de países que están expulsando a sus connacionales es mayor, esto por las más diversas razones.

Dentro de quienes solicitan refugio en México también se encuentran alrededor de 17 mil ucranianos, así como otros tantos rusos y bielorrusos, esto a decir del canciller mexicano que además dejó claro, que México practica una política de refugio muy abierta [4]. De todos los ucranianos que llegan a la frontera norte de México con los EU, cerca de 10 mil han logrado ser procesados para su admisión y estancia legal en aquel país. El arribo de migrantes ucranianos ha ido en aumento motivado por la guerra en su país. Los que pueden huyen de la guerra y llegan a México buscando alcanzar la frontera con los EU. Otros más, buscan permanecer en Europa.

Aun cuando muchos de ellos tienen sus documentos en orden y presentan todas las condiciones para ser aceptados, tienen que esperar forzosamente a ser procesados en puntos como la ciudad de Tijuana, México. Algunas organizaciones estadounidenses, como las iglesias con sede en EU, hacen listas con los datos generales de los ucranianos que quieren ser aceptados. Buscan mediante estas acciones presentar y agilizar los procesos, esto al menos en San Ysidro California.

Como se menciona en párrafos anteriores, su primer objetivo al salir de Ucrania es llegar a Tijuana, para ello la mayoría utilizó la vía aérea hacia Ciudad de México, aunque algunos llegan a Cancún y luego se trasladan a la ciudad de México, y de ahí parten vía terrestre a Tijuana. Su travesía comienza al intentar pasar por varios países europeos, lo cual es también un poco complicado. Algunos relatan que viajan de Ucrania hacia Moldavia para después trasladarse a Rumania donde algunos logran abordar un avión hacia México. Para otros su trayecto incluye salida hacia Polonia Croacia Hungría o Ámsterdam y de ahí a Ciudad de México [5]. La entrada no es fácil, y es más complicada debido a que por la pandemia, la frontera se cerró a todo paso entre México y EU.

Para los ucranianos su llegada a EU no está exenta de ciertas penurias. En un principio se suponía que los ucranianos tenían pase directo para entrar, y que en cambio rusos y bielorrusos no [5]. Los que son aceptados, al entrar pasan por puestos de control donde se les entrega un permiso para permanecer en EU durante un año sin ser molestados sin ser deportados, esto por razones humanitarias, al decir de funcionarios estadounidenses. Las autoridades de Tijuana proporcionan alojamiento a todos, sin embargo, sus instalaciones tienen un límite y pueden llegar a colapsar debido a que están al máximo de su capacidad y los refugiados siguen llegando a solicitar apoyos.

### **3.3 Países de tránsito o estadía provisional**

Se ha estado mencionando en los diversos medios de comunicación las precarias condiciones en las que los migrantes transitan por los países de paso. Es posible enterarse por medio de noticieros tanto de radio como de televisión e inclusive a través de los periódicos las condiciones, y como es que avanzan las caravanas de migrantes por los diferentes países. La Agencia de la ONU para los refugiados ACNUR se coordina con diferentes instituciones para la implementación de programas de integración de refugiados. Mediante estos programas se ha podido lograr que las personas que componen esos movimientos migratorios se incorporen, al menos mientras logran sus objetivos de traslado hacia el país seleccionado como destino final, a la fuerza de trabajo formal establecida.

Al desarrollar algunos migrantes trabajos formales, contribuyen con su aportación al fisco. Se menciona que la recaudación fiscal alcanza una suma superior a los cien millones de pesos anuales [6] logrando con ello establecerse por un tiempo en una ciudad y procurarse una mejor estadía en el país de tránsito, así mismo logran mejorar con ello la imagen que como migrantes se tiene por parte de los ciudadanos de esas ciudades. De este modo ellos mismos logran que se vaya dando una igualdad de oportunidades, esto al ofrecer su fuerza de trabajo en un modo ordenado responsable y establecido, y así competir en una forma más igualitaria. Con su buen comportamiento sientan las bases para que los empleadores no tengan ningún pretexto, que les impida emplear a los siguientes migrantes que soliciten ser contratados.

Los migrantes que así se desempeñan pueden con su esfuerzo, impulsar el desarrollo contribuir con el crecimiento y fortalecimiento de las regiones por donde transitan. Así mismo, fortalecen su integración a la sociedad, a una sociedad que los incluye, y que de alguna manera les ofrece bienestar tranquilidad y estabilidad durante su breve estancia. De esta manera el migrante le genera tranquilidad a la misma sociedad. Una sociedad incluyente ofrece igualdad de oportunidades, garantiza acceso al empleo a una vivienda decorosa, seguridad y servicios médicos, que se traduce en tranquilidad para el migrante.

## **4. MOVIMIENTOS POR EL MEDIO AMBIENTE**

Tal vez resulte entendible que algunas comunidades puedan moverse debido a cambios climáticos, a eventos naturales. De primera mano es fácil anotar que las personas se desplazaron por circunstancias del medio ambiente, pero especialistas declaran [7] que existe diferencia entre quienes se tienen que mover

de sus lugares de origen, lugares en los que han nacido y crecido donde han formado sus hogares, esto por causas atribuibles a situaciones que pudieran parecer lo mismo, sin embargo, hacen la aclaración que se puede definir a los desplazados *ambientales*, y a los desplazados *climáticos*.

- Los desplazados *ambientales* surgen por razones como un accidente industrial o por fenómenos geológicos: cavernas, suelos demasiado suaves, una erupción o la contaminación de un río del cual dependan principalmente.
- En los desplazados *climáticos* habría que considerar situaciones que los especialistas calificaron como *muy particulares*. Y definieron a eventos como elevación del nivel del mar, al deshielo, y a las sequías; todo aquello en donde la causa esté directamente relacionada con el cambio climático. Aquí se puede situar el calentamiento global.

La preocupación que genera todo movimiento es que no haya una regulación, que no se esté al menos elaborando o proponiendo un reglamento, para que las personas en movimiento, desplazados por las razones que sean, tengan una certeza jurídica por parte de los estados, esto en el ámbito internacional, porque algunos países pueden estar proponiendo reglas de acceso de paso pero que no necesariamente existen en todos los países de una determinada región, o que sean compatibles en todos esos países involucrados.

El motivo medioambiental que los obligue a desplazarse cualquiera que este sea, causa estragos en comunidades enteras, y tiene que ser un evento muy grande para que tengan la urgencia de cambiar de dejar su ámbito natural. Un ejemplo de urgente necesidad de desplazamiento son los huracanes que en algunos años han llegado a ser entre veinticinco y treinta eventos de ese tipo por temporada. Y es posible suponer que un huracán de mediana intensidad pueda ser pasado soportado, pero cuando son muy intensos o no muy intensos, pero si continuados, empieza a darse escases de alimentos, de medicamentos y por supuesto de agua potable.

Caso similar sucede con las sequías, que al igual que con los huracanes, una sequía de seis u ocho meses pueda ser pasada soportada, pero sequías de dos, tres o más años, deja poblaciones enteras sin la oportunidad de subsistir; sin apoyos las comunidades no pueden al menos sembrar. Y sucede que cuando logran sembrar y cosechar, después de un cierto tiempo se quedan sin semillas. Es muy crítico cuando las poblaciones se quedan sin semillas y sin modo alguno de regar sus tierras.

Todo esto no es exclusivo de una zona o región, es una situación que puede suceder a cualquier nación, y si además no están preparados para esas situaciones extremas como las antes mencionadas, no podrán atender debidamente a su población, sus ciudadanos se verán muy expuestos a la falta de alimentos agua potable servicios médicos y con la amenaza de que se suscite un clima de inseguridad en el lugar. La combinación de estas carencias es más que una razón suficiente para abandonar comunidades regiones o inclusive sus países.

Se plantea que lo que motiva este avance de la destrucción medioambiental es la economía que no se detiene; una economía que propicia acabar con regiones naturales, que solo busca consumir los recursos naturales, siguiendo el método de la invasión, invadiendo con su infraestructura dañina, infraestructura que impacta el medio ambiente que arrasa con todo lo natural para lograr grandes avenidas carreteras sistemas de transporte que contaminan, no solo durante el proceso de su construcción sino además, con su operación.

Cuántas veces no hemos escuchado que se afectan los recursos marinos solo porque se quiere recibir a los grandes cruceros llenos de turistas, cruceros que se piensa traerán una enorme derrama económica para el puerto que los recibe, y que sin embargo resulta que no es así, que lo que se logra en ventas de artículos y de servicios no es lo que se esperaba. Resulta increíble pero así es, se busca más una satisfacción económica o política, en ocasiones más política que económica, que la conservación del medio ambiente. Para ejemplificar se anota, que México, es el quinto país con la mayor deforestación en el mundo. Asunto nada halagador.

No cabe la menor duda que cualquier desequilibrio natural, medioambiental o político puede desatar o incrementar el número de los ciudadanos desplazados. Se estima que a futuro el mayor nivel de desplazados se pueda dar dentro de unos treinta años. Y todo debido a la devastación del medio ambiente que ya se está dando.

## **5. XENOFOBIA**

La xenofobia es una situación social que se puede clasificar como un fenómeno, el cual en ocasiones puede ser motivado por la migración. Y no en si por la migración misma sino porque se vuelve una cotidianeidad debido al paso constante de personas, o por su estadía en provincias pequeñas que no tienen la capacidad de brindar apoyo suficiente para todos ellos.

Lo que suscita problemas entre migrantes y la población del lugar. Es conocido el fenómeno de la xenofobia en el mundo entero. Se le conoce en algunos países europeos, y también en regiones del continente americano. En algunos países tal vez no sea muy notorio, pero si evidente la no aceptación de todo migrante.

## **6. POSIBLES SOLUCIONES**

Se han planteado algunas soluciones que involucran a tres países, países que conforman al país expulsor, al país de tránsito y al país receptor. Tal es el caso de México como país de tránsito. Intentar llegar a un acuerdo migrante entre los tres países involucrados luce como una buena opción, sin embargo, es muy complicado por los problemas que se presentan. Son muchos los problemas que causan inestabilidad a los pobladores de las ciudades fronterizas tanto del sureste como del norte de México, además de las ciudades por donde van avanzando las caravanas.

### **6.1 México país de tránsito**

Como cualquier país, en México se busca tener un control de las personas y bienes que cruzan sus fronteras por ello, lo tradicional es solicitar una visa para ingresar. Algunos países tienen acuerdos con el gobierno mexicano para no exigir visa a los ciudadanos de esos países, lo único que se les solicita para su ingreso es una identificación, que es un requisito mínimo. Se puede entender que muchos de ellos no tienen ningún tipo de identificación por los motivos más diversos, entre ellos uno de los más conocidos es el de salir de sus casas repentinamente, sin pensarlo, debido más a que su integridad física está en peligro que por carecer de los documentos. Muchos de los migrantes buscan un estatus de refugiados políticos, de perseguidos políticos. Buscan obtener una visa humanitaria que les permita un ingreso seguro rápido, para escapar del peligro.

### **6.2 Tercer país seguro**

El concepto, la expresión de tercer país seguro, implica que ese tercer país posee o ha sido capaz de haber desarrollado e implementado una logística para la recepción de las personas que no han sido aceptadas por el país elegido como país destino. O que deben permanecer en ese tercer país mientras, son revisados evaluados cada uno de los casos de las solicitudes.

No lograr ser admitidos inmediatamente, significa que su acomodo para una estancia no definida, y la atención a sus necesidades básicas genera muchos problemas tanto para el individuo migrante como para el país así designado. Al parecer todo indica que esta situación de tercer país seguro ya no tiene mucho apoyo por parte de los países que estaban incluidos como tales, y la administración estadounidense tampoco tiene interés en continuar con su aplicación [8].

Tan es así que el departamento estadounidense de seguridad interior ya anunció que pondrá fin al programa que obligaba a los solicitantes de asilo a esperar en México mientras las solicitudes eran resueltas [9]. Se le considera un paso importante para la reconstrucción de un sistema de asilo con características más humanas, y que a la vez sea llevado de una manera ordenada. Se menciona en este caso a la frontera México-EU, ya que anteriormente se decía reiteradamente que México era considerado un tercer país. Lo

que ha sido desmentido en igual cantidad de ocasiones por las diferentes autoridades mexicanas incluso por el mismo secretario de relaciones exteriores mexicano.

### 6.3 Aportaciones/soluciones

Algunos países cuyos ciudadanos se ven involucrados en movimientos migratorios por diferentes razones, han presentado algunas soluciones, otros más, buscan mejorar las medidas que imponen otros países para cruzar sus fronteras. Cuando se tiene como primer destino a México, y los viajeros que arriban no necesitan de una Visa para su ingreso tienen en mente un ingreso al país sin contratiempos, y cuando por alguna razón no es así, eso les ocasiona malestar y contratiempos además del costo que la situación implica.

Para el caso de Colombia, como ejemplo, se han instrumentado algunos controles que aseguran un ingreso seguro cuando los ciudadanos colombianos deciden trasladarse a México. ¿Por qué se han dado estos mecanismos? Por la razón de que había ocasiones en las que los ciudadanos de ese país al arribar a México, agentes del Instituto Nacional de Migración INM, les comunicaban simplemente que *no cumplían con las medidas de seguridad para ingresar a México*. Lo anterior es a todas luces frustrante y costoso además de crear una tensión entre ambos países. Es por ello que la cancillería mexicana ha implementado un sistema de pre registro. Mediante la revisión electrónica se analiza si la persona será o no admitida al país a su arribo. Dicho análisis se realiza antes de que el viajero aborde el avión que lo trasladará.

Lo que lo originó este protocolo fue la versión de que algunos ciudadanos utilizaban al país como ruta de acceso hacia los EU, lo cual no siempre es así, existen algunos viajeros que, si realizan su traslado a México para después cruzar hacia la unión americana, pero no es la mayoría. Muchos de los viajeros colombianos, arriban a México para disfrutar de algunos días de merecidas vacaciones.

Según se reporta por los medios, alrededor de 62 mil 217 colombianos llegan a México vía área y de ellos más de mil no han regresado a su país. Datos de la Unidad de Política Migratoria. Por supuesto que el primer motivo que se argumenta para su permanencia es la intención de cruzar la frontera con la unión americana.

Se destaca una ampliación de conectividad entre ambos países con el ingreso de tres nuevas aerolíneas mexicanas a Colombia, establecidas en 2021. Se anunció también una nueva ruta desde la ciudad de Guadalajara, México. Según palabras de la excelentísima embajadora de Colombia en México. *Las relaciones entre México y Colombia son sólidas, son relaciones que evolucionan y avanzan hacia un desarrollo económico que beneficie a ambos.*

En entrevista para un diario de circulación nacional en México, la diplomática resaltó la relación comercial entre ambos países, anunciando que México sigue siendo un importante socio comercial de Colombia, y que los socios inversionistas mexicanos en Colombia son sólidos, y que manifiestan su interés por seguir invirtiendo en Colombia. Además de que, nuevas empresas colombianas siguen llegando a México lo que propicia la generación de empleos. Por todo lo anterior confía en que el pre registro propuesto por México, permita reducir el número de colombianos no admitidos en México [10].

Es importante generar ideas aportar posibles soluciones, y aunque tal vez no todas sean aplicables al analizarlas en su conjunto, puede resultar una solución que aglutine diversas propuestas lo importante es participar generar ideas y aportarlas, porque de nada sirve plantearse una idea y guardarla para uno mismo.

Siendo México un país de tránsito para muchos migrantes, conviene proponer soluciones que ayuden a lograr una migración ordenada y de ser posible programada. De llevarse a cabo una solución con esas características permitiría inclusive programar el arribo de personas plenamente identificadas al país destino, lo que conduce a pensar en tener ya, desde un principio un lugar de estancia y de trabajo para cada uno de ellos.

Se insiste en que cualquier solución que involucre a los países expulsores, al país de tránsito y por supuesto al país destino o receptor todos, deben llegar a ella por acuerdo. Deben llegar a una solución por acuerdo ya que en ningún momento se debe dejar de lado el hecho de que cada país tiene sus propias leyes y por

ningún motivo se puede infligir la ley, ya sea el país expulsor el de tránsito, así como el receptor, de aquí que se propongan reuniones en las que se presenten las posibles soluciones.

La propuesta que aquí se presenta para analizarse, es la de generar un documento de tránsito que sea reconocido por tres países. El país expulsor, el país de tránsito y el país receptor. Esto con la idea de procurar seguridad y certeza para el migrante, ya sea que viaje solo o con sus familiares. Por supuesto que un documento tal deberá inclusive, contar con el respaldo de las organizaciones internacionales de apoyo a la migración como lo son ONU ACNUR OIM y la UNICEF, así como las diferentes organizaciones no gubernamentales que apoyen al migrante:

- El país expulsor, sus autoridades, deberán reconocer y respetar el documento que acredita al portador como a un ser humano protegido por el país receptor y que está por abandonar su país.
- El país de tránsito, reconoce el documento expedido de manera tripartita. El cual es entregado por el país receptor del migrante.
- El país receptor, es el país que otorga el documento debidamente registrado por el país de tránsito, y se notifica al país expulsor del otorgamiento de dicho documento.

## **7. PROPUESTA DE MIGRACIÓN SEGURA**

Cualquier propuesta de migración se debe iniciar con una propuesta de otorgamiento de un pase, visa, salvoconducto o cartilla de identificación que le dé certeza al migrante. Como se mencionó antes, se propone un documento llamado de tránsito, y es necesario que dicho documento surja de un acuerdo total pleno, entre al menos tres países que están involucrados en la migración. Es decir, para cualquier solución es necesario llegar a un acuerdo entre países. Además, un punto muy importante que debe quedar perfectamente claro, es el hecho de que aún con el documento del migrante beneficiado siempre, siempre deberá cumplir cabalmente con las leyes, reglamentos y disposiciones de los países por donde vaya.

El documento de tránsito, para que funcione deberá ser avalado por los países involucrados en la migración. Este sería un documento personal e intransferible y la mecánica de operación sería a grandes rasgos como:

1. La entrega EU, para esto una vez emitido el documento el migrante tiene en promedio 25 días para presentarse en la frontera.
2. Se presenta por el migrante en la frontera México-EU.
3. El migrante presenta el documento a toda autoridad que se lo solicite.
4. El documento se entrega a las autoridades fronterizas estadounidenses.
5. Se canjea por una visa de entrada.

Este documento debe contar con todas las características de seguridad del más alto nivel, para evitar su reproducción no autorizada. Con este documento se está amparando al individuo que lo recibe para salir de su país natal, transitar por el país de tránsito y arribar al país destino o receptor. Se propone que el documento este formado físicamente por tres zonas o campos de información Zona A, B y C. Estas zonas de información nunca deberán ser separadas. No podrá ser aceptado el documento sin alguna de las partes. Es decir, como todo documento oficial, este es un documento personal e intransferible, y que no debe presentar mutilaciones alteraciones o arreglos visibles.

Con un formato tríptico el documento presenta en el campo de información central B, fotografía nombre(s) y apellido(s) del que se hace acreedor al documento y no podrá ser presentado por ninguna persona que no sea el beneficiario. Contará con leyendas y escudos de la nación receptora del migrante. Con códigos propios del país destino o receptor que en este caso sería el gobierno de EU. Entre los códigos sellos y marcas podría ostentar un código QR, para su rápida identificación como documento válido. Para el primer campo de información A, este campo de información está dedicado a la información relativa al país de tránsito, que en este caso sería México. Presentará escudo nacional leyendas y claves o códigos propios del país, así como nombre(s) y apellido(s) del beneficiario del documento. Todo esto aunado a la autorización o visa de tránsito temporal por territorio mexicano.



Para el tercer campo de información C, se propone dividir en tres sub campos de información, cada uno conteniendo la siguiente información. El primero con todos los datos generales del beneficiario y su fotografía, debe incluir el nombre del país de donde sale. El segundo sub campo se destina para acreditar un seguro médico, que se propone denominar como seguro médico migrante SMM, con el cual en caso de ser requerido se le daría ingreso en el sistema de salud del país de tránsito, México. El tercer sub campo se dedica para cuando quien ostenta el documento sea una mujer; para que los servicios médicos incluyan lo necesario para su atención personal y, de ser el caso, para atender bebés o menores de edad.

El método de uso del SMM sería muy simple, se presenta por el migrante ante cualquier clínica del sector salud mexicano cuando así lo requiera, para recibir atención médica, así como los medicamentos que sean necesarios. El servicio se registra y su costo es cubierto en su totalidad por organizaciones internacionales y también por organizaciones no gubernamentales que apoyan la migración. De esta manera se está aportando seguridad médica al migrante entre el país de tránsito, México, y las diferentes organizaciones que acuerden participar en dicho programa de seguro médico migrante. Cabe mencionar que las organizaciones no gubernamentales son muy participativas y siempre están preocupadas y atentas a las necesidades de los migrantes.

El documento de tránsito tiene una vigencia de entre 20 a 33 días para ser presentado en la frontera México-EU. El documento se presenta en cualquiera de las puertas de entrada a los EU, o si ya se le designo una entrada en específico será ahí donde deberá presentar su documento que lo acredita como migrante autorizado. Ahí mismo se canjea por una visa temporal de residente, y el documento de tránsito que le sirvió durante todo su trayecto es destruido por las autoridades correspondientes. Lo anterior una vez notificadas las autoridades de ambos países del arribo del migrante al país destino o receptor.

Como una primera opción, el documento se solicita en la embajada del país destino o receptor, donde el candidato a migrante deberá entregar la documentación que le sea solicitada. Solicitar el documento no garantiza que sea otorgado el documento de tránsito, ya que la documentación entregada por el solicitante deberá ser analizada como a cualquier solicitud, y dependerá de ese análisis el que sea o no otorgado el documento de tránsito.

Una segunda opción que se puede evaluar designar instalaciones como un consulado oficina regional o viceconsulado, para que sea el lugar encargado para atender únicamente solicitudes de migración ya sea por situaciones convencionales o por razones humanitarias. Tal vez esta segunda opción sería una solución más aconsejable ya que se estaría definiendo un lugar en específico para la atención sólo de solicitudes migrantes, dejando a la embajada los asuntos diversos que siempre atiende, visas de negocios de trabajo o de visita turística, y todo lo demás relacionado con las actividades propias de una embajada.

En una época de alta migración hacia los estados unidos, las oficinas de inmigración y naturalización de ese país, se vio rebasada por la gran cantidad de personas que llegaban a solicitar su ingreso legal y ordenado, por lo que debió trasladar sus oficinas a la isla Ellis. Ahí sus instalaciones pudieron dar cabida a la migración mientras se sometían a revisión sus documentos y condiciones físicas.

La isla Ellis es un complejo formado por una isla natural y dos artificiales, unidas por carreteras elevadas. Están situadas en la parte superior de la bahía de Nueva York cerca de Manhattan y desde 1892 hasta 1954 fue la oficina central de inmigración y naturalización. Como dato adicional, en 1947 se estimó que alrededor de veinte millones de inmigrantes habían entrado al país a través de esta isla. En 1954 se cerró, y los servicios de inmigración se regresaron a sus instalaciones situadas en Manhattan.

Lo anterior es una muy breve descripción de la isla Ellis, su composición y función en esos años de alta migración mundial hacia los estados unidos. Se le menciona debido a que las condiciones que se le presentaba a las autoridades estadounidenses en esos años podía rebasarlos, por lo que decidieron mantener a los migrantes fuera de tierra firme mientras eran procesadas sus solicitudes. Haciendo que todo el proceso se realizara precisamente en la isla Ellis. Además, en caso de rechazo de alguna solicitud, les resultaba más fácil la expulsión de su territorio. Este es un buen ejemplo de solución a una creciente demanda de atención migrante.

## 7.1 Propuesta de solución para una estadía segura

La segunda parte de la propuesta es la de dedicar una oficina o consulado especial avocado sólo a la atención de migrantes, entiéndase personas que no van a solicitar un visado temporal de ingreso a territorio estadounidense. Se atendería solo a personas cuyo deseo es ingresar y permanecer dentro de territorio estadounidense.

A lo largo de esta reflexión se ha mencionado que una buena parte de migrantes provienen de Centroamérica, en específico de Guatemala, Honduras y San Salvador. El triángulo centroamericano. Sin embargo, no es posible descartar la migración de otros países. Algunos de los migrantes ingresan al continente americano en Centroamérica o Suramérica, para luego llegar a la frontera de Guatemala con México.

La mayoría transita en caravanas caminando por México hasta llegar a ciudades fronterizas con EU, y ahí tienen que esperar a ser admitidas sus solicitudes de ingreso. Las solicitudes no son revisadas y autorizadas con la celeridad que los solicitantes quisieran, por ello tienen que permanecer durante mucho tiempo en territorio mexicano buscando los lugares de refugio temporal dispuestos por algunos municipios para su resguardo, los que llegan a ser insuficientes y muchas veces rebasados y por ello la atención se ve disminuida en su calidad.

Es aquí donde surge la idea de llegar a un acuerdo con alguno de los países del triángulo centroamericano, para que las personas sean admitidas en instalaciones de los EU pero en territorio de alguno de ellos, instalaciones en las que de entrada estarían ya, bajo la protección de las leyes estadounidense. Esto mientras se revisa la situación de cada uno de ellos.

Al hablar de instalaciones fuera de EU, implica llegar a un acuerdo para que a dicho país le sea cedida, un área lo suficientemente grande para construir edificios que puedan albergar en ella oficinas y áreas de estancia para que toda persona que ingrese, pueda permanecer ahí el tiempo necesario mientras son analizados sus documentos y así evitarían los riesgos de un traslado incierto con todas las dificultades que ello implica. Así mismo evitarían, en caso de ser rechazada su solicitud, permanecer en un país que no es el país en el que ellos quieren vivir. Al entrar a una oficina diplomática especialmente designada para migrantes, no se estaría llegando a una isla, como fue el caso en aquellos años de la isla Ellis, sino que se recibiría a todo migrante que quiera ingresar de manera segura y permanente, en una misión diplomática con característica de consulado o viceconsulado.

Como método a seguir para la Implementación de la segunda parte de la propuesta, para empezar, se solicitaría el beneplácito de un país el cual asignaría un área dentro de su territorio para la construcción de un edificio diplomático con alguna de las características de consulado o viceconsulado, dedicado exclusivamente a atender toda solicitud de migración. Sólo migración. Constaría de un Área de documentación. De un área de contención, la cual se dividiría en una sub-área de admisión y otra de revisión. Contaría también con un área de estancia con sub-áreas de servicios generales como baños duchas y dormitorio. Así como un área de comedor. Es conveniente, muy recomendable que disponga de un área de servicios médicos, clínica de atención. En esta instalación diplomática sería donde se tramitaría y se entregaría en caso de aceptación de solicitud, el mencionado documento de tránsito.

El estatus de las dependencias diplomáticas que se propone podría tener asignado, por sus características alguno de los nombres de las sedes diplomáticas que los países tienen en el extranjero.

- *Embajada.* Las embajadas y consulados son representaciones diplomáticas de un país en el extranjero. No tienen el mismo grado de importancia ni pueden desempeñar las mismas funciones. La embajada tiene un status superior en cuanto a la capacidad de actuación y las labores de representación que desempeñan, mientras que los consulados se encuentran dentro del ámbito de representatividad de la embajada, y se encargan de actividades más concretas y de relacionarse más directamente con los ciudadanos nacionales y locales.

- *Consulado*. Es una representación de la administración pública de un país en otro distrito; colabora con sus ciudadanos en otro país. Entre sus funciones está: establecer visados a extranjeros e informar acerca de los permisos de residencia o de trabajo.
- *Viceconsulado*. Se supone que también son oficinas donde realiza todo tipo de trámites, aunque siendo una oficina pensada solo para migrantes, este sería el único trámite que ahí se desahogaría.

El estatus de las personas que ingresan a esta instalación gubernamental sería como refugiados y solicitantes de visa, por lo que tendrían un trato digno al asignarles un lugar de estancia mientras sus documentos son analizados para recibir un posible visado que les permitiera ingresar a los EU.

## 8. CONCLUSIONES

Toda reflexión que se haga en torno a la migración puede generar ideas que ayuden a encontrar soluciones parciales o totales a este movimiento de carácter mundial.

Una motivación muy poderosa para proponer ideas, sistemas, protocolos y arreglos, es la protección de los menores de edad y de las mujeres. La travesía que realizan para llegar al destino deseado está llena de peligros que los acecha día a día en su caminar.

En este documento están dos posibles aportaciones que se pueden complementar para brindar una migración segura respetuosa.

Dedicar instalaciones específicas para atender solicitudes para la migración ofrece certeza y seguridad a los candidatos a migrante.

El emitir un documento que ampare a los migrantes, posibilita la identificación plena de los solicitantes ante cualquier autoridad de los países involucrados en la migración.

Toda reflexión con la que se pretenda encontrar una solución se debe plantear siempre desde una perspectiva de cooperación internacional con respeto y convencimiento mutuo, para lograr una migración ordenada y en todo momento controlada.

## REFERENCIAS

- [1] González R. (2022). Crece la trata en niños que viajan solos. Organización Editorial Mexicana OEM.
- [2] Romero L. (2022). México, tercer país del orbe en recibir nuevas solicitudes de asilo. Gaceta de la Universidad Nacional Autónoma de México UNAM.
- [3] González R. (2022). México recibe 130 mil solicitudes de asilo. OEM.
- [4] Becerra B. (2022). Buscan 17 mil ucranianos refugiarse en México. OEM.
- [5] Reuters y EFE. (2022). Viven odisea para llegar a Tijuana. OEM.
- [6] Romero L. (2022) México, tercer país del orbe en recibir nuevas solicitudes de asilo. Gaceta UNAM.
- [7] Romero L. (2022). Lo que viene: Grandes migraciones por motivos climáticos. Gaceta UNAM.
- [8] EFE, AFP y REUTERS. (2022). Corte avala finalizar quédate en México. OEM.
- [9] AFP, EFE y González R. (2022). EU pone punto final al quédate en México. OEM.
- [10] González R. (2022). México rechaza a 500 colombianos al mes. OEM.

# Exploración del concepto de equilibrio entre trabajo y familia en el sector de la construcción en Chile

Felipe Jaramillo<sup>1</sup>

Felipe Araya<sup>2</sup>

Leonardo Sierra<sup>3</sup>

María Jesús Osses<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup> *Universidad Técnica Federico Santa María*

<sup>3,4</sup> *Universidad de la Frontera*

Chile

La cultura de la industria de la construcción chilena ha estado caracterizada durante mucho tiempo por largas jornadas laborales, presión laboral, sobrecarga y tareas complejas, que generan grandes tasas de abandono laboral. Este estudio muestra la complejidad de establecer un equilibrio entre el trabajo y la familia WFB en la industria de la construcción en Chile. El estudio recolecta una muestra de entrevistas a 14 profesionales de la construcción para explorar el conocimiento que tienen respecto al tema de equilibrio trabajo-familia y cómo afecta la cultura de la industria. Se realizó un análisis cualitativo de contenido a las entrevistas, donde distintas categorías emergieron de las respuestas entregadas. Las categorías principales identificadas fueron: 1) conocimiento sobre el equilibrio trabajo-familia, 2) la influencia de la cultura en el equilibrio trabajo-familia, y 3) las consecuencias del equilibrio trabajo-familia. Los resultados muestran que el 21% de los entrevistados entiende el problema como algo más complejo que la falta de tiempo, el 86% asegura haber visualizado a personas con alguna enfermedad mental en el rubro, y el 93% tiene una sensación de incompatibilidad del rol laboral con el rol familiar; además, el conocimiento insuficiente acerca del WFB está minimizando el impacto de este problema. El poco conocimiento sobre el WFB genera también que, tanto empresas como trabajadores, no sean conscientes del problema. Los entrevistados reportan que les es normal tener una sensación de falta de tiempo, sufrir de estrés, ansiedad o depresión y sentir que el rubro no era compatible con el rol familiar. Los resultados de este estudio permiten identificar una línea base respecto del problema de equilibrio trabajo-familia en la construcción en Chile. Este problema debe ser abordado por los administradores de proyectos y empresas de la construcción con el fin de proveer condiciones en las obras que permitan minimizar el abandono laboral, y mejorar las condiciones laborales para el recurso humano.

---

<sup>1</sup> Estudiante de Ingeniería Civil.

Contacto: *felipe.jaramillo.13@sansano.usm.cl*

<sup>2</sup> Ingeniero Civil y Doctor en Ingeniería Civil.

Contacto: *felipe.araya@usm.cl*

<sup>3</sup> Doctor en Ingeniería de la Construcción.

Contacto: *leonardo.sierra@ufrontera.cl*

<sup>4</sup> Licenciada en Ciencias de la Ingeniería e Ingeniero Constructor.

Contacto: *m.osses03@ufromail.cl*

## 1. INTRODUCCIÓN

A finales del siglo pasado, se comenzó a estudiar el conflicto entre el trabajo y la familia en distintos rubros. Los investigadores definieron este fenómeno como *una forma de conflicto entre roles, en que las presiones de los roles del trabajo y la familia no son mutuamente compatibles* [1]. Más tarde se comenzó a hablar sobre el Equilibrio trabajo-familia el cual era un concepto que a pesar de que se reafirma el hecho de que el conflicto existe, se acepta al mismo tiempo la existencia de factores desarrollados en un rol que afectan de forma positiva y reforzante al otro rol [2].

El equilibrio trabajo-familia o Work-Family Balance WFB ha comenzado a estudiarse recientemente en la industria de la construcción. Esto es debido a los cambios generacionales existentes en los últimos 100 años dentro de los cuales se ha cambiado el modelo familiar en el que los roles estaban definidos para hombres y mujeres. Puesto que tanto hombres como mujeres deben desarrollar el rol familiar y laboral, se debería a su vez cambiar la cultura existente en el rubro, siendo este uno de los últimos en adherirse al uso de estas políticas [3]. Las investigaciones realizadas en Europa, Asia y Oceanía han demostrado el grado de implicancia que este equilibrio tiene en el rendimiento de un proyecto [4]. Estos estudios buscan mejorar la satisfacción y calidad de vida de los trabajadores, a través del apoyo familiar y laboral, y al mismo tiempo mejorar el rendimiento del recurso humano en las empresas de construcción.

En América Latina los estudios acerca de WFB en la industria de la construcción son escasos, el poco conocimiento sobre el tema ha generado que se sigan manteniendo el mismo modelo cultural desde hace más de una década. Es notorio que la cultura actual de la construcción en Latinoamérica, está atrasada con respecto a la cultura de las generaciones actuales las cuales no participan en un solo rol. En Chile, los estudios realizados en otros rubros como la salud o el sector público han demostrado que tener medidas adecuadas que disminuyan el impacto negativo del WFB generan beneficios [5, 6], como los beneficios económicos y el aumento del rendimiento individual y grupal. Aún se desconoce el impacto que tiene el equilibrio trabajo-familia en el rubro de la construcción chilena dada la poca información que se tiene.

## 2. MARCO REFERENCIAL

Work-Family conflict WFC es un concepto que es bidireccional ya que la interferencia del trabajo con la familia está relacionada con la interferencia de la familia con el trabajo, pero ambos se diferencian. De este modo, el conflicto trabajo-familia se clasificó en dos conceptos: 1) interferencia del trabajo con la familia (Work interference with family WIF), y 2) interferencia de la familia con el trabajo (Family interference with work FIW). WIF se define como una forma de conflicto entre roles en el que el tiempo dedicado, la tensión ocasionada y las demandas generales (incluidas las expectativas de comportamiento) del dominio del trabajo interfieren con el desempeño de las responsabilidades relacionadas con la familia. Mientras que a FIW se le hace referencia como una forma de conflicto entre roles en el que las demandas generales (incluidas las expectativas de comportamiento), el tiempo dedicado y la tensión ocasionada por la familia interfieren con el desempeño de las responsabilidades relacionadas con el trabajo [7].

A pesar de que ambos problemas están relacionados al WFC estos no tienen la misma frecuencia de ocurrencia siendo más comúnmente visto el WIF que el FIW [8]. Basados en la conceptualización de las definiciones existen tres formas de WFC: 1) el conflicto de roles basado en el tiempo, que ocurre cuando las demandas de tiempo del trabajo y la familia compiten entre sí [9]; 2) el conflicto de roles basado en la tensión, que se produce cuando la tensión en un rol limita la capacidad de los individuos para desempeñar otro rol [10]; y 3) el conflicto de roles basado en la conducta o comportamiento, que ocurre cuando los patrones de conducta relacionados con el trabajo y la familia no son compatibles [1].

A principios del siglo XXI se ideó la concepción del término equilibrio trabajo-familia, un concepto que albergaba todas las definiciones anteriormente descritas y además afirmaba que aceptando que existe el conflicto se deberían tomar en cuenta aquellas experiencias, habilidades y oportunidades desarrolladas por un rol que son traspasadas al otro rol de manera positiva y reforzante. De esta manera las investigaciones posteriores dejaron de centrarse solo en la parte negativa del conflicto y comenzaron a idealizar posibles iniciativas que amortiguaran el impacto negativo del equilibrio [11].

En la industria de la construcción lograr el equilibrio es una tarea complicada. Los profesionales de la construcción deben someterse a largas horas de trabajo bajo una gran presión debido a las grandes cargas de trabajo, la programación inflexible y las tareas y procesos complicados. Además, los altos niveles de interdependencia laboral existentes y los pocos recursos disponibles hacen que el estrés sea aún mayor siendo este un factor fundamental en la búsqueda del equilibrio entre el trabajo y la familia en la construcción. Además, la parte positiva del equilibrio (el enriquecimiento y la facilitación entre roles) es casi inexistente en este rubro. La falta de políticas amigables con el equilibrio, la poca información sobre la cultura trabajo-familia, la inflexibilidad, la discriminación y la explotación laboral hacen que la industria de la construcción no tenga una retroalimentación positiva hacia la familia [12].

Esta investigación tiene como objetivo explorar el concepto de equilibrio trabajo-familia en la construcción en Chile. Además, se busca generar conciencia sobre la necesidad de implementar medidas para solventar el pobre equilibrio entre el trabajo y la familia que existe en la industria de la construcción en Chile.

### 3. MÉTODO

Este estudio tiene como finalidad explorar la realidad chilena en el contexto equilibrio trabajo-familia, es por la naturaleza exploratoria del estudio que se utiliza un enfoque cualitativo para los métodos. Para ello se han seleccionado 14 entrevistas realizadas a profesionales de la construcción para posteriormente analizar cualitativamente las respuestas. La Figura 1 muestra la secuencia de pasos a seguir como método utilizado en este estudio. Cada uno de los pasos son descritos en las secciones de abajo.

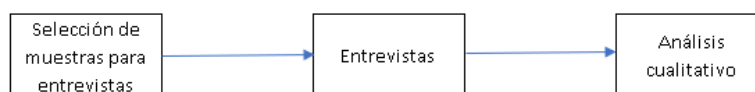


Figura 1. Secuencia del método utilizado

#### 3.1 Recolección de datos para las entrevistas.

Se ha obtenido una muestra de entrevistas de 14 profesionales de la construcción. Se recolecto esta muestra a través de un muestreo de bola de nieve, donde los entrevistados recomiendan a otros especialistas para poder expandir la muestra del estudio. Este muestreo es útil cuando se analiza su opinión para un cierto tópic, y ha sido utilizado para analizar casos de equilibrio entre el trabajo y la familia previamente [13]. Lo entrevistados se encontraban trabajando al momento de la entrevista en el rubro de la construcción y tenían por lo menos 3 años de experiencia laboral en la industria. Además, los entrevistados debían tener interdependencia laboral para participar de la misma.

Los entrevistados fueron contactados vía mail, a través de teléfono celular o a través de redes sociales y las entrevistas fueron realizadas en formato online. Las entrevistas tuvieron una duración estimada de 20 a 45 minutos. Los datos de este estudio fueron recolectados entre octubre de 2021 y mayo de 2022. Se realizaron diversas preguntas para capturar el entendimiento del concepto de equilibrio trabajo-familia en la construcción por parte de los entrevistados, como: ¿qué entiende por equilibrio entre el trabajo y la familia? ¿Con qué frecuencia se hacen horas extras o lo llaman fuera de su horario laboral? De poder dar alguna resolución al problema mediante alguna ley o norma, ¿cuál cree usted que sería una buena solución?

#### 3.2 Datos recolectados a través de la entrevista

Las respuestas provenientes de las preguntas de control realizadas a los entrevistados fueron inmediatamente transcritas para ser analizadas. La Tabla 1 muestra características principales de los entrevistados para agruparlos finalmente como se muestra a continuación.

Al iniciar la entrevista se le preguntaba al entrevistado si deseaba que lo que dijera fuese grabado. En caso de que el entrevistado no deseara ser grabado se tomaban notas en el momento de lo que este decía para guardar la información importante de la entrevista. El método predominante de la entrevista fue comenzar con preguntas de control que definieran el perfil laboral y su posible relación sentimental actual, luego se

escogía realizar una serie de preguntas escogidas previamente para iniciar con la conversación. El entrevistador era un participante activo durante la recopilación de datos importantes en la entrevista, cambiando el curso de la misma en los momentos adecuados para profundizar en las preguntas predeterminadas que se tenían del tema en cuestión.

**Tabla 1.** Características de los entrevistados

| Género                          | Frecuencia  |
|---------------------------------|-------------|
| Masculino                       | 11 personas |
| Femenino                        | 3 personas  |
| <i>Años de experiencia</i>      |             |
| De 3 a 5 años                   | 7 personas  |
| De 6 a 10 años                  | 3 personas  |
| 11 o más años                   | 4 personas  |
| <i>Demografía familiar</i>      |             |
| Sin personas dependientes       | 6 personas  |
| Responsable de hijos            | 6 personas  |
| Responsable de adultos mayores  | 2 personas  |
| <i>Relaciones sentimentales</i> |             |
| Soltero/a                       | 6 personas  |
| Casado/a                        | 3 personas  |
| Viviendo con su pareja          | 2 personas  |
| En una relación                 | 2 personas  |
| Separado                        | 1 persona   |
| <i>Tipo de empleo</i>           |             |
| Sector privado                  | 12 personas |
| Sector público                  | 1 persona   |
| Trabajador independiente        | 1 persona   |

### 3.3 Análisis cualitativo

Las entrevistas fueron transcritas tan pronto como fuera posible, después se ordenaron en orden temporal para finalmente ser analizadas a través de un proceso de análisis comparativo. Esto se tradujo en identificar temas recurrentes, patrones, similitudes y diferencias. Los datos fueron también desglosados, conceptualizados y categorizados para reducir la gran cantidad de material en forma de texto. En la Tabla 2 se desglosan todos los temas y subtemas analizados cualitativamente luego de las entrevistas.

**Tabla 2.** Temas y subtemas de la entrevista.

| Categorías                              | Definición  | Ejemplo   |
|---|---|---|
| <i>Conocimiento sobre el equilibrio</i> | <i>Conocimiento del individuo sobre el equilibrio entre el trabajo y la familia</i>     |   |
| 1 Tiempo                                | Relaciona el equilibrio con el tiempo dedicado a cada rol                               | Yo creo que es el tiempo que se le dedica a cada cosa...  |
| 2 Energía                               | Relaciona el equilibrio con la energía dedicada a cada rol                              | Hay que dedicarle el tiempo y la energía suficiente tanto a tu familia como a tu trabajo...   |
| 3 Comportamiento                        | Relaciona el equilibrio con no mezclar los comportamientos de cada rol                  | Las tensiones y los comportamientos de cada sector no se deben mezclar...   |
| 4 Consciente del equilibrio             | Relaciona el equilibrio con al menos 2 o más de las bases del conflicto trabajo-familia | Lo relaciono con que cuando estoy en mi trabajo mi atención es hacia a mi trabajo y cuando estoy en mi casa mi atención es hacia mi familia, y obviamente no mezclar ambos... |
| 5 Economía                              | Relaciona el equilibrio con estabilidad económica                                       | Es importante porque mi familia por un lado es mi apoyo emocional y mi trabajo es mi fuente de ingreso y sin él mi familia no tendría sustento...                             |
| <i>Cultura</i>                          | <i>Factor cultural que afecta al equilibrio trabajo-familia según entrevistados</i>     |   |
| 1 Economía                              | Relaciona un factor cultural-económico con el equilibrio                                | Los sueldos prácticamente no son suficientes para la economía en la que estamos y culturalmente no existe el pensamiento empresarial en que ellos se preocupen por eso...     |
| 2 Malas políticas                       | Menciona malas políticas empresariales no incluidas en ítems anteriores                 | Muchas veces me hubiese encantado compartir más tiempo con mi familia, pero a veces o regularmente la empresa pide que me quede un tiempo más...                              |

|                      |                              |   |  |
|----------------------|------------------------------|---|--|
| 3                    | Buenas políticas             | Menciona políticas que favorecen el equilibrio trabajo-familia  | Mira, yo conocí una empresa que trabajaban de lunes a jueves una hora más y el viernes salían más temprano para que los viejitos tuvieran más tiempo para descansar con sus familias...          |
| 4                    | Conocimiento de salud mental | Se mencionan temas de salud mental en su ambiente de trabajo  | Yo creo que antes se ocultaba más, ahora como que es más importante el tema de la salud mental, pero de que casi todos tienen alguna patología...  |
| 5                    | Relaciones con compañeros    | Buenas relaciones sociales del entrevistado con sus compañeros de trabajo   | Y también dentro de la empresa se respeta la opinión de cada uno, yo creo que por esa razón principalmente es buena...   |
| 6                    | Cultura local                | Se relaciona con pequeños sectores que poseen una cultura distinta de trabajo en la construcción a la del país en general | ¿La cultura?, si, completamente, todo depende del tamaño de la empresa, de que ISO maneja...   |
| 7                    | Aspecto legal                | Relaciona el aspecto legal con la cultura de la construcción que posee el país  | No, yo creo que se adhieren a lo estrictamente legal y tirando la vara un 10% pa abajo por lo normal...  |
| 8                    | Pandemia                     | Comportamientos culturales adoptados durante la pandemia del COVID-19   | No dejamos de trabajar en proyectos acá en casa, pero ya no podíamos reunir muchas veces. Por ejemplo, las cartas Gantt o hacer las actas de reunión cachai...                                   |
| 9                    | Comunidad                    | Visión negativa de la comunidad de la construcción sobre el uso de políticas  | Pucha, la gran mayoría de las veces la comunidad lo toma mal, en especial si son gente vieja, porque lo toman como que no estas cuidando tu trabajo o como que eres irresponsable...             |
| 10                   | Horario laboral              | Relaciona los horarios laborales extensos con la cultura de la construcción   | Como dependiente cuando trabajé en mi experiencia jamás cuestioné el trabajo que había que hacer fuera del horario. Me tocaba cuando partí llegar a los proyectos generalmente antes de las 8... |
| 11                   | Poca seguridad               | Sensación de trabajo inseguro dentro del terreno de la construcción   | Porque a veces le interesa muy poco la seguridad de sus trabajadores o no se toman las precauciones necesarias para hacer ciertas labores dentro de la construcción...                           |
| <i>Consecuencias</i> |                              |   | <i>Resultados obtenidos de un estado desequilibrado entre los roles laborales y familiares</i>   |
| 1                    | Comportamiento               | Malos comportamientos adoptados por los entrevistados debido a malas políticas  | Pucha las horas extras es algo super común que pase, tipo en cualquier empresa esta normalizado el trabajar horas extras o trabajar los días sábados.  |
| 2                    | Estrés                       | Aumento de tensión provocado por la falta de recursos de tiempo, dinero y energía   | Si po, te crea un estrés porque no estas con ellos, y aquí en el rubro que estas con tantas personas, pero tú no estás con tu familia de forma directa...  |
| 3                    | Presión/ansiedad             | Aumento de la tensión provocado por las expectativas que se tiene sobre un rol  | La mujer con el hombre tiene que salir de la casa no se a las 7 de la mañana y yo entro a las 8, ¿dónde dejo a mi hijo una hora? Si el colegio abre a las 7:30...                                |
| 4                    | Agotamiento                  | Sobrecarga laboral provocada por largos horarios de trabajo o trabajo excesivo  | Porque quedo muy cansado es agotador el trabajo, pero depende de la fecha ahora que es fin de año es muy agotador y es muy demandante...   |
| 5                    | Falta de tiempo              | Sensación de falta de tiempo para lograr los objetivos personales en cada rol   | Si, tengo la suficiente energía, pero yo diría que me falta el tiempo...   |
| 6                    | Incompatibilidad             | Sensación de incompatibilidad entre el rol laboral y el rol familiar  | La construcción es una pega super mala para tener familia porque uno ve super poco a la familia y a uno como jefatura a uno le demandan mucho tiempo...  |
| 7                    | Enfermedades mentales        | Frecuencia con la que se ven enfermedades mentales dentro del rubro de la construcción                                    | Es algo extremadamente normal en mis 3 trabajos que he estado más de la mitad de las personas que estaban conmigo presentaban problemas de sueño, ansiedad o depresión...                        |

### 3.4 Limitaciones

1. Los datos están orientados a personas que son altamente interdependientes laboralmente hablando en la construcción, es decir, la realización y termino de sus labores depende de otras personas.
2. Este estudio tiene más cantidad de hombres que de mujeres, por lo cual la visión del problema no es un ejemplo certero de ambos géneros.
3. Este estudio se enfoca en la realidad chilena, por lo que los resultados no son necesariamente transferibles a otros países, sin embargo, existen muchas similitudes con otros países de Latinoamérica a los que se podrían transferir parte de los resultados de este estudio.



4. La muestra analizada no es necesariamente representativa de la realidad en la construcción chilena, sin embargo, entrega un precedente del equilibrio entre el trabajo y la familia. Este estudio es útil para identificar los factores más comunes del problema expuesto y ayuda a generar conciencia sobre el desarrollo de las habilidades blandas en la construcción, y a minorizar el impacto negativo que tiene actualmente el equilibrio trabajo-familia sobre los profesionales de la construcción.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A través del análisis de las entrevistas se han identificado 3 grandes temas: 1) el conocimiento que el entrevistado tenía sobre el WFB, 2) el factor cultural que afecta al WFB, y 3) las consecuencias producidas de un pobre WFB. Los resultados del análisis cualitativo se presentan en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Resultados del análisis cualitativo

| Categorías                              | Frecuencia total | % del total | Entrevistados | % del total |
|---|------------------|-------------|---------------|-------------|
| <i>Conocimiento sobre el equilibrio</i> |                  |             |               |             |
| Tiempo                                  | 31               | 49%         | 14            | 100%        |
| Energía                                 | 11               | 17%         | 7             | 50%         |
| Comportamiento                          | 8                | 13%         | 5             | 36%         |
| Consciente del equilibrio               | 8                | 13%         | 3             | 21%         |
| Economía                                | 5                | 8%          | 2             | 14%         |
| Total                                   | 63               |             | 14            |             |
| <i>Cultura</i>                          |                  |             |               |             |
| Economía                                | 5                | 3%          | 5             | 36%         |
| Malas políticas                         | 29               | 15%         | 14            | 100%        |
| Buenas políticas                        | 25               | 13%         | 10            | 71%         |
| Conocimiento de salud mental            | 14               | 7%          | 11            | 79%         |
| Relaciones con compañeros               | 20               | 10%         | 14            | 100%        |
| Cultura local                           | 17               | 9%          | 12            | 86%         |
| Aspecto legal                           | 13               | 7%          | 10            | 71%         |
| Pandemia                                | 13               | 7%          | 11            | 79%         |
| Comunidad                               | 10               | 5%          | 8             | 57%         |
| Horario laboral                         | 45               | 23%         | 14            | 100%        |
| Poca seguridad                          | 5                | 3%          | 5             | 36%         |
| Total                                   | 196              |             | 14            |             |
| <i>Consecuencias</i>                    |                  |             |               |             |
| Comportamiento                          | 8                | 6%          | 5             | 36%         |
| Estrés                                  | 24               | 19%         | 12            | 86%         |
| Presión/ansiedad                        | 14               | 11%         | 9             | 64%         |
| Agotamiento                             | 12               | 9%          | 8             | 57%         |
| Falta de tiempo                         | 24               | 19%         | 14            | 100%        |
| Incompatibilidad                        | 29               | 23%         | 13            | 93%         |
| Enfermedades mentales                   | 16               | 13%         | 12            | 86%         |
| Total                                   | 127              |             | 14            |             |

##### 4.1 Conocimiento WFB

La mayoría de los entrevistados (79%) tenía un conocimiento incompleto o insuficiente sobre el concepto de equilibrio entre el trabajo y la familia. Una gran parte entendía que el equilibrio se traducía como el tiempo que se le dedicaba a cada rol siendo esta una de las bases del WFC. Según uno de los entrevistados:

*Lo primero es respetar los tiempos que se le va a dedicar a cada uno de ellos... En caso por ejemplo del trabajo de la tarde, optimizar el desarrollo laboral dentro de las horas que se tengan contemplado dentro de lo posible, porque aquí quiero poner de manifiesto de inmediato que cuando uno trabaja en el rubro de la construcción los tiempos son relativos y uno puede tener un contrato por una cantidad de horas, pero finalmente esas horas se ven interrumpidas o no estás por motivos laborales las 45 horas semanales. Por lo general uno siempre debe estar más para todo evento, por lo tanto, no hay un horario fijo que cumplir y por lo tanto el equilibrio trabajo-familia va también de poder... dar igual importancia al tiempo que uno le puede dedicar a la familia y también del tiempo que uno le podría dedicar al trabajo...*

Como técnicos o administradores de proyectos de construcción, los profesionales de la construcción deben abordar cuestiones con las partes interesadas internas y externas (por ejemplo: propietarios, contratistas,

diseñadores, supervisores, consultores). Además, los proyectos son dinámicos e inciertos, con tareas difíciles, procesos complejos y problemas imprevistos, como por ejemplo que una simple lluvia imprevista nos lleve a retrasar el hormigonado de obra gruesa. La combinación de todos estos factores hace que los profesionales de la construcción trabajen muchas horas bajo una carga exagerada de presión, lo que deja poco tiempo para realizar las responsabilidades correspondientes al rol familiar, esto está alineado con lo discutido en la literatura [14]. Otro de los entrevistados con más de 20 años de experiencia en el rubro dejaba su opinión al respecto:

*Ahora el punto de los horarios va de la mano con respetar al receptor... ¿y eso por qué? Porque la agenda es compleja... Nosotros tenemos que estar dispuesto, te puede llegar un llamado de un cliente, puede nacer un cliente nuevo, puede haber a lo mejor alguna cosa que nosotros pudiéramos aprovechar para por ejemplo no con clientes, sino que con parte del equipo de trabajo generar redes, etc. es super importante y eso no tiene horario...*

Otra parte veía el WFB como un conjunto de varios factores en el que no se debía dejar de lado el ámbito familiar por responsabilizarse de su rol laboral, como comenta un entrevistado con más de 5 años de experiencia:

*Que entiendo, entiendo que uno puede compatibilizar las cosas. Que no las combina, pero no deja una sin la otra, no hay que mezclar los estados de ánimo ni problemas esa es una y darse el tiempo también para ambas cosas.*

De este último extracto se da a entender que hay una parte de los profesionales de la construcción que piensa en el WFB como un problema complejo más allá del factor tiempo. Como menciona este último, las tensiones producto del estrés del trabajo no deben traspasar al ámbito familiar. Estudios previos de la literatura avalan que cuando se produce fatiga o irritabilidad por el estrés proveniente del campo laboral se limita la capacidad de un individuo para cumplir con los requisitos del campo familiar [15]. Pero no solo el estrés fue uno de los factores mencionados, como explica el entrevistado a continuación:

*La vida familiar es mucho más exigente que la vida laboral porque todo lo que nos motiva a nosotros esta con nuestra familia. Nuestro trabajo es un medio y hay que separarlo y, como tal, las conductas que nosotros podemos tener a nivel laboral son totalmente diferentes a las conductas que nosotros debemos tener desde el punto de vista familiar.*

Las conductas o comportamientos de los individuos es otra base del WFC. En un entorno tan dinámico y estresante, los profesionales de la construcción que experimentan cargas de trabajo pesadas o desafiantes pueden tener emociones negativas. Dentro de un entorno familiar se espera un comportamiento cálido y afectuoso. Estas diferencias crean un probable conflicto entre el trabajo y la familia basado en el comportamiento [16]. Uno de los comportamientos adoptados por parte de los entrevistados más visto que es también parte del problema es el hecho de responder una llamada relacionada al trabajo estando en un entorno familiar porque *es también super normal que te llamen fuera del horario laboral, ya sea para atender las corridas de hormigón o porque se le olvido ver x detalle.*

Sin embargo, a pesar de que se hablaba sobre las tres bases del WFC, sobre la que más se tenía conocimiento era sobre la base del tiempo, dejando en segundo plano a las otras dos. Esta falta de conocimiento se debe principalmente a un factor más cultural que a la poca información:

*El tema de la ansiedad dentro de la obra son síntomas que te llevan a pensar que hay gente con algún trastorno psicológico, por temas de que es difícil mantenerse con el estrés que hay en obra. Por lo tanto, no es que me conste patente con certificado médico en mano mira tal persona esta con licencia psicológica, para nada, pero algo tiene que ver con lo que vamos a hablar después, porque el tema cultural también es super fuerte ahí... Porque, por ejemplo, la construcción si bien ha integrado a todo lo que es el género femenino también es un trabajo muy característico de hombres y para que un hombre reconozca que tiene problemas psicológicos lleva también a la burla de los compañeros o los pares. Y no es solo uno en la oficina, sino que también las personas y los maestros si llega y dices que "no es que estoy con problemas psicológicos" olvídate. La burrada de chistes que le van a hacer por solo reconocer eso... eso también es un supresor grande super grande...*

También, se habló minoritariamente sobre una relación entre la economía familiar y el equilibrio trabajo-familia, siendo este un factor que se asocia a las bases del comportamiento y la tensión del WFC. Si bien hay estudios que hablan sobre la economía como un factor incidente en el WFC también hay estudios que

revelan que este no tiene relación con el mismo [8]. Aun así, uno de los entrevistados mencionó como una forma de equilibrio trabajo-familia que *entiendo que uno no puede dejar de trabajar porque uno trabaja para la familia y, como tal, uno entiende que para tener economía debe trabajar solamente.*

Finalmente, no se habló sobre el factor positivo del WFB. Temas como la facilitación trabajo-familia o el enriquecimiento entre roles no fueron tocados dentro del conocimiento que se tenía sobre el equilibrio. Esto puede deberse a que las políticas amigables con el WFB en la industria de la construcción son raras de ver debido a la poca preocupación de las empresas por sus trabajadores o en palabras de un entrevistado:

*O sea, tuvieron que salir protocolos y leyes en el fondo que obligaran a las empresas a cuidar a la gente po cachai. Tuvo que salir un programa psicosocial para que la empresa se viera en la obligación de hacer una encuesta para saber cómo se encontraba sus trabajadores porque antes eso no existía e, infelizmente, es una copia de lo de España, porque nada sale de aquí de Chile...*

## 4.2 Factor cultural

El tema más tocado durante las entrevistas realizadas fue hablar sobre la cultura del extenso horario laboral dentro de la construcción o como mencionaban los entrevistados lo que se conoce como el que *en construcción tú tienes un horario de entrada, pero no tienes un horario de salida.* Según la literatura consultada, la cultura del rubro dicta que la construcción es uno de los trabajos "más sacrificados" debido al alto nivel de agotamiento producto de las largas jornadas de trabajo en las cuales no se tiene un control justo sobre el horario [12].

La mayoría de los entrevistados mencionaba que era normal el realizar horas extras o que lo llamaran fuera de su horario laboral estando descansando en su hogar siendo esta parte de la dinámica de la industria de la construcción. Estas costumbres son la regla en la industria, siendo parte de su cultura las jornadas laborales irregulares y las extensas horas de trabajo [17]. Uno de los entrevistados habló acerca del perfil del trabajador de la construcción:

*Yo creo incluso que la misma gente que trabaja dentro del rubro se reconoce que es trabajólica y que está dispuesta a trabajar más de lo normal, lo normalizan mucho. Está muy normalizado dentro de la industria que el trabajador o el maestro de la construcción es sacrificado y pasa todas las semanas en la pega y uno incluso hasta se acostumbra y lo usa como excusa.*

Otro aspecto que una gran parte de los entrevistados mencionó fueron los malos hábitos o las políticas poco amigables con el WFB. Si bien la jornada laboral extensa fue la más importante, también algunas de las más mencionadas incluyen: La falta de inflexibilidad, la presión laboral y la poca preocupación por sus trabajadores. La construcción en Chile está caracterizada, principalmente, por estas 3 malas prácticas que van en contra del WFB. Los entrevistados más experimentados lo mencionaban:

- *No, yo creo que se adhieren a lo estrictamente legal y tirando la vara un 10% pa abajo por lo normal*
- *No, la verdad no, no se preocupa. Porque ellos se preocupan de avanzar más no más po. No se preocupan del trabajador si está cansao, si ocurre un accidente, lo ven y es un número más no más po*
- *No, nadie. Y por eso nadie pide permiso porque aquí, porque si no te las descuentan*
- *No, para nada. Rozando lo ilegal como decía la otra vez*

Debido a la normalización de las largas jornadas laborales y las políticas poco amigables con el equilibrio, dentro de la cultura de la construcción las personas que entran a este rubro no se percatan del problema en sí o en palabras de un profesional con más de 20 años de experiencia *jamás cuestioné el trabajo que había que hacer fuera del horario... Y cuando uno terminaba la jornada de trabajo tampoco reclame que a veces nos teníamos que quedar...* Esto resalta la importancia del factor cultural dentro del WFB, siendo de suma importancia para su desarrollo tal como lo decía la literatura existente [8].

Otro de los temas que se tocó durante estas entrevistas fueron las relaciones entre compañeros. La gran mayoría de los entrevistados decía tener una buena relación entre compañeros y un buen ambiente laboral. Si bien, admitían que los roses existían de vez en cuando por temas laborales el buen ambiente siempre permanecía para hacer más ameno su trabajo. Según la literatura existente esto ayuda en parte a solventar

el estrés producto del trabajo y, en menor medida, ayuda a disminuir el impacto negativo del WFB. Uno de los entrevistados explicaba:

*Están todos bajo el mismo nivel de estrés, dentro de tu misma oficina o dentro de la oficina de tus pares, por lo tanto, es inevitable el generar cruces o discusiones, pero siempre teniendo las aguas separadas una cosa es el proyecto y otra cosa es que eso genere una mala relación y que de ahí surja una relación tensa. Al final una relación tensa siempre hace que el trabajo no sea ameno y con el paso del tiempo me di cuenta que las relaciones amenas hacían que fluyeran más el rendimiento en el trabajo.*

La literatura confirma lo estipulado anteriormente debido a que las buenas relaciones en el trabajo y el buen ambiente laboral ayudan a mejorar el rendimiento de los trabajadores. Incluso si las empresas tienen una cultura más individualista, el buen ambiente laboral siempre mejora el rendimiento de sus trabajadores siendo un factor importante a mencionar en este estudio [8]. Además, cuando se les preguntó, casi todos los entrevistados afirmaron que le generaba estrés el no poder compartir con su familia el tiempo suficiente:

- *Se empieza a generar el estrés por no estar con la familia entonces, obviamente, cuando te estas generando estrés por la pega repercute.*
- *Sí, porque igual te consume esto. Estar hasta las 7... quedar sin energía cachai. De repente a uno no le da el tiempo en verdad o no le queda energía tampoco.*
- *Sí po, me encantaría poder pasar más tiempo compartiendo con mis hijas, pero debido a la pega muchas veces no he podido compartir el tiempo suficiente o no he podido estar el tiempo suficiente con mi señora entonces eso te termina generando algo de estrés.*
- *Sí, me genera igual estrés... yo viajo mañana llego a las 3 de la tarde a mi casa ya pasada la hora de almuerzo, por cierto, no tengo domingo porque tengo que hacer el aseo y es super poco el tiempo que tengo para compartir con mi familia...*
- *Sí po, te crea un estrés porque no estas con ellos, y aquí en el rubro que estas con tantas personas, y no estas con tu familia de forma directa.*

Otros aspectos mencionados como el conocimiento sobre la salud mental por parte de los trabajadores y las buenas políticas estaban encapsulados en *culturas localizadas*. Las culturas localizadas son ciertas culturas ya sean de zona, región o empresariales que apostaban por políticas amigables al WFB [17]. Si bien muchos entrevistados mencionaron que existían estas culturas en empresas de las que habían oído hablar, otros fueron partícipes de estas culturas. Se le preguntó a uno de los entrevistados si la empresa para la cual trabajaba se preocupaba por sus trabajadores y esta fue su respuesta:

*Sí, en esta empresa sí definitivamente. Porque hasta en el tema de los permisos, porque para que cachi yo trabajo en Papudo y hay gente que es de villa alemana, Valparaíso, entonces si pasa algo no es tan fácil llegar a la casa, de hecho, los trabajadores que son de afuera y no tienen auto, los viernes se van a las 4 de la tarde... Se hacen eventos para el día del trabajador, de hecho, le vamos a hacer una convivencia el jueves. Se hacen como hartas actividades para los trabajadores igual... Pucha murió hace poco un trabajador en la obra de Coquimbo por causas naturales y se hizo una colecta todos aportaron, entonces como que la empresa se preocupa por todos independiente del nivel o el cargo que tengan en la empresa.*

La existencia de estas culturas localizadas en pequeños sectores, empresas o regiones ayudan al crecimiento de la consciencia sobre el WFB. Esto no solo genera competencia entre empresas para atraer a mejores trabajadores como deja en claro la literatura [8], sino que a su vez genera satisfacción laboral y de vida para los profesionales de la construcción y, finalmente, ocasiona un aumento en el rendimiento del proyecto [12]. En palabras de un entrevistado:

*Cuando uno se decide por un trabajo también suele pensar en las características en lo que te están ofreciendo de la preocupación de la empresa por el trabajador por ejemplo que tanto te dan permiso para por ejemplo poder hacer tramites poder ausentarte si tienes una actividad de tus hijos en el colegio si tienes la facilidad para que te den permiso para eso que tantos beneficios tienes en la caja de compensación, no se po la flexibilidad de poder conversar turnos o poder conversar las horas extras, que tanto te pagan las horas extras...*

### 4.3 Consecuencias de un pobre WFB

Una de las consecuencias más notorias y comentadas por los entrevistados fue la sensación de incompatibilidad entre los roles familiar y laboral. Esta incompatibilidad se ve reflejada en la falta de tiempo

producida por las extensas jornadas de trabajo en el rubro, como comenta uno de los entrevistados: *la construcción es una pega super mala para tener familia, porque uno ve super poco a la familia y a uno como jefatura a uno le demandan mucho tiempo...* Siendo una de las consecuencias más vistas, los entrevistados dan a entender que la familia y la construcción no son compatibles y que, por tanto, ellos deben constantemente tratar de encontrar una forma de compatibilizarlas dada la poca preocupación de las empresas.

El cambio de perspectiva de esta compatibilidad es urgente debido a que, según la literatura, muchas de las profesionales de la construcción tienen la tendencia a cambiar de rubro por este tema, produciendo una disminución de fuerza laboral femenina en la industria. [12]. Y no solo las mujeres, la fuerza laboral masculina también está comenzando a preocuparse por este estado de incompatibilidad que se genera hoy en día en la construcción. Uno de los entrevistados da a entender sus preocupaciones producto de la sensación de incompatibilidad:

*Yo pienso no sé, la mujer y el hombre tienen que salir de la casa, no sé, a las 7 de la mañana y yo entro a las 8. ¿Dónde dejo a mi hijo una hora si el colegio abre a las 7:30? Entonces esas son mis preocupaciones como papá, porque yo sé que hoy en día no es un problema, porque no me afecta, pero de aquí a 2 años más no tengo idea de que cresta voy a hacer si no tengo más plata po...*

Esta sensación de incompatibilidad se ve reflejada en el estrés que produce. Claramente, las preocupaciones por la sensación de falta de WFB causa en los entrevistados estreses que se traduce a su vez, según la literatura existente, en una disminución del rendimiento del proyecto de construcción [12]. Este estrés se ve claramente reflejado en las palabras dadas por una de las entrevistadas:

*Más de la mitad de las personas que estaban conmigo presentaban problemas de sueño, ansiedad o depresión que era como lo más común del mundo para ellos. En mi trabajo actual más del 80% de las personas tienen algún problema psicológico o están mal de la cabeza debido al estrés que les produce trabajar en la construcción...*

Se les preguntó a las personas entrevistadas que tan normal era para ellos el ver a personas que sospechaban tenía algún problema psicológico. El resultado de esta pregunta fue que más de la mitad de ellos habrían visto problemas psicológicos en compañeros, siendo principalmente vistos la ansiedad, el agotamiento, los problemas de sueño y, finalmente, depresión. Otra parte de los entrevistados no quiso ahondar demasiado en el tema dado que, debido a la pandemia del Covid-19, estos casos habían ido en aumento. Una de las profesionales con más de 8 años de experiencia dejó en claro este último punto:

*O sea, igual tengo compañeras que tienen algo, pero yo por ejemplo tengo ansiedad y estoy con tratamiento por lo mismo, pero yo creo que antes se ocultaba más. Ahora como que es más importante el tema de la salud mental, pero de que casi todos tienen alguna patología. Ahora si es como super normal porque antes como que daba vergüenza el tema de la salud mental. Este año me dio una crisis de ansiedad y estuve con psiquiatra, psicólogo y medicamentos y, después de mí, vinieron como 3 compañeros de pega más de otra empresa que igual cayeron en eso. Entonces ahí como que se normalizo un poco el tema de que era super normal andar estresado, ansioso, que nos pasara algo cachai, lo malo es que hay que llegar al extremo...*

Aquí radica una de las importancias de incluir políticas amigables con el WFB. Estudios realizados en distintos países europeos afirman que las políticas amigables con el WFB ayudan al control de estas enfermedades mentales, disminuyendo su tasa en las empresas con culturas amigables con la familia [8].

#### **4.4 Nueva visión del profesional de la construcción**

Es claro que es urgente un cambio en el rubro de la construcción no solo a nivel empresarial, sino que también a nivel de profesional. Actualmente, el conocimiento de los profesionales de la construcción sobre el equilibrio entre el trabajo y la familia es insuficiente y perjudica en gran medida a las generaciones más actuales que traen consigo una cultura enfocada a cumplir con los roles familiar y laboral a la vez. Como menciona una de las profesionales con 3 años de experiencia:

*A la empresa solo le importa generar avances, ojalá que el trabajador llegue lo más temprano y se vaya lo más tarde posible para aumentar el avance... Por eso la gente no alcanza a compartir con su familia el sábado y el domingo, no alcanzas a descansar lo suficiente o compartir con la gente el tiempo suficiente, porque trabajas demasiado.*

Teóricamente, los beneficios de las políticas amigables con el WFB traen consigo: aumento de rendimientos tanto grupal como individual, mayor satisfacción de vida y laboral, compromiso con la empresa y menor porcentaje de ausencia [8]. Los beneficios mencionados anteriormente son, en contraste, problemas comunes en la industria de la construcción en donde se tienen rendimientos pobres, poco compromiso y gran porcentaje de ausencia [16]. Estas entrevistas dan a conocer el pobre equilibrio que tenemos actualmente y la clara poca satisfacción que se tiene respecto a esto, dado que los profesionales analizados no tenían el tiempo ni la energía suficiente para compartir con sus familias o en palabras de uno de los entrevistados:

*En Chile deberían revisar más lo que es tiempo para la familia. Para uno lo que más haces es trabajar, porque los horarios laborales son muy extensos y no permiten tener vida en verdad, porque la vida termina enfocándose en lo que es trabajo... Entonces sales a las 6 o 7 de la tarde y llegas a las 8 o 9 a la casa por el taco o la distancia que tienes al trabajo y no tienes vida. Llegas a cocinarte, te duchas y listo a acostarse y era.*

La visión que tiene el profesional de la construcción sobre el rubro actualmente es demasiado negativa y, en teoría, está disminuyendo el rendimiento de los proyectos. En este estudio se puede ver la realidad de los trabajadores y la necesidad de los profesionales del rubro de aprender sobre el WFB para así, a su vez, disminuir el impacto negativo generado por el mismo y lograr beneficios tanto para él, como para la empresa. Al mismo tiempo, ayudará a ampliar el repertorio del uso de recursos humanos obteniendo beneficios, mejorando el ambiente en el lugar de trabajo y ayudando a regular su propio equilibrio entre el trabajo y la familia.

A nivel práctico, el profesional en terreno puede hacer uso de este recurso para mejorar sus habilidades blandas tales como liderazgo, mejoras de comunicación y trabajo en equipo, debido a que, tal como dice un profesional con más de 3 años de experiencia, esto ayudará a en gran medida a generar confianza y un ambiente agradable en el lugar de trabajo:

*Yo por lo menos en la empresa que estuve la misma era bien preocupada por los trabajadores, le hacía un seguimiento constante, temas permisos no había problema, había varios bonos de incentivo por meta no solo por parte de la empresa, sino que el mismo equipo de trabajo el administrador o el jefe de terreno se juntaba con las cuadrillas y negociaba tratos con incentivos para poder obviamente ir terminando faenas también... y lo cual también va generando confianza, existía un respaldo, por ejemplo, de las cosas que se hacía el jefe de terreno le ponía el pecho a las balas, por ejemplo, cuando llegaban retos de parte alguna autoridad o de la inspección técnica de que no había algo terminado o de parte del jefe de proyecto o por lo menos yo siempre vi un respaldo del jefe de terreno. Por lo tanto, yo siempre vi, por ejemplo, que los trabajadores se sintieran respaldados por la jefatura directa. Si bien eso no es como un cuidado tácito, pero ayuda a que el trabajador se sienta en confianza y se sienta comprometido con el equipo principalmente.*

## 5. CONCLUSIONES

Este estudio identificó el limitado WFB y la visión negativa que se tiene actualmente en la industria de la construcción chilena. Las largas horas trabajadas y la alta demanda laboral que se tiene sobre los profesionales de la construcción generan sobrecarga, sensación de falta de tiempo y estrés, este último acumulándose a niveles altos produciendo enfermedades psicológicas en aquellas personas que no disponen de suficientes habilidades de afrontamiento hacia los problemas. El conocimiento insuficiente acerca del WFB está minimizando el impacto de este problema como se puede ver en los resultados.

Menos del 21% de los entrevistados tenían conocimiento sobre al menos dos de las tres bases del conflicto trabajo y familia, esto genera repercusión en el ámbito familiar de los profesionales. Todos los entrevistados entendían que debían dedicarle tiempo a su familia, pero una gran parte no comprendía que las tensiones y los comportamientos que adoptamos en el lugar de trabajo no deben traspasar, dentro de lo posible, al rol familiar. Estas tensiones y comportamientos van desde contestar una llamada laboral hasta quedar agotado emocional y físicamente después del trabajo.

Otro aspecto importante visualizado en este estudio fue el factor cultural. El poco conocimiento sobre el WFB genera también que, tanto empresas como trabajadores, no sean conscientes del problema. Una gran

parte de los entrevistados nunca cuestionó el hecho de hacer horas extras o de extender el horario laboral dado que es parte de la cultura del rubro. Esto generó un WFC en las 3 bases: tiempo (producto de los extensos horarios no se deja espacio para el rol familiar), tensión (generada del estrés que tuvo el no poder compartir con su familia el tiempo suficiente) y comportamiento (la agenda compleja produce que el profesional de la construcción tenga comportamientos laborales en el hogar tales como responder una llamada del trabajo). La falta de una cultura amigable con el WFB provoca un conflicto entre ambos roles disminuyendo la motivación de aquellas generaciones más actuales que están acostumbradas a cumplir tanto con el rol familiar como laboral.

Se identificaron también las consecuencias de un limitado WFB. A los entrevistados les era normal el tener una sensación de falta de tiempo, sufrir de estrés, ansiedad o depresión y sentir que el rubro no era compatible con el rol familiar. Una de las consecuencias más graves fueron las enfermedades psicológicas producidas del estrés y la poca satisfacción laboral o de vida. El 86% de los entrevistados veía en su lugar de trabajo personas con enfermedades mentales o con sospechas de tener alguna enfermedad siendo la más común de ver la ansiedad.

Un cambio es necesario en la industria de la construcción chilena y este estudio ayudará a crear consciencia sobre el equilibrio no solo por el factor humano que genera el mismo, sino también para poder visualizar beneficios que este trae consigo tales como aumento en el rendimiento grupal e individual, menor porcentaje de ausencia, mayor compromiso con la empresa y trabajo y mayor satisfacción de vida y laboral. Además, ayudará a los profesionales de la construcción a mejorar su desarrollo en las habilidades blandas tales como el liderazgo, la comunicación y el trabajo en equipo.

Los resultados de este estudio sirven como un diagnóstico inicial del del problema. Sin embargo, es necesario realizar futuras investigaciones más exhaustivas respecto al tema tomando en consideración una muestra más representativa de los profesionales de la construcción chilena, siendo esta más equilibrada en cuanto a género para tener una visión más correcta sobre la opinión femenina que se tiene del rubro. Como se ha dejado en claro, el equilibrio entre el trabajo y la familia es un problema complejo y como tal debería ser estudiado a fondo en la industria de la construcción dado los beneficios que este podría traer al rubro en post de una mejor gestión del recurso humano en la construcción.

### **Agradecimientos**

Este estudio fue financiado por la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID) del Gobierno de Chile a través del Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (Fondecyt – INI) proyecto No. 11190501.

### **REFERENCIAS**

- [1] Greenhaus J. y Beutell N. (1985). Sources of conflict between work and family roles. *Academy of Management Review*, 10(1), 76–88.
- [2] Serna E. y Serna A. (2013). Is it in crisis engineering in the world? A literature review. *Revista Facultad de Ingeniería* 66, 199-208.
- [3] Frone M. (2003). Work-Family Balance. En Quick J. y Tetrick L. (eds.), *Handbook of occupational health psychology* (pp. 143-162). American Psychological Association.
- [4] Selvakumar S. y Rajaram K. (2015). Achieving excellence in engineering education through improved teaching-learning process. En *International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering*. Zhuhai, China.
- [5] Sangweni N. y Root D. (2015). Women in Construction: Hindrances that shorten the professional working life of female site engineers on construction sites in South Africa. Tesis de maestría. University of the Witwatersrand.
- [6] Tijani B. et al. (2020). A review of work-life balance in the construction industry. *International Journal of Construction Management* 1-16.
- [7] SERAM. (2003). Análisis de los costos y beneficios de implementar medidas de conciliación de vida laboral y familiar en la empresa. Servicio Nacional de la Mujer.
- [8] SERAM. (2017). Caracterización de Acciones de Buenas Prácticas Laborales con Equidad de Género (BPLEG), desarrolladas en organizaciones públicas y privadas del país. Servicio Nacional de la Mujer.
- [9] Netemeyer R. et al. (1996). Development and validation of work-family conflict and family-work conflict scales. *J Appl Psychol.* 81(4), 400–410.

- [10] Kossek E. y Lee K. (2017). Work-family conflict and work-life conflict. *Oxford Research Encyclopedia of Business and Management* 1, 1-23.
- [11] Carlson D. et al. (2000). Construction and initial validation of a multidimensional measure of work-family conflict. *J Vocational Behav.* 56(2), 249-276.
- [12] Frone M. et al. (1992). Antecedents and outcomes of work-family conflict: testing a model of the work-family interface. *J Appl Psychol.* 77(1), 65-78.
- [13] Jiménez A. y Moyano E. (2008). Factores laborales de equilibrio entre trabajo y familia. Medios para mejorar la calidad de vida. *Universum* 1, 116-133.
- [14] Wu G. et al. (2018). Job burnout, work-family conflict and project performance for construction professionals: The moderating role of organizational support. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15(12), 2869.
- [15] Navarro E. (2011). Work-family balance issues among construction professionals in Spain. *Associations of researchers in construction management.*
- [16] Turner M. y Mariani A. (2016). Managing the work-family interface: Experience of construction project managers. *Int. J. Manag. Proj. Bus.* 9, 243-258.
- [17] Frone M. et al. (1992). Antecedents and outcomes of work-family conflict: Testing a model of the work-family interface. *J. Appl. Psychol.* 77, 65-78.
- [18] Cao J. et al. (2020). Work-family conflict and job outcomes for construction professionals: The mediating role of affective organizational commitment. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 17, 1443.
- [19] Dainty A. et al. (2001). Male and female perspectives on equality measures for the UK construction sector. *Women in Management Review* 16(6), 297-304.



# Análisis al desarrollo laboral en las empresas de salud suramericanas

Juan Santiago Calle Piedrahita<sup>1</sup>

Gloria María Isaza Zapata<sup>2</sup>

Byron Enrique Portilla Rosero<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Universidad Católica Luis Amigó*

<sup>2</sup> *Universidad Pontificia Bolivariana*

<sup>3</sup> *Empresas Team Conectados S.A.S*

Colombia

En su afán por contratar personal capacitado las empresas centran sus esfuerzos en estudiar el clima y la cultura organizacionales, sin embargo, es necesario que indaguen otros aspectos que impulsan al ser humano a permanecer en la empresa desde el enfoque de tiempos de entrenamiento, equilibrio trabajo-vida, años en la empresa, años en el cargo y años desde la última promoción. En este trabajo se busca responder a la pregunta: ¿cómo es el desarrollo laboral en las empresas suramericanas en relación con el tiempo laborado en la organización? Se realizó una encuesta virtual enviada a 3546 empleados a nivel suramericano de las bases de datos internacionales del sector de las ciencias de la salud, de los cuales respondieron 711 entre 2020 y 2021. Los actores participantes fueron: ejecutivos de ventas 22,18%, investigador científico 19,86%, técnico de laboratorio 17,62%, director de fabricación 9,86%, representante de atención médica 8,91%, gerente de salud 6,94%, representante de ventas 5,65%, director de investigación 5,44% y de personal de recursos humanos 3,54%. Se confirma la hipótesis H0: En el desarrollo laboral influye en un 70% los años laborados, es decir, el desarrollo laboral depende en parte de la situación de vinculación a la empresa.

---

<sup>1</sup> Administrador de Negocios, Especialista en Mercadeo, Magíster en Administración y Doctor en Ingeniería.

Contacto: [juan.callepi@amigo.edu.co](mailto:juan.callepi@amigo.edu.co)

<sup>2</sup> Magíster en Educación y desarrollo humano.

Contacto: [gloria.isaza@upb.edu.co](mailto:gloria.isaza@upb.edu.co)

<sup>3</sup> Ingeniero de Sistemas y Magíster en Ingeniería de sistemas.

Contacto: [byronpor@teamconectados.com](mailto:byronpor@teamconectados.com)

## 1. INTRODUCCIÓN

Las investigaciones relacionadas con desarrollo laboral se centran en la toma de decisiones tecnológicas [1], con un enfoque de trabajo en equipo [2] para lograr el compromiso de los empleados desde la motivación [3]; sin embargo, el liderazgo promueve el desarrollo laboral [4]; pero esta mejora al tener una relación adecuada con los proveedores al compartir información social [5]. Además, un mayor acceso a la financiación tiende a mejorar el desarrollo laboral de las Pymes [6]. Desde otro punto de vista, los directivos deben ser capacitados, pero ellos deben, a su vez, capacitar a los empleados operativos para mejorar el desarrollo laboral [6]. Al mismo tiempo los sistemas de gestión aportan a detectar nuevas necesidades a solicitar a proveedores de talento humano [7], lo cual impulsa el bienestar interno de los empleados al ser considerados parte de la cultura organizacional.

Desde el mismo enfoque, las organizaciones al dejar ir sus empleados para formar sus propias empresas ayudan a mejorar la calidad de vida al configurar sus experiencias en una caja de herramientas para la empresas al demostrar las oportunidades y las debilidades enfrentadas [8]. En otras palabras, la experiencia de quien abandona la empresa para crea su propio negocio, deja el legado a sus compañeros de trabajo al dejarlos para que enfrenten la labor que antes realizaba; es decir, al transmitir el conocimiento antes de irse apalanca el desarrollo laboral de los demás empleados. La experiencia para trasmitir a los demás empleados jalona la actividad de una cultura organizacional positiva que conlleva al desarrollo laboral.

Desde otro punto de vista, el desarrollo laboral se incrementa al incorporar tecnología disruptivas puesto tienen mayor impacto hacia el uso de esta para innovar [9]. A su vez, el uso de la tecnología apalanca el bienestar de los empleados desde los buscadores de empleo al ahorrar tiempo y recursos al tener retroalimentación de sus actuar diario [10]. Además, al aprovechar mejor los datos mejorar la eficacia de los servicios [11], al tener un conocimiento de su aplicación ante el cliente interno y externo.

A su vez, las tecnologías digitales orientan al profesional hacia unas personas con neurodiversidad [12], porque le enseñan a tener la capacidad de adoptarse a nuevos entornos con personal competitivo. A la vez que le permiten socializarse con otras personas para identificar las fortalezas de ellos y de alguna manera aprovechar esas habilidades y conocimientos para impulsar la organización para cumplir sus objetivos institucionales; porque saber en qué es bueno un empleado permite mejorar habilidades que generen sinergia diversificada, pero se debe tener en cuenta la forma de realizar la retroalimentación de los sucesos positivos como los negativos.

Los sucesos positivos aportan a la mejora continua y los sucesos negativos conlleva a establecer un plan de mejora. Sin embargo, se debe resaltar que la retroalimentación es diádica en el sentido de que tanto el empleado como el supervisor son agentes activos en un intercambio de retroalimentación [13]. Los empleados aprenden entre ellos para impulsar la organización hacia la generación de valor; por ende, los empleados ayudan a la gerencia cuando aportan soluciones desde lo operativo, y los directivos aportan desde los enfoques estratégicos de solucionar la falla, pero esto se logra al tener una visión en conjunto.

Desde otro punto de vista, el desarrollo laboral se incrementa al tener una participación en la preparación y en el seguimiento de las labores asignadas; pero al mismo tiempo debe llevar a cabo la interacción con el empleador con autenticidad, resiliencia y una fuerte orientación interpersonal [14], es decir, ejercen el poder y la autoridad sin mezclar el ser humano con los deberes en la organización. También, la capacitación presencial con los compañeros brinda una oportunidad para que los empleados mejoraren las habilidades laborales [15]; en otras palabras al tener un enfoque puntual del desarrollo de competencias y que estas aporten al desarrollo de otras competencias de los compañeros de trabajo ayudan al crecimiento humano de trabajo en equipo, lo cual aportan al desarrollo laboral con una misma misión.

Logrando unir las habilidades individuales de cada persona para que cooperan en forma constructiva para aumentar el sentido de lealtad, seguridad y autoestima de los diversos integrantes de la organización. Además, aportan a generar un ambiente positivo, debate de ideas para generar soluciones a problemas cotidianos, aumentar el flujo de información con hechos relevantes, aumenta la empatía para cooperar en actividades conjuntas en pro de la organización y respetar las opiniones de los demás empleados.

## 2. MARCO CONCEPTUAL

El desarrollo laboral apalanca la estructura al tener medios que aporten al desarrollo de los estilos de gestión [16]; por lo que comprender al ser humano en la organización depende de la forma de gerencia la organización. Por ende, la sociedad mide externamente el desarrollo basado en la productividad y no en la gestión del talento humano. Así mismo, la investigación detectó que hay tres factores que apalanca el talento humano: planificación de la sucesión, gestión del desempeño y procesos de desarrollo basados en las relaciones con las comunidades [17].

### 2.1 Bienestar con innovación

Las organizaciones se preocupan por el bienestar de los empleados; lo cual generan indicadores para definir las respectivas intervenciones a mejorar la productividad de los trabajadores. Los departamentos de talento humano indagan las condiciones del perfil para definir el cargo a desempeñar, pero no identifican las condiciones de ambiente en el cual se debe desempeñar sino después de su contratación. Por ende, se capacita al personal para el uso del lenguaje comercial, tono correcto, desarrollo de un discurso de ascenso, estrategias de escucha activa, comprender las características frente a los beneficios, investigar [18].

Al mismo tiempo, se enseña en las organizaciones a tener la capacidad de innovación ambidiestra y las capacidades de orientación al mercado pueden mejorar significativamente el desempeño de la empresa [19] con personal que comprende el sentido de laborar para la empresa. Desde otro punto de vista, las organizaciones centran su desarrollo laboral desde una óptica interna y no al analizar que requiere el mercado laboral externo para ser más competitivos. Hasta lograr comprender el entorno desde las necesidades externas y complementarlas con las condiciones internas de la organización [20].

Al capacitar a los empleados se debe interactuar con las características de la organización, características de la intervención y características del líder [21]. Asimismo, involucrar a quien los empleados consideran líderes dentro de la organización. Igualmente, se construye un mapa de liderazgo que consta de cuatro pasos; entrevista, talleres de liderazgo, mapear y vincular las características de los empleados y elaborar herramientas que promuevan un medio de analizar indicadores [22]. Pero al indagar sobre las características de los líderes se identifican patrones de desarrollo en sus carreras y construir un plan de desarrollo en el trabajo sólido, basado en la experiencia, destinado a lograr objetivos profesionales [23].

Usando las competencias identificadas, se genera una lista de experiencias que podrían impulsar el desarrollo de la persona [24] hacia un cambio de comprender al otro como ser humano para impulsar el desarrollo laboral conjunto. Además, las experiencias fuera del trabajo son excelentes oportunidades para aprender habilidades prácticas de gestión y liderazgo. Una vez que las personas son más conscientes de las oportunidades de desarrollo integradas en sus roles y actividades no laborales, pueden comenzar a usar esas oportunidades de manera más intencional en sus planes formales de desarrollo [25]. Por ende, la hipótesis H0: el desarrollo laboral influye en un 70% de los años laborados al establecer una  $p < 0,05$ .

Los estudios de los análisis multivariados revelaron una asociación significativa entre la generatividad de los participantes y la participación anterior en grupos de autoayuda [26]; es decir, configuraron el aporte de aprender a trabajar en conjunto si ambos empleados (nuevo y antiguo) se comunican para aprender de cada uno lo mejor. Sin embargo, del estudio de entrevistas surgieron cuatro atributos personales que aportan al desarrollo laboral: 1) optimismo basado en principios, 2) competencia cultural, 3) profesionalismo orientado a los negocios, y 4) experiencia en redes [27].

Las personas que piensan positivamente inyectan energía positiva para el buen desarrollo laboral; pero al tener un ser que emite energía negativa afecta el clima organizacional y generar destrucción de valor del desarrollo laboral. Desde otro aspecto, la competencia cultural aporta a comprender, interactuar y colaborar con los demás en una organización ayuda a intensificar la realidad del desarrollo organizacional; donde los empleados deben conocer la cultura de la empresa y adaptarse a ella y no imponer una externa violando la filosofía de la actual empresa. En otras palabras, el clima organizacional y la cultura conlleva a vivir con sentido de pertenencia y la empresa se asimila con carisma y pensamiento positivos.

El enfoque de profesionalismo orientado a los negocios aporta a tener una visión holística de la organización; lo cual aporta a ver la organización como negocio, pero con seres humanos que aportan al desarrollo de esta. También, al entender el funcionamiento de la organización apalanca las fortalezas e intervienen las debilidades para el continuo desarrollo laboral. Por lo que trabajar en equipo impulsa el ser humano hacia un ser de conocimiento compartido. Desde las experiencias en redes, aportan al desarrollo laboral al aprender de los demás y esta es compartida para solucionar problemas en conjunto.

Los empleados en la organización generan desarrollo laboral al identificar las debilidades y fortalezas y entre ellos aportan a superar las dificultades, porque la incapacidad del ser humano se logra superar al haber acompañamiento de los demás compañeros de trabajo [28]. Por ende, la asociatividad humana interna en las organizaciones aporta al mejoramiento del clima organizacional, porque los empleados son quienes generan el ambiente de trabajo; por ende, el desarrollo laboral está sujeto a integrar a los empleados hacia una misma dirección organizacional. El desarrollo laboral se enfoca en comprender las emociones de los empleados para ajustar el nuevo perfil desde la profundización del nuevo saber. Hasta aprender a aceptar que el empleado adquirió nuevo conocimiento, que deben ser socializados para generar nuevo desarrollo laboral. Al compartir saberes desarrolla redes de conocimiento.

Las directivas son los guadores y la ejemplarización hacia los empleados operativos para que aprendan a convivir en las dificultades. Sin embargo, los factores de liderazgos, retención de los líderes y el incremento de retención del personal aporta a mejorar el desarrollo laboral en las organizaciones [29]. En consecuencia, los líderes de las organizaciones promueven la motivación a convivir en armonía para generar desarrollo organizacional. A su vez, la retención de los líderes se apoya en la gestión de un clima organizacional apto para aprender a enseñar a vivir en comunidad interna de forma amigable y respetando a los demás empleados. Por otro lado, se deben establecer políticas de retención del personal al indagar las causas del malestar dentro de ella y poder intervenir a tiempo. En consecuencia, la gestión del ambiente de trabajo, con la ayuda de líderes y con personal capacitado aportan al desarrollo laboral en conjunto.

## 2.2 Desarrollo laboral

El desarrollo laboral es entendido como los *saberes, habilidades y destrezas adquiridas por el egresado o trabajador en el desarrollo de su vida profesional* [30]. Además, se tiene las características de comprender la *historia laboral que es común a una porción de la fuerza de trabajo* [31] y se tiene un punto de convergencia para el campo de saberes que desarrolla en la organización. La carrera profesional impulsa al desarrollo laboral cuando se enfrenta a un nuevo esquema de pasar de la universidad a la organización. Además, se entiende como la combinación de hábitos personales tales como: compromiso, esfuerzo y responsabilidad con la evolución profesional en su puesto; a su vez son parte de las relaciones laborales y desarrollar las competencias.

Las ventajas del desarrollo laboral son: habilidades de liderazgo [32], participación en el área de trabajo [33], configuración integral con los demás empleados [34] y aporta a enfrentar los miedos de estar con otras personas [35]. El desarrollo laboral promueve el ser dentro de la organización. Un ser que se enfrenta a los demás miedos y a la organización con un futuro incierto y en ocasiones certificado. El hombre en las organizaciones promueve su ser desde la integración del saber, saber-hacer y saber-ser. Así mismo, el desarrollo laboral se configura a partir de un mayor compromiso en el trabajo, promueve la integración de las competencias laborales y profesionales; buscando constantemente la superación hacia un ser mejor dentro de la organización.

Al mismo tiempo, aporta a crear valores que promueven la responsabilidad y el compromiso con la organización. A su vez, configura a la oportunidad de desarrollo conocimiento tecnológicos para asimilar la información y tomar mejores decisiones. Pero, lo más importante en el proceso del desarrollo laboral es la capacitación del personal. Esta capacitación no solo se centra en temas internos de la organización, sino temas relacionados con el ser (actitudes, inteligencia emocional, liderazgo, intervención social y amistad). También, la capacitación se centra en el ser y en mejorar el saber desde su misma profesión y cargo en el cual se siente a gusto.

El desarrollo laboral se mejora al comprender el enfoque que tienen los empleados hacia el futuro personal y de la organización. El profesional se basa en la capacidad de asimilar una carrera educativa que le promueva felicidad. Sin embargo, a la par se desarrolla el futuro de la organización, es decir, una empresa que se conserve en el largo plazo al desarrollar adecuadamente su objeto social. Por ende, se genera incertidumbre cuando se ingresa a una organización con pensamiento corto plazo. Un plazo que depende de la marca, el prestigio, la reputación y el buen nombre en el medio. El futuro se somete a las actividades que se hacen hoy, pero sus consecuencias se verán en el futuro.

El desarrollo laboral se promueve el conocimiento [36], las habilidades [37] y las cualidades del ser [38]. Así mismo, el liderazgo por ser mejor se basa en un liderazgo [39], liderazgo ambidiestro [40] y ser como un ser. El hombre se desarrolla profesionalmente al comprender su rol en la organización y la integración de los demás; es decir definir su espacio vital [41]. El desarrollo laboral promueve el bienestar laboral en diferentes etapas del ascenso profesional en la organización. El profesional parte de una demanda de la práctica, se crece a nivel personal, cuando tiene un fuerte componente de aprendizaje cooperativo [42].

El desarrollo laboral se enfoca en organizar el clima y la cultura organizacional para impregnar al profesional un ambiente amigable y de progreso profesional. Además, las capacitaciones aportan al mismo objetivo y ayudan a lograr las metas profesionales y organizacionales; el empleado adquiere conocimiento para mejorar y en lo enfoque organizacional repone el conocimiento adquirido para crear un ambiente amigable y mutuamente social. También, aporta un grado de acciones para enfrentar las dificultades y autoevaluarse para ser mejor. Por ende, aprueba una conducta que configure el aprender desde la misma experiencia.

### 2.3 Cultura organizacional

El desarrollo organizacional compromete la cultura organizacional que afecta al profesional. Además, afecta las normas y valores que promueven un ambiente seguro y cálido para ejercer el cargo contratado en la empresa, como conjunto de percepciones, sentimientos, actitudes, hábitos, creencias, valores, tradiciones y formas de interacción dentro y entre los grupos existentes en todas las organizaciones [43]. La cultura organizacional se estudia para facilitar la generación de compromiso con algo más grande que el interés individual. Además, aporta a entender la forma de convivir con los demás en la misma organización. Por ende, la cultura organizacional promueve del desarrollo del individuo si este hace parte de asimilar los valores y las actitudes [44] que favorezcan el clima organizacional.

Los profesionales de la salud identifican en trabajar bajo una cultura amigable por estar en una comunidad de saberes similares que se apoyan para ejercer la profesión. La cultura desde la ética del profesional configura un entorno que le permita desarrollarse como persona, donde la palabra *cultura* es un término amplio que proviene del vocablo latino *cultus*, a su vez derivado de *colere*, y *cuidar del campo y del ganado*, lo que hoy en día se conoce como *cultivar*. Por ende, las organizaciones estudian la cultura organizacional para identificar la aplicación de las normas de convivencia de forma coherente y secuencial.

La cultura se desarrolla al haber un compromiso de los empleados para indagar la credibilidad del sentido de pertenencia que tienen los empleados. Además, se estudian los símbolos que expresan un compromiso de mejorar la calidad de vida y, al tener una cultura organizacional sólida, motiva a todos a hacer su mejor trabajo [45, 46]. La motivación hace parte de la gestión del talento humano en lograr cumplir las normas e identificar los valores y la ética [47] que requiere la organización con personal que las cumpla. El desarrollo laboral se involucra con la cultura organizacional que se identifica con el profesional que se siente parte de la organización a largo plazo.

## 3. MÉTODO

Esta investigación se llevó a cabo utilizando una metodología cuantitativa con cuestionario semiestructurado compuesto por 15 preguntas para indagar las condiciones de desarrollo laboral en el sector salud a nivel suramericano. La encuesta fue enviada a los correos electrónicos registrados en las diversas bases nacionales de los ministerios de salud de cada país. En la Tabla 1 se definen los cargos que dieron repuesta a la encuesta.

Dando como resultado que el 2,17% son directores de investigación en salud y el 19,83% son representantes de ventas en el sector salud. En la Tabla 2 se exponen el estado civil de quienes contestaron la encuesta, donde se observa que el 45,78% de los encuestados son casados y el 31,97% son solteros.

**Tabla 1.** Cargos del personal encuestado

| Cargo                            | Cantidad |
|----------------------------------|----------|
| Ejecutivo de ventas              | 131      |
| Investigador científico          | 52       |
| Técnico de laboratorio           | 259      |
| Director de Fabricación          | 102      |
| Representante de atención médica | 145      |
| Gerente                          | 80       |
| Representante de ventas          | 292      |
| Director de investigación        | 326      |
| Recursos humanos                 | 83       |

**Tabla 2.** Estado civil de los encuestados en el sector salud

|             |      |         |
|-------------|------|---------|
| Divorciados | 327  | 22,24%  |
| Casados     | 673  | 45,78%  |
| Solteros    | 470  | 31,97%  |
| Total       | 1470 | 100,00% |

La Tabla 3 nos indica que la varianza del nivel de opciones sobre acciones es similar; pero la varianza de años laborados se aleja fuertemente de la media ( $x=11,27$  y  $s^2 = 60,54$ ). A su vez, se destaca que los años en la compañía de dispersan los datos  $x=7,00$  y  $s^2 = 37,53$ . También, la ANOVA de años con el gerente actual difiere de la media  $x=4,12$  y respecto a  $s^2 = 12,73$ ; por ende, el factor de ANOVA está por encima de la media, porque hay una diferencia de la media con respecto a la varianza. Las variables analizadas desde el promedio y la varianza aportan a definir la dispersión que se utiliza para representar la variabilidad de un conjunto de datos.

**Tabla 3.** Análisis de varianza de un factor

| Grupos                                 | Cuenta | Suma  | Promedio   | Varianza   |
|--|--------|-------|------------|------------|
| Nivel de opciones sobre acciones       | 1470   | 1167  | 0,79387755 | 0,72603465 |
| Años laborados                         | 1470   | 16581 | 11,2795918 | 60,5405635 |
| Tiempos de entrenamiento el año pasado | 1470   | 4115  | 2,79931973 | 1,66221873 |
| Equilibrio trabajo-vida                | 1470   | 4059  | 2,76122449 | 0,4991081  |
| Años en la compañía                    | 1470   | 10302 | 7,00816327 | 37,5343104 |
| Años en el actual cargo                | 1470   | 6217  | 4,2292517  | 13,127122  |
| Años desde la última promoción         | 1470   | 3216  | 2,1877551  | 10,3840569 |
| años con el gerente actual             | 1470   | 6061  | 4,12312925 | 12,7315954 |

#### 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

El desarrollo laboral consta de la capacidad de crecer como profesional y como ser en una organización. Por ende, el empleado se configura como un elemento integrador en la empresa para impartir liderazgo y generar oportunidades.

Se identificó que los casados (45,78%) promueven las relaciones interdisciplinarias para el desarrollo de mejores competencias; sin embargo, el 26,83% tiene mejores relaciones con los compañeros de trabajo. A su vez, el 3,56% llevan más de 30 años en la misma empresa que convive en un equilibrio trabajo-vida (72,54%); donde separan el trabajo de la vida privada; a su vez, los más jóvenes que han trabajado hasta 10 años (62,78%) consideran en un 71,50% estar totalmente de acuerdo en separar el trabajo de las actividades de la vida personal, pero de estos solo el 38,57% llevan en la misma empresa de uno a cinco años (Tabla 4).

La correlación entre el rendimiento y la satisfacción de los empleados se detecta que es negativa baja, ya que a mayor rendimiento menor es la satisfacción de la relación; sin embargo, se detecta que a mayor rendimiento hay un efecto bajo positivo en entre el equilibrio trabajo rendimiento laboral. Ambas variables incrementan a igual condición. Se detecta que la correlación en rendimiento y edad se denota con un 0,34%;

lo que significa que la edad afecta levemente el rendimiento de laborar en el sector salud. A mayor edad incrementa levemente el rendimiento laboral.

**Tabla 4.** Correlación de satisfacción y equilibrio trabajo-vida

| Ítem de correlación         | Rendimiento  | Satisfacción de la relación | Equilibrio trabajo-vida |
|-----------------------------|--------------|-----------------------------|-------------------------|
| Rendimiento                 | 1            |                             |                         |
| Satisfacción de la relación | -0,031351455 | 1                           |                         |
| Equilibrio trabajo-vida     | 0,002572361  | 0,019604406                 | 1                       |

Además, se detectó una correlación del 0,7587 entre los años en la compañía con respecto a los años en el actual cargo, donde se percibe un impacto positivo entre mayor edad conlleva a mayor estabilidad laboral en el sector salud. Se evidencia que hay una correlación positiva significativa entre los años laborados en las organizaciones del sector salud y la administración con el actual gerente en un 0,7692 (Tabla 5).

**Tabla 5.** Correlación entre años en la compañía y años del gerente

|                            | Años en la compañía | años con el gerente actual |
|----------------------------|---------------------|----------------------------|
| Años en la compañía        | 1                   |                            |
| años con el gerente actual | 0,76921243          | 1                          |

Según la ANOVA, se detecta que  $H_0$ : el desarrollo laboral influye en un 70% de los años laborados otorga un  $p < 0.5$ , por ende, se acepta la hipótesis; es decir que los años laborados condiciona el desarrollo laboral (Tabla 6); en otras palabras, los años laborados es sinónimo de mejoramiento del desarrollo laboral. A futuras investigaciones se deben analizar otras variables exógenas que pueden afectar el desarrollo, como son: ética, clima, cultura organizacional, políticas de la compañía, cambios de gerentes y de juntas directivas y modificación de estrategias. Ahora bien, en el análisis de la varianza se detecta que la probabilidad es de 0,00.

**Tabla 6.** Análisis de varianza

| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F         | Probabilidad | Valor crítico para F |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|-----------|--------------|----------------------|
| Entre grupos              | 113752,983        | 7                  | 16250,4262                | 947,51212 | <b>0,000</b> | 2,01036686           |
| Dentro de los grupos      | 201554,159        | 11752              | 17,1506262                |           |              |                      |
| Total                     | 315307,143        | 11759              |                           |           |              |                      |

El desarrollo laboral influye en la gestión de la organización. A mayores años en la organización genera un mayor desarrollo laboral; lo cual se otorga al definir la experiencia como un elemento que contenido holístico de la organización. Además, los empleados con mayor capacitación generan conocimiento compartido a los nuevos integrantes de la organización, donde los empleados antiguos son parte de reponer la organización en caminos estratégicos, pero se debe capacitar en aprender a aceptar los cambios organizacionales.

El desarrollo laboral apalanca la innovación en los jóvenes de la organización al pensar diferente en la búsqueda de nuevo conocimiento. Al mismo tiempo, el profesional de mayor edad aporta a los jóvenes la experiencia directamente. Por ende, los profesionales aplican el saber directamente en la toma de decisiones en forma paulatina, e incorporan sistemas de información que saben ubicar fácilmente [28]. A su vez, el desarrollo laboral se involucra desde la intención de ingresar en la organización, pero se perfecciona al momento de solicitar los ascensos.

Ese saber ayuda a emprender en nuevos conocimientos para crear su propia empresa, pero basado en la experiencia asimilada [8]. Por ende, el ser humano crece en la organización siempre y cuando se motive para ejercerlo, sino estará en el mismo cargo por muchos años con una experiencia.

Un plan de desarrollo aporta a mejorar las condiciones del profesional en el ambiente de trabajo. Los pasos para crear un plan de desarrollo para impulsar el crecimiento humano y profesional son: solicitar una autoevaluación, identificar las habilidades del individuo, evaluar las necesidades de la organización y explorar oportunidades desde la responsabilidad integral de la organización.

El entorno interno de la organización afecta el estado de ánimo de las personas para desarrollar un medio adecuado de aprendizaje. Por ende, la situación cotidiana debe romperse de vez en cuando para analizar nuevas expectativas. El sector salud, configura su personal para tener una actitud amigable con los clientes; y a medida que está más tiempo en la organización aporta a mejorar la atención del servicio a ofertar.

El desarrollo organizacional está ligado a la formación de un líder que motive a los demás a ser mejores personas y profesionales, para que no olviden los aspectos éticos del desarrollo del ser en una organización.

El proceso de adaptación progresiva del profesional en la organización influye en la gestión de la eficiencia del personal, mejora el balance entre trabajo y calidad de vida, permite la satisfacción laboral, es decir, mejora el sentido de pertenencia hacia la organización; permite una valoración del puesto de trabajo de acuerdo con el cargo en forma coherente, identificar las debilidades y fortalezas del profesional.

Los médicos tienen un mayor sentido de pertenencia hacia la organización, ya que a mayor tiempo en la organización comprenden que es su segundo hogar y promueven el desarrollo de esta para que ellos aporten a su mejoramiento profesional.

El desarrollo laboral permite identificar las condiciones y características de las necesidades que requieren el profesional para ejercer su cargo y demostrar que las funciones asignadas penetran el ser humano con el vínculo directo a la organización.

Los empleados del sector salud, piensan en la situación equivalente a las condiciones de los pacientes. Por ende, a mayor experiencia en el trabajo aporta a mejorar las condiciones del desarrollo laboral. A su vez, se interpreta la cultura organizacional desde el ser y no desde un enfoque de cumplir el horario y las funciones.

Ahora bien, los errores en el proceso del desarrollo profesional se identifican por el desconocimiento de la profesional a escoger, y se equivocan al seleccionar una profesión que no llena las expectativas. Además, se enfrenta en el dilema de ganar mucho dinero o mejorar su calidad de vida, por lo que evalúan las condiciones de la valoración del trabajo (crecimiento personal o económico). También, se debe analizar la calidad de la felicidad que le otorga el trabajo; es decir, tener el mejor empleo del mundo o lograr que sea feliz con la profesión que ejerce. Pero al mismo tiempo, las organizaciones buscan seres humanos con capacidad de ser creativos, innovadores y de adaptabilidad rápida en la organización.

Desde el mismo punto de vista, otro enfoque del desarrollo laboral se centra en que la profesión obtenida se debe considerar un trabajo para siempre; pero en realidad el ambiente de trabajo se ejerce desde el mismo enfoque que desea la personas laborar en la empresa. Así mismo, se debe enfrentar el miedo a dejar el empleo actual, romper la resistencia al cambio y cambiar de paradigma profesional.

Además, el profesional de la salud siente miedo de crear su emprendimiento con el saber obtenido en la organización. Es el momento que el empleado tenga las dos opciones: laborar en una organización y gerenciar la empresa que desea emprender. Por ende, ese saber aprendido en la organización lo transfiere al emprendimiento.

También, el desarrollo laboral de los empleados se pierde al momento de dejar pasar las oportunidades de un ascenso. No es solo esperar el ascenso y buscar la forma de ejercer el ascenso. Por ende, se debe proyecta de una forma de mostrarse seguro para ese cargo.

Así mismo, hay deficiencia para el desarrollo organizacional al no reconocer el trabajo de quien labora en la organización, porque las evaluaciones laborales carecen de objetividad el momento de realizar las pruebas de desempeño, cuando estas debería ser parciales. Desde este mismo planteamiento se falla en el desarrollo organizacional al no mostrar una marca personal.

Sin embargo, las organizaciones deben desarrollar planes concretos para motivar a los empleados a estar a gusto con la organización y así otorgar un mayor sentido de pertenencia [17]. En síntesis, a mayor tiempo laborando con mayor edad aporta a un mayor desarrollo laboral. Esto se configura a partir de



entrenamiento y experiencia; pero una experiencia convivida en sociedad, la cual aporta a mejorar la calidad de vida y aprender a gestionar el conocimiento [48]. Al mismo tiempo, el desarrollo laboral permite a las profesionales a identificarse con la organización.

## 5. CONCLUSIONES

El desarrollo laboral es fundamental en los profesionales del sector salud por que se construye una base de experiencia para impulsar los ajustes organizacionales. Sin embargo, se deben capacitar los empleados para aceptar los cambios organizaciones; a su vez, los factores exógenos transforman el pensar de los empleados del sector salud por que promueven su experiencia al desarrollo de la empresa.

Los empleados de las organizaciones del sector salud se concentran en profundizar su saber propio y aprende de los demás médicos, quienes tienen mayor experiencia en el campo de la salud. Sin embargo, en ocasiones, la experiencia comienza a generar rutinas que no son fáciles de romper. Por ende, la organización capacita al personal para adaptarse a esas nuevas condiciones. La salud constantemente se actualiza con apoyo de la tecnología. Es así como la tecnología es una herramienta para aprender a ser el trabajo más detallado. El empelado de la salud conserva un mayor sentido de pertenencia hacia la organización por el empeño motivacional para ejercer el servicio de una forma pulcra.

El desarrollo organizacional en los diferentes países de Suramérica difiere de su realización por diversos factores como: ambiente laboral, normatividad de ejercer la profesión, condiciones tecnológicas y conectividad.

El desarrollo profesional permite a los empleados aprender mejores aspectos de su trabajo y mejorar sus capacidades.

Los profesionales de la salud sienten un mayor aprecio hacia la organización a mayor tiempo de estar vinculados.

El desarrollo laboral es una oportunidad para identificar el potencial que tiene el profesional de desarrollarse como persona en la organización.

El trabajar en la misma empresa promueve el sentido de pertenencia y mejora la calidad de vida de los empleados tanto en la organización como en la casa con su familia.

El desarrollo laboral impulsa la gestión del talento humano hacia crear planes de formación que potencie a los trabajadores a ser mejores profesionales y motivarse; a su vez, se inventiva la participación en solucionar los problemas internos de clima organizacional de forma positiva.

La capacitación del personal es un conjunto de acciones desarrolladas en el marco de un concepto único de entrenamiento organizacional y enfocado en la capacitación sistemática del personal. Además, estas acciones tienen un impacto positivo en el cambio del nivel de calificación y productividad de los empleados de todos los niveles jerárquicos, satisfaciendo la necesidad individual de capacitación y la necesidad de la organización de empleados capacitados.

Una organización con valores y normas claras promueve conductas positivas que se traducen en una mayor productividad dentro de la empresa y en una adecuada proyección de la organización fuera de ella.

La cultura permite al ser humano la capacidad de reflexión sobre sí mismo y generar un ambiente de desarrollo laboral que promueve el profesional a actuar con ética.

## REFERENCIAS

- [1] Budelmann H. y Nothnagel R. (2009). Complex concreting jobs - Development and application of an integrated concept. Concrete Plant and Precast Technology 75(2), 90-91.

- [2] Burlew L. (1983). Job Development from a Counselor's Perspective: A Training Workshop. *Journal of Employment Counseling* 20(3), 114–121.
- [3] Petzy V. (1979). A Model for Employer Commitments to Job Development. *Career Development for Exceptional Individuals* 2(2), 80 – 90.
- [4] Al-Khasawneh A. et al. (2021). The preferred leadership styles in vocational training corporations: Case of Jordan. *Problems and Perspectives in Management* 19(3), 545 – 555.
- [5] Inge K. et. Al. (2022). The essential elements of customized employment: Results from a national survey of employment providers. *Rehabilitation Counseling Bulletin*.
- [6] Tran Q. et al. (2021). Small and medium enterprises' credit access, ownership structure and job development. *Australian Economic Papers* 60(4), 710 – 735.
- [7] Migliore A. et al. (2021). Rethinking Management Information Systems for Scaling up Employment Outcomes. *Journal of Disability Policy Studies*.
- [8] Svidron L. (2021). Entrepreneurship as an employment option for people with disabilities: Adding information to your job development toolkit. *Journal of Vocational Rehabilitation* 54(3), 285 – 288.
- [9] Herțanu C. (2020). The future jobs development within disruptive technologies evolution and organizational culture change. *ELearning and Software for Education Conference* 88, 57–65.
- [10] Butterworth J. et al. (2020). Using data-enabled performance feedback and guidance to assist employment consultants in their work with job seekers: An experimental study. *Journal of Vocational Rehabilitation* 53(2), 219–225.
- [11] Migliore A. et al. (2021). Tracking metrics that matter for scaling up employment outcomes. *Journal of Vocational Rehabilitation* 54(3), 273–278.
- [12] Mpofu E. et al. (2019). Employment practices with people with autism spectrum disorder in the digital age. *Gert*.
- [13] Steelman L. y Williams J. (2019). Feedback at work. *Feedback at Work*.
- [14] Kukla M. et al. (2018). Helping veterans achieve work: A veterans health administration nationwide survey examining effective job development practices in the community. *Psychiatric Rehabilitation Journal* 41(2), 103–108.
- [15] Gao N. et al. (2016). In-vivo job development training among peer providers of Homeless Veterans Supported Employment Programs. *Psychiatric Rehabilitation Journal* 39(2), 191–192.
- [16] Juhdi N. et al. (2015). Management development programs and the aspired management style: A study in Malaysia. *Quality Innovation Prosperity* 19(2), 87–101.
- [17] Yost P. y Pelosi E. (2013). *Leading from Where You Are*. Elsevier.
- [18] Royer J. (2014). Leveling up to business-focused job development. *Journal of Vocational Rehabilitation* 40(2), 131–136.
- [19] Tsai M. y Wang C. (2017). Linking service innovation to firm performance: The roles of ambidextrous innovation and market orientation capability. *Chinese Management Studies* 11(4), 730–750.
- [20] Yost P. (2014). *Leading from Where You Are: Driving On-the-Job Development into the Whole Organization*. Adef.
- [21] Yost P. et al. (2013). *Built to Last: Sustainable On-the-Job Development Interventions for the Entire Organization*. Adef.
- [22] Yost P. y Hereford J. (2013). *Leadership Maps: Identifying Developmental Experiences in Any Organization*. Adef.
- [23] Kizilos M. (2013). *Intensity and Stretch: The Drivers of On-the-Job Development*. Adef.
- [24] Borland B. (2013). *On-the-Job Development That Starts on Day One*. Adef.
- [25] Ruderman M. y Ohlott P. (2013). *Learning from Personal Life Experiences*. Adef.
- [26] Moran G. et al. (2013). Challenges experienced by paid peer providers in mental health recovery: A qualitative study. *Community Mental Health Journal* 49(3), 281–291.
- [27] Tilson G. y Simonsen M. (2013). The personnel factor: Exploring the personal attributes of highly successful employment specialists who work with transition-age youth. *Journal of Vocational Rehabilitation* 38(2), 125–137.
- [28] Migliore A. et al. (2012). Implementation of job development practices. *Intellectual and Developmental Disabilities* 50(3), 207–218.
- [29] Shyamsunder A. et al. (2011). Leadership development in organizations in India: The why and how of it (part II). *Vikalpa* 36(4), 77–131.
- [30] Jiménez M. (2009). Tendencias y hallazgos en los estudios de trayectoria: una opción metodológica para clasificar el desarrollo laboral. *Revista Electrónica de Investigación Educativa* 11(1), 1–21.
- [31] Vargas M. (2000). Trayectoria profesional de los ingenieros en la industria maquiladora electrónica: el caso de Sanyo Video componentes. *REDIE. Revista Electrónica de Investigación Educativa* 2(2), 88-100.
- [32] Rubens A. et al. (2018). Self-awareness and leadership: Developing an individual strategic professional development plan in an MBA leadership course. *International Journal Of Management Education* 16(1), 1–13.
- [33] Wu X. y Shie A. (2016). The relationship between customer orientation, emotional labour and job burnout. *Journal of Chinese Human Resources Management* 8(2), 54–76.
- [34] Edirisingha P. et al. (2016). From “participant” to “friend”: the role of Facebook engagement in ethnographic research. *Qualitative Market Research: An International Journal* 20(4), 416–434.

- [35] Atkinson P. (2017). The Robots are Coming! Perennial problems with technological progress. *Design journal* 20(1), S4120–S4131.
- [36] Akbari M. et al. (2017). Why leadership style matters: a closer look at transformational leadership and internal marketing. *The Bottom Line* 30(4), 258–278.
- [37] Ahmad T. (2019). Scenario based approach to re-imagining future of higher education which prepares students for the future of work. *Higher education skills and work-based learning* 10(1), 217–238.
- [38] Maznevski M. (2017). Self-Acceptance and Community Transcendence: Reflections on Global Leadership from an Irrepressible Scholar-Teacher. *Advances in Global Leadership* 10, 177-192.
- [39] Ronnie L. (2017). Leadership challenges at Fritz Publishing. *Emerald Emerging Markets Case Studies* 7(3), 1–17.
- [40] Gill A. et al. (2019). Walking the innovation tightrope: maintaining balance with an ambidextrous organisation. *International journal of technology management* 79(3–4), 220–246.
- [41] Selva C. (2018). Gender and professional trajectories: management life stories. *Academia Revista Latinoamericana de Administración* 31(2), 378–391.
- [42] Villa, A. y Álvarez, Y. (1999). Aprendizaje organizativo y desarrollo profesional. *Profesorado: Revista de Curriculum y Formación del Profesorado* 45, 67-76.
- [43] Yoo J. y Jeong J. (2017). The effects of emotional labor on work engagement and boundary spanner creativity. *Asia Pacific Journal of Innovation and Entrepreneurship* 11(2), 214–232.
- [44] Windrum P. (2014). Third sector organizations and the co-production of health innovations. *Management decision* 52(6), 1046–1056.
- [45] Al-Sada M. et al. (2017). Influence of organizational culture and leadership style on employee satisfaction, commitment, and motivation in the educational sector in Qatar. *EuroMed Journal of Business* 12(2), 163–188.
- [46] Avcin M. y Balcioglu H. (2017). Corporate Governance: A Model of Modern Corporate Governance Framework for the Better Governance of Companies. In *Modern Organisational Governance*. Emerald Publishing Limited 12, 11–207.
- [47] Rana M. y Malik M. (2017). Impact of human resource (HR) practices on organizational performance: Moderating role of Islamic principles. *International Journal of Islamic and Middle Eastern Finance and Management* 10(2), 186–207.
- [48] Chalmers D. y Balan E. (2013). Innovating not-for-profit social ventures: Exploring the microfoundations of internal and external absorptive capacity routines. *International Small Business Journal* 31(7), 785–810.

# Significados del paciente en la motivación de estudiantes de medicina

Olga Francisca Salazar Blanco<sup>1</sup>

*Universidad de Antioquia*

Colombia

*Universidad de Barcelona*

España

La relación con el paciente y la ayuda a la solución de sus problemas del proceso salud-enfermedad dan sentido a la medicina y son motivos que orientan a muchos a elegir la profesión. El objetivo de la investigación fue comprender las relaciones entre la interacción con el paciente y la motivación al aprendizaje de estudiantes de medicina. Se trata de un estudio cualitativo bajo lineamientos de la teoría fundamentada, desde la perspectiva constructivista y el marco interpretativo del interaccionismo simbólico. Se hicieron 17 entrevistas semiestructuradas a estudiantes y se observaron 70 prácticas clínicas. Para la codificación y el análisis se usó el programa Atlas ti 9. Se construyeron dimensiones, metacategorías y categorías inductivas. En los resultados el paciente emergió como motivador y recurso de aprendizaje con dos categorías: 1) reto y sentido de la profesión, y 2) facilitador de experiencias de aprendizaje significativo. El estudiante en la interacción con el paciente vive la esencia de la medicina: *la relación de ayuda, que conlleva la responsabilidad por el aprendizaje y aterriza símbolos y rituales médicos a una relación con un ser humano, que resignifica el sentido de la enfermedad*. El paciente motiva al estudiante a profundizar y complementar los aprendizajes, a ver integralmente al ser humano enfermo y a reconocer sus dificultades comunicativas y de conocimientos, el dominio de los temas y las habilidades clínicas. Se concluye que los estudiantes consideran imprescindibles los encuentros con los pacientes en la motivación hacia el aprendizaje. En la interacción con los pacientes, con la mediación de los profesores clínicos y la participación de los pares los estudiantes integran y aplican conocimientos y desarrollan capacidades cognitivas, emocionales, técnicas y de auto regulación del aprendizaje.

---

<sup>1</sup> Médica Especialista en Pediatría, Magíster en Educación Superior en Salud, Magíster en Educación Médica y Estudiante de Doctorado.

Contacto: [olga.salazar@udea.edu.co](mailto:olga.salazar@udea.edu.co)

## 1. INTRODUCCIÓN

El paciente ha estado presente desde el inicio de la historia de la Medicina, y en los últimos años, pese a la introducción de nuevas tecnologías y estrategias didácticas su rol en la educación médica no ha dejado de reconocerse, por el contrario se considera cada vez más importante y se ha incluido en la evaluación de habilidades comunicativas, en los procesos de selección de estudiantes y en el desarrollo y la evaluación del currículo [1].

La interacción con el paciente y la relación de ayuda a la solución de problemas de salud individuales y comunitarios mueven a muchos estudiantes a elegir la Medicina como profesión. También se reconocen motivadores extrínsecos, como libros, series y películas que muestran el quehacer médico [2]. Por su parte, las escuelas de medicina ofrecen en sus cursos prácticas con pacientes, con quienes los estudiantes aprenden habilidades y actitudes específicas como el raciocinio clínico, la comunicación y la empatía, como señala [3], *el currículo entra por la puerta*, sin desconocer la importante función de los estudiantes en la integración de la teoría y la práctica, el rol del profesor en la atención a los intereses y necesidades de los estudiantes y la utilidad de estrategias didácticas como la simulación y otros recursos tecnológicos que se han incorporado a la educación Médica.

Las teorías cognitivas del aprendizaje y el constructivismo, como enfoque educativo, destacan la participación activa del estudiante en su aprendizaje e implican además de procesos cognitivos, otros afectivos y motivacionales que han de ser reconocidos por los profesores, para facilitar las mediaciones en los encuentros didácticos y promover aprendizajes significativos [4]. Estos últimos se construyen en relación con otros, de manera progresiva y a partir de saberes previos precisan situaciones que dan sentido al conocimiento y a la integración afectiva y cognitiva [5].

La motivación hacia el aprendizaje es fundamental en el contexto de educación superior. Durante los últimos años gracias a las teorías cognitivas del aprendizaje, la pedagogía y las ciencias de la educación que estudian los procesos de aprendizaje del adulto; se ha reconocido la motivación como un proceso que hace el individuo en interacción con las experiencias adquiridas y los significados que asigna a los nuevos aprendizajes, porque el adulto aprende de acuerdo con la motivación, considerada como el proceso que regula el inicio y mantenimiento de la acción para el aprendizaje [6].

Los fundamentos conceptuales de teorías contemporáneas de la motivación son referentes utilizados para la investigación en el contexto de la educación médica [7]. Entre ellas, la teoría de la autodeterminación formulada por Ryan y Deci propone la motivación en un continuo que va desde la amotivación o carencia de interés hasta la motivación intrínseca, que corresponde a la propia del sujeto, en el centro se encuentra la motivación extrínseca, que se subdivide en varios tipos según la regulación que orienta la acción [8]. Los diferentes tipos de motivación son usados para la satisfacción de necesidades básicas como la autonomía, la competencia y la pertenencia [9].

El currículo de la Facultad de Medicina de la Universidad de Antioquia UdeA, es un currículo integrado, con enfoque constructivista. Los cursos clínicos, o de profesionalización, están organizados según el proceso vital humano y privilegia las rotaciones clínicas en diferentes escenarios para favorecer el aprendizaje activo del estudiante. En una investigación sobre el currículo, los estudiantes manifestaron que las prácticas con los pacientes son las actividades más motivadoras [10], sin embargo, estudios posteriores en la facultad y otros contextos han mostrado falta de motivación de los estudiantes en los cursos clínicos [11-13]. Ante estos contrastes se propuso esta investigación, que pretende, comprender la motivación de los estudiantes en cursos clínicos.

## 2. MÉTODO

Estudio cualitativo bajo el marco interpretativo del interaccionismo simbólico y el análisis bajo lineamientos de la teoría fundamentada. Aprobado por el Comité de Bioética del instituto de Investigaciones Médicas de la Facultad de medicina de la Universidad de Antioquia (Acta 03 de mayo de 2020). Se hicieron 17 entrevistas semiestructuradas a estudiantes de cursos de profesionalización y observación de prácticas en los

semestres V, VII, IX y XI. Las entrevistas se grabaron y transcribieron y se asignó un código según el orden cronológico, el género del participante y el semestre. La muestra fue por conveniencia y siguiendo la técnica de bola de nieve, así los entrevistados sugirieron otros estudiantes posiblemente interesados en participar. En la tabla 1 se presentan las características de los estudiantes entrevistados.

**Tabla 1.** Características de los estudiantes entrevistados

|     | Fecha      | Duración | Género | Edad | Semestre actual | Semestre de ingreso | Estrato socio-económico |
|-----|------------|----------|--------|------|-----------------|---------------------|-------------------------|
| EP1 | 04/08/2020 | 50:56    | M      | 22   | IX              | 2015-1              | 5                       |
| EP2 | 04/08/2020 | 80:11    | H      | 22   | IX              | 2015-1              | 5                       |
| E01 | 05/08/2020 | 70:01    | M      | 21   | IX              | 2016-1              | 2                       |
| E02 | 05/08/2020 | 63:07    | H      | 22   | IX              | 2016-1              | 3                       |
| E03 | 23/09/2020 | 78:14    | H      | 21   | VII             | 2017-2              | 2                       |
| E04 | 24/09/2020 | 39:56    | H      | 23   | VIII            | 2017-1              | 5                       |
| E05 | 25/09/2020 | 56:21    | M      | 23   | VI              | 2017-II             | 3                       |
| E06 | 26/09/2020 | 39:29    | M      | 22   | VIII            | 2017-1              | 3                       |
| E07 | 26/10/2020 | 46:53    | M      | 21   | VIII            | 2017-2              | 5                       |
| E08 | 17/02/2021 | 66:27    | H      | 22   | XI              | 2015-2              | 2                       |
| E09 | 26/05/2021 | 56:58    | H      | 22   | V               | 2018-2              | 5                       |
| E10 | 12/06/2021 | 79:02    | M      | 24   | IX              | 2016-2              | 4                       |
| E11 | 18/06/2020 | 67:09    | M      | 19   | V               | 2018-2              | 4                       |
| E12 | 22/06/2021 | 50:49    | H      | 21   | VIII            | 2017-1              | 3                       |
| E13 | 28/06/2021 | 65:00    | H      | 21   | VI              | 2018-1              | 6                       |
| E14 | 29/06/2021 | 38:12    | M      | 20   | V               | 2018-2              | 5                       |
| E15 | 12/07/2021 | 96:08    | H      | 23   | X               | 2016-2              | 5                       |

Se observaron 70 prácticas acorde al reinicio de actividades presenciales y la aprobación de prácticas para estudiantes en los centros en convenio en 2020, durante la pandemia por Covid-19. Las prácticas se observaron en tres centros hospitalarios de alta complejidad, en cada uno de los cuales se adelantó previamente un proceso de aprobación del proyecto con el Comité de Ética e Investigación de la institución, que además aprobó el formato de consentimiento informado presentado a profesores y estudiantes antes de la observación. Las prácticas incluyeron rondas clínicas en urgencias y hospitalización, consulta programada y procedimientos en sala de urgencias. También se observaron prácticas de simulación, talleres y discusiones teóricas que hicieron parte de las rotaciones. La tabla dos muestra el compendio de las prácticas observadas (Tabla 2).

**Tabla 2.** Observación de prácticas

| Semestre | Fecha                                | Observaciones | Tiempo de observación | Promedio de observación                                    |
|----------|--------------------------------------|---------------|-----------------------|--|
| XI       | Julio-agosto 2021                    | 8             | 27,55                 | 3,44 horas<br>Mínimo 1, máximo 5 horas, mediana 3.5 horas  |
| VII      | Julio-agosto 2021                    | 7             | 19,75                 | 2,8 horas<br>Máximo 3,5, Mínimo 2 horas, mediana 3,5 horas |
| IX       | Agosto, septiembre, octubre 2021     | 31            | 86,5                  | 2,79 horas<br>Mínimo 1, máximo 5 horas, mediana 3 horas    |
| V        | Noviembre, diciembre 2021 enero 2022 | 19            | 69,25                 | 3,64<br>Mínimo 2, máximo 5,25 horas, mediana 4 horas       |

El método de análisis de datos fue la comparación constante, método generativo, que combina la codificación inductiva de categorías con la comparación constante entre ellas. Se formularon categorías que conformaron un entramado conceptual que intenta subsumir diferentes aspectos de la realidad estudiada, y se asignó un sentido que va más allá del horizonte simbólico de los participantes [14].

La codificación abierta se hizo línea a línea para la interpretación de los datos de las entrevistas que se separaron y se trabajaron con las unidades de sentido, es decir, palabras, frases u oraciones descriptivas, producto de la abstracción y síntesis de los investigadores, quienes formularon códigos iniciales que agruparon y dieron origen a las categorías conceptuales que se presentan en este trabajo. La formulación de categorías o codificación axial, se hizo con la agrupación de códigos en conceptos de mayor orden que conformaron tres dimensiones, meta categorías y categorías. En este texto se desarrolla la meta categoría

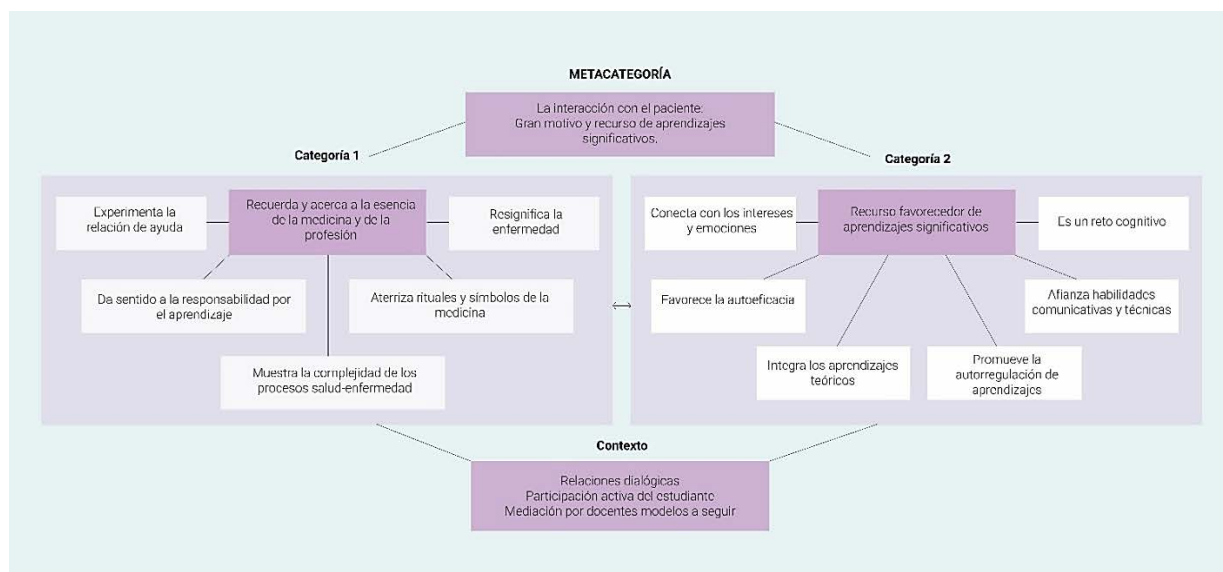
el paciente, que comprende a su vez dos categorías (Tabla 3). El rigor de la investigación se afianzó con el uso de la reflexividad, para corregir las ideas erradas y sesgadas que surgieron durante el proceso de diseño y desarrollo de la investigación. La discusión de las categorías, las notas del diario de campo y las actas de observación fueron elementos usados por los autores para la reproducibilidad del estudio.

**Tabla 3.** Significados de la motivación hacia el aprendizaje en estudiantes de Medicina

| Dimensiones  | Metacategorías  | Categorías  |
|--|---|---|
| 1. El estudiante: sujeto autónomo, con intereses y capacidades diversas que dinamizan su motivación hacia el aprendizaje | Intereses y deseos  | Antecedentes<br>Motivos   |
|  | La auto-regulación del aprendizaje y la motivación          | Reflexión del aprendizaje   |
|  |   | Estrategias de aprendizaje  |
|  |   | Estrategias de afrontamiento  |
|  |   | Didácticos  |
| 2. El profesor: sujeto que motiva e inspira: un modelo a seguir  | Saberes que motivan   | Disciplinares   |
|  | Interacciones motivadoras                                   | Respeto y empatía   |
| 3. La práctica formativa: experiencia articuladora de intereses, relaciones y aprendizajes                               | El paciente: gran motivador y recurso de aprendizaje        | Reto y sentido de la profesión<br>Experiencias de aprendizaje significativo |
|  | El currículo: oportunidades y dificultades en la motivación | El plan de estudios<br>El contexto institucional                            |
|  | El ambiente de aprendizaje en clave de motivación           | Relaciones entre pares, profesores y estudiante                             |

### 3. RESULTADOS

En este capítulo se presenta la meta categoría: la interacción con el paciente el gran motivador del aprendizaje con dos categorías: recuerda y acerca a la esencia de la medicina y de la profesión y recurso favorecedor de aprendizajes significativos. Estos significados se dan en un contexto relacional dialógico, participativo y con la mediación docente (Figura 1).



**Figura 1.** Relaciones del paciente con la motivación de estudiantes de medicina

#### 3.1 El paciente recordó y acercó a la esencia de la profesión médica

El estudiante en la interacción con el paciente vivió la esencia de la medicina: la relación de ayuda, que conllevó la responsabilidad por el aprendizaje y el estudio comprensivo y profundo de la medicina, centrado en el paciente y no en la calificación, o la demostración de conocimiento al profesor o a los pares. Al respecto, un estudiante afirmó: *con el avance de la carrera estudio más para los pacientes que para pasar un parcial o demostrar a un profesor que sé (EP2hIX)*. El paciente resignificó para los estudiantes el sentido de la enfermedad, más allá de un fenómeno biológico, mostró la influencia en las diferentes esferas de la vida humana: la social, la cultural y los elementos que influyen en su curación, no solo médicos, sino afectivos, familiares y del entorno.

En la relación con el paciente el estudiante aterrizó significados, símbolos como el pijama<sup>2</sup> o bata blanca, el estetoscopio y del uso de los demás equipos y rituales médicos a una verdadera relación con otro ser humano, de carne y hueso, ser vulnerable, que sufre y requiere de ayuda y que además responde a esa relación con simpatía, generosidad, resiliencia y gratitud frente a la dura realidad que afronta por la enfermedad y todo lo que ésta implica. Al respecto un estudiante expresó: *el hecho de que un paciente también es una persona que siente y que es como nosotros y tiene sus problemas, que no solamente es un objeto de estudio, eso es muy importante (Conv48V).*

Con el paciente el estudiante aprendió la complejidad de las enfermedades, observó el comportamiento diverso, según múltiples variables: genéticas, étnicas, culturales, educativas, creencias y estilos de vida y relacionadas con la atención de salud, el ambiente y la propia enfermedad. En los pacientes vieron el amplio espectro de las enfermedades prevalentes por grupo de edad, también enfermedades raras y con evoluciones particulares según las múltiples variables que influyen. Un estudiante dijo:

*Uno ve la diferencia entre unos pacientes y los otros, hay que ver cómo está la salud de una paciente con cuatro cánceres encima y está con ganas de irse para la casa, porque toda su familia la espera, a diferencia de esta señora que tiene una infección que no tiene tanta esperanza en comparación de la otra (Conv XI).*

### 3.2 El paciente recurso favorecedor de aprendizajes significativos

El encuentro con el paciente motivó a los estudiantes al aprendizaje de los temas y áreas que más les gustaban, además de las habilidades y actitudes que querían desarrollar como médicos, vieron temas que los llevó a profundizar sobre las disciplinas, o complementar los aprendizajes que consideraron necesarios como futuros profesionales. El reinicio de los encuentros con los pacientes después del período de cuarentena y trabajo remoto obligado por la pandemia de COVID 19 que vivió el mundo en 2020 y 2021, los estudiantes sintieron emociones diversas, contradictorias, por el miedo al contagio, los protocolos de bioseguridad para la atención, que no les permitía una relación en la que pudieran captar las expresiones faciales, acercarse al paciente, darle la mano y experimentar una relación más cercana, les obligó a reflexionar y a cuestionarse; un estudiante expresó:

*Al inicio, los primeros días volviendo a rotar era como alejado, era como "ey, no, de pronto estás contagiada, termino yo contagiado... Mejor me voy un poquito más hacia atrás... fue como "no me siento haciendo medicina, me siento como haciendo otra cosa que no es medicina (E09hV).*

Los estudiantes dieron gran valor y consideraron imprescindibles los encuentros con los pacientes en el proceso formativo, porque facilitaron la aplicación, refuerzo e integración de los conocimientos aprendidos previamente. En las prácticas con pacientes compararon, y analizaron diferencias frente a las ideas sobre la leído, relacionaron las ciencias básicas y las clínicas. La oportunidad de encontrarse con pacientes en los escenarios de atención los expuso a sentir diversas emociones; por ejemplo, en urgencias los pacientes con traumas, dolencias súbitas o crónicas descompensadas los motivaron a profundizar posteriormente en el estudio de los temas y afianzaron el interés por la profesión. Un estudiante afirmó: *el paciente ayuda a construir conocimiento con datos e información que difícilmente se olvida (E06mVIII).*

El paciente influyó en la motivación de los estudiantes por aprender, gracias a la disposición para responder a sus preguntas para la elaboración de la historia clínica, de prestar su cuerpo para la exploración física y facilitarles el aprendizaje de los signos, síntomas y manifestaciones de las enfermedades. Los estudiantes valoraron la generosidad y la gratitud que los pacientes les expresaron, pues reconocieron, que como estudiantes recibieron más del paciente, que lo que le aportaron, pues el proceso de atención directa recayó sobre los médicos de la institución y profesores, quienes hicieron las rondas, consultas y procedimientos como parte de su labor docente-asistencial. Un estudiante expresó:

*Es muy lindo cuando uno ve que esas personas ponen confianza en uno, aunque sea un estudiante, esa es la diferencia entre ver pacientes y estar en lo básico. El paciente es un incentivo muy grande para uno seguir en la carrera (E9hV).*

El paciente fue el motivo para aprender en momentos en que vivieron dificultades en la relación con los profesores de la práctica o del curso, o en medio de la fatiga y el cansancio por la alta exigencia académica.

---

<sup>2</sup> Uniforme usado por el personal de salud, con este acuden los estudiantes a las prácticas en los diferentes centros en convenio y los identifica como estudiantes de la UdeA.



El paciente los motivó a seguir y a ver el progreso de su aprendizaje cuando la interacción generó frustración debido a falencias en conocimientos de la disciplina o en las habilidades comunicativas que reconocieron algunos estudiantes cuando no obtuvieron la información que le solicitaron, o *los hizo quedar mal* frente al profesor, esto les sirvió para reflexionar sobre sus errores, en la actitud, el no tener en cuenta el nivel cultural y las creencias del paciente. Un estudiante expresó:

*Me sentí muy frustrado y mal conmigo mismo, porque no sentía que fuera lo suficientemente bueno como para entablar esa relación con el paciente e integrar todo eso que vi en los años anteriores, para mí quinto fue un semestre muy difícil, de hecho, pensé en salirme de la carrera...pero seguí avanzando me fui sintiendo más a gusto, me desarrollé mejor con las personas, pude ser más amable con el paciente, saber cómo acercarme mejor y aplicar los conocimientos (E02hIX).*

El paciente los motivó al aprendizaje de conocimientos disciplinares, habilidades técnicas, habilidades comunicativas y la actitud empática y compasiva. Con el paciente el estudiante experimentó autoeficacia, confianza y seguridad en sus aprendizajes, además fue un reto cognitivo estudiar a partir de los signos y síntomas y llegar a un diagnóstico que contribuyó a la solución de sus problemas de salud. También favoreció la autorregulación de los aprendizajes, el ir más allá en la búsqueda de información y conocimientos, de acuerdo con sus intereses y la responsabilidad por ayudarlo. Un estudiante dijo:

*Cada vez hay que aprender más, porque cada paciente es diferente, entonces uno no puede quedarse con lo que está aprendiendo y hay que profundizar más, porque los pacientes no van a tener los síntomas como dicen los libros (E13hVI).*

### 3.3 El contexto

La motivación percibida por los estudiantes en la interacción con el paciente se dio en un contexto de relaciones dialógicas. Los pacientes les ofrecieron gratitud, generosidad, realimentación por sus actitudes y el tiempo dedicado, que los animó e invitó a la reflexión de sus fortalezas y dificultades y les exigió mayor compromiso con su proceso de formación integral. Los estudiantes ayudaron a los pacientes, aclarando dudas y aportaron a la resolución de sus problemas de salud. Un estudiante expresó:

*Mi primer paciente, fue un niño de dos meses. La mamá muy agradecida me dijo que muy bonito el asesoramiento que le estaba dando, porque ni el pediatra se había tomado el tiempo de sentarse a hablar con ella. Yo estaba supremamente contento, porque esas cosas me han vuelto a enamorar mucho más de lo que estaba de la carrera y me han ayudado a reconstituir la percepción que tenía como estudiante y como futuro médico (E03hVII).*

Los profesores, favorecieron la motivación en un ambiente de aprendizaje tranquilo, en el cual los estudiantes participaron con sus propuestas de atención, expusieron sus dudas y se fueron motivados a profundizar sus conocimientos. Por su parte los pares y compañeros de prácticas estimularon la discusión de los pacientes, enseñaron con sus intervenciones y promovieron estrategias de aprendizaje que reforzaron los conocimientos adquiridos durante el encuentro con el paciente.

La nube de palabras que se muestra en la Figura 2 señala términos clave que surgieron en las entrevistas y conversaciones que dan cuenta de los resultados aquí presentados, luego del análisis e interpretación. Entre ellos cabe resaltar que el paciente surge en una posición central, acompañado de palabras que hacen alusión a otros actores de la relación: yo, profesor; de acciones: ver, hacer, dicen, aprender, hablar y emociones: gusta, siento. Estas palabras hablan de la importancia que representa para los estudiantes el paciente, en un contexto participativo, con relaciones dialógicas y mediaciones docentes que facilitan la autonomía y la motivación hacia el aprendizaje.



Figura 2. Nube de palabras. Categoría el paciente gran motivador y recurso de aprendizaje

#### 4. DISCUSIÓN

Los resultados de la investigación muestran que para los estudiantes de medicina participantes el encuentro con el paciente es muy motivador, porque facilita los procesos de motivación autorregulación y autogestión del aprendizaje, que se mantienen, incrementan y fortalecen durante el avance de la carrera. En la interacción con el paciente el estudiante experimenta la autoeficacia y la autonomía que hacen parte de necesidades psicológicas básicas desde la teoría de la autodeterminación [9].

La relación que emerge de la interacción con el paciente y la motivación de los estudiantes conecta con los principios del aprendizaje de adultos, que se plantea el aprendizaje a partir de situaciones que el aprendiz visualiza que implica conocimiento que se deben aprender o que son de utilidad para su vida o su desempeño profesional, así como la posibilidad de resolver o contribuir a la resolución de problemas, elementos motivadores, según la teoría del aprendizaje de adultos de Knowles [15].

La interacción con el paciente conecta con los intereses y motivos de aprendizaje del estudiante. Su capacidad para aprender, se activa con su interés por algunas áreas, temas y el conocimiento mismo. Con la mediación del profesor, y la participación de los pares el estudiante autogestiona los aprendizajes que provoca la interacción con los pacientes que se articula con el gran motivo, *ser buen médico* para la sociedad a la que servirán, lo que alude al proceso reflexivo de la pedagogía crítica que promueve la auto dirección de la reflexión de esos intereses y motivos, que incluso se modifican durante el proceso mismo de la educación y se orientan al compromiso con la transformación Social [16].

En otros términos, el paciente aterriza desde tres perspectivas el principio deontológico de la Medicina: la relación de ayuda, que llevó a muchos a escoger la carrera: 1. La relacional, 2. La del conocimiento necesario y 3. La responsabilidad para aportar a la transformación de la realidad de individuos y comunidades. La competencia reflexiva sobre esos intereses y motivos y la necesidad de nutrir los elementos cognitivos, aprendidos con el paciente debieran prevalecer al egreso de la Universidad como médicos, de manera que la auto regulación de los aprendizajes a lo largo de la vida acompañe el ejercicio de la profesión y su vida.

Los aprendizajes con el paciente referidos como significativos, se explican desde las estructuras de conocimiento aprendidos en cursos y experiencias previas al encuentro con el paciente, lo cual les da un soporte para el anclaje de nuevos conocimientos, por medio de procesos cognitivos de evocación, comparación, clasificación, generalización, abstracción y argumentación, entre otros, y procesos metacognitivos de reflexión, los llevan a la profundización y autogestión de nuevos saberes, nuevas búsquedas, discusiones, y preguntas que facilitan conocimientos duraderos y hacen relación a una formación que favorece la motivación intrínseca y autónoma [17]. No obstante, y acorde con los hallazgos de Moll-Khosrawi y colaboradores la dimensión motivacional emerge en el aprendizaje al lado de la cama del paciente, y puede afectarse negativamente cuando la supervisión, la mediación, la realimentación o el ambiente en el que se dan las interacciones, no son adecuados [18].

El significado de la enfermedad, la singularidad y otredad del paciente, emergen en los múltiples contextos que experimentan los estudiantes, las diferencias en cómo se relacionan, cómo sufren, con quiénes y dónde vive, cómo afronta su enfermedad, además de los elementos de las diferentes culturas. En estas experiencias, con la realimentación de los pacientes y los procesos de autorreflexión, aprenden empatía, lo que coincide con los hallazgos de Chhabra y colaboradores, quienes encontraron estos elementos referidos por estudiantes de último año [19].

El desarrollo progresivo de la empatía que refieren los estudiantes con el contacto activo y continuado con el paciente, contrasta con los hallazgos del estudio de Findyarditi y colaboradores [20], quienes encontraron disminución de la empatía y la motivación intrínseca durante los años clínicos en estudiantes de medicina indonesios, explicado por el ambiente de aprendizaje, el rol de los profesores, de los pares y el currículo. Los pacientes intrínsecamente también influyen en el desarrollo de la empatía de los estudiantes [21].

El paciente emerge para los estudiantes como recurso en la formación de identidad profesional, como lo señala Steinauer y colaboradores, cómo la reflexión de las dificultades facilita la construcción de identidad

profesional [22]. En este sentido, también Bell y colaboradores demostraron cómo la interacción social y profesional de estudiantes de medicina con pacientes reales contribuyeron a una mejor integración de los aprendizajes y a propiciar metacognición del aprendizaje, de la mano de profesores sensibles a la observación y la reflexión de los procesos vividos por los estudiantes, sus fortalezas y dificultades cognitivas y relacionales [23].

La gratitud del paciente que surge en la interacción de los estudiantes, en respuesta a la atención, el tiempo, la escucha, la empatía que manifiestan al paciente, genera motivación no solo por el cultivo de habilidades empáticas y comunicativas, sino del aprendizaje disciplinar, resultado referido en la revisión de Aparicio y colaboradores [24]. Las manifestaciones de gratitud del paciente también motivan a los estudiantes a seguir adelante cuando se sienten cansados, abrumados con la intensa carga académica o frente a dificultades en las relaciones con los profesores.

La interpretación de los datos obtenidos muestra cómo la interacción con el paciente en los cursos clínicos incrementa y eleva la motivación intrínseca de los estudiantes; contrario a lo referido por autores en estudiantes libaneses y brasileños quienes explican la disminución de la motivación en la etapa clínica por la pobre relación con pacientes reales, la sobrecarga académica y el predominio de actividades teóricas dentro del currículo [13, 25]. La atención al ambiente de aprendizaje, de la mano de una exigencia académica justa, con respeto por las necesidades básicas como: el sueño, la actividad física, el compartir con la familia y los amigos aporta en mejorar la seguridad, la motivación, el desempeño y el rendimiento académico de los estudiantes.

En esta investigación surge un significado dual del paciente para los estudiantes, con una concepción humanista, un ser vulnerable que sufre, pero que también siente, agradece, enseña e interactúa con su proceso de salud-enfermedad y también una concepción instrumental, como recurso de aprendizaje, como lo encontraron Villegas y colaboradores, quienes invitan a la inclusión explícita de los currículos médicos de la reflexión, en torno a los principios de la bioética y los derechos de los pacientes [26].

La importancia que emerge de la relación con el enfermo como ser humano con historia, que siente, sufre, enseña y aprende de su enfermedad sobrepasa la *visión instrumental*. Los estudiantes reconocen la condición humana del paciente y es en esa relación que aprenden, que crecen como personas y que proyectan su futuro desempeño profesional al servicio de quien solicita su ayuda y la resolución de sus problemas. En las múltiples experiencias que viven con los enfermos, y las mediaciones docentes, satisfacen necesidades psicológicas básicas, de acuerdo con la teoría de la autodeterminación: la competencia, la autonomía y la pertenencia, que los motivan a seguir adelante [9].

Las interacciones de los estudiantes con los pacientes, en el marco del currículo de la Facultad de Medicina de la UdeA apuntan al desarrollo de tres esferas que debe promover el currículo según Kusurkar y colaboradores [27]: 1) la cognitiva, con los aprendizajes significativos que de ellas refieren obtener, los estudiantes, 2) la metacognitiva, por la reflexión que suscita en los estudiantes dichas interacciones, y 3) la motivacional, por la coincidencia con los intereses y principales motivos que orientan el aprendizaje en los estudiantes de los cursos clínicos: aprender para ayudar a los pacientes y responder a la solución de sus problemas de salud.

Corresponde a los profesores clínicos y en sentido amplio al currículo formal promover esos espacios de interacción con el paciente, espacios donde se reflexione cómo influyen esos procesos que muestran transformación de intereses, adquisición de aprendizajes y encuentros que les enseñan nuevas circunstancias, les exponen nuevas realidades sobre las cuales aprenden, viven emociones que los animan, y también dificultades por sus errores, por las debilidades que identifican en sus aprendizajes y que también los mueve a seguir aprendiendo, procesos que deben seguir una vez salen de la facultad.

Como recomendación para las facultades de medicina, y frente al auge de las tecnologías en los procesos de enseñanza en educación médica, se sugiere optimizar las experiencias de interacción de los estudiantes de medicina con pacientes reales, que aportan a los procesos de metacognición, el desarrollo de competencias comunicativas y la auto regulación del aprendizaje, cuando el estudiante participa

activamente, de la mano de profesores que propicien ambientes de aprendizaje favorables y procesos de enseñanza y realimentación adecuados.

Los resultados no son generalizables por el tipo de metodología, el enfoque cualitativo bajo la perspectiva constructivista no pretende la generalización sino la comprensión del fenómeno en el contexto en el que se estudia, porque se da importancia a la influencia del contexto en los fenómenos. De otro lado, se incluyeron estudiantes que iniciaron profesionalización durante la pandemia y otros con varios años de experiencias con pacientes, lo que pudo llevar a sesgos de apreciación derivados de las dinámicas exigidas durante la pandemia para las prácticas y los ajustes de los cursos y las didácticas consecuencia de la misma.

## 5. CONCLUSIONES

La experiencia de ayuda al paciente, para los estudiantes de medicina, es un gran motivador hacia el aprendizaje y la autorregulación del mismo, porque aterriza el significado de la profesión y conecta con sus intereses, emociones y necesidades de aprendizaje.

La esencia de la profesión médica: la relación de ayuda que viven los estudiantes en interacción con los pacientes los motiva al desarrollo de procesos de autorregulación y aprendizajes profundos. En esta interacción aterrizan, integran y aplican sus conocimientos, fortalecen o redireccionan su interés por la carrera hacia la reflexión sobre sus competencias, para ser buenos médicos.

Las manifestaciones de generosidad, gratitud y confianza de los pacientes y familiares realimentan y motivan a los estudiantes a aprender, desarrollar, poner a prueba y reflexionar sobre sus competencias técnicas y comunicativas, aportando a un proceso de formación integral que implica la dimensión cognitiva, afectiva, ética y social del profesional.

## REFERENCIAS

- [1] Dijk S. et al. (2020). Role of active patient involvement in undergraduate medical education: A systematic review. *BMJ Open*. 10, e037217.
- [2] Kikuchi A. et al. (2021). Motivational state of Japanese medical students at the time of admission and factors influencing intrinsic motivation: A cross-sectional study. *BMC Medical Education*.
- [3] Moral R. (2009). Educación médica/Medical education: Manual práctico para clínicos/Practical guide for clinicians. Editorial Médica Panamericana.
- [4] Garrote D. et al. (2016). Factores influyentes en motivación y estrategias de aprendizaje en los alumnos de grado. *Revista iberoamericana sobre calidad, eficacia y cambio en educación* 14(2), 34-45.
- [5] Moreira M. (2017). Aprendizaje significativo como un referente para la organización de la enseñanza. *Archivos de ciencias de la educación* 11(12), 78-90.
- [6] Berestok O. et al. (2019). Andragogy as an art of self-realization of a person. *Revista científica la Universidad Pedagógica Nacional* 5(67), 13-6.
- [7] Cook D. y Artino A. (2016). Motivation to learn: an overview of contemporary theories. *Medical education* 50(10), 997-1014.
- [8] Ryan R. y Deci E. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development and well-being. *American Psychologist* 55(1), 68-78.
- [9] Deci E. y Ryan R. (2000). The "what" and "why" of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behavior. *Psychological Inquiry* 11(4), 227-268.
- [10] Díaz P. et al. (2014). Evaluación del currículo del Programa de Medicina de la Universidad de Antioquia. Editorial Redipe.
- [11] Salazar O. (2017). El universo relacional en las prácticas académicas en un pregrado de medicina vistos por los docentes médicos. Tesis de maestría. Universidad de Antioquia.
- [12] Núñez J. y Gutiérrez J. (2012). Enseñar a ser médicos: un análisis de opinión de los médicos implicados en la docencia de la clínica práctica (I). Conclusiones del análisis cualitativo y metodología para un estudio cuantitativo. *Educación médica* 15, 143-147.
- [13] Mendes G. et al. (2018) Comparison of students' motivation at different phases of medical school. *Revista da Associação Médica Brasileira* 64(10), 902-908.
- [14] Strauss A. y Corbin J. (2012) Bases de la investigación Cualitativa. Técnicas y procedimientos para desarrollar la teoría fundamentada. Editorial Universidad de Antioquia

- [15] Knowles M. et al. (2004). Una teoría del aprendizaje de adultos: la andragogía. En *Andragogía. El aprendizaje de los adultos*. Oxford University Press.
- [16] Chiva O. et al. (2019). Pedagogía de la autodirección: Por una teoría y práctica de la educación. *Revista Antropología ciencias humanas y sociales* 35, 913-943.
- [17] Hattie J. et al. (2020) Theories of motivation: Integration and ways forward. *Contemporary educational psychology*.
- [18] Moll-Khosrawi P. et al. (2021). Understanding how the motivational dimension of learning is influenced by clinical teaching in medical education: A prospective cohort study. *Annals of medicine surgery*.
- [19] Chhabra N. et al. (2022). Medical Students' Perspectives on the Factors Affecting Empathy Development During Their Undergraduate Training. *Medical science educator* 32(1), 79-89.
- [20] Findyartini A. et al. (2020). Relationship between empathy and motivation in undergraduate medical students. *GMS journal for medical education* 37(4), doc. 43.
- [21] Wang C. et al. (2022). Predictors of Medical Students' compassion and related constructs: A systematic review. *Teaching and learning in medicine* 5, 1-12.
- [22] Steinauer J. et al. (2019). Characterizations of motivation and identity in medical students' reflections about challenging patient interactions. *Medical teacher* 41(10), 1178-1183.
- [23] Bell K. et al. (2009). When only the real thing will do: junior medical students' learning from real patients. *Medical education* 43(11), 1036-1043.
- [24] Aparicio M. et al. (2019). Gratitude between patients and their families and health professionals: A scoping review. *Journal of Nursing Management* 27(2), 286-300.
- [25] Sarkis A. et al. (2020). Lebanese students' motivation in medical school: Does it change throughout the years? A cross-sectional study. *BMC medical education* 20(1), 94-100.
- [26] Villegas E. et al. (2017). Significados sobre bioética que emergen en los pacientes participantes en los procesos de formación médica. Medellín-Colombia, 2017. *Iatreia* 32(4), 276-287.
- [27] Kusurkar R. et al. (2012). Have motivation theories guided the development and reform of medical education curricula? A review of the literature. *Academic medicine* 87(6), 735-743.

# Pensamiento crítico y su incidencia en el análisis de noticias falsas en inglés

Heberth Caicedo Saldaña<sup>1</sup>  
Paola Andrea Mina Gómez<sup>2</sup>  
Juan Pablo Serna Giraldo<sup>3</sup>  
*Unidad Central del Valle*  
Colombia

Este trabajo tiene como objetivo identificar las habilidades de pensamiento crítico presentes en el proceso de análisis y comprensión de las noticias falsas en lengua inglesa, y se realizó a través de la aplicación de estrategias didácticas que permiten a los participantes fortalecerlas a través de ejercicios de lectura crítica. La muestra fue de tipo probabilístico aleatorio simple y se decantó por conveniencia. Los participantes de este trabajo son estudiantes de octavo semestre de Licenciatura en Lenguas Extranjeras y la técnica que se adoptó en el proceso de intervención fue la observación. Para efectos de los procedimientos y técnicas para recolectar y analizar los datos se acogió el método de investigación-acción educativa que se encuentra dentro del paradigma cualitativo. A partir del trabajo realizado se demostró que las habilidades de pensamiento crítico, presentes en el proceso de análisis y comprensión de las noticias falsas en lengua inglesa, se categorizan desde la deducción y valoración de deducciones, inducción y valoración de inducciones, hacer y juzgar juicios de valor, análisis de argumentos, juzgar la credibilidad de las fuentes, observar y juzgar los informes de los datos. En cada una se observa un progreso, leve o considerable, por ejemplo, la habilidad para juzgar la credibilidad de las fuentes, donde los estudiantes tuvieron un avance significativo al usar de manera acertada el principio de autoridad y la relevancia del discurso en las fuentes analizadas, para validar la información suministrada por el autor de la noticia y juzgar si es creíble o falsa. Resultados que se evidenciaron en los test realizados, así como en el análisis de las estrategias didácticas, que permitieron un avance en el fortalecimiento de la comprensión de noticias en inglés con contenidos, tanto veraces como falsos, que los estudiantes lograron discernir asumiendo una postura crítica, haciendo uso de aspectos puntuales brindados por el texto para sustentar sus opiniones. Se concluye que, en términos generales, los estudiantes avanzaron en el ejercicio de análisis de noticias a través de la aplicación de las habilidades de pensamiento crítico.

---

<sup>1</sup> Licenciado en Lenguas Modernas y Traducción, Magíster en Bilingüismo y Estudiante de Doctorado en Ciencias Lingüísticas.  
Contacto: [hcaicedo@uceva.edu.co](mailto:hcaicedo@uceva.edu.co)

<sup>2</sup> Psicóloga, Magíster en Educación y Doctora en Ciencias de la Educación.  
Contacto: [pmina@uceva.edu.co](mailto:pmina@uceva.edu.co)

<sup>3</sup> Magíster en Educación y desarrollo humano.  
Contacto: [jpsernag@autonoma.edu.co](mailto:jpsernag@autonoma.edu.co)

## 1. INTRODUCCIÓN

Cuando una persona se enfrenta a la lectura y análisis de un texto es necesario, además de conocer la lengua, activar una serie de competencias lectoras que le permitirán entender tanto lo dicho de manera literal como la comprensión de su significado. El estudio del Programa para la Evaluación Internacional de Alumnos PISA de 2006, plantea la competencia lectora como la capacidad de un individuo para entender, examinar y utilizar escritos con el fin de lograr sus objetivos y ser capaz de participar en la sociedad con posibilidades y saberes amplios [1]. Es aquí donde la competencia lectora se convierte en parte fundamental para el análisis de la información a la que se accede y el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico.

Esto permite plantear que la competencia lectora va mucho más allá de tan solo ver un texto, artículo, entre otros. Lo que significa que no basta con pasar por las páginas de un documento, se requiere una capacidad de comprensión y análisis que permita ir más allá de lo que textualmente se dice y llegar al sentido y propósito de la información. Por ejemplo, implica que se lee para construir significados, para descubrir sentidos, de igual manera, requiere tener un conjunto de conocimientos necesarios con capacidad para movilizarlos oportunamente en situaciones determinadas [2]. Si una persona no sabe leer mejor, es porque no tiene bases para razonar y sin razonar es muy difícil descubrir lo que se lee [3].

Por lo tanto, leer críticamente, implica un proceso de construcción donde se establecen relaciones entre los diferentes actores que hacen parte del proceso de la lectura: autor, texto y lector. Por esta razón, uno de los retos que tiene la educación frente al proceso de lectura se enfocaría a potenciar la capacidad de los educandos para dominar su búsqueda, entenderla y estudiarla críticamente, de forma que sea posible la toma de decisiones con fundamento [4], lo que implica la lectura no como un simple instrumento de transmisión, sino como el vínculo, la fuerza viva que permite a las personas tomar consciencia de sí mismos y del mundo que los rodea, en este proceso de discernimiento es donde la relación de lectura y pensamiento crítico toma relevancia.

Lo anterior se contrasta con las evidencias que existen en la actualidad tanto nivel internacional como nacional sobre el estado del pensamiento crítico en el ejercicio de la lectura de los individuos. Estudios realizados en España expresa que un 90% de estudiantes de secundaria no hacen uso del pensamiento crítico ni en la escuela ni en sus vidas diarias [5]; según este estado de cosas, los jóvenes carecen de una formación más analítica, crítica y reflexiva. Problemática que también es expuesta en Irlanda, exponiendo que muchos estudiantes tanto de secundaria como de universidad no tienen las capacidades necesarias para buscar o para seleccionar fuentes confiables y pertinentes en medio de la sobre abundancia de información que se encuentra en las redes [6].

Desde esta perspectiva, la capacidad para generar juicios argumentados y el desarrollo de habilidades de lectura crítica como la contextualización, la relación y adopción de puntos de vista, la valoración teniendo en cuenta la fiabilidad de las fuentes y los argumentos, estaría cada vez más ajena en el ejercicio cognitivo de los estudiantes, un panorama que expone a los jóvenes y a una sociedad misma a la aceptación total de una postura o ideología en particular, sin mediar razones.

Al mismo tiempo, en Estado Unidos expresa su preocupación por la forma como los estudiantes de colegio prestan más atención a temas no tan relevantes como la vida, la personalidad y los hábitos de figuras de la farándula, los productos o marcas que estos venden e incluso las consecuencias del mal ejemplo que algunos dan, y dejan de lado cosas importantes que podrían llegar a afectar sus vidas, comprometiendo la capacidad de las personas para analizar la realidad que los rodea y pensar críticamente [7].

Desde una perspectiva similar, Colombia amplía el problema del desinterés social esbozando que actualmente las personas son indiferentes a lo que sucede a su alrededor, por lo tanto, aceptan la información sin cuestionamiento, concibiendo como normal la inequidad social, la injusticia y la pobreza [8]. Por ende, si una persona es conforme y no tiene habilidades para diferenciar planteamientos, elaborar conclusiones de los argumentos que encuentra y construir los propios, terminará en un sentido u otro reproduciendo la información sin fundamento, formada por intereses particulares o caprichos, que circula en el mundo actual, siendo persuadidos y en el peor de los casos persuadiendo a otros.

Por otra parte, en Colombia [9] se expone que los educandos que llegan a las universidades no tienen desarrolladas sus estructuras mentales para que sean críticos, analíticos y con interés por indagar sobre el conocimiento. En el estudio se evidencia la deficiencia en el desarrollo del pensamiento sistemático y crítico en los estudiantes de educación superior, ya que los datos registran una carencia en la capacidad de los estudiantes de la Universidad del Atlántico y la Universidad de la Costa.

Adicionalmente, en Colombia el 43% de los estudiantes tienen bajo rendimiento en lectura [10]. En esta misma medida, tratan con insuficiencia la información que requiere un mayor esfuerzo analítico, poseen dificultades de comprensión en los detalles de los contenidos, presentan problemas de inferencia y lectura crítica lo que les dificulta la proyección de postulados a cerca de la lectura [11].

Para el caso de los estudiantes universitarios en Colombia la realidad tampoco es satisfactoria, según los resultados [12] de la prueba Saber Pro 2016-2017, que evalúa la interpretación y la toma de posturas críticas frente a un texto, solo el 6% de estudiantes alcanzó el máximo nivel de desempeño, nivel 4, en las competencias de lectura crítica, en el nivel de desempeño 2 fue de 37% y en el nivel de desempeño más bajo, nivel 1, el porcentaje de estudiantes fue del 23%, lo que implica que el 60% de los estudiantes universitarios no alcanza un nivel alto o superior de lectura crítica y tan solo un porcentaje mínimo de educandos cuenta con las habilidades y competencias necesarias para hacerlo en propiedad.

Además, no logran interpretar el texto más allá de lo explícito, así como tampoco establecen relaciones entre la información contenida en los textos y el contexto de su vida cotidiana [13]. Se aprecia de esta manera, un problema de lectura presente desde la básica secundaria que persiste en los estudiantes universitarios afectando el desarrollo del pensamiento crítico.

Existe una problemática en cuanto al desarrollo del pensamiento crítico tanto a nivel internacional como nacional, validando la importancia del fortalecimiento de dicho pensamiento en el aula de clase [14]. Por tal razón, el presente estudio pretende ser un aporte que apunte a ayudar a los estudiantes a realizar un mejor proceso de la información a la que acceden, a formarse opiniones argumentadas sobre un tema, así como detectar sesgos en el contenido de una noticia a través de la evaluación de su veracidad y la depuración de las fuentes por medio del fortalecimiento de las competencias del pensamiento crítico.

Para lograr este propósito, se hace necesario identificar la forma cómo los estudiantes construyen argumentos para enfrentar situaciones personales, sociales y globales, y así posibilitar el camino para avanzar en propuestas que redunden en el fortalecimiento de competencias, habilidades o destrezas relacionadas con la observación, deducción, análisis de los argumentos, la interpretación, la inferencia y la evaluación, entre otras, todas implicadas en los procesos de desarrollo del pensamiento crítico [14].

Todo esto lleva a la importancia de conocer cómo las habilidades de pensamiento crítico intervienen en el proceso de análisis de noticias, lo que posibilita obtener elementos de juicio que aporten, por un lado, a la escuela actual en la formación de jóvenes con destrezas para ejercer una lectura crítica, y por otro a la sociedad misma, con ciudadanos capaces de pensar críticamente y por ende aportar a la sociedad en la que viven. En esta vía, conocer las habilidades de pensamiento crítico en los jóvenes es un paso hacia el fortalecimiento de sus habilidades, lo que ayudará posiblemente a contrarrestar las falencias cognitivas que a la larga permitirán interpretar las intenciones de diferentes fuentes con contenidos de mala calidad.

Es un hecho que, en la sociedad actual, las redes sociales se han usado como herramienta para difundir noticias falsas con el ánimo de desinformar y favorecer intereses particulares. Por ello, el presente estudio diseña estrategias de aplicación en el aula que brinden al estudiante herramientas para el discernimiento y el procesamiento de la información a la que acceden, permitiéndoles contrarrestar la aceptación e influencia de las noticias falsas y tener su propia opinión frente a un tema basados en el análisis y sustentación. En una sociedad como la que se vive actualmente, es imperativo que se formen jóvenes con habilidades críticas y propositivas que ayuden a cambiar de manera positiva el futuro del país.

Entre los aportes más relevantes de este trabajo de observación de corte cualitativo, se encuentran los primeros acercamientos con el grupo, donde los investigadores logran conocer nuevos términos usados



particularmente por las generaciones contemporáneas de estudiantes universitarios. Esto facilita al grupo investigador diseñar los materiales de trabajo, tales como la encuesta inicial, los talleres y cuestionarios en clase, entre otros, más acorde a la manera de entender el entorno del grupo de estudiantes, posibilitando tener encuentros más productivos y actividades más atractivas para los participantes.

Por ello es un elemento clave, toda vez que ayuda a los investigadores observar la forma de pensar del grupo de estudio, saber sus prioridades, y conocer sus pensamientos o ideas sobre el tema propuesto en clase, sin riesgo a cohibirse de expresarse libremente en algún tipo de intervención, ofreciendo datos genuinos y sin problemas de imprecisión o tergiversación. Incluso, este método de observación cualitativa es práctico para identificar aquellos casos particulares donde la posición es diametralmente diferente a la del resto de compañeros de grupo, ayudando a dichos individuos a expresar sus verdaderas opiniones sin miedo a la desaprobación.

## **2. MARCO CONCEPTUAL**

Se presenta un acercamiento teórico, a partir de la exploración de los conceptos más relevantes y centrales sobre las temáticas planteadas, teniendo en cuenta las tendencias académicas y teóricas desde aquellas perspectivas que aportan significativamente a la investigación.

### **2.1 El pensamiento**

En [15] se hace énfasis en que sin la presencia de una necesidad no se activaría el pensamiento, por esta razón, aterrizando esto al campo del aprendizaje se podría decir que un estudiante no se interesa o no aprende un componente determinado dado que no le ve relevancia, es decir, no existe un interés, por tanto, no tiene cabida un proceso de pensamiento; de igual manera, asevera que un estudiante hace uso de su capacidad de pensamiento cuando produce conocimientos, soluciona problemas, toma decisiones y se comunica de forma significativa.

Aspectos interesantes que permiten plantear que pensar es un proceso mental por medio del cual el individuo le da sentido a su experiencia, que pensar permite resolver problemas, así como otras operaciones mentales como tomar decisiones, razonar y evaluar. Conjuntamente, si se habla de la ocupación del pensamiento se podría decir que es monitorear el trabajo de creación que se origina en la mente, idea definida [16] que describe el concepto relacionando a un individuo con situaciones de la vida real, o con escenarios imaginarios, o con condiciones ideales, a través de la forma como éste actúa frente a estas usando operaciones, estrategias o haciendo presente una representación en la mente. En esta última se sabe que tales representaciones se personifican por medio de signos, imágenes o incluso las mismas palabras.

Es de relevancia plantear que el pensamiento es un proceso de representación e interpretación de la realidad que orienta la interacción con ella y que se lleva a cabo al poner en uso las herramientas cognitivas y los procesos de pensamiento. Por consiguiente, hay una convergencia al partir de una situación problema para resolverla, así como dar sentido, interpretar u otorgar un significado a algo determinado, puede ser a sí mismo o la realidad y el mundo en el que se está, todo esto dentro de relaciones conscientes y razonables donde toman lugar operaciones mentales que tienen cabida en el mundo de la vida y que todas las representaciones que sean creadas o procesadas por el pensamiento interactúan en este espacio, se trata de la forma como una persona procesa sus actividades diarias, ya sean físicas o psíquicas, haciendo uso de su intelecto.

### **2.2 Habilidades básicas de pensamiento**

Son comprendidas como las habilidades de pensamiento que ayudan a la supervivencia en el mundo en el que se vive, es decir en la cotidianidad, por lo tanto, poseen una función social [17], permiten el manejo y la transformación de la información, y sirven de puente para que otros tipos de pensamiento se desarrollen. Dichas habilidades son la observación, comparación, clasificación y descripción. Pero también existen otras conocidas como de orden superior [18], siendo el análisis, síntesis, argumentación y la metacognición.

La observación permite a las personas detallar, equiparar; la comparación admite construir similitudes y diferencias partiendo de determinados juicios sobre cosas, situaciones; la clasificación se usa para ordenar elementos, según la disposición de un criterio explícito que sigue ciertos principios; y la descripción permite que un individuo o grupo explique cómo es alguien o algo para ilustrar una imagen de ellos.

Respecto a las habilidades de orden superior, es importante entender que son fundamentales para dar seguimiento a las transformaciones y respuestas generadas por las habilidades de pensamiento de orden básico [18], que señalan que el análisis corresponde al examen minucioso de cada parte de una cosa para conocer sus cualidades y las relaciones que cada una tiene con la otra; la síntesis trata de la construcción de un todo a partir de la recolección y reunión de diferentes elementos; la argumentación es el proceso de razonamiento que impugna o prueba algo usando juicios de valor; la argumentación demuestra alguna situación problemática e infiere hipótesis estables y coherentes; y la metacognición es la capacidad de conciencia y control que las personas tienen sobre sus propios procesos de aprendizaje.

### **2.3 Definición de lectura y lectura crítica**

La lectura es un proceso constructivo [4] que requiere establecer los diferentes actores del proceso: autor, texto y lector, así mismo implica la puesta en escena de conocimientos previos, como también de contextualizar e inferir las intenciones del autor, para realizar una interpretación y construir nuevos conocimientos; además, la lectura no depende únicamente de la percepción.

En [19] se plantea que la lectura es una actividad compleja en la que tienen un rol fundamental la memoria, el capital cultural y la imaginación, por lo cual, la lectura es una operación superior del pensamiento, aprender a leer implica ahondar en los conocimientos socioculturales que se encuentran en el discurso.

Por otro lado, a la par de leer un texto, en la lectura crítica es necesario tener la capacidad de comprenderlo críticamente, para esto es importante, entender el texto como un instrumento cultural y el autor como una persona que tiene unos conocimientos, una cultura y unos propósitos determinados que median y aterrizan en el texto, por lo cual se hace indispensable [4] su interpretación para dar reconocimiento a su ideología, argumentos, predicciones, entre otros. La lectura crítica hizo eco de los estudios y las propuestas modernas de revisar los credos absolutos y las ideologías totalitarias, a partir del análisis textual y las funciones del discurso, volvió visible lo que antes parecía opaco o impenetrable [19].

La lectura crítica demanda esclarecer el significado del discurso que brota del texto a partir de las relaciones entre [19] conceptos, concepciones, representaciones, recuerdos, experiencias de vida y estrategias. Desde un enfoque sociocultural la lectura crítica activa tres niveles de entendimiento: entender el significado literal; llegar a la deducción de las palabras a pesar que su significado no se haya dicho explícitamente, por ejemplo, las inferencias, la ironía; y esclarecer lo que subyace al fondo del discurso, la ideología, el punto de vista y la intención que apunta el autor [19].

### **2.4 Pensamiento crítico**

La definición de pensamiento crítico ha sido investigada y desarrollada por una amplitud de autores y estudiado por especialistas de diversas tendencias, todos con elementos valiosos a resaltar, sin desconocer la importancia del común de los planteamientos que se encuentran al respecto, a continuación, se exponen a criterio de los investigadores lo relevante para la comprensión del objeto de estudio.

El pensamiento crítico es un modo de pensar que mejora la calidad de pensamiento a través de la apropiación de las estructuras inherentes del acto de pensar [20] sometiénolas a estándares intelectuales. Posterior a esta mirada se reviste de más propósitos y se plantea que también es un proceso de análisis y evaluación del pensamiento con la intención de mejorarlo. Pensar críticamente implica cuestionar sobre asuntos vitales con precisión y claridad, tener habilidades para la resolución de problemas, evaluar e interpretar la información, tener una comunicación efectiva, profundizar con lógica e imparcialidad y tener la mente abierta.

## 2.5 La comunicación

Toda lengua para los seres humanos es un preciado instrumento que sirve para comunicarse y atesorar cada vez más, porque permite acrecentar un acervo cultural. La lengua es por antonomasia el vehículo de la comunicación entre los seres humanos y es, a su vez, la memoria de la sociedad a la que sirve como medio de comunicación [21]. En tal sentido, la lengua es la característica principal que define al ser humano, y la comunicación sirve de vehículo por el cual el lenguaje viaja de un modo intencionado, ya sea para solicitar algo, pedir una disculpa, expresar una declaración de amor, dar una noticia, entre otras.

Ahora bien, existen múltiples concepciones frente a la comunicación, para el caso de esta investigación, se aborda desde la perspectiva de la relación con el otro, de un intercambio social donde se reconoce el rol de los interlocutores y del contexto, que se traduce en un compartir [22]. Se define como comunicación, construir con el otro una comprensión común, que puede tener puntos de cercanía o discrepancias, donde el lenguaje es el *objeto cultural de percepción del otro* [22], por eso, la comunicación se ha convertido en un elemento indispensable de supervivencia no solo para los seres humanos sino incluso para todo aquello que lo circunda como son las tradiciones, las costumbres, los ritos, entre otros.

## 2.6 Internet y las noticias

En [23] confirmaron la importancia de la búsqueda de información de los jóvenes universitarios a través de las redes sociales. El acceso libre y la variada información a la cual se tiene contacto hacen que los usuarios digitales sean cada vez más, y que la confianza hacia la información en línea sea mayor. El uso intensivo de un conjunto limitado de servicios y fuentes podría llegar a ser contradictorio con el masivo número de páginas y la amplitud de fuentes a las cuales se puede acceder en la red [23]. A su vez, sobre este punto de la confianza o veracidad en la información [23], sostienen que los conocimientos previos, el prestigio de la fuente y la reiteración de la información por diferentes fuentes son criterios de selección que los jóvenes usan para decidir si los datos son certeros, a este también se añade la confianza que otorgan a la información que proviene de las redes de amigos y personas cercanas.

Al hablar del consumo de noticias de los jóvenes, plantean que estos apuntan a la observación de la actualidad, al entretenimiento y a cierta utilidad social [23] y que acceden a ellos en su mayoría a través de medios sociales y de manera fragmentada ya que dividen su tiempo en la red con otras actividades digitales de interés, medios los cuales representan un espacio de importancia para entrar en contacto con la información. El estudio de [23] muestran que el 40% de los usuarios de las redes sociales recibe noticias mediante plataformas como Facebook, mientras que otro 20% las obtiene de las empresas de comunicación y de periodistas de los que son seguidores. Esta valoración de los medios digital por parte de los jóvenes se da debido a que les permite un acceso rápido, una amplia serie de noticias y un mayor control de la información; en este sentido, es posible afirmar que existe una tendencia fuerte en el uso de internet y más específicamente de las redes sociales como herramienta informativa.

En todo el entramado que se teje alrededor de las noticias y el pensamiento crítico de estas, existen una serie de relaciones que son importantes resaltar para comprender las dinámicas que ocurren y cómo están se ven reflejadas en la sociedad. Tal como se mencionó previamente, internet se ha convertido en un fenómeno masivo que ha tomado el liderazgo del acceso a la información, por encima de otros medios de comunicación como lo son la prensa escrita, la televisión, entre otros. Son los nuevos formatos visuales los que han comenzado a ganar espacio entre la población, sobre todo en los menores de 35 años [24]. Sobre la base de esta realidad, es que las redes sociales han llegado a la vida de los sujetos y comunidades para quedarse, porque apela a las necesidades y a la sensibilidad de los individuos, esa es la razón por la que han pasado de ser una simple herramienta a convertirse en parte de la existencia humana.

Internet y las redes sociales tienen un vínculo estrecho, una relación simbiótica que se complementa y es parte fundamental de la vida tal cual como se conoce, en esa perspectiva, es necesario que se dé importancia y cuidado a lo concerniente a este tema, específicamente a cómo los seres humanos están comprendiendo la realidad por medio de su uso.

## 2.7 La era de la información falsa

[25] ofrece una discusión sobre las noticias en la era de la información falsa y propone que son una categoría sutilmente diferente a lo que se menciona como hechos alternativos, los cuales van de la mano con las posverdades y son usados generalmente por algunos ideólogos cuando relatan hechos que no se ajustan a la realidad. En su análisis de lo que implica la posverdad [25], se apoya en el modelo lingüístico que hace una diferenciación entre lo que son las mentiras y las tonterías que se le dicen a alguien en un intento de engañarlo; mientras un mentiroso dice mentiras de forma adrede, las tonterías se esparcen sin siquiera tener el cuidado de contrastarlas con la verdad. Es por eso que las tonterías o disparates son más péfidas porque son capaces de esparcirse eludiendo todo y solo una verificación juiciosa de los hechos es capaz de refutarlas.

Es conveniente explicar de manera más palpable las diferencias entre posverdades y disparates aludiendo postulados [25]. El concepto de enunciados performativos que no son conmensurables por la verdad, por ejemplo, de enunciados performativos como las afirmaciones, orientaciones, manifestaciones. Otro performativo al que se llama proclamación política o ideológica, que se caracteriza principalmente por depender del hecho que sus oyentes creen en sus discursos más por los beneficios que la ideología proclama a los intereses de los tribales que la escuchan y no por la verificación de los hechos.

Para facilitar la comprensión de este tipo de proclamas se deben entender como performativos ideológicos y advierte [25] que tratar de aproximarlas con la realidad es un trabajo innecesario al relacionarse con tonterías que solo sirven para que los ideólogos produzcan efectos sobre la base de los tribales. Más aún, al ser un instrumento de tinte intolerante que usa la política, carece de total sentido tratar de entrar en razón con los seguidores de este tipo de discursos, quienes ilógicamente creen en las fantasías de un mundo asequible que en ultimas traen réditos para el hablante, que con esta estrategia elimina cualquier discrepancia intelectual que le pudieran hacer enfrentarse con los hechos. Además de los problemas que implicarían tratar de conciliar con un seguidor ciego de los discursos ideológicos, la posverdad o los hechos alternativos tienen cierta mezcla de verdad entre su esencia de mentiras y tonterías para lograr ajustarse a distintas circunstancias semánticas y verse más atractiva para los tribales [25].

## 2.8 Redes sociales y la era de las noticias falsas

Las redes sociales en la era de las noticias falsas [24], no son un término nuevo, son consideradas un nuevo canal de propagación que estas han encontrado a través de las redes sociales y se han transformado en un fenómeno sin precedentes. Estudios demuestran que 62% de los adultos estadounidenses obtiene la mayor parte de la información a través de las redes sociales (cuatro años antes, el porcentaje era de 49%). Por otro lado, señalan a Facebook como la red social con más uso (67%) y a la que más se accede para obtener información. YouTube es la siguiente red social en uso (48%), pero solo una quinta parte de sus usuarios se informan mediante ella, porcentaje similar al que se encuentra en Twitter, que tiene una base de uso menor (16%) pero un mayor porcentaje de personas que se informan allí (9%).

El peligro con la creciente supremacía de las redes sociales es que estas manejan ciertos filtros para administrar la información, dentro de los cuales está el filtro burbuja. Explicado brevemente, este filtro actúa cuando los algoritmos muestran los resultados de temas que los usuarios buscan en internet, dichos resultados se generan según pronósticos basados en la localización del internauta o las cosas que este ha buscado previamente, con el fin de acercarles información según sus gustos. El problema con la forma como las redes sociales discriminan los datos es que se impide al usuario ser confrontado con información que vaya en contravía con sus opiniones, encerrándolos en burbujas ideológicas [24]. El agravante se crea cuando al acceder a información parcializada, el internauta cree que sus juicios van de acuerdo con la perspectiva de la gran mayoría.

Explicado más detalladamente, en plataformas como Facebook, WhatsApp o Twitter, entre otras, los usuarios son ubicados en espacios donde se van a visualizar en su mayoría posturas acordes a la suya, el resultado posterior es el fortalecimiento de sus propias creencias y el detrimento al respeto de las ideas de los demás. Los espacios donde sucede este tipo de manejo de la información se llama cámaras de

resonancia. En consecuencia, lo que termina importando a los usuarios es si las noticias o datos se ajustan a su versión de los hechos ocurridos en un determinado tiempo y espacio. De manera que se vuelve complicado crear espacios de naturalidad mutua, sin las injerencias del poder del Estado, o del mercado, o de los medios de comunicación de masas y la conducta política se torna impredecible. Sin embargo, a causa de las reprensiones las plataformas de Facebook y Google están tomando medidas para bloquear de sus motores de búsqueda sitios web dedicados a las noticias falsas [24].

## **2.9 Jóvenes universitarios y su capacidad para distinguir y decodificar noticias falsas**

Teniendo en cuenta toda esta era de las nuevas comunicaciones y lo que concierne a ella, es de importancia reconocer las configuraciones y las relaciones que se tejen alrededor de esta, específicamente frente al manejo de la información y las destrezas que se tienen en el uso de la tecnología, una relación que no siempre es directamente proporcional; en efecto, aquellas personas que nacieron en la era tecnológica y haciendo uso de internet, los que se conocen como nativos digitales, poseen habilidades para el manejo de las nuevas tecnologías así como una gran fluidez en las redes sociales. Sin embargo, este conocimiento no está directamente relacionado con el manejo que le dan a la información que encuentran en ellas, de hecho, tienen más dificultad en ubicarse en el sistema de la información online que los adultos no nativos.

## **2.10 El pensamiento crítico y su efecto en la decodificación de las noticias falsas**

Se puede afirmar que las personas que desarrollan habilidades para el pensamiento crítico, son conscientes del manejo que se debe dar a la información que se encuentra en las redes. Por ejemplo, tener conocimiento que los motores de búsqueda no brindan la misma información, sino que hacen uso de los datos sociales para adaptar los resultados según los intereses del usuario, por eso evalúan el contenido que muestra la búsqueda y tienen cautela en la clasificación de relevancia, identificando lo que es real y lo que no o lo que intenta desafiar el sentido de lo que se piensa como verdadero [26]. Por esta razón, el pensamiento crítico y la alfabetización mediática juegan un papel fundamental en el desarrollo de la resiliencia social de tal forma que las opiniones y las emociones no sean tan fácilmente manipuladas e influenciadas por falsedades [27].

Se puede señalar, que el pensamiento crítico implica tener mayor rigurosidad en el consumo de información, lo cual requiere la verificación del material al que se accede. El efecto del pensamiento crítico en la decodificación de noticias falsas fomenta un cambio cultural que demanda reconocer los sesgos, promoviendo la curiosidad por obtener información teniendo en cuenta las fuentes, así como la capacitación en la evaluación de materiales de forma lógica considerando diferentes puntos de vista antes de llegar a conclusiones apresuradas [26]. Estas destrezas en articulación con la competencia informativa, es la habilidad para explorar la carencia de información y la facultad de identificar, localizar, evaluar, organizar, comunicar y utilizar la información de forma efectiva, tanto para la resolución de problemas como para el aprendizaje a lo largo de la vida [28], permiten contrarrestar el efecto de las noticias falsas.

Como resultado, un pensador crítico no creerá en todo lo que se encuentra en la red [26], de hecho, tendrá la capacidad para identificar aspectos como el manejo que se le da a la información, la frecuencia en que las voces de los actores tienen protagonismo, el tipo de noticia, el propósito de la información y la influencia que trata de producir, por ejemplo el discurso persuasivo que apela a la tradición, la amenaza, el miedo o la lastima, en vez de la fortaleza de los argumentos, de la misma manera contará con un conjunto de fuentes fiables para acceder a las noticias. En consecuencia, en medio de este fenómeno de noticias falsas el pensamiento crítico ha cumplido y seguirá cumpliendo un rol protagónico para esquivar las falacias y detectar los falsos argumentos que aparecen en los medios de comunicación y en las redes sociales.

## **3. MÉTODO**

Dentro de los procedimientos y técnicas para recolectar y analizar los datos, se optó por el paradigma cualitativo con un alcance descriptivo desde la forma de indagación de la investigación-acción educativa, que incluye unas etapas y unos mecanismos particulares propuestos dentro de este modelo [29]. En consideración a esto, la presente investigación tiene como objetivo identificar las habilidades de

pensamiento crítico que los estudiantes despliegan cuando analizan nuevas noticias falsas en inglés encontradas en un proceso de análisis y comprensión de noticias en lengua inglesa, tema que ha tenido poca investigación. Asimismo, este estudio se basa en las necesidades del contexto y el punto de vista de la población objeto de estudio. Por otro lado, el alcance descriptivo permite identificar las características de los participantes del estudio a través de un enfoque riguroso [29]. De tal manera, es posible reconocer uno de los objetos de estudio de este documento, como lo son las habilidades de pensamiento crítico cuando se analizan noticias. En este ejercicio de reconocimiento, es posible destacar los rasgos más importantes que se producen, lo que permite un acercamiento a la descripción del fenómeno.

Se elige la técnica de muestreo probabilístico aleatorio simple y por conveniencia [30]. Permite la selección del grupo, tomando en cuenta características favorables para resolver el problema de investigación. En el caso de este estudio, se seleccionó un grupo con características favorables para resolver el problema de investigación. Este grupo contaba con conocimientos específicos y disciplinares que les permitían reaccionar consecuentemente a las habilidades de pensamiento crítico, en cuanto al análisis de noticias en inglés. El grupo seleccionado estuvo conformado por 17 estudiantes de octavo semestre de la licenciatura en educación básica con énfasis en inglés de la Universidad Central del Valle UCEVA. Las edades de los estudiantes oscilaban entre 16 y 27 años.

La intervención se realizó en un escenario virtual, dado el contexto de la pandemia mundial. La intervención se realizó durante los meses de febrero, marzo, abril y mayo, teniendo un encuentro semanal con los estudiantes. En total, se realizaron 11 intervenciones de una hora cada una, que incluyeron tanto las pruebas de inicio como las aplicaciones pedagógicas. Cabe aclarar que, durante el desarrollo de este estudio, problemas derivados de una protesta a nivel nacional y el tercer pico de la pandemia de Covid-19, trajeron retrasos en el desarrollo de la investigación, lo que significó una limitación para su análisis.

La técnica que se adoptó en el proceso de intervención fue la observación. Esta técnica tuvo el propósito de extraer información de primera mano o descubrimientos que permitieron realizar discusiones y conclusiones valiosas. La observación fue un elemento fundamental para el proceso de estudio, ya que forma parte del conjunto de recursos que se utilizan para recoger información en la metodología cualitativa [31]. Para llevar a cabo la planificación, ejecución y análisis de este estudio se eligió el esquema metodológico [32]. Incluye cuatro fases: 1) diagnóstico de la situación, 2) elaboración del plan de acción, 3) acción, y 4) Reflexión o evaluación. Para la recogida y el análisis de la información se utilizaron los siguientes instrumentos:

1. *The Ennis-Weir Critical Thinking Essay Test* [33] como instrumento de medición del pensamiento crítico. Es una prueba general de la capacidad de pensamiento crítico en el contexto de la argumentación. Pretende evaluar la capacidad de una persona para evaluar un argumento y escribir un argumento como respuesta. La prueba se aplicó al principio y al final del proceso. Se trataba de conocer el estado del pensamiento crítico en la población objeto de estudio. La prueba explora cómo los estudiantes activan las habilidades para enfrentar argumentos falaces, medias verdades y veracidad en los planteamientos.
2. *El Instrumento para medir el nivel de análisis de noticias*. Este instrumento fue elaborado por los investigadores, el cual contó con la revisión y aval de un par de investigadores académicos conformados por profesores de la UCEVA. Tiene tres componentes, el primer componente se refiere a los datos sociodemográficos de la población. El segundo componente se centra en los hábitos digitales de consumo de noticias, la autopercepción para identificar las llamadas *fake news*, la credibilidad en los medios digitales y la visión respecto a la veracidad de la información. Finalmente, el tercer componente explora los hábitos de análisis de las noticias en tres niveles de comprensión lectora: lectura literal, inferencial y crítica.
3. *Estrategias didácticas*. Se conciben como una continuación de procedimientos (métodos, técnicas, actividades) que permiten facilitar el aprendizaje [34, 35]. Se decidió hacer uso de esta herramienta, porque considera la motivación como un elemento clave. Además, tiene en cuenta las necesidades de aprendizaje de quienes participan en el proceso. Se construyeron y aplicaron un total de 8 estrategias orientadas a fortalecer las habilidades de pensamiento crítico sobre el análisis de noticias. Se basaron

en las habilidades de pensamiento crítico [14] y en lo relacionado con el análisis de noticias. Estos elementos se tuvieron en cuenta en la construcción de los criterios para el análisis posterior.

4. *El diario de campo*. Se trata de un instrumento que recogió datos observando cuidadosamente las circunstancias que rodean el contexto de la población estudiada [31]. Cabe aclarar que el ejercicio de observación se realizó de manera diferente a la convencional, debido a que la intervención con los estudiantes se realizó de manera sincrónica en una plataforma virtual. El instrumento permitió recoger y analizar las situaciones presentadas durante la implementación de las estrategias didácticas. Se realizó bajo las consideraciones interpretativas propuestas por las habilidades de pensamiento crítico [14].
5. *Entrevista semiestructurada*. Se trata de un instrumento que permitió obtener las percepciones de los estudiantes sobre el proceso. Se ha elegido este tipo de entrevista por su carácter abierto que permite a los investigadores tener flexibilidad para explorar nuevas preguntas, dependiendo de cómo fluya la entrevista, con la posibilidad de enlazar temas y respuestas.

La evaluación de los datos tuvo en cuenta tres componentes: 1) el análisis de las estrategias didácticas, que se basó en los criterios seleccionados de las habilidades de pensamiento crítico [14]; los criterios incluían: el análisis de los argumentos, el discernimiento de la credibilidad y la relevancia de las fuentes, los juicios de valor y las suposiciones, la determinación de los conceptos, la evaluación de la información y la identificación de las estrategias retóricas. 2) el instrumento de medición del pensamiento crítico [33], con tiene criterios que califican el reconocimiento del mal uso de la analogía, la irrelevancia, la ausencia de razonamiento en el lenguaje, el reconocimiento de otras posibilidades en los argumentos, la definición incorrecta y los errores o argumentos fallidos. 3) el instrumento de análisis de noticias, que cuenta con una rúbrica para evaluar el ítem de lectura crítica [36], que evalúa la comparación de ideas y la justificación de la opinión.

#### 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A partir de una triangulación de datos se partió del análisis que se llevó a cabo contrastando los resultados obtenidos en la presente investigación con los datos aportados por los antecedentes y la teoría sobre el pensamiento crítico mencionados anteriormente.

Con base en el trabajo realizado, que incluyó las pruebas de análisis de noticias y de pensamiento crítico, así como las estrategias didácticas y el diario de campo, se demostró que las habilidades de pensamiento crítico [14] presentes en el proceso de análisis y comprensión de noticias en lengua inglesa por parte de los estudiantes de octavo semestre de la Licenciatura en Lenguas Extranjeras con Énfasis en Inglés de la Unidad Central del Valle, fueron seis en total. Por un lado, los investigadores identificaron aquellas habilidades que implican llevar a cabo un proceso de inferencia, es decir, exponer la información implícita, aquella que se omite en el texto donde es necesario el uso de la interpretación, como la habilidad de deducción y la evaluación de deducciones, la habilidad de inducción y la evaluación de inducciones, y la habilidad de hacer y juzgar juicios de valor.

De igual manera, entre las habilidades que requieren aclaración, es decir, tener claro lo que se dice para poder razonar sobre ello, los investigadores encontraron la habilidad de analizar argumentos; finalmente, entre las habilidades que facilitan la fundamentación como base para tomar una decisión en el discurso, los investigadores encontraron la habilidad de juzgar la credibilidad de las fuentes y la habilidad de observar y juzgar informes de datos. En cada una de estas habilidades, los presentes investigadores pudieron observar un progreso, leve o considerable, que se evidenció en las pruebas de salida aplicadas al final del progreso, así como en el análisis de las estrategias didácticas, que se explicarán con mayor precisión a continuación.

A su vez, la mayoría de estos hallazgos se relacionan con lo expuesto [37], debido a que concluye que a través de la estrategia implementada de análisis de textos y noticias, los estudiantes pudieron emitir juicios críticos de sus opiniones e ideas y demostrar el uso de diferentes fuentes de información que posibilitaron la solución de problemas establecidos; en la misma medida [8], revela que al momento de leer una noticia

existe una inclinación por parte de un número considerable de participantes a analizar críticamente la información a la que acceden, además de un hábito de corroborar la veracidad de la fuente y de contrastar la información consultando otras fuentes similares, en cuanto a la observación y juicio de los datos presentes en un discurso, la investigación lo muestra como otro factor relevante a tener en cuenta en el análisis de una noticia.

Por otro lado, en su investigación [17], al realizar un diagnóstico de la interacción que los estudiantes realizan con los textos de la prensa escrita, concluyen que tanto la identificación de los aspectos de la realidad presentes en el texto como la capacidad de inferir la intención del autor -que se relaciona con la emisión de juicios de valor y el análisis de lo anterior se sustenta en [14], quien define el pensamiento crítico como la acción de pensar sobre la realidad, dar cuenta de ella y su entorno, observarla y analizarla [33].

Lo anterior se sustenta [14] en los planteamientos que define el pensamiento crítico como la acción de pensar en la realidad, dar cuenta de ella y de su entorno, observarla y analizarla [33], lo cual se relaciona estrechamente con el análisis de noticias ya que, como lo expresa el autor, dicho pensamiento requiere de una capacidad de generar juicios ante situaciones de un contexto determinado, para presentar criterios basados en lo que se debe creer, sentir y hacer.

A su vez, [14] presenta dieciséis habilidades de pensamiento crítico, entre las que se encuentran la deducción y la valoración de las deducciones, que está estrechamente relacionada con la realización de interpretaciones, la búsqueda de posibilidades lógicas y el razonamiento de las conclusiones a las que se llega; la inducción y la valoración de las inducciones, que es una forma de razonamiento que procede de los hechos particulares a las generalizaciones; la realización y el juicio de los juicios de valor, que implica un tipo de inferencia y es un aspecto especialmente complejo del pensamiento crítico por la controversia sobre cómo hacer defendible un juicio o postulado observar y juzgar informes de datos, que requiere descifrar los argumentos y así decidir si se acepta o no la base de la afirmación realizada, evaluando su veracidad; el análisis de los argumentos, que implica la capacidad de ver cómo encajan todas las partes del discurso para validar y sacar conclusiones que apoyen una determinada posición; y, por último, juzgar la credibilidad de las fuentes, cuando se apela al principio de autoridad y a la relevancia del discurso procedente de las fuentes, teniendo en cuenta el discurso procedente de las autoridades.

Cabe añadir que, en relación con el estado de las habilidades de pensamiento crítico de los estudiantes que les permiten comprender las noticias en inglés, el presente trabajo encontró la siguiente información. En el momento de realizar la prueba de salida [33] algunos estudiantes mostraron progresos en uno de los tipos de inferencia que tienen lugar en el pensamiento crítico denominado deducción y valoración de deducciones. Según los resultados de esta prueba, los estudiantes fueron capaces de identificar la coherencia de las premisas dadas en el texto y sus conclusiones, ya sea de forma explícita o implícita; a partir de este estado, los estudiantes hicieron uso de la misma habilidad para analizar una noticia, lo que se reflejó en algunos enunciados en los que tomaron las generalidades presentadas para analizar un hecho particular, como las consecuencias de una teoría conspirativa que aparece desde un contexto global para afectar a un contexto específico como es el entorno familiar.

En cuanto a la habilidad de inducción y evaluación de inducciones, se encontró un uso de esta habilidad específicamente en la prueba de análisis de noticias cuando los estudiantes explicaron situaciones particulares que implicaban consecuencias negativas para los individuos que creen en teorías conspirativas.

Además de esto, se encontró una mejora en la habilidad de pensamiento crítico denominada hacer y juzgar juicios de valor [33], se reflejó en un análisis más completo de la relevancia de los argumentos presentados en un discurso y el reconocimiento de errores en el mismo, mostrando una posición argumentada que señalaba el motivo por el que tenían dificultades. Asimismo, ante un texto noticioso, los estudiantes aplicaron la capacidad de expresar sus puntos de vista analizando los juicios presentados en el documento y exponiendo los propios; esto fue visto por los investigadores cuando los estudiantes, tomando en cuenta la información implícita y explícita, así como su visión del contexto, vislumbraron la influencia o las consecuencias que una determinada posición puede causar dentro de la audiencia que recibe la información o la intención que contiene.



De igual forma, otra habilidad que se evidencia significativamente en los estudiantes, al momento de realizar la prueba [33], es la de observar y juzgar informes de datos, donde se discutió la información proporcionada por el documento que se les presentó, analizando las pruebas y evaluando su veracidad, relevancia y fundamentos para decidir si aceptan o no la afirmación presentada. Asimismo, en el análisis de las noticias, los estudiantes tuvieron la capacidad de identificar la información manipulada proveniente en la mayoría de los casos de teorías conspirativas y exponerla como una distorsión de la realidad carente de sustento, evidencia o base científica comprobada. De este modo, los investigadores observaron un avance importante en la relevancia que los estudiantes dan a las pruebas y argumentos encontrados en un texto.

A su vez, en cuanto a la habilidad de juzgar la credibilidad de las fuentes, los investigadores encontraron que era una de las habilidades mejor desarrolladas por los estudiantes, ya que al momento de resolver la prueba [33], implícitamente tomaban en cuenta el principio de autoridad y la relevancia del discurso proveniente de las fuentes, para darle peso a la información proporcionada por el autor y por lo tanto otorgarle credibilidad. Desde otro punto de vista, algunos ejemplos del uso de esta destreza en el análisis de noticias son las ocasiones en las que los estudiantes otorgaron credibilidad a una fuente tras tomar referentes de hechos reales y de conocimiento público. Asimismo, determinaron si una fuente era creíble o no identificando si era reconocida o al menos apoyada por otras fuentes conocidas por la opinión pública.

La información anterior se apoya [8] en quienes relacionan la formación de los profesores en la mejora de sus prácticas de enseñanza, con el desarrollo del pensamiento crítico en el aula como se explica a continuación. En primer lugar [8], quienes se refieren al trabajo cotidiano del profesor como la labor que transfiere la cultura y lleva a la socialización de los estudiantes, trascendiendo más allá de la enseñanza de conocimientos. En segundo lugar, señalan los planteamientos [8] quienes argumentan que, con la formación de los profesores en torno a la cultura, la realidad y el contexto, se puede reformar la realidad y el avance de la educación.

En ese orden de ideas, relacionan los dos argumentos anteriores [17], quienes amplían el tema indicando que el pensamiento crítico se puede desarrollar dentro del aula, implementando estrategias didácticas contextualizadas. Estas hacen posible que el estudiante se interese por participar voluntariamente en los temas que conciernen a su educación y al mismo tiempo, exigen del profesor reflexionar sobre otras formas de proyectar el proceso de enseñanza, utilizando la observación y el examen detallado de las condiciones del aula.

Desde otra perspectiva, en lo que respecta a las estrategias de comprensión lectora [4], establece la importancia de trabajar con guías que posibiliten el análisis de cuestiones basadas en los textos y permitan comprender las ideas principales, logrando una mejora en la actividad lectora de los estudiantes; asimismo, [13] afirma que las estrategias de comprensión lectora son necesarias para la comprensión de cualquier tipo de texto, y que permiten enseñar a los estudiantes a ser capaces de inspeccionar y controlar lo que leen y así tomar las decisiones correctas en el ejercicio de los objetivos que quieren alcanzar. Asimismo, expone ciertas disposiciones mentales que se ejercitan con la aplicación de estas estrategias, como la comprensión de los propósitos explícitos e implícitos de la lectura y la elaboración de inferencias [13].

## 5. CONCLUSIONES

En esta última parte del trabajo de investigación, se presentan las conclusiones resultantes de la aplicación de dos pruebas, centradas en el análisis de las habilidades de pensamiento crítico y el análisis de noticias en inglés [24], así como el diseño e implementación de ocho estrategias didácticas. Este estudio logró el propósito de responder a los objetivos planteados al inicio de la investigación, los cuales pretendían identificar el estado de las habilidades de pensamiento crítico utilizadas por la población objeto de estudio en el proceso de análisis y comprensión de noticias en inglés, a partir de la aplicación de estrategias didácticas efectivas para su fortalecimiento.

Inicialmente, es importante destacar la importancia de los procesos utilizados durante el estudio, ya que permitieron un desarrollo participativo y proactivo durante el transcurso de la investigación, proporcionando una perspectiva cercana y ajustada a la realidad de los sujetos. Las reflexiones derivadas

de lo anterior, permiten afirmar que la realización de diagnósticos ayuda a conocer de manera correcta el contexto y las necesidades reales del grupo, facilitando el diseño ajustado a las particularidades de los participantes y dando como resultado una respuesta efectiva al problema formulado en la investigación. Al mismo tiempo, la construcción e implementación de estrategias didácticas bien diseñadas y en sintonía con las particularidades del ejercicio diagnóstico, facilitó la puesta en marcha de habilidades de pensamiento crítico en los estudiantes, propiciando su fortalecimiento. Al mismo tiempo, la implementación de los diarios de campo permitió hacer un seguimiento del proceso, permitiendo proponer ajustes a las estrategias didácticas formuladas y determinar si se lograron los objetivos propuestos.

En respuesta a la problemática planteada en relación al desarrollo de habilidades de pensamiento crítico en los jóvenes, la investigación logró promover una formación más analítica, crítica y reflexiva en los estudiantes objeto de estudio a partir de la aplicación de diferentes estrategias de enseñanza, apuntando a desarrollar las habilidades necesarias para buscar información de fuentes confiables y relevantes, consolidando la capacidad de identificar noticias veraces y evitar la manipulación y aceptación de noticias falsas como verdaderas.

Después de realizar todo el trabajo de investigación, se pudo concluir en primer lugar que las habilidades de pensamiento crítico [28], encontradas en el proceso de análisis y comprensión de las noticias en idioma inglés en los estudiantes de octavo semestre de la Licenciatura en Lenguas Extranjeras con Énfasis en Inglés de la Unidad Central del Valle, fueron seis en total son, deducción y evaluación de deducciones, inducción y evaluación de inducciones, emitir y juzgar juicios de valor -habilidades que requieren llevar a cabo un proceso de inferencia, análisis de argumentos (habilidades que implican clarificación), juzgar la credibilidad de las fuentes, y observar y juzgar informes de datos -habilidades que facilitan la fundamentación para tomar una decisión frente al discurso.

Por otro lado, cabe destacar que durante el proceso se presentaron condiciones particulares del contexto, representando un reto para el desarrollo de las actividades propuestas, como el tiempo limitado para la realización de las estrategias didácticas durante los momentos de clase, lo que significó un retraso por encima del tiempo preestablecido en la realización de las primeras estrategias didácticas, esta realidad hizo que los investigadores se replantearan la extensión de las actividades propuestas en cada sesión de clase. Otro factor que se debe mencionar es la virtualidad en la enseñanza, debido a la situación de pandemia que se vivió durante el tiempo de la investigación, aunque se hizo todo lo posible en base a las condiciones que se tenían, los recursos virtuales utilizados no brindaron la misma amplitud en la observación como se hubiera podido hacer de manera presencial. Este antecedente es una referencia para buscar más herramientas que permitan realizar mejores observaciones desde la virtualidad.

Para finalizar, cabe destacar que este estudio sobre el estado de las habilidades de pensamiento crítico en el análisis de noticias es un trabajo que ha mostrado mejoras en la forma de reflexionar sobre la información a la que se accede, influyendo en una mejor forma de decidir qué creer y cómo proceder con respecto a ella. En este sentido, se espera que esta investigación sea un aporte en el ámbito educativo para diversas instituciones de la región y del país que comparten problemas e intereses similares, especialmente en el área del bilingüismo.

Finalmente, la discusión de los hallazgos realizados por los investigadores a partir de la triangulación de datos, llevan al presente documento a mencionar una serie de recomendaciones orientadas a mejorar la efectividad del trabajo, para futuras investigaciones sobre pensamiento crítico y análisis de noticias o estudios similares.

## REFERENCIAS

- [1] OCDE. (2019). PISA 2019. Colombia. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos.
- [2] Serrano S. y Madrid A. (2007). Competencias de lectura crítica. Una propuesta para la reflexión. *Acción Pedagógica* 16, 58-68.
- [3] Carlino P. (2005). Escribir, leer y aprender en la universidad Una introducción a la alfabetización académica. *Uni-Pluriversidad* 5(3), 71-72.

- [4] Oliveras B. y Sanmartín N. (2009). La lectura como medio para desarrollar el pensamiento crítico. *Revista Educación Química* 20(1), 233-245.
- [5] Águila E. (2014). Habilidades y estrategias para el desarrollo del pensamiento crítico y creativo en alumnado de la Universidad de Sonora. *Disertación doctoral*. Universidad de Extremadura.
- [6] Luna C. (2015). El futuro del aprendizaje 2 ¿Qué tipo de aprendizaje se Necesita en el siglo XXI? *Investigación y prospectiva en educación*. Unesdoc.
- [7] Walters J. (2017). Using the news to enhance critical thinking and engagement in middle and high school students. *Journal of Catholic Education* 20(2), 198-207.
- [8] Santamaría D. y Espitia L. (2019). Estado del arte sobre pensamiento crítico y estrategias didácticas en aulas universitarias de Colombia periodo 2013-2018. *Trabajo de grado*. Universidad de la Salle.
- [9] Steffens E. et al. (2017). Niveles de pensamiento crítico en estudiantes de Universidades en Barranquilla (Colombia). *Espacios* 38(30), 5-16.
- [10] OCDE. (2017), Marco de Evaluación y de Análisis de PISA para el Desarrollo: Lectura, matemáticas y ciencias, Versión preliminar. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos.
- [11] Vélez C. (2018). La educación colombiana y la falta de pensamiento crítico: Qué hacer. *Razón Pública*.
- [12] ICFES. (2018). SABER PRO. Informe Nacional de Resultados 2016-2017. Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación.
- [13] De Zubiría J. (2017). El desarrollo del pensamiento: prioridad de la educación actual. *Magisterio educación y pedagogía* 66, 15-19.
- [14] Ennis R. H. (2005). Pensamiento crítico: Un punto de vista racional. *Revista de Psicología y Educación* 1(1), 47-64.
- [15] Villarini A. (2003). Teoría y pedagogía del pensamiento crítico. *Perspectivas Psicológicas* 3(IV), 35-42.
- [16] Arboleda J. (2012). Pensamiento, inteligencia, competencias y comprensión. Relaciones y especificidades en el marco de una pedagogía por proyectos de vida. *Revista de Educación y Pensamiento* 17(19), 44-60.
- [17] Romano M. y López E. (2016). Lectura crítica de medios en estudiantes universitarios. *Praxis educativa* 20(2), 25-33.
- [18] García C. (2014). La evaluación de habilidades de pensamiento superior. Una mirada a la evaluación en el aula de clase, en el campo de las ciencias naturales. *Revista Lasallista de Investigación* 11(2), 146-158.
- [19] Vázquez F. (2014). Repensar la lectura y la lectura crítica. En Kimpres (ed.), *La lectura crítica. Propuestas para el aula derivadas de proyectos de investigación educativa* (pp. 9-14). Universidad de La Salle.
- [20] Paul R. y Elder L. (2003). *La mini-guía para el Pensamiento crítico: Conceptos y herramientas*. Foundation for Critical.
- [21] Cervera A. y Hernández G. (2006). *Saber escribir*. Aguilar.
- [22] Brønstrup C. et al. (2007). Comunicación, lenguaje y comunicación organizacional. *Signo y Pensamiento* 26(51), 26-37.
- [23] Vernier M. et al. (2018). Pensamiento crítico de los jóvenes ciudadanos frente a las noticias en Chile. *Comunicar* 54, 45-56.
- [24] Fernández N. (2017). *Fake news: Una oportunidad para la alfabetización mediática*. Nueva Sociedad.
- [25] Berghel H. (2017). Alt-news and post-truths in the "fake news" Era. *The IEEE computer society* 50(4), 110-114.
- [26] Jackson S. (2021). *How a Critical Thinker Uses the Web*. Semantic Scholar.
- [27] Vasu N. et al. (2018). *Fake news: National security in the post-truth era*. Nanyang Technological University.
- [28] Saraiva I. (2020). Búsqueda y evaluación de información: dos competencias necesarias en el contexto de las fake news. *Palabra Clave* 9(2), 16-30.
- [29] Hernández R. et al. (2014). *Metodología de la investigación*. Mc Graw-Hill.
- [30] Otzen T. y Manterola C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *Int. J. Morphol* 35(1), 227-232.
- [31] Latorre A. (2005). *La investigación acción: conocer y cambiar la práctica educativa*. Graó.
- [32] Berrocal E. y López J. (2011). El proceso de investigación educativa II: Investigación-acción. En Colás F. y Buendía A. (eds.), *Innovación docente e investigación educativa* (pp. 35-50). Grupo Editorial Universitario.
- [33] Rojas L. y Linares E. (2018). Fortalecimiento del pensamiento crítico a través de la escritura de crónicas literarias *Tesis de Maestría*. Pontificia Universidad Javeriana.
- [34] Feo R. (2015). Orientaciones básicas para el diseño de estrategias didácticas. *Tendencias Pedagógicas* 16, 221-236.
- [35] Mansilla J. y Beltrán J. (2013). Coherencia entre las estrategias didácticas y las creencias curriculares de los docentes de segundo ciclo, a partir de las actividades didácticas. *Perfiles Educativos* 35(139), 25-39.
- [36] Guerra J. y Guevara Y. (2013). Validación de un instrumento para medir comprensión lectora en estudiantes universitarios mexicanos. *Enseñanza e Investigación en Psicología* 18(2), 277-291.
- [37] Delgado I. (2015). Estrategias de enseñanza para desarrollar el pensamiento crítico reflexivo a partir del análisis de textos y noticias que motiven la emisión de juicios propios en el quinto grado de secundaria de la institución educativa nuestra señora de las Mercedes de Abancay, 2013- 2015. *Trabajo de grado*. Universidad nacional de San Agustín de Arequipa.

# Deconstrucción del paradigma capacitista al interior de la familia de una persona con discapacidad

Alexander Garzón Jiménez<sup>1</sup>  
Universidad Pedagógica Nacional  
Colombia

La familia es el ente primario de construcción de la autoimagen y autopercepción del sujeto, por lo que es desde ella y de las visiones, concepciones y comprensiones que en ella se generan, desde donde se construye y se comprende, bien sea como parte fundamental del grupo o como un elemento carente de posibilidades y dependiente por completo de su grupo familiar. En este trabajo se pretende indagar en el poder que el modelo capacitista recurrente en el pensamiento de las familias pueda tener sobre el desarrollo de funciones, capacidades y potencialidades del sujeto con discapacidad, y cómo la prevalencia en el pensamiento de dicho modelo pueda afectar y distorsionar la construcción de su autoimagen. Para lograr esto se confrontaron, desde el punto de vista teórico, el paradigma capacitista, que establece y considera válido un conjunto de capacidades que deben predominar y son socialmente aceptadas, donde las personas con discapacidad deben ser capacitadas o *des discapacitadas*, con el modelo social de la discapacidad, relacionando con el enfoque de capacidades y funcionamientos, que busca evaluar el bienestar y las libertades que tiene la persona para hacer las cosas que le resulte valioso hacer o ser. A partir de este sustento teórico se desarrolla un análisis de la influencia que dichos paradigmas pueden ejercer sobre la construcción que las familias realizan acerca de la persona con discapacidad, su bienestar, proyección y libertades individuales, así como el papel que debe jugar la escuela en dicho proceso y, desde allí, la forma en que la persona con discapacidad crea la visión de sí misma o autoimagen y su papel y lugar en el mundo. Desde esta indagación se espera sembrar las bases que permitan realizar desarrollos posteriores encaminados a deconstruir los imaginarios capacitistas que puedan existir en los diferentes tipos de familias, buscando redundar así en nuevas interpretaciones y auto interpretaciones del sujeto con discapacidad, como alguien pleno de derechos, sueños y capacidades, que tiene el derecho y el deber de buscar su forma y lugar de transitar el mundo en condición de plenitud, bienestar y felicidad. Por último, se espera brindar herramientas de discusión a aquellas familias que se han debatido bajo un mismo techo entre estos dos paradigmas: la visión social de derechos de la discapacidad y el modelo capacitista, permitiéndoles entender y transitar la discapacidad desde concepciones que, en último, redunden en el fortalecimiento de las potencialidades y habilidades de la persona con discapacidad y, de esta forma, al cambiar las visiones de la familia, cambiar las mismas comprensiones en la sociedad.

---

<sup>1</sup> Licenciado en Educación Especial.  
Contacto: [ragarzonj@upn.edu.co](mailto:ragarzonj@upn.edu.co)

## 1. INTRODUCCIÓN

Hablar de familia, conlleva una comprensión que va más allá de simples definiciones como la de unidad fundamental de la sociedad, o de agrupaciones que están unidas por relaciones de alianzas o consanguinidad. Pensar en familia debe congregarse toda una serie de relaciones, interacciones, sentires, vivires y hasta padecimientos, que trenzan el verdadero tejido que da base a una construcción o visión de sociedad y hasta de humanidad. De esta forma podemos entender a la familia desde un enfoque sistémico, en el cual esta se concibe:

*como un sistema, en el que cada uno de sus miembros está regulado por las relaciones que tienen entre sí todos los elementos del sistema familiar; es decir, existe una interrelación entre todos los individuos que conforman la familia, de tal forma que un cambio dentro o fuera del núcleo familiar podría afectar a cualquiera de los miembros que la integran [3].*

Ahora bien, tomando esta visión del enfoque sistémico de familia, debemos pensar cómo la situación de discapacidad de uno de sus miembros afecta las dinámicas, construcciones y comprensiones que tiene la familia de sí misma, de sus relaciones endógenas y exógenas, así como la propia visión que tiene acerca de la discapacidad y su construcción sociocultural y como estas visiones pueden afianzar y potencializar el desarrollo del sujeto, o por el contrario desdibujar y disminuir su autopercepción.

Encontramos entonces que es allí, al interior de la familia, donde la persona empieza a construir su autoimagen y su subjetividad, entendiendo esta como la interpretación de las vivencias personales y colectivas [4] pero mediadas estas por los ejercicios de poder impuestos por las estructuras de pensamiento dominante en el entorno en que el sujeto se desarrolla [5]. De esta forma, al prevalecer en los imaginarios de la familia concepciones de cuerpos estandarizados o características de sujeto normalizado, construidas históricamente sobre paradigmas como el de prescindencia o el médico reparador, se generan de manera intencional o no, diferentes comportamientos hacia este sujeto que no cumple con los estándares de cuerpo establecido, replicando sobre este cuerpo *anormal o atípico* estas mismas construcciones de invalidez, falta de capacidades, dependencia y lástima; produciendo así un sujeto convencido que estos son los términos que lo definen, lo construyen y lo obligan a transitar el mundo bajo esta visión de sí mismo.

Como contraparte a estas visiones capacitistas del ser, en el 2006 en el marco de la Organización de las Naciones Unidas [6], se promulga la Convención sobre los derechos de las Personas con Discapacidad, en la que se define la discapacidad como el resultado de la interacción entre las personas con deficiencias y las barreras debidas al entorno, que antes de proveerle el andamiaje necesario para su desarrollo, evitan y excluyen a la persona de una participación plena y efectiva en la sociedad. Al relacionar este modelo social de la discapacidad, con el enfoque de capacidades y funcionamientos de Amartya Sen, el cual busca evaluar el bienestar y las libertades que tiene la persona para hacer las cosas que le resulte valioso hacer o ser, se pretende generar una comprensión más amplia de la discapacidad, quitando la carga de la persona y transfiriéndola al entorno, permitiendo así generar estrategias, herramientas y políticas que permitan a la Persona con Discapacidad poder tener una participación plena en condiciones de equidad con los demás.

Se busca entonces analizar cómo se presentan este tipo de construcciones al interior de la familia y cómo a partir de la forma en que cada una de ellas entiende, vive y transita el proceso de discapacidad de uno de sus miembros, puede convertirlo en un ser carente de opciones, o, por el contrario, educarlo como un ser con percepciones y formas diferentes de entender y transitar el mundo, pero, ante todo, lleno de capacidades y potencialidades.

## 2. MODELOS DE DISCAPACIDAD

A lo largo de la historia, el concepto de persona ha ido cambiando de acuerdo a las construcciones, pensamientos y avances del grupo donde se conciba. De la misma forma la concepción de la discapacidad como particularidad humana también se ha ido transformando a través del tiempo dependiendo de sus propias concepciones sociales, religiosas y tecnológicas. De esta forma podemos identificar tres modelos de discapacidad que podrían coincidir con formas equivalentes de sociedad o de comprensión del ser, coincidiendo a grandes rasgos con tres momentos históricos. El modelo de prescindencia, presente desde

la antigüedad hasta fines de la modernidad, el modelo médico reparador, surgido a comienzos del siglo XX y el modelo social, que aparece en los años 60 del siglo pasado [7].

El primero de estos modelos, o modelo de prescindencia, asume que la persona con discapacidad padece de esta por un castigo de los dioses, generalmente por una falta cometida por sus ancestros y que debido a esto no es un ser útil a la sociedad, por lo tanto, su vida no tiene sentido para ser vivida [8]. De este modelo se derivan concepciones eugenésicas, de eliminación de quien no cumple con los estándares establecidos para las construcciones de cuerpo definidas, degenerando en infanticidios y eliminación de los sujetos, o en otros casos en la ocultación de los mismos al interior de su hogar al ser considerado la muestra de una falta cometida contra el ser superior. Esta concepción con el paso de los siglos, degeneró en visiones asistencialistas y caritativas, en especial con la llegada del cristianismo que al eliminar el infanticidio permitió la posibilidad de borrar las culpas propias dando limosna o pagando diezmos a los lugares que mantenían aislados a estos seres diferentes.

Este modelo persistió históricamente hasta inicios del siglo XX, donde la llegada de la primera guerra mundial, con la gran cantidad de mutilaciones y lesiones que produjo, aunada a los incipientes desarrollos de la medicina alcanzados durante este periodo, generaron una nueva visión de la discapacidad, un segundo modelo atado a la reparación del cuerpo a través de la medicina, el llamado modelo médico reparador que interpreta la discapacidad como:

*una condición negativa de la salud individual de las personas afectadas, producida por deficiencias orgánicas que pueden ser físicas, psíquicas o sensoriales. Considera la discapacidad como una enfermedad y asume, por ello, que las personas con discapacidad deben someterse a procesos de rehabilitación con el fin de llegar a asimilarse a las demás personas sanas y capaces de la sociedad* [9].

Bajo este modelo la persona con discapacidad pierde su principio de persona y pasa a convertirse en un paciente en proceso de ser curado, perdiendo a su vez su independencia y su autonomía, que, al ser internados en instituciones supuestamente especializadas en su discapacidad, se convertían en simples objetos sujetos al todopoderoso conocimiento científico que debía rehabilitarlo o volverlo a habilitar para ser parte productiva de la sociedad.

Como se puede ver, estos dos modelos parten de una preconcepción, aquel pensamiento que declara la existencia de un cuerpo normal, de un estándar de ser, un modelo que tiene una mirada inquisitiva sobre todo aquel que pueda parecer diferente, un modelo que tiene una urgencia crónica en etiquetar y marcar a todo aquel que se salga de esa monotonía de cuerpos iguales, sin intentar ir más allá de ese cuerpo para buscar ver que hay dentro de él. Esta tendencia a etiquetar con diagnósticos a todo cuerpo que no cumpla con la norma establecida lo único que logra es levantar barreras entre esos otros y nosotros mismos, rompiendo así con cualquier posibilidad de acercamiento, rompiendo así con la posibilidad de llegar a ese ser alterado, marcado, poniéndolo automáticamente fuera de la posibilidad de ser admitido en las filas de los otros seres no etiquetados y por tanto posibles y dignos de ser miembros plenos de esta sociedad.

Encontramos así que estos dos modelos, el de prescindencia y el médico reparador, pueden ser vistos desde un punto en común, aquel que determina lo *normal* como el contar con una serie de capacidades y funcionamientos intelectuales corporales y no otros, dando prevalencia o colocando a este conjunto de capacidades esperadas o establecidas por encima de otras y cómo estas deben ser promovidas a todas las personas sin importar su desarrollo o preferencias. Vemos así el surgimiento de un modelo capacitista que según [10] *establece y considera válido un conjunto de capacidades que deben predominar y son socialmente aceptadas, (...) y que tiene el objetivo de capacitar a las personas con discapacidad o si preferimos decirlo así: des discapacitarlas.*

En contraposición a estas comprensiones de la discapacidad, a partir de los años 60 del siglo anterior, en Estados Unidos se genera el Movimiento de Vida Independiente MVI, en el que las personas con discapacidad, apoyándose en la lucha de reivindicación social del movimiento feminista, rechazaban que se les definiera por sus características físicas. De esta forma se cambió el foco de la discapacidad, dejando de entenderla como una carencia de la persona que debe ser corregida, pasando a entender las deficiencias como un producto social, resultado de las interacciones entre la persona y un entorno que no tiene en

cuenta sus peculiaridades [6]. De esta forma el modelo social establece una diferencia clara entre deficiencia y discapacidad, definiéndolas como:

*Deficiencia es la pérdida o limitación total o parcial de un miembro, órgano o mecanismo del cuerpo. Discapacidad es la desventaja o restricción de actividad, causada por la organización social contemporánea, que no considera, o considera en forma insuficiente, a las personas que tienen diversidades funcionales, y por ello las excluye de la participación en las actividades corrientes de la sociedad* [8].

A partir de esto, [6] promulgó una definición de discapacidad en el marco de la Convención sobre los derechos de las Personas con Discapacidad donde esta se define como: *un concepto que evoluciona y resulta de la interacción entre las personas con deficiencias y las barreras debidas a la actitud y al entorno que evitan su participación plena y efectiva en la sociedad, en igualdad de condiciones con las demás.*

Con la Convención, se reivindican y garantizan los derechos de las Personas con Discapacidad y se establece esta denominación para este grupo poblacional, eligiendo este apelativo para designarse y sobreponiéndolo a acepciones como inválido, discapacitado, lisiado, entre otras que enfocaban el déficit en la persona y tenían la carga de las visiones anteriores acerca de la discapacidad. Vale la pena resaltar que la convención sobre los derechos de las personas con discapacidad, se trató de un movimiento realizado por las personas con discapacidad, quienes en coherencia con lo consignado en ella, mostraron su capacidad de empoderamiento para definirse como población plena de derechos y deberes y que es capaz de modelar sus propios destinos, esencia reflejada en la consigna *Nada para nosotros, sin nosotros*, que simboliza el rompimiento con todos los antiguos estigmas y concepciones de incapacidad, proteccionismo, asistencialismo y lástima que pesaban sobre esta población.

Recientemente y como complemento o evolución del modelo social, se ha venido desarrollando el modelo de diversidad funcional, el cual se basa en: *la diversidad del ser humano en el ámbito de su funcionamiento físico, psíquico y sensorial* [11]. Es decir, se considera completamente válida y valiosa cada expresión de funcionamiento posible, ya que cada persona posee un modo particular y único de entender, sentir y transitar el mundo y no existen modos superiores o prevaletentes de hacerlo. De esta forma son exactamente igual de valiosas las diferentes formas de leer este artículo, bien sea a través del canal visual, impreso en papel para una persona que puede ver o a través del canal auditivo por un lector de pantalla para una persona ciega.

Este enfoque de diversidad funcional, se ve muy bien complementado por la teoría del Enfoque de las capacidades y los funcionamientos de Amartya Sen [12], la cual se construye sobre dos conceptos básicos, *los funcionamientos* que representan lo que las personas valoran lograr hacer o llegar a ser y las *capacidades* que, por su parte, son un conjunto de funcionamientos que reflejan la libertad de la persona para alcanzar aquello que valora.

Esta teoría plantea la evaluación del bienestar y la calidad de vida por la oportunidad que tienen las personas de escoger una u otra forma de vida y poder llevarla a cabo de acuerdo a lo que considere valioso como aspecto formador de su ser. Esto se puede relacionar con el modelo social de la discapacidad entendiendo que las barreras que impone el entorno, las actitudes, los prejuicios, las políticas, entre otras son las que impiden a la persona con discapacidad la oportunidad de decidir libremente para hacer las cosas que considere valiosas para la construcción autónoma de su ser, es decir que la persona con discapacidad debe tener la posibilidad de encontrar el modo de vida que quiere vivir, las cosas que considera valiosas para desarrollarlo y tener la libertad para poder lograrlo.

Vemos entonces, que al nutrir el modelo social con la visión de la diversidad funcional y el enfoque de capacidades y funcionamientos, podemos encontrar una nueva interpretación de la discapacidad, una que no se centra en las características del individuo ya que entiende que existen diversas formas de transitar y entender el mundo, todas tan valiosas como las demás, que adicional a esto, cada una de estas formas de ver y habitar el mundo, están unidas al deseo y la necesidad de cada persona de lograr hacer lo que realmente valora para sí y la libertad que tiene para hacerlo y cómo por último, se presenta un entorno que construye una serie de barreras que no permiten este desarrollo del ser.

Esta nueva construcción del modelo social, nos ofrece una alternativa más amplia para poder realizar las construcciones de ser de las personas con discapacidad o personas con diversidad funcional, buscando ubicarlas como a otras diversidades (de raza, género, cultura, credo, etc.), como un grupo que aporta desde sus particularidades, para de esta forma generar concepciones que eliminen por completo las visiones anteriores aún latentes en nuestra sociedad, al mostrar la diversidad funcional como el florecimiento de formas diferentes de comprender, transitar y percibir el mundo y desde allí construir una sociedad que acepte, abrace y se nutra de todas las diferencias y las acoja como parte de la inmensa diversidad del grupo humano.

### 3. CONCLUSIONES. FAMILIA Y CREACIÓN DE CAPACIDADES

La familia es el ente primario de construcción de la autoimagen y autopercepción del sujeto, ya que en ella es donde inicia el proceso de socialización del individuo y es en ella donde empieza a construir su percepción como ser social, como lo enuncia [1]:

*La familia es el espacio primario de la convivencia de los seres humanos, es el primer contexto que percibimos al inicio de la existencia, a través del cual configuramos la dimensión colectiva de nuestra personalidad. La familia es la dimensión social del desarrollo personal, es ámbito, es contexto, es el factor topográfico del desarrollo de la subjetividad en su dimensión individual y colectiva*

De esta forma, al ser la familia nuestra puerta de entrada al mundo, a todas sus interacciones, relaciones y conflictos, se convierte en la herramienta más poderosa con la que cuenta el individuo para comprenderlo y comprenderse a sí mismo y a sus relaciones con este, en vista de que la familia es la versión micro de ese sistema al que el individuo se debe enfrentar, es en ella donde empieza a construir las habilidades, actitudes y comprensiones que le permitirán acceder a él.

Es entonces, la familia la encargada de brindar al niño ese kit de herramientas que le permita ser funcional y autosuficiente en sus relaciones con otros y en los nuevos entornos a los que se enfrente, construcción que por lo general se da de una forma fluida y aceptable, dependiendo de las condiciones sociales, económicas y culturales de cada familia. Pero, qué sucede cuando uno de los miembros de la familia no tiene una construcción de ser acorde a lo establecido por la sociedad, es decir, qué pasa cuando uno de los miembros de la familia tiene una discapacidad, cómo se transforman estas dinámicas de construcción del sujeto y que tipo de kit de herramientas ofrece la familia para que esta persona con discapacidad pueda enfrentarse al mundo, o prefiere la familia generar dinámicas de sobreprotección que eviten este contacto con entornos que de repente se convierten en demasiado agresivos o amenazantes para este ser.

Estas acciones y decisiones que se dan al interior de la familia, están definidas en gran parte por las propias interpretaciones y concepciones que se tienen acerca de la discapacidad, concepciones que en gran medida se han visto reforzadas por las visiones dominantes en su entorno social, que generalmente están asociadas a la prescindencia o al modelo médico reparador. En este sentido, [2] se refieren a una de estas visiones al interior de la familia así:

*Otra visión muy marcada desde las narrativas de los padres es la visión médico-reparadora, desde la cual los padres y familiares asumen al hijo o hija en relación con el diagnóstico y el pronóstico. Este tipo de visión propicia relaciones de dependencia por estar basada en el déficit, llevando a los padres generalmente a centrar sus esfuerzos en la cura y recuperación de lo perdido. (...) este tipo de visión no les permite a los padres apreciar los cambios en el proceso de su hijo o hija por estar ampliamente enfocados en los que no logran o lo que les falta.*

Este tipo de comprensiones de la discapacidad, genera procesos de asistencialismo, dependencia e incapacidad por parte del miembro de la familia con discapacidad, limitándose a verlo desde sus falencias o desde lo que le falta, antes que comprenderlo desde sus potencialidades, limitando así sus posibilidades de desarrollo al no brindarle las herramientas necesarias por considerar que la persona no es apta o no está lista para enfrentar situaciones fuera del entorno familiar.

De esta forma, las dinámicas generadas al interior de las familias dominadas por visiones capacitistas, generan una espiral descendente donde la persona con discapacidad se convierte en el receptor de los



temores y angustias de su familia, creando para el sujeto estas mismas imágenes acerca de sí mismo y de su relación con el mundo, empieza a construir entonces una identidad de no capacidades, de dependencia y de no utilidad para su entorno y la sociedad, aunado a esto un pensamiento de aislamiento e introversión, convirtiendo a la persona con discapacidad en un prisionero de sus propios pensamientos y temores, condenado a tener su propia casa y peor aún su propia mente por prisión.

Es así como el modelo capacitista mantiene su permanencia en nuestra sociedad, generando dinámicas asistencialistas y de no capacidad que las familias replicarán sobre las personas con discapacidad en su seno, quienes a su vez y debido a esto, se convertirán en personas sin capacidades, sin una visión de sí mismos más allá de lo que sus propias familias puedan ofrecerles y que en el caso en que puedan o tengan que enfrentarse a entornos externos a su familia, reflejarán estos mismos imaginarios construidos y realizados sobre su cuerpo, imágenes de personas dependientes, incapaces y carentes de habilidades que a su vez reforzarán la visión capacitista en la sociedad.

Es en este punto donde las nuevas visiones de la discapacidad construidas sobre el enfoque social y reforzada por la visión de diversidad de capacidades, brinda las herramientas necesarias para generar construcciones de seres empoderados de su cuerpo, de su espacio y de su destino. Pero estas construcciones solo se pueden lograr en la medida en que las familias lo comprendan de este modo y se den la posibilidad de ver a todos sus miembros desde sus potencialidades, entendiendo las diferentes formas en que cada uno entiende y transita el mundo y encontrando juntos las estrategias para hacerlo desde las particularidades y capacidades de cada uno de ellos.

Ahora bien, en este punto radica el quid del asunto, ¿Cómo poder cambiar estas visiones arraigadas en cada una de las familias no solo de las personas con discapacidad, sino en todas las familias? Si esas visiones capacitistas predominan en nuestra sociedad y se replican y autorreplican constantemente, cual es la clave para romper la espiral y generar la revolución del pensamiento.

La clave, tal vez y como se ha visto desde inicios de este siglo, se encuentra en ese socio natural y complemento de la familia que es la escuela. Es desde allí, desde la escuela y desde las dinámicas de interacción, interrelación y universalidad que la acompañan donde se debe iniciar esta revolución del pensamiento, que genere ahora una espiral ascendente, un círculo virtuoso que se extienda a todas las esferas que ella toca.

Los procesos de educación inclusiva han permitido iniciar con este cambio de paradigma, al permitir a los niños y jóvenes con discapacidad compartir espacios de aprendizaje y socialización con compañeros de otras diversidades, permitiendo así romper esos escenarios de exclusión e integración, mostrando con sus haceres y desempeños, el cúmulo de capacidades y potencialidades que habita en cada uno de nosotros y que solo esperaba a los ambientes propicios para poder florecer.

Al ser la escuela el ente llamado a liderar estos procesos de cambio, se requiere antes cambiar estos pensamientos en su interior, es necesario entonces que nuestro papel como profesores muestre una vez más la plasticidad que lo caracteriza, convirtiéndonos en los potencializadores, gestores e impulsores de toda la gama de capacidades que tienen nuestros estudiantes, una vez más somos los profesores los llamados a ser la piedra filosofal que transmuta mentes opacadas y apocadas por ambientes represores, en mentes poderosas, brillantes, conscientes y conocedoras de sus capacidades y poderes.

Adicional a esto y como complemento de lo anterior, la escuela debe liderar acciones afirmativas que involucren a todos los actores en los procesos de construcción y empoderamiento de la población con discapacidad, por lo tanto, debe generar estrategias orientadas a deconstruir la comprensión de la familia acerca de la discapacidad y reconstruir visiones que giren en torno a las capacidades y a la diversidad de formas de entender y transitar el mundo. De esta forma, logrando cambios en esta base de la sociedad, se iniciará una revolución del pensamiento a todos los niveles, convirtiéndola en un espacio realmente diverso, que reconozca, acepte, celebre y valore las diferencias y sea capaz de integrarlas y usarlas para su crecimiento como humanidad.

## REFERENCIAS

- [1] Manjarrés D. et al. (2016). Familia y Escuela: Oportunidad de formación, posibilidad de interacción. Universidad Pedagógica Nacional.
- [2] Manjarrés D. et al. (2013). Crianza y discapacidad: Una visión desde las vivencias y relatos de las familias en varios lugares de Colombia. Universidad Pedagógica Nacional.
- [3] García F. y Crissién E. (2018). Familia y discapacidad: calidad de vida y apoyo social percibido. En Pinillos Y. et al. (eds.), Caracterización de la discapacidad en el distrito de Barranquilla. Una mirada conceptual y experiencial (pp. 179-205). Universidad Simón Bolívar.
- [4] Quiroz F. (2014). De críticos a vecinos del funcionalismo. Los Estudios Culturales. Recuperado: [https://www.infoamerica.org/documentos\\_pdf/quiros01.pdf](https://www.infoamerica.org/documentos_pdf/quiros01.pdf)
- [5] Foucault M. (1988). El sujeto y el poder. Revista Mexicana de Sociología 50(3), 3-20.
- [6] ONU. (2006). Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad. Organización de las Naciones Unidas.
- [7] Velarde V. (2012). Los modelos de la discapacidad: un recorrido histórico. Revista Empresa y Humanismo 15(1), 115-136.
- [8] Palacios A. (2008). El modelo social de discapacidad: Orígenes, caracterización y plasmación en la Convención Internacional sobre los derechos de las Personas con Discapacidad. Cinca.
- [9] Rodríguez S. y Cano A. (2015). Discapacidad y políticas públicas: la experiencia real de la juventud con discapacidad en España. Editorial Catarata.
- [10] Toboso M. y Guzmán F. (2010). Cuerpos, capacidades, exigencias funcionales... y otros lechos de Procusto. Política y Sociedad 47(1), 67-83.
- [11] Palacios A. y Romañach J. (2006). El modelo de la diversidad: La Bioética y los Derechos Humanos como herramientas para alcanzar la plena dignidad en la diversidad funcional. Ediciones Diversitas.
- [12] Urquijo M. (2014). La teoría de las capacidades en Amartya Sen. Edetania 46, 63-80.

# Estrategia didáctica para la enseñanza de un método de extracción en fase sólida miniaturizada en contextos del trabajo práctico de laboratorio

Diego Hernando Angulo Flórez<sup>1</sup>

Néstor Adolfo Pachón Barbosa<sup>2</sup>

Edna Carolina Cipagauta Esquivel<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

<sup>2</sup>Universidad de Boyacá  
Colombia

En este capítulo se describe una estrategia didáctica para la enseñanza de un método de extracción en fase sólida miniaturizada en contextos del trabajo práctico de laboratorio TPL. Se parte de los imaginarios previos de los estudiantes para, a partir de algunas sesiones de laboratorio, generar cambios conceptuales y promover un aprendizaje significativo. Se relata la experiencia de conjugar el empleo de una técnica de preparación de muestras PT-SPE con un ejercicio de intervención didáctica para el desarrollo de habilidades procedimentales. Se presentan los resultados de la aplicación de TPL en la multideterminación de tres esteroides en muestras de orina al emplear HPLC-DAD-PT-C18-SPE, que presentan adecuados porcentajes de recuperación y parámetros de validación. Los resultados de la intervención muestran una mejoría en habilidades relacionadas con métodos de extracción en fase sólida. Se concluye que hubo cambios conceptuales frente a procesos analíticos, una adecuada familiarización con nuevas metodologías de preparación de muestras, aumento significativo del lenguaje químico y la comprensión de conceptos, junto con la aplicación de procesos cognitivos de bajo orden, para la promoción de habilidades cognitivas de alto orden.

---

<sup>1</sup> Licenciada en Química, Magíster en Docencia de la química y Doctora en Química.

Contacto: [diego.angulo@uptc.edu.co](mailto:diego.angulo@uptc.edu.co)

<sup>2</sup> Química de Alimentos y Magíster en Química.

Contacto: [eccipagaita@uniboyaca.edu.co](mailto:eccipagaita@uniboyaca.edu.co)

<sup>3</sup> Licenciada en Biología, Especialización en Educación y Gestión ambiental y Magíster en Educación.

Contacto: [nestor.pachon@uptec.edu.co](mailto:nestor.pachon@uptec.edu.co)

## 1. INTRODUCCIÓN

Los procedimientos analíticos requieren técnicas de preparación de muestras como un paso esencial para obtener resultados confiables, garantizando la reproducibilidad y disminuyendo la profusión de errores, hacia una confiabilidad estadística de los datos obtenidos [1, 2]. En esta perspectiva, la microextracción en fase sólida SPME emerge como una alternativa viable, en virtud a la rapidez del análisis, la reducción de la muestra y de volúmenes de disolventes, la simplicidad de su empleo, así como sus posibilidades para su automatización [3].

La extracción en fase sólida adaptada en puntera Pipette-Tip Solid Phase Extraction PT-SPE es uno de los métodos más prometedores para la preparación de muestras miniaturizadas de extracción en fase sólida [2-6]. Se diferencia de la SPE convencional por precisar de una cantidad mínima de material adsorbente y no necesita ningún dispositivo de extracción adicional, excepto una jeringa comercial. En general, es una técnica de bajo costo por la cual la extracción del analito es más rápida y fácil en comparación con el uso del SPE convencional [7-9]. La extracción en fase sólida adaptada en puntera (nombre adoptado para las puntas de las pipetas de precisión) puede ser empleada con diversos materiales adsorbentes entre los que se encuentran los polímeros conductores y molecularmente impresos, nanotubos de carbono, filtro de cigarro (celulosa) y el C18 convencional o mesoporoso [10-13].

Por otro lado, la separación cromatográfica ocurre a partir de la distribución y la interacción entre los componentes de una fase móvil y otra estacionaria [14]. En los equipos de HPLC, la alta presión es compatible con el sistema cromatográfico además la sofisticación del equipo y las nuevas fases estacionarias, aumentan la efectividad de las separaciones, reduciendo el tiempo de análisis, aumentando la versatilidad y la automatización [15-18].

Además de lo anterior, en lo que tiene que ver con el plano didáctico, la denominada transposición didáctica, definida como el trabajo que transforma un objeto de saber, en un objeto de enseñanza [19, 20]. Desde tal perspectiva, un contenido de saber que ha sido designado como saber a enseñar, sufre a partir de entonces una serie de transformaciones adaptativas que lo hacen apto para ser un objeto de enseñanza. El concepto de transposición didáctica se remite al paso del saber sabio (científico) al saber enseñado (didáctico) y, por lo tanto, a la distancia eventual obligatoria que los separa.

La Figura 1 ilustra una serie de transformaciones que van de lo implícito a lo explícito, de la práctica a la teoría, de lo preconstruido a lo construido [21], en tal estructura cognitiva primeramente evidenciada en los científicos, pero también en los estudiantes o en la población objetivo. La transposición didáctica comprende una serie de etapas de transformación producidas en el conocimiento desde su elaboración misma por parte de la comunidad científica hasta su destino como conocimiento escolar [22]. Por otra parte, el saber científico no puede ser enseñado tal cual como este se encuentra en los textos científicos y esto constituye un obstáculo en el proceso de aprendizaje, por lo que debe ser modificado o traducido como un saber a enseñar. Por una parte, el saber científico se presenta en textos técnicos y saber a enseñar se encuentra casi siempre en libros *didácticos*, algunos programas y en materiales de apoyo [23, 24].

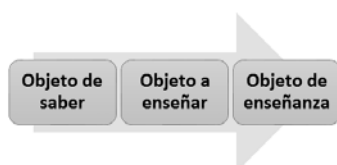


Figura 1. Proceso de transposición didáctica

Por su parte, en la enseñanza de las ciencias, han surgido una serie de cuestionamientos sobre la importancia de las prácticas de laboratorio. Desde la óptica de los adeptos, esta investigación recoge la premisa de entender que tanto profesores como estudiantes encuentran diferentes finalidades a las prácticas de laboratorio, que en alguna medida son desvirtuadas, si desde el inicio de las prácticas el profesor no motiva, ni orienta para que los estudiantes vean el verdadero sentido de estas actividades. No obstante, los estudiantes normalmente disfrutan cuando trabajan en el laboratorio [25]. Con frecuencia los

estudiantes tienen agrado por las prácticas de laboratorio solo cuando conocen lo que van a realizar, cuando no, pierden el interés con facilidad y se les dificulta su aprendizaje. Para esto es imperativo hacer un experimento adecuado (con objetivos claros y que funcione) y tener una medida de control e independencia suficientes [25]. También se sabe que en algunas experiencias los estudiantes no adquieren ningún tipo de destrezas en el escenario de laboratorio. Desde esta comprensión, la adquisición de técnicas o destrezas del laboratorio pueden tener poco valor en sí mismas, en la medida que no permitan desarrollar habilidades de tipo práctico como manipulación de instrumental preciso (balanzas, balones aforados, pipetas, buretas, entre otros) [26].

Con base en lo anterior los trabajos prácticos de laboratorio TPL son elemento esencial diseñado para que los estudiantes adquieran una mejor idea de la naturaleza de la ciencia y de las investigaciones científicas, [27] surgen como una herramienta didáctica que permite descubrimiento lo cual favorece al cambio conceptual, [28] además el trabajo experimental es fundamental en la enseñanza de las ciencias y que existen metodologías que favorecen el aprendizaje de conceptos, y el desarrollo habilidades y de la capacidad para resolver problemas [29].

Facilitar por completo el procedimiento experimental, el marco teórico, los objetivos y muchas veces los resultados, no genera interés en el estudiante, lo que se refleja en el hecho que sea quien proporciona el marco conceptual, dejando poco espacio para la construcción del significado personal, desde una posición que ejerce el control sobre la identificación del problema, la generación de hipótesis, el diseño experimental y los métodos que se emplean para manipular e interpretar los datos obtenidos desde la observación [20, 21]. Al estimular el desarrollo y la intensificación conceptuales animando a los estudiantes a que exploren, elaboren y supervisen sus propias ideas (concepciones alternativas, imaginarios o ideas previas), comparándolas con las aportadas desde el experimento científico, se puede afirmar, que el trabajo de laboratorio, podrán tener un papel relevante [20].

Estudios han demostrado que la mayoría de los técnicos de laboratorio y los profesionales de la química desconocen las técnicas miniaturizadas de preparación de muestras y por lo tanto su utilización solo es explotada en ambientes universitarios. Por lo anterior, en este trabajo se estudiaron las ventajas de enseñar la extracción en fase sólida adaptada en puntera, a partir de la identificación de las ideas previas de los estudiantes entendiéndose como ideas de los estudiantes que están en desacuerdo con el conocimiento científicamente aceptado e influyen en el aprendizaje de nuevos conocimientos científicos [22].

Es bien sabido que las ideas previas son ampliamente compartidas por los estudiantes en varios niveles o grados de aceptación, además son lógicos, sensibles y valiosos desde el punto de vista de los estudiantes y generalizados, estables y resistentes al cambio mediante las estrategias de enseñanza tradicionales [24]. Con base a la identificación de las ideas previas y la aplicación de TPL se procedió a implementar la técnica dentro de los trabajos experimentales de análisis químico instrumental y a futuro posiblemente extrapolar su uso a los ambientes de investigación en ciencias químicas y la didáctica de las ciencias experimentales.

## **2. MÉTODO**

### **2.1 Reactivos y solventes**

Patrones analíticos Progesterona PGN 98,55% (Tianjin Wanhua Technology Development Co. Ltda®), Prednisolona PRe 98,55% (Genix Pharmaceutical Corp®) y Estradiol EsD 99,03% (Olon Ricerca Bioscience®). Solventes grado HPLC, tolueno, acetona, tetrahidrofurano y cloroformo de J.T. Baker®. Material C18 para SPE y para PT-SPE de Sigma-Aldrich® y solventes grado HPLC metanol, acetonitrilo e isopropanol obtenidos de Dinâmica®. El agua fue purificada en un sistema Milliporo Milli-Q Plus.

### **2.2 Instrumentación y condiciones de separación**

Para el análisis cromatográfico se empleó un sistema HPLC Agilent 1290 (Agilent Technologies) compuesto por una bomba cuaternaria (G1311 B), inyector automático modelo 1260 Hip ALS (G1367E) y un detector DAD modelo 1290 VL+ (G1315C). Todas las separaciones de los analitos fueron realizadas en una columna

analítica Phenomenex® Gemini C18 (150 mm × 4,60 mm, 5 µm) (Torrance, CA, EUA). La fase móvil consistió de una mezcla de acetonitrilo: metanol (45+55, v/v) y fue bombeada a un flujo de 0,85 mL min<sup>-1</sup>; los datos cromatográficos fueron adquiridos a 265 nm con detección DAD, el volumen de inyección fue de 40 µL para los patrones y las muestras. Se utilizó el programa Agilent Open LAB Chromatography Data System® para controlar el sistema y la adquisición de datos.

### 2.3 Preparación de muestras empleando PT-C18-SPE

Se llenó una puntera de 1 mL con algodón esterilizado en la punta con el material adsorbente (40 mg de C18). Otra porción de algodón fue empleada para fijar el material. La activación con el dispositivo se realizó con 0,1 ml de agua ultrapura utilizando una jeringa comercial (Figura 2). El eluyente se evaporó y el residuo se resuspendió con 150 µL de metanol para inyectar 40 µL en el HPLC-DAD.

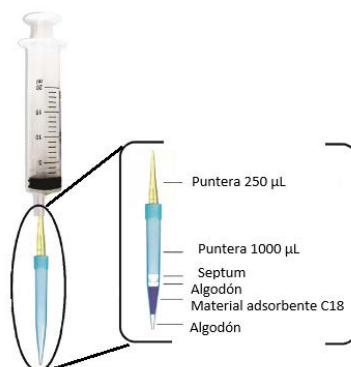


Figura 2. Dispositivo de extracción en fase sólida adaptado en puntera PT-C18-SPE

### 2.4 Validación del método

Para la validación del método se tuvieron en cuenta la sensibilidad, el límite de cuantificación LOQ, la linealidad, la precisión, la exactitud, la robustez y la estabilidad. Las curvas de calibración analítica se realizaron mediante estándares externos basados en inyecciones de las soluciones preparadas a concentraciones de 16, 40, 100, 200, 500, 800 y 1200 ng mL<sup>-1</sup>, extraídas por triplicado. El LOQ se evaluó a partir de seis ensayos analítico orina enriquecida (250 µL, n = 6) a concentraciones decrecientes para cada analito (ver Tabla 1). Los resultados de precisión y exactitud se expresaron en RE% (error relativo) y RSD% (desviación estándar relativa), respectivamente. Los estudios de precisión y exactitud se realizaron seis veces para demostrar la repetitividad del método. La precisión intermedia se realizó en tres días diferentes (n = 3), a concentraciones de 40, 200 y 800 ng mL<sup>-1</sup>.

La robustez fue analizada a partir de la capacidad del método analítico de permanecer inalterado por pequeñas variaciones en el procedimiento, se determinó variando parámetros como flujo ( $\pm 0,10$  unidades), volumen de inyección ( $\pm 0,10$  unidades) y composición de la fase móvil (40% de acetonitrilo + 60% de metanol, 45% de acetonitrilo + 55% de metanol, 50% de acetonitrilo + 50% de metanol). Las concentraciones de residuos de los analitos se evaluaron utilizando la prueba t de Student, con un nivel de significación establecido en un valor de  $p \leq 0,05$ .

### 2.5 Intervención didáctica

- *Prueba para la determinación de ideas previas.* A manera global se buscaba determinar qué sabían los estudiantes antes de la intervención en el aula. En el instrumento se hizo una breve descripción sobre lo que es la metodología de SPE y las variaciones miniaturizadas como la PT-SPE. El instrumento constó de 5 preguntas. Finalmente, para la evaluación de los resultados que se obtuvieron, se elaboró una matriz de valoración.
- *Exposición sobre la técnica PT-SPE y PT-C18-SPE.* Para esta fase de la intervención didáctica se realizó la descripción de las etapas de esta técnica de preparación de muestras, haciendo énfasis en las posibles ventajas de la técnica sobre la SPE convencional.

- *Procedimiento experimental para la determinación de esteroides por PT-C18-SPE-HPLC.* Para esta práctica de laboratorio se diseñó un procedimiento en el que se realizó la determinación de los analitos seleccionados empleando PT-C18-SPE como método de preparación de muestras. Esto teniendo en cuenta que se quería comparar la efectividad de la técnica en términos de recuperación de analitos, así como la funcionalidad del procedimiento de preparación de muestras en comparación con la técnica de SPE convencional. La práctica se llevó a cabo con siete grupos de 5 personas, en la que, cada grupo realizaba el proceso de determinación de los analitos por SPE y PT-SPE, posteriormente intercambiaban los procedimientos con el objetivo de determinar los analitos empleando ambas técnicas. Finalmente, los estudiantes debían entregar un informe en donde se evidenciarán los resultados de extracción por PT-C18-SPE.
- *Prueba de Salida.* Finalmente, se evaluaron los conocimientos adquiridos por los estudiantes durante todo el proceso además de evaluar la pertinencia de emplear una nueva metodología de preparación de muestras, desde la aplicación y diligenciamiento de un instrumento tipo cuestionario escrito para que constaba de 5 preguntas, todas abiertas. Luego de aplicar esta prueba, se procedió a la evaluación de cada una de las mismas con la ayuda de una rúbrica de evaluación para la presentación de los resultados.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

#### 3.1 Instrumentación y condiciones de separación

Se desarrolló un método en modo isocrático en fase reversa para la separación de esteroides de muestras de orina. Se utilizó metanol y acetonitrilo para la determinación simultánea de PGN, PRe y EsD en la matriz (orina), utilizando una columna Phenomenex® Gemini C18 (150 mm × 4,60 mm, 5 µm). Las condiciones se evaluaron utilizando la fase móvil compuesta de acetonitrilo y metanol (40+60 v/v), velocidad de flujo 0,85 mL min<sup>-1</sup>, temperatura 40 ° C, volumen de inyección 40 µL y longitud de onda 260 nm.

Las proporciones de la fase móvil fueron de acetonitrilo a 55% -45% respectivamente para obtener un ensayo rápido y simple con un tiempo de ejecución razonable, buena simetría, platos teóricos adecuados y una resolución aceptable con un tiempo de ejecución total de alrededor de 7 min. (Figura 3).

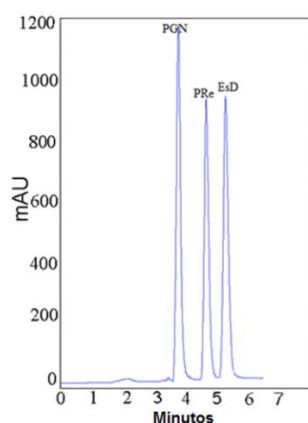


Figura 3. Cromatograma referente a la separación de los analitos estudiados

#### 3.2 Preparación de muestras empleando PT-C18-SPE

Para optimizar la extracción de PGN, PRe y EsD en muestras de orina mediante PT-C18-SPE, se evaluaron cinco parámetros tales como solvente de lavado, solvente de elución, cantidad de material (C18), volumen de muestra y eluyente. Se realizó una etapa de lavado después de 250 µL de carga de muestra. Se estudió el comportamiento de seis solventes con constante dieléctrica alta y baja: tetrahidrofurano (150 µL), agua ultrapura (150 µL), acetona (150 µL), hexano (150 µL), tolueno (150 µL) y cloroformo (150 µL). Los resultados presentaron bajas recuperaciones para todos los solventes de lavado, como se muestra en la Figura 4 y se resume en la Tabla 1. Estos datos mostraron que el agua eliminó la interferencia de la matriz con una baja recuperación.

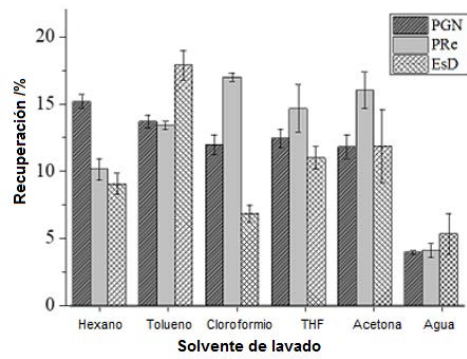


Figura 4. Efecto del Solvente de lavado

Tabla 1. Porcentajes de recuperación obtenidos por el efecto del solvente de lavado

| Solvente       | % De Recuperación |       |         |        |         |             |
|----------------|-------------------|-------|---------|--------|---------|-------------|
|                | THF               | Agua  | Acetona | Hexano | Tolueno | Cloroformio |
| <b>Analito</b> |                   |       |         |        |         |             |
| <i>PGN</i>     | 17,20%            | 5,50% | 16,30%  | 20,90% | 18,90%  | 16,30%      |
| <i>PRe</i>     | 20,30%            | 5,60% | 22,10%  | 14,00% | 18,50%  | 22,10%      |
| <i>EsD</i>     | 15,20%            | 7,10% | 16,40%  | 7,40%  | 24,70%  | 9,50%       |

Se estudió el efecto del solvente de elución para esteroides basado en el método cromatográfico desarrollado (Figura 5). Se usó metanol en la primera medición, obteniendo bajas recuperaciones para los analitos (Tabla 2). El metanol se acidificó con ácido acético y ácido fórmico en proporciones de (9+1 v/v) en ambos casos. La recuperación de los analitos es constante en el caso de ácido acético mezclado con metanol como se observa en la Tabla 2. Desde estos resultados, se procedió a acidular el acetonitrilo para mejorar la extracción con ácido acético en la proporción (7+3 v/v) y con ácido fórmico en proporción (9+1 v/v).

Se observó que la recuperación solo aumentó para PGN (72,1%) con acetonitrilo/ácido fórmico (9+1 v/v), concluyendo que el metanol acidificado favoreció la recuperación, en la que la proporción de ácido acético se varió para una mezcla de metanol y ácido acético (7+3 v/v), lo que aumentó la recuperación de PGN y EsD a 71,4% y 73,6%, respectivamente, manteniendo baja la recuperación de PRe. El metanol acidulado con ácido fórmico también se evaluó en proporción (5+1 v/v), siendo este disolvente el más adecuado porque las recuperaciones de todos los analitos fueron superiores al 67% (Tabla 2).

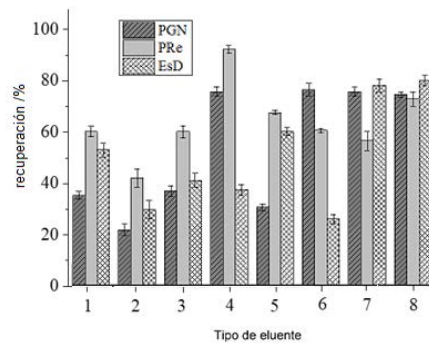


Figura 5. Efecto del Solvente de elución. Solventes de elución: (1) metanol, (2) acetonitrilo, (3) metanol: ácido acético (9+1, v/v), (4) metanol: ácido fórmico (9+1, v/v), (5) acetonitrilo: ácido acético (7+3, v/v), (6) acetonitrilo: ácido fórmico (9+1, v/v), (7) metanol: ácido acético (7+ 3, v/v), (8) metanol: ácido fórmico (5+1, v/v)

Tabla 2. Porcentajes de recuperación obtenidos por el efecto del solvente de elución

| Solvente       | % De Recuperación |              |   |   |  |  |   |   |
|----------------|-------------------|--------------|---|---|--|--|---|---|
|                | Metanol           | Acetonitrilo | metanol:<br>ácido acético<br>(9+1, v/v) | metanol:<br>ácido fórmico<br>(9+1, v/v) | acetonitrilo:<br>ácido acético<br>(7+3, v/v) | acetonitrilo:<br>ácido fórmico<br>(9+1, v/v) | metanol:<br>ácido acético<br>(7+3, v/v) | metanol:<br>ácido fórmico<br>(5+1, v/v) |
| <b>Analito</b> |                   |              |   |   |  |  |   |   |
| <i>PGN</i>     | 33,20%            | 25,50%       | 33,20%                                  | 71,40 %                                 | 38,90%                                       | 72,10%                                       | 71,40%                                  | 72,80%                                  |
| <i>PRe</i>     | 56,70%            | 39,60%       | 56,70%                                  | 86,90%                                  | 68,50%                                       | 62,10%                                       | 56,1%                                   | 70,30%                                  |
| <i>EsD</i>     | 49,00%            | 7,10%        | 49,00%                                  | 35,30%                                  | 34,70%                                       | 39,50%                                       | 33,60%                                  | 69,90%                                  |

Se evaluaron cinco parámetros para optimizar el volumen de eluyente (metanol/ácido fórmico (7+3, v/v)). Según los resultados (Figura 6), 50 µL no son suficientes para obtener una recuperación satisfactoria. Con la excepción del EsD que presenta una recuperación aceptable de alrededor del 65%, los otros analitos solo



eluyeron en cantidades inferiores al 40% (ver Tabla 3). Con 100  $\mu\text{L}$ , la recuperación es ligeramente mayor para el PRe y el EsD como se evidencia en la Tabla 3. Los resultados muestran que 200  $\mu\text{L}$  es una cantidad apropiada de solvente de elución ya que la recuperación se mantuvo constantes para volúmenes de 250  $\mu\text{L}$  de disolvente de elución (Tabla 3).

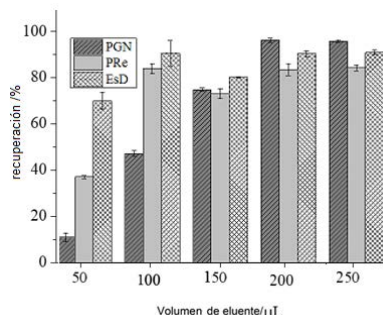


Figura 6. Efecto del Volumen de solvente de elución

Tabla 3. Porcentajes de recuperación obtenidos por el efecto del solvente de elución

| Volumen        | % De Recuperación |        |        |         |        |
|----------------|-------------------|--------|--------|---------|--------|
|                | 50                | 100    | 150    | 200     | 250    |
| <b>Analito</b> |                   |        |        |         |        |
| <i>PGN</i>     | 16,30%            | 25,50% | 70,40% | 89,60 % | 89,60% |
| <i>PRe</i>     | 39,80%            | 68,70% | 68,70% | 78,40%  | 78,40% |
| <i>EsD</i>     | 65,10%            | 75,40% | 75,40% | 84,90%  | 84,90% |

Se evaluaron algunas cantidades de C18: 10, 20, 30 y 40 mg. En la Figura 7 puede verse que la cantidad de 10 mg y 20 mg fue pobre para recuperar todos los analitos, para las que la recuperación permaneció por debajo del 50%. Con 30 mg, la recuperación mejoró sustancialmente para PGN y EsD, alcanzando recuperaciones cercanas al 70% y 60% respectivamente. 4 mg resultó ser la cantidad apropiada para la extracción de esteroides en la orina porque los resultados muestran que PGN alcanzó una recuperación cercana al 90%, para PRe 78,4% y para EsD 85,0%. El valor p (Tabla 3) confirma estadísticamente que la recuperación dependiendo de la cantidad de material es relevante y que el C18 está perfectamente adaptado a PT-SPE.

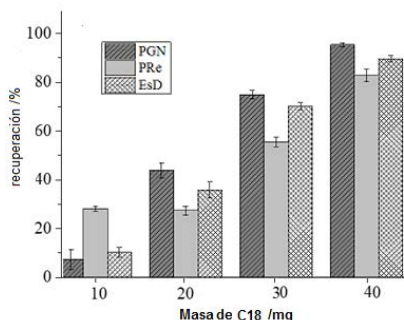


Figura 7. Efecto de la Cantidad de C18

El efecto del volumen de la muestra se estudió cargando PT-C18-SPE con 75, 150, 200 y 250  $\mu\text{L}$  de las muestras de orina fortificadas. Los resultados mostraron buenas recuperaciones empleando 200  $\mu\text{L}$  que muestran una recuperación de 90,4% para PGN, 78,4% para PRe y 84,9% para EsD. Por su parte, 250  $\mu\text{L}$  muestran una recuperación de 90,4% para PGN, 80,7% para PRe y 92,6% para EsD (Figura 8).

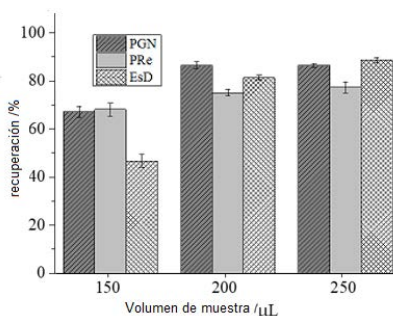


Figura 8. Efecto de la Cantidad de C18

### 3.3 Validación del método

Se analizaron las muestras en blanco, enriquecidas y reales. Los datos obtenidos para la selectividad no mostraron la presencia de interferencia en el mismo tiempo de retención de analitos, como se muestra en la Figura 9 (línea roja). La Tabla 4 muestra sus coeficientes de correlación ( $r$ ), coeficiente de determinación ( $R^2$ ), rango lineal, pendiente, porcentaje de desviación estándar relativa (RSD%) y las ecuaciones lineales, LOQ y porcentaje de error relativo (RE%) para el método utilizado, que están de acuerdo con las directrices para la validación de los métodos analíticos convencionales (Tabla 5). Los valores RSD% y RE% para la precisión y exactitud de los estudios intra e interdiarios fueron inferiores al 5% (Tabla 6). El método demostró ser robusto bajo las variaciones estudiadas (Tabla 7).

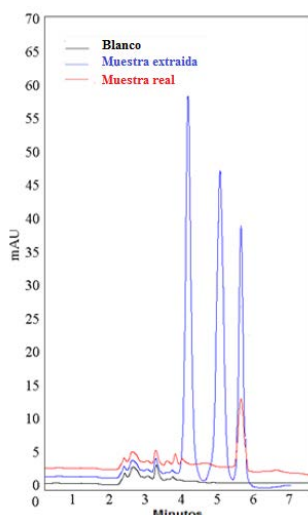


Figura 9. Cromatogramas referentes a la inyección de Blanco (línea negra), Muestras con patrones analíticos (línea azul), muestra real (línea Roja)

Tabla 4. Linealidad del método analítico en muestras de orina fortificadas

| Linealidad |                              |        |                                  |                      |
|------------|------------------------------|--------|----------------------------------|----------------------|
| Analitos   | Ecuación lineal <sup>a</sup> | $r$    | Intervalo (ng mL <sup>-1</sup> ) | RSD <sup>b</sup> (%) |
| PGN        | $y = 112.48x + 18207$        | 0.9985 | 16-1200                          | 2.49                 |
| PRe        | $y = 292.08x + 96726$        | 0.9956 | 16-1200                          | 3.89                 |
| ESD        | $y = 427.20x + 15250$        | 0.9988 | 16-1200                          | 2.08                 |

Tabla 5. Límite de cuantificación del método analítico en muestras de orina fortificadas

| Límite de cuantificación |                                |                                  |                      |                     |
|--------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------|---------------------|
| Analitos                 | Nominal (ng mL <sup>-1</sup> ) | Analizado (ng mL <sup>-1</sup> ) | RSD <sup>a</sup> (%) | RE <sup>b</sup> (%) |
| PGN                      | 16.00                          | 16.84                            | 1.61                 | 1.60                |
| PRe                      | 16.00                          | 16.39                            | 1.24                 | 1.59                |
| ESD                      | 16.00                          | 16.24                            | 1.17                 | 1.36                |

Tabla 6. Precisión y exactitud del método analítico para la determinación de esteroides

| Analitos                                       | PGN   |        |        | PRe   |        |        | ESD   |        |        |
|--|-------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|
|  | 40    | 200    | 800    | 40    | 200    | 800    | 40    | 200    | 800    |
| Concentración                                  |       |        |        |       |        |        |       |        |        |
| Nominal (ng mL <sup>-1</sup> )                 | 40    | 200    | 800    | 40    | 200    | 800    | 40    | 200    | 800    |
| Concentración analizada (ng mL <sup>-1</sup> ) |       |        |        |       |        |        |       |        |        |
|  | 38.11 | 205.58 | 795.73 | 37.74 | 203.00 | 801.07 | 52.24 | 187.31 | 797.69 |
| Precisión (RSD <sub>v</sub> , %)               |       |        |        |       |        |        |       |        |        |
|  | 0.84  | 0.34   | 0.34   | 1.14  | 7.83   | 1.92   | 1.08  | 1.57   | 2.55   |
| Error relativo (RE <sub>v</sub> , %)           |       |        |        |       |        |        |       |        |        |
|  | -4.71 | 2.79   | 0.53   | -5.66 | 1.50   | 0.13   | 3.59  | -1.35  | -0.29  |
| Concentración analizada (ng mL <sup>-1</sup> ) |       |        |        |       |        |        |       |        |        |
|  | 35.80 | 217.06 | 834.13 | 31.29 | 223.97 | 796.85 | 48.32 | 192.95 | 816.59 |
| Precisión (RSD <sub>v</sub> , %)               |       |        |        |       |        |        |       |        |        |
|  | 1.50  | 0.61   | 2.38   | 2.08  | 1.25   | 1.08   | 0.76  | 1.76   | 3.19   |
| Error relativo (RE <sub>v</sub> , %)           |       |        |        |       |        |        |       |        |        |
|  | -5.25 | 8.53   | 4.27   | -1.79 | 1.99   | -0.39  | 2.04  | -3.52  | 2.07   |

**Tabla 7.** Test de robustez para análisis de esteroides en orina

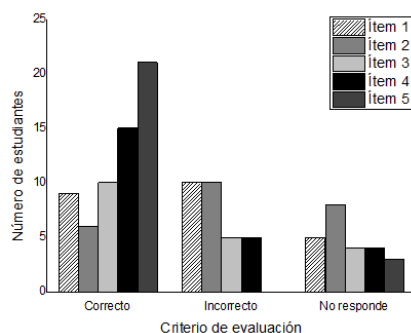
| Análisis                      | PGN                 |                      |                      | Pre                 |                      |                      | ESD                 |                      |                      |
|-------------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
|                               | <sup>a</sup> RE (%) | <sup>b</sup> RSD (%) | <sup>c</sup> p-value | <sup>a</sup> RE (%) | <sup>b</sup> RSD (%) | <sup>c</sup> p-value | <sup>a</sup> RE (%) | <sup>b</sup> RSD (%) | <sup>c</sup> p-value |
| Variaciones                   | 0.75                | 6.44                 | 3.55                 | 1.66                | 0.84                 |                      | 2.31                | 3.55                 |                      |
| Flujo (mL min <sup>-1</sup> ) | 0.85                | 0.98                 | 0.96                 | 0.41                | 0.18                 | 0.38                 | 0.10                | 1.39                 | 1.44                 |
|                               | 0.95                | 2.71                 | 1.73                 | 1.92                | 2.83                 |                      | 1.52                | 2.70                 |                      |
| Composición                   | 40:60               | 0.98                 | 0.72                 | 1.60                | -0.34                |                      | 1.33                | -0.66                |                      |
| Fase                          | 45:55               | 0.88                 | 2.49                 | 0.25                | 3.95                 | 1.82                 | 0.43                | 2.52                 | 1.53                 |
| Móvil                         | 50:50               | 3.84                 | 2.60                 | 1.58                | 1.52                 |                      | 2.06                | 3.22                 |                      |
| Inyección                     | 40:00               | 0.90                 | 2.55                 | 0.84                | 2.52                 |                      | 0.93                | 1.62                 |                      |
| De muestra (μL)               | 45:00               | 0.90                 | 2.49                 | 0.31                | 3.95                 | 1.82                 | 0.47                | 3.95                 | 1.53                 |
|                               | 50:00               | 3.40                 | 1.72                 | 2.64                | 1.25                 |                      | 3.76                | 1.64                 |                      |

### 3.4 Intervención didáctica

Se realizó la estrategia de intervención didáctica con un enfoque basado en los TPL aplicados a química. Desde la consulta guiada de los experimentos que involucraron y desafiaron a los estudiantes en todos los pasos del proceso experimental (búsqueda de literatura, planificación y realizando su propio experimento, y analizando y discutiendo datos experimentales), su comprensión de la se mejoraron los conceptos experimentales [35]. Por otro lado, las dos primeras fases de la intervención se guiaron para mejorar los modelos mentales de los estudiantes de los conceptos correspondientes a la práctica pretexto, ayudando a los estudiantes a comprender los conceptos clave en química especialmente a un nivel submicroscópico.

En ese orden de ideas las implicaciones para los instructores de laboratorio de preparación de muestras que simplemente implementan los experimentos pueden no ser suficiente para la comprensión de los conceptos de laboratorio a un nivel submicroscópico. Con base a lo anterior esta intervención mediante la práctica continua de experimentos junto con la indagación mejorarían las habilidades de investigación científica de los estudiantes en cuatro fases: 1) determinación de las ideas previas de los estudiantes mediante un instrumento para conocer qué sabían sobre la temática a trabajar; 2) exposición sobre extracción en fase sólida, técnicas miniaturizadas y metodologías de cuantificación por HPLC; 3) práctica de laboratorio titulada *extracción en fase sólida para la cuantificación de fármacos en muestras complejas*, realización de la práctica de laboratorio *cuantificación de esteroides por HPLC a partir de muestras de orina empleando extracción en fase solida adaptada en puntera*; y 4) realización de una evaluación final con la cual se comparó el cambio conceptual, respecto a la temática de SPE, con respecto al test de ideas previas.

La prueba de ideas previas mostró resultados importantes (Figura 9), en el ítem 1, nueve estudiantes refirieron que sucede al separar los componentes de un compuesto y de una mezcla, diez estudiantes presentaron ideas alternativas al no tener claridad acerca de la separación de mezclas y compuestos, en el ítem 2, seis estudiantes señalaron las diferencias entre un sistema binario y un sistema terciario, aludiendo las propiedades fisicoquímicas que caracterizan y definen cada sistema.



**Figura 9.** Resultados test de ideas previas

Cinco estudiantes no contestaron la pregunta, mientras que diez estudiantes no supieron explicar ni definir las características de un sistema binario o terciario, mostrando concepciones erróneas, refiriéndose más a propiedades extensivas que no definían nada de lo preguntado, en el ítem 3, para diez estudiantes el

proceso de adsorción es el que se lleva a cabo al escribir sobre el papel y supieron interpretar la figura. Cinco estudiantes complementaron sus respuestas diciendo que la tinta penetraba los poros del papel por lo que no evidencian un cambio conceptual, debido a la escasa diferenciación entre procesos a nivel microscópico y a nivel macroscópico.

En el Ítem 4 quince estudiantes indicaron correctamente el orden en que debían ubicar las sustancias de acuerdo a la instrucción dada, por lo que se puede afirmar que los conceptos de polaridad, fuerzas intermoleculares y elutropía están claros para la mayoría de la población muestreada. Cinco estudiantes erraron en el orden en el cual situar las sustancias. Finalmente, en el último ítem, diez estudiantes afirmaron que la extracción líquido-líquido es el método más apropiado y once señalaron que extracción en fase sólida, siendo la respuesta más apropiada debido a necesidad de mejorar la recuperación del analito, desde sus posibilidades de cuantificación.

En relación a los trabajos experimentales, La práctica uno que consistió en realizar una extracción en fase sólida, los estudiantes tenían los objetivos de la misma, junto con el material, el método y una solución a la práctica de laboratorio ya que se les facilitó todo el procedimiento, pero al final se les dejaron unas preguntas que debían responder según sus conocimientos o su motivación por encontrar una solución. Así, los ítems que fueron tenidos en cuenta para llevar a cabo la práctica fueron:

- *Parámetros de optimización.* En este ítem se evaluaba la optimización de los parámetros de preparación de muestras. Como se puede observar en la Tabla 8, los cinco grupos participantes cumplieron con su presentación en el informe.

**Tabla 8.** Rúbrica de evaluación para el informe de laboratorio *extracción en fase sólida para la cuantificación de fármacos en muestras complejas*

| ITEM                       | ¿QUE EVALUA?   | CRITERIO DE EVALUACIÓN   |   |            |            |              |
|----------------------------|--|--|---|------------|------------|--------------|
|                            |  | CORRECTO   | INCORRECTO  | FRECUENCIA |            |              |
|                            |  |  |   | CORRECTO   | INCORRECTO | NO REALIZADO |
| Parámetros de optimización | Adecuada presentación de ecuaciones de recuperación de analitos  | Presenta las ecuaciones de recuperación de analitos de forma correcta                | Presenta las ecuaciones de recuperación de analitos de forma incorrecta                 | 7/7        | 0/7        | 0/7          |
| Porcentaje de recuperación | Presentación del porcentaje de recuperación estadístico          | Evidencia el porcentaje de recuperación estadístico                                  | No evidencia el porcentaje de recuperación estadístico                                  | 6/7        | 1/7        | 0/7          |
| Procesos de extracción     | Presentación de los procesos de extracción en diagrama de bloque | El diagrama de muestra muestra una secuencia coherente de los procesos de extracción | El diagrama de muestra no muestra una secuencia coherente de los procesos de extracción | 6/7        | 1/7        | 0/7          |
| Cuestionario               | Desarrollo del cuestionario                                      | Desarrolla el cuestionario de forma correcta o con un punto mal                      | Desarrolla el cuestionario de forma incorrecta y con más de un punto mal                | 4/7        | 3/7        | 0/7          |

- *Porcentaje de recuperación.* Este ítem evaluaba la presentación en el informe la relación que permitiera evidenciar que los estudiantes comprendieron el concepto de Porcentaje de Recuperación y su relación con la obtención de los analitos. En la Tabla 8 se observa que los cinco grupos que participaron en el laboratorio cumplieron con este requisito para la presentación en el informe.
- *Procesos de extracción.* Se evaluaba la presentación de los procesos de extracción en diagrama de bloque, esto con el fin de que los estudiantes evidenciaran que habían comprendido el funcionamiento y el proceso que sigue la extracción en fase sólida. De los siete grupos que participaron en el laboratorio, seis cumplieron el requisito.
- *Cuestionario.* Se evaluaba el desarrollo de un cuestionario que constaba de 4 preguntas sobre conceptos como polaridad, elución, percolación y adsorbente, la diferencia entre técnicas de extracción miniaturizadas y de extracción convencionales. De los cinco grupos que participaron en el laboratorio dos cumplieron teniéndolo totalmente bien o una respuesta mal, y tres grupos fallaron en más de dos de las cuatro preguntas. Las preguntas en las que los estudiantes presentaron más problemas fueron

en la 3 (ya que se evidenció que no tenían claro el concepto de polaridad) y en la 4 (en donde no se tuvo claro el concepto de percolación).

Se evidenciaron resultados propios de una práctica de tipo expositiva en la que los estudiantes son poco exigidos. El principal inconveniente de esta modalidad de prácticas es su ineficacia de cara al cambio conceptual de los estudiantes, ya que solo se requieren procesos cognitivos de bajo orden y los estudiantes pasan más tiempo determinando si han conseguido o no los resultados correctos que planificando y organizando el experimento. Se realizó una segunda práctica, la cual tenía como finalidad observar el desenvolvimiento de los estudiantes en un contexto en el cual tenían que alcanzar un objetivo, indicando el instrumental a emplear y la metodología a desarrollar para resolver un problema con una solución abierta.

A continuación, se presentan los ítems que fueron tenidos en cuenta para la evaluación con su respectivo resultado (información complementaria Rúbrica de Evaluación para la *cuantificación de esteroides por HPLC a partir de muestras de orina empleando extracción en fase sólida adaptada en puntera*).

1. *Diseño experimental*. Se evaluaba la relación entre las variables y el procedimiento que debían seguir los estudiantes para la preparación de la muestra. Para ello se entregaba un problema y se les daba a los estudiantes un posible orden que podrían utilizar, pero que ellos podían escoger. Este ítem los estudiantes lo entregaban al iniciar la práctica. Los resultados que se obtuvieron fueron que dos de los siete grupos tenían bien el procedimiento y la forma apropiada de ejecutar la técnica de preparación de muestras.

2. *Manejo de datos*. Este ítem se subdividió en otros para su evaluación:

- *Determinación del porcentaje de recuperación*. Este ítem evaluaba que los estudiantes determinaran el porcentaje de recuperación por medio del método de adición estándar. En este apartado, se encontraron dificultades en los estudiantes en la medida que algunos de ellos no tenían habilidades en el manejo de Excel ®. Tan solo tres de los siete grupos de trabajo obtuvieron de forma correcta este cálculo lo que evidencia la problemática relacionada con la aplicación de ecuaciones y formulas.
- *Manejo estadístico*. Se evaluaba que los estudiantes aplicaran de forma correcta la estadística inferencial para el manejo de datos. Esto con el fin de obtener buenos parámetros de reproducibilidad, precisión, exactitud y robustez. De los siete grupos, cinco lo hicieron de forma correcta.
- *Análisis de resultados*. Se evaluaba la interpretación que los estudiantes le daban a los resultados que habían obtenido. En este caso, era fundamental que los estudiantes mencionaran los parámetros de precisión y exactitud al igual que comentaran cuales son las condiciones óptimas de preparación de muestras para obtener recuperaciones cercanas al 100%. También era importante mencionar el por qué en los cromatogramas aparecían otros picos y su interpretación. De los siete grupos, tan solo dos hicieron un adecuado análisis. Los restantes cinco grupos, aunque mencionaban para ellos que eran los otros picos, no podían hacer un análisis pertinente, debido a que sus resultados no se habían realizado de forma correcta.

Los datos obtenidos evidenciaron la presencia de falencias en cuanto a la presentación de los resultados, impidiendo realizar un adecuado análisis. Aunque esta práctica era de tipo intermedio, se encontraron resultados poco satisfactorios. Se cree que esto sucedió porque los estudiantes están acostumbrados a emplear procesos cognitivos de bajo orden, pero cuando se enfrentan a prácticas en las que se requieren procesos cognitivos de alto orden, se presentaron confusiones lo que deriva en resultados errados.

### 3.5 Prueba de salida

Teniendo en cuenta el trabajo experimental y el trabajo disciplinar, los estudiantes del grupo objetivo contaban con las herramientas suficientes para realizar la prueba de salida. Se evidenció un aumento significativo de las habilidades de los estudiantes para responder a las situaciones problemáticas con los

conocimientos adquiridos de SPE. La primera situación problema indagaba en los estudiantes respecto a la identificación de procesos de preparación de muestras específicos para un procedimiento en especial, diecinueve estudiantes respondieron de forma correcta, puesto que no había claridad en diferenciar exclusión molecular de extracción molecular que es un término que no es muy empleado y esta confusión de conceptos derivó en las respuestas erradas de los estudiantes (Figura 10).

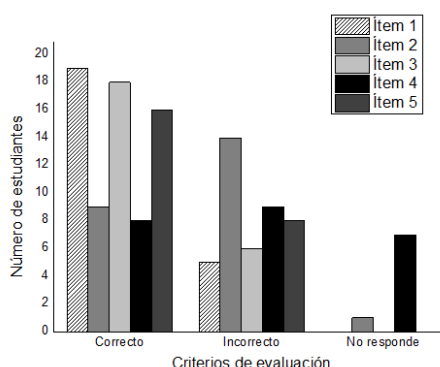


Figura 10. Resultados prueba de salida

Para el Ítem 2, nueve estudiantes respondieron de forma correcta sabiendo identificar el tipo de solvente que se debe utilizar para un sistema, para el que los materiales adsorbentes diferían mucho en su polaridad. Catorce estudiantes ignoraron la serie elutrópica y se inclinaron a responder bajo puntos de vista de soluciones orgánicas sin especificar la polaridad o el tipo de elución precisa para el sistema de extracción expuesto en la pregunta. En ítem 3 se preguntó por las ventajas de emplear solventes acidulados, para el que dieciséis estudiantes acertaron en su respuesta y ocho respondieron de forma incorrecta, evidenciando que no hay claridad en los conceptos concernientes a elución y a percolación.

En el ítem 4, ocho estudiantes respondieron de forma correcta, nueve de forma incorrecta y siete no respondieron. En este punto se evidenció que solo quienes tenían claridad sobre el sistema presentado pudieron sugerir de forma coherente cómo variar la polaridad de la fase móvil para eluir solutos con diferente polaridad. Finalmente en el Ítem 5 se indagó si el estudiante evidenciaba la diferencia entre adsorción y absorción. Dieciséis estudiantes contestaron de forma acertada, lo que confirma que hubo un adecuado cambio conceptual.

#### 4. CONCLUSIONES

En este trabajo, se desarrolló un método para multideterminación de esteroides en muestras de orina empleando HPLC-DAD. Tanto como el método y la técnica demostraron ser económicos, rápidos y fáciles de operar. Además, la PT-C18-SPE es un procedimiento ambientalmente correcto al utilizar cantidades mínimas de solvente orgánico ( $\mu\text{L}$ ) en el proceso de optimización de la preparación de la muestra con excelente eficiencia de extracción (alrededor del 90%) para PGN y EsD y un valor de 85% para PRE. Finalmente, la metodología mostró valores aceptables en el proceso de validación.

A través de los trabajos prácticos de laboratorio se promovió la adquisición de habilidades para métodos de preparación de muestras no convencionales, específicamente de extracción en fase sólida. Teniendo en cuenta las ideas previas de los estudiantes y en comparación a la prueba de salida en el grupo objetivo, se concluye que hubo un cambio conceptual significativo en lo tocante a la diferenciación entre absorción y adsorción. Realizando la comparación entre las ideas previas y la evaluación final del proceso en el cual se desarrolló este trabajo, se evidenció que el estudiante se familiarizó y amplió su conocimiento disciplinar al apropiarse de *nuevos métodos* de preparación de muestras como lo son los métodos miniaturizados, permitiendo un aumento significativo en el lenguaje químico, así como en la comprensión de conceptos estructurantes para su buen desempeño como profesional de la química.

No se evidenció una aproximación clara por parte de los estudiantes en relacionar los métodos cromatográficos con un contexto particular, pero si se obtuvieron resultados favorables en la práctica en donde se requerían procesos cognitivos de bajo orden; por otra parte, en la práctica de nivel de complejo,

se obtuvieron resultados muy bajos, ya que se requerían procesos cognitivos de alto orden. Dados los resultados poco favorables que se tuvieron en la práctica con procesos cognitivos de alto orden, es necesario redimensionar el papel del profesor en el sentido de hacerlo más activo, en la medida que acompañe y guíe permanentemente el proceso experimental.

## REFERENCIAS

- [1] Alcántara J. et al. (2018). Matrix-effect free multi-residue analysis of veterinary drugs in food samples of animal origin by nanoflow liquid chromatography high resolution mass spectrometry. *Food Chemistry* 245, 29-38.
- [2] Amiri A. y Ghaemi F. (2017). Microextraction in packed syringe by using a threedimensional carbon nanotube/carbon nanofiber-graphene nanostructure coupled to dispersive liquid-liquid microextraction for the determination of phthalate esters in water samples. *Microchimica Acta* 184, 3851-3848
- [3] Angulo D. et al. (2018). Pipette-tip solid-phase extraction using polypyrrole as efficient adsorbent for extraction of avermectins and milbemyctins in milk. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 410, 3361-3374
- [4] Bostan I. et al. (2015). Aprendiendo divisores digitales de frecuencia de frecuencia a través de actividades prácticas de laboratorio. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 180, 1014-1021.
- [5] Chen W. et al. (2016). The discovery laboratory – A student-centred experiential learning practical: Part I – Overview. *Education for Chemical Engineers* 17, 44-53.
- [6] Chiesa L. et al. (2016). Detection of selected corticosteroids and anabolic steroids in calf milk replacers by liquid chromatography-electrospray ionization-tandem mass spectrometry. *Food Control* 61, 196-203.
- [7] Dănescu E. (2015). Intercultural education from the perspective of training didactic competences. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 180, 537-542.
- [8] Do Nascimento T. et al. (2018). Efficient removal of antiinflammatory phenylbutazone from an aqueous solution employing a composite material based on poly(aniline-co-pyrrole)/multi-walled carbon nanotubes. *New Journal of Chemistry* 42, 7030-7042.
- [9] Dönmez N. y Ayas A. (2010). Common misconceptions in nuclear chemistry unit. *Procedia Social and Behavioral Sciences* 1432-1436.
- [10] Franco R. et al. (2017). Los trabajos prácticos de laboratorio en la enseñanza de las ciencias: tendencias en revistas especializadas: 2012-2016. *Revista de la Facultad de Ciencia y Tecnología-Tecné, Episteme y Didaxis* 37-56.
- [11] Gañán J. et al. (2016). One-pot synthesized functionalized mesoporous silica as a reversed-phase sorbent for solidphase extraction of endocrine disrupting compounds in milks. *Journal of Chromatography A* 1(428), 228-235.
- [12] Ghibaudi E. et al. (2016). Didattica Della Chimica E Trasposizione Didattica Parte prima – I fondamenti teorici di una prassi Chemistry teaching and didactic transposition - Part one: Theoretical foundations of a praxis. *Perspectives in Science* 10, 19-27.
- [13] Hassan E. et al. (2015). Enseñanza y aprendizaje de la ciencia experimental: el caso de la química en la calificación secundaria Marruecos. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 191, 2246-2249.
- [14] Hernández G. (2012). Enseñanza experimental. ¿Cómo y para qué? *Educación Química* 92-95.
- [15] Jiang Y. et al. (2018). Application of metalorganic framework MIL-101(Cr) tomicroextraction in packed syringe for determination of triazineherbicides in corn samples by liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A* 1574, 36-41.
- [16] Kampelmann S. et al. (2018). Curating complexity: An artful approach for real-world system transitions. *Environmental Innovation and Societal Transitions* 27, 59-71.
- [17] Li N. et al. (2015). Determination of steroid hormones in milk using aqueous two-phase extraction coupled to liquid chromatography. *Analytical Methods* 7, 2514-2522.
- [18] Liu H. et al. (2017). Simultaneous determination of anabolic steroids and  $\beta$ -agonists in milk by QuEChERS and ultra-high performance liquid chromatography tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography B* 1043, 176-186
- [19] Nezhadali A. et al. (2016). Selective extraction of progesterone hormones from environmental and biological samples using a polypyrrole molecularly imprinted polymer and determination by gas chromatography. *Analytical Methods* 4 1813-1827.
- [20] Özmen H. et al. (2009). The effects of conceptual change texts accompanied with animations on overcoming 11th grade students' alternative conceptions of chemical bonding. *Computers & Education* 52, 681-695.
- [21] Pelit F. et al. (2015). A novel polythiophene – ionic liquid modified clay composite solid phase microextraction fiber: preparation, characterization and application to pesticide analysis. *Analytica Chimica Acta* 859, 37-45.
- [22] Ponzetto F. et al. (2017). High-resolution mass spectrometry as an alternative detection method to tandem mass spectrometry for the analysis of endogenous steroids in serum. *Journal of Chromatography B* 1052, 34-42.
- [23] Qing Z. et al. (2010). Developing critical thinking disposition by task-based learning in chemistry experiment teaching. *Procedia Social and Behavioral Sciences* 2, 4561-4570.
- [24] Razmkhah K. et al. (2018). Extraction and determination of three steroid molecules in milk using functionalized magnetic carbon nanotubebased solid phase extraction coupled with HPLC. *Food Anal. Method.* 11, 3179-3189.

- [25] Rojas A. y Ramírez M. (2005). La enseñanza experimental de la Química General y la Química Analítica desde México en el último cuarto del siglo xx. *Educación química*.
- [26] Sevian H. y Fulmer G. (2012). Student outcomes from innovations in undergraduate chemistry laboratory learning. *Educación Química* 149-161.
- [27] Sudhoff M. et al. (2020). A Systematic analysis of learning factories in germany - Concepts, production processes, didactics. *Procedia Manufacturing* 45, 114-120.
- [28] Supasorn S. (2012). Enhancing undergraduates' conceptual understanding of organic acid-base-neutral extraction using inquiry-based experiments. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 46, 4643 - 4650.
- [29] Yang L. et al (2017). Sorbent, device, matrix and application in microextraction by packed sorbent (MEPS): A review. *Journal of Chromatography B* 1043, 33-43.



# Análisis de resultados de la inteligencia emocional en estudiantes universitarios para futuras investigaciones del desarrollo cognitivo

Jéssica Viviana Chuqui Navas<sup>1</sup>  
Lisbeth Estefanía Córdova Ordoñez<sup>2</sup>  
Patricia Gabriela Loja Chicaiza<sup>3</sup>  
Pedro Daniel Cadena Nogales<sup>4</sup>  
Carlos Vicente Llerena Aguilar<sup>5</sup>  
*Universidad Regional Amazónica Ikiam*  
Ecuador

La importancia de saber cómo manejar las emociones y dejar que influyan significativamente en la vida es la motivación de esta investigación, la cual se centra en la importancia que tiene la inteligencia emocional en los estudiantes de la Universidad Regional Amazónica Ikiam, Ecuador. El trabajo se lleva a cabo mediante una metodología cuantitativa y cualitativa a partir de un diseño transversal, con una muestra constituida por 65 estudiantes. Se pretende analizar el nivel de Inteligencia Emocional IE, para lo cual se utilizó como herramienta la escala de medición Trait Meta-Mood Scale TMMS-24, para el análisis de los resultados se utilizó el programa IBM SPSS Statistics para obtener el valor del Alfa de Cronbach que corrobora la fiabilidad del test general, así como para cada uno de los parámetros: atención, claridad y reparación. Se evidencia que no existen diferencias significativas entre la inteligencia emocional de los hombres y las mujeres, sin embargo, se observa que la capacidad de regulación de los sentimientos es adecuada en los hombres y debe mejorar en las mujeres; el análisis global indica que la inteligencia emocional se encuentra dentro del rango medio, por lo cual se sugiere ampliar la muestra de participantes y, con datos sólidos, trabajar en una educación integral en la universidad que tome en cuenta la inteligencia emocional de los estudiantes.

---

<sup>1</sup> Estudiante de Licenciatura en Ciencias Experimentales.  
Contacto: [jessica.chuqui@est.ikiam.edu.ec](mailto:jessica.chuqui@est.ikiam.edu.ec)

<sup>2</sup> Estudiante de Licenciatura en Ciencias Experimentales.  
Contacto: [lisbeth.cordova@est.ikiam.edu.ec](mailto:lisbeth.cordova@est.ikiam.edu.ec)

<sup>3</sup> Estudiante de Licenciatura en Ciencias Experimentales.  
Contacto: [patricia.loja@est.ikiam.edu.ec](mailto:patricia.loja@est.ikiam.edu.ec)

<sup>4</sup> Magíster en Investigación en Didáctica de la enseñanza.  
Contacto: [pedro.cadena@ikiam.edu.ec](mailto:pedro.cadena@ikiam.edu.ec)

<sup>5</sup> Magíster en Enseñanza de la matemática.  
Contacto: [carlos.llerena@ikiam.edu.ec](mailto:carlos.llerena@ikiam.edu.ec)

## 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos 25 años la Inteligencia Emocional IE ha emergido como un concepto de gran relevancia en la regulación emocional, la felicidad personal, el tener éxito en la vida y también tener relaciones interpersonales en diversos contextos de la vida cotidiana. acerca de este tema Reyes, afirma que *la inteligencia emocional incorpora los aspectos importantes de las relaciones interpersonales e intrapersonales, la adaptabilidad, los estados de ánimo y las habilidades de manejo del estrés, que tienen un profundo efecto en el rendimiento académico de los estudiantes* [1].

Del mismo modo Pozo afirma *que la Inteligencia Emocional incluye dos habilidades relevantes: 1. la capacidad de reconocer las emociones propias y la de los demás, así como 2. la capacidad de utilizar esta información para resolver conflictos y mejorar las interacciones con los demás* [2], es así que la inteligencia emocional facilita una lente que nos permite comprendernos y examinarnos y de la misma manera al mundo social que estamos involucrados.

La inteligencia emocional tiene la capacidad de percibir y expresar emociones del mismo modo facilitar el pensamiento, la comprensión, el razonamiento y la regulación de las propias emociones y las de los demás, por otro lado si nuestra inteligencia es alta, nos permite conectarnos con diferentes personas, comunicarnos, y también nos ayuda a resolver conflictos y expresar sentimientos, por lo que podemos resaltar nuestras habilidades de trabajo en equipo y adoptar una actitud empática y social, lo que nos brindará mayores posibilidades de desarrollo personal, por lo tanto, la inteligencia emocional ayuda a comprender mejor nuestros sentimientos.

En el campo de la educación, la inteligencia emocional juega un papel importante considerando que cada estudiante es un ser en proceso de formación, no se debe olvidar que a más de enseñar conocimientos y desarrollar habilidades cognitivas, se debe enseñar habilidades para enfrentar y dar solución a problemas cotidianos, es por eso que la inteligencia emocional dentro del ámbito educativo contribuye a crear estrategias pedagógicas permitiendo motivar asertivamente la personalidad del estudiante, por otro lado, en este siglo las escuelas tienen una doble misión de educar tanto la cabeza como el corazón, es decir lo académico como lo emocional, teniendo una gran importancia evaluar y conocer cómo se encuentra la inteligencia emocional de los estudiantes como primer paso que la universidad pueda tomar acciones concretas para mejorar la educación integral de sus estudiantes.

Fernández y Extremera afirman que *La IE se considera una habilidad centrada en el procesamiento de la información emocional que unifica las emociones y el razonamiento, permitiendo utilizar nuestras emociones para facilitar un razonamiento más efectivo y pensar de forma más inteligente sobre nuestra vida emocional* [5], es decir que la inteligencia emocional parece cobrar fuerza en todos los ámbitos humanos, como el educativo, el laboral, el hogar y el ámbito personal y el desarrollo de cada profesional en su entorno.

Como lo afirma Naranjo, la vida emocional es la que nos impulsa a comportarnos, percibir y actuar de determinada manera, del mismo modo la inteligencia emocional se basa en cómo cada ser humano experimenta sus emociones: habla de las cinco emociones básicas que emergen desde sus perspectivas, y esas son reacciones primitivas que los humanos compartimos con los mamíferos, a diferencia de nosotros los humanos que somos conscientes de ellas, sabemos cómo sentir. Tales emociones implican algún tipo de supervivencia esto es denominado Manejo de Sentimientos Básicos MATEA [6]:

- *Miedo*: el objetivo es la protección y el cuidado
- *Afecto*: el objetivo es la vinculación
- *Tristeza*: el objetivo es el retiro. Cuando sentimos tristeza nuestro organismo nos está diciendo *retírate de ahí y vuelve a estar contigo*
- *Enojo*: el objetivo es la defensa
- *Alegría*: su objetivo es la vivificación. Viene a ser la batería de nuestra existencia

## 2. MÉTODO

La investigación muestra un diseño no experimental puesto que las variables no han sido manipuladas, de tal manera que solo se centra en la observación y análisis del fenómeno tal y como está en el contexto sin realizar ninguna modificación. Tiene un enfoque descriptivo cualitativo y cuantitativo ya que busca la obtención y el análisis de los datos que fueron recogidos. Para este estudio se utilizó el test de autoinforme TMMS-24 inteligencia emocional [8], siendo un test validado y ampliamente utilizado [7], para estudiar y comparar los resultados de inteligencia emocional, en este estudio se tomó una muestra de estudiantes de las distintas carreras de la Universidad Regional Amazónica IKIAM, ejecutada por estudiantes de séptimo semestre de la carrera de Educación en Ciencias Experimentales.

Para la recopilación de información se utilizó la herramienta Google forms que nos permite realizar test de opción múltiple, el cual fue aplicado a 65 estudiantes de diferentes carreras con un nivel superior a cuarto semestre de la Universidad Amazónica Regional Ikiam. Así como también se utilizó el software IBM SPSS Statistics es una aplicación de análisis estadísticos de datos con la finalidad de analizar las medias, promedios, alfa de Cronbach, T-test y diferentes tablas cruzadas de las 3 dimensiones que se analizan en este test y las cuales mencionamos a continuación.

El test está integrado de 24 ítems el cual es evaluada en 3 dimensiones: atención, claridad y reparación (Tabla 1), que son claves para la inteligencia emocional y se describen de la siguiente manera de acuerdo con cada una de las 24 preguntas establecidas. Los ítems se puntúan en una escala tipo Likert de 5 puntos.

**Tabla 1.** TMMS-24 (Trait Meta-Mood Scale)

|     | Frase (F)   | Nada de acuerdo | Algo de acuerdo | Bastante de acuerdo | Muy de acuerdo | Totalmente de acuerdo |
|-----|---|-----------------|-----------------|---------------------|----------------|-----------------------|
| 1.  | Presto mucha atención a los sentimientos.                                     |                 |                 |                     |                |                       |
| 2.  | Normalmente me preocupo mucho por lo que siento.                              |                 |                 |                     |                |                       |
| 3.  | Normalmente dedico tiempo a pensar en mis emociones.                          |                 |                 |                     |                |                       |
| 4.  | Pienso que merece la pena prestar atención a mis emociones y estado de ánimo. |                 |                 |                     |                |                       |
| 5.  | Dejo que mis sentimientos afecten a mis pensamientos.                         |                 |                 |                     |                |                       |
| 6.  | Pienso en mi estado de ánimo constantemente.                                  |                 |                 |                     |                |                       |
| 7.  | A menudo pienso en mis sentimientos.  |                 |                 |                     |                |                       |
| 8.  | Presto mucha atención a cómo me siento.                                       |                 |                 |                     |                |                       |
| 9.  | Tengo claros mis sentimientos.  |                 |                 |                     |                |                       |
| 10. | Frecuentemente puedo definir mis sentimientos.                                |                 |                 |                     |                |                       |
| 11. | Casi siempre sé cómo me siento.   |                 |                 |                     |                |                       |
| 12. | Normalmente conozco mis sentimientos en diferentes situaciones.               |                 |                 |                     |                |                       |
| 13. | A menudo me doy cuenta de mis sentimientos en diferentes situaciones.         |                 |                 |                     |                |                       |
| 14. | Siempre puedo decir cómo me siento.   |                 |                 |                     |                |                       |
| 15. | A veces puedo decir cuáles son mis sentimientos.                              |                 |                 |                     |                |                       |
| 16. | Puedo llegar a comprender mis sentimientos.                                   |                 |                 |                     |                |                       |
| 17. | Aunque a veces me siento triste, suelo tener una visión optimista.            |                 |                 |                     |                |                       |
| 18. | Aunque me sienta mal, procuro pensar en cosas agradables.                     |                 |                 |                     |                |                       |
| 19. | Cuando estoy triste, pienso en todos los placeres de la vida.                 |                 |                 |                     |                |                       |
| 20. | Intento tener pensamientos positivos, aunque me sienta mal.                   |                 |                 |                     |                |                       |
| 21. | Si doy demasiadas vueltas a las cosas, complicándose, trato de calmarme.      |                 |                 |                     |                |                       |
| 22. | Me preocupo por tener un buen estado de ánimo.                                |                 |                 |                     |                |                       |
| 23. | Tengo mucha energía cuando me siento feliz.                                   |                 |                 |                     |                |                       |
| 24. | Cuando estoy enfadado intento cambiar mi estado de ánimo.                     |                 |                 |                     |                |                       |

Cada estudiante recibió el cuestionario con el mensaje: *A continuación, encontrará algunas afirmaciones sobre sus sentimientos. Lea atentamente cada frase e indique por favor el grado de acuerdo o desacuerdo con respecto a las mismas. Señale con una "X" la respuesta que más se aproxime a sus preferencias. No hay respuestas correctas o incorrectas, ni buenas o malas. No emplee mucho tiempo en cada respuesta.*

Los 24 ítems forman 3 escalas (8 preguntas por cada escala) la atención, la claridad y la reparación (Tabla 2). La atención (percepción emocional) se relaciona con la capacidad para percibir y expresar los sentimientos de manera adecuada, la claridad (comprensión de sentimientos) consiste en situarse en el lugar del otro y ser consciente de sus sentimientos y la reparación (regulación emocional) es la capacidad de dominio de sí mismo o autocontrol.

**Tabla 2.** Componentes de Identificadores de Emociones IE

|            |  |
|------------|--|
| Atención   | Soy capaz de atender a los sentimientos de forma adecuada      |
| Claridad   | Comprendo bien mis estados emocionales                         |
| Reparación | Soy capaz de regular los estados emocionales de forma adecuada |

En la Tabla 3 se muestran las diferentes variables que forman parte de esta investigación, las cuales fueron analizadas de forma individual (la capacidad de reparación, la claridad y la atención), de igual manera se realizó el análisis de cada uno de los componentes de la inteligencia emocional por género obteniendo los siguientes resultados.

**Tabla 3.** Operacionalización de variables

| Código | Variable      | Tipo                | Descripción   |
|--------|---------------|---------------------|---|
| 1.     | Sexo          | Categoría - Nominal | Masculino - Femenino                                  |
| 2.     | Carrera       | Categoría - Nominal | 7 Carreras de la Universidad Regional Amazónica IKIAM |
| 3.     | IE Atención   | Categoría - Nominal | Atención a las emociones                              |
| 4.     | IE Claridad   | Categoría - Nominal | Comprensión de las emociones                          |
| 5.     | IE Reparación | Categoría - Nominal | Regulación de las emociones                           |

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Primeramente, se calculó el coeficiente alfa de Cronbach del test aplicando el software SPSS aplicado al cuestionario en general, se obtuvo un valor de 0,913, que nos indica un buen nivel de fiabilidad, de igual manera se analiza el Alfa de Cronbach para cada el conjunto de preguntas que representan cada uno de los parámetros: atención, claridad y reparación teniendo valores de 0,894 – 0,899 y 0,868 respectivamente lo que me indica un buen nivel de fiabilidad de cada uno de los parámetros analizados.

Se realizó la prueba de T-test para cada uno de los identificadores de emociones atención, claridad y reparación comparando el valor de cada identificador de acuerdo con el sexo de los participantes (hombres y mujeres) obteniendo los siguientes resultados.

Para la atención (capacidad de atender a cada una de las emociones) obtuvimos un valor de significancia bilateral de 0,182 (Tabla 4).

**Tabla 4.** T-test parámetro de atención por género

|               |                                | Prueba de Levene de igualdad de varianzas |      | prueba t para la igualdad de medias |        |                  |                      |                              | 95% de intervalo de confianza de la diferencia |          |
|---------------|--------------------------------|---|------|-------------------------------------|--------|------------------|----------------------|------------------------------|--|----------|
|               |                                | F   | Sig. | t                                   | gl     | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias | Diferencia de error estándar | Inferior                                       | Superior |
| Suma atención | Se asumen varianzas iguales    | ,051                                      | ,821 | 1,350                               | 63     | ,182             | 2,413                | 1,787                        | -1,158   | 5,984    |
|               | No se asumen varianzas iguales |   |      | 1,352                               | 62,799 | ,181             | 2,413                | 1,785                        | -1,154   | 5,980    |

Para la claridad (capacidad de comprender las emociones) obtuvimos un valor de significancia bilateral de 0,512 (Tabla 5).

**Tabla 5.** T-test parámetro de claridad por género

|               |                                | Prueba de Levene de igualdad de varianzas |      |       |        | prueba t para la igualdad de medias |                      |                              |          | 95% de intervalo de confianza de la diferencia |  |
|---------------|--------------------------------|---|------|-------|--------|-------------------------------------|----------------------|------------------------------|----------|--|--|
|               |                                | F   | Sig. | t     | gl     | Sig. (bilateral)                    | Diferencia de medias | Diferencia de error estándar | Inferior | Superior                                       |  |
| Suma claridad | Se asumen varianzas iguales    | ,103                                      | ,750 | -,660 | 63     | ,512                                | -1,096               | 1,660                        | -4,413   | 2,221  |  |
|               | No se asumen varianzas iguales |   |      | -,660 | 62,948 | ,512                                | -1,096               | 1,660                        | -4,413   | 2,221  |  |

Para la regulación (capacidad para regular las emociones) obtuvimos un valor de significancia bilateral de 0,395 (Tabla 6).

**Tabla 6.** T-test parámetro de regulación por género

|                 |                                | Prueba de Levene de igualdad de varianzas |      |       |        | prueba t para la igualdad de medias |                      |                              |          | 95% de intervalo de confianza de la diferencia |  |
|-----------------|--------------------------------|---|------|-------|--------|-------------------------------------|----------------------|------------------------------|----------|--|--|
|                 |                                | F   | Sig. | t     | gl     | Sig. (bilateral)                    | Diferencia de medias | Diferencia de error estándar | Inferior | Superior                                       |  |
| Suma reparación | Se asumen varianzas iguales    | ,116                                      | ,735 | -,856 | 63     | ,395                                | -1,451               | 1,695                        | -4,837   | 1,936  |  |
|                 | No se asumen varianzas iguales |   |      | -,855 | 62,042 | ,396                                | -1,451               | 1,697                        | -4,843   | 1,942  |  |

Para este análisis tomamos en cuenta la distribución de participantes teniendo un 50,8% hombres y 49,2% mujeres (Tabla 7).

**Tabla 7.** Sexo de los encuestados

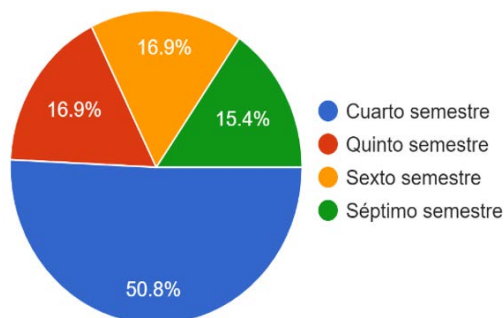
|         | Número | Porcentaje |
|---------|--------|------------|
| Hombres | 33     | 50,8       |
| Mujeres | 32     | 49,2       |
| Total   | 65     | 100        |

Los porcentajes de encuestados distribuidos de acuerdo a la carrera que estudian se ven en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Carrera de encuestados

|               | Frecuencia | Porcentaje |
|---------------|------------|------------|
| Arquitectura  | 3          | 4,6        |
| Hidrología    | 6          | 9,2        |
| Ecosistemas   | 8          | 12,3       |
| Biotecnología | 22         | 33,8       |
| Agroecología  | 5          | 7,7        |
| Geociencias   | 9          | 13,8       |
| Biocomercio   | 12         | 18,5       |
| Total         | 65         | 100        |

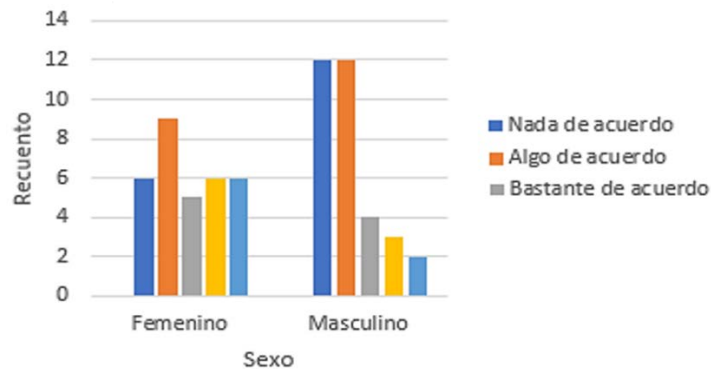
En la Figura 1 se observa la distribución de la muestra por nivel académico.



**Figura 1.** Distribución de la muestra según su carrera

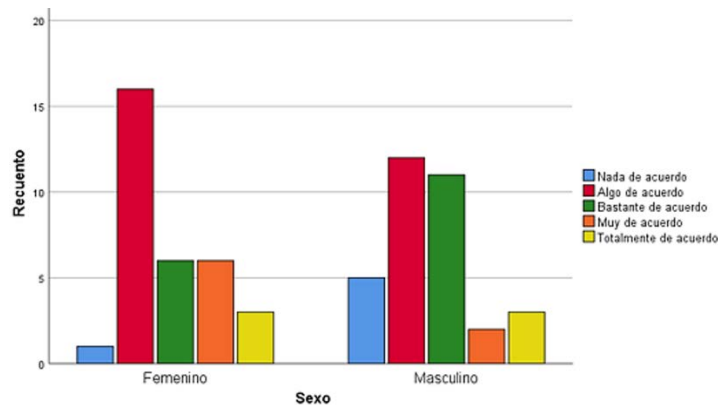
Se analizaron preguntas relevantes con respecto a las tres dimensiones de TMMS-24 para comprender la diferencia de resultados en distintos aspectos en cuanto a cómo identifican, comprenden y regulan sus emociones:

- *¿Dejo que mis sentimientos afecten a mis pensamientos?* De la Figura 2 se infiere que la mayoría de los hombres o está nada de acuerdo con dejar que sus emociones afecten sus pensamientos o algo de acuerdo con que sus sentimientos afecten sus pensamientos. Mientras que algunas mujeres en su mayoría están algo de acuerdo con dejar que sus sentimientos afecten pensamientos.



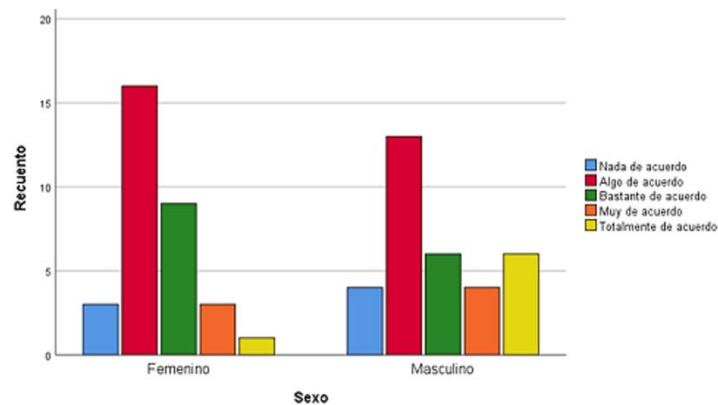
**Figura 2.** Relación entre el sexo y si afectan sus sentimientos en sus pensamientos

- *¿Presto mucha atención a cómo me siento?* De acuerdo a los datos arrojados en la gráfica por SPSS (Figura 3), se deduce que las mujeres prestan más atención a cómo se sienten en comparación con los hombres y en general la población que está *algo de acuerdo* en prestar atención a cómo se sienten que representan un porcentaje del 43,1%.



**Figura 3.** Relación entre el sexo y la atención a sus sentimientos

- *¿Tengo claros mis sentimientos?* Como se evidencia en la Figura 4, la mayoría de hombres y mujeres están algo de acuerdo en tener claros sus sentimientos, siendo en mayor número la cantidad de mujeres en comparación con los hombres.



**Figura 4.** Relación entre el sexo y que tan claros tiene sus sentimientos

- *¿Puedo llegar a comprender mis sentimientos?* A partir de la Figura 5 se infiere que la mayoría de mujeres y hombres están algo de acuerdo en comprender sus sentimientos, siendo mayor el número de mujeres que hombres.

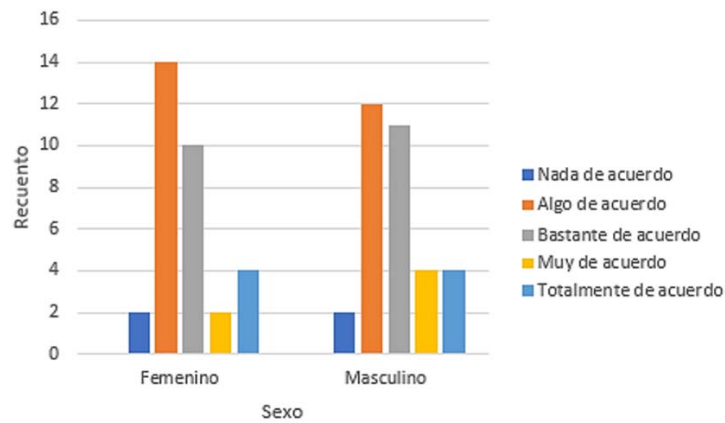


Figura 5. Relación entre sexo y cuanto comprenden sus sentimientos

- *¿Aunque me sienta mal, procuro pensar en cosas agradables?* Los resultados reflejados en la Figura 6 evidencian que la mayoría de hombres y mujeres están bastante de acuerdo en procurar pensar en cosas agradables cuando se sienten mal, aun así, es mayor la cantidad de mujeres que hombres que piensan de esta manera.

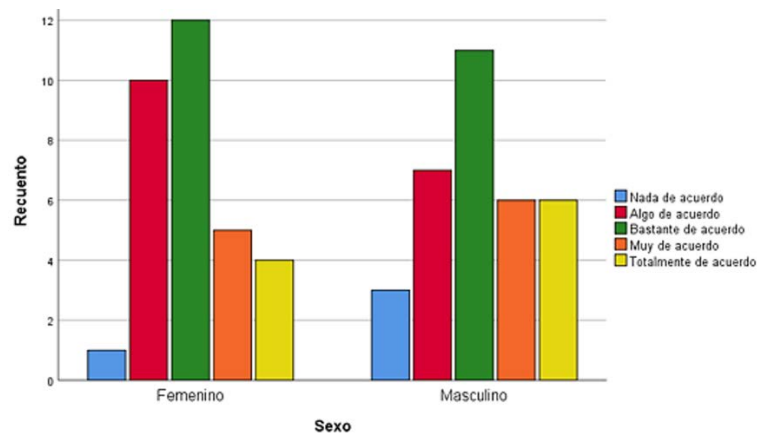


Figura 6. Relación entre sexo y si piensan en cosas agradables cuando se sienten mal

- *¿Me preocupo por tener un buen estado de ánimo?* En la Figura 7 se observa que la mayoría de hombres está de acuerdo en preocuparse por tener un buen estado de ánimo siendo mayor el número que las mujeres; Además, el número de hombres que están nada de acuerdo es mayor que el de las mujeres.

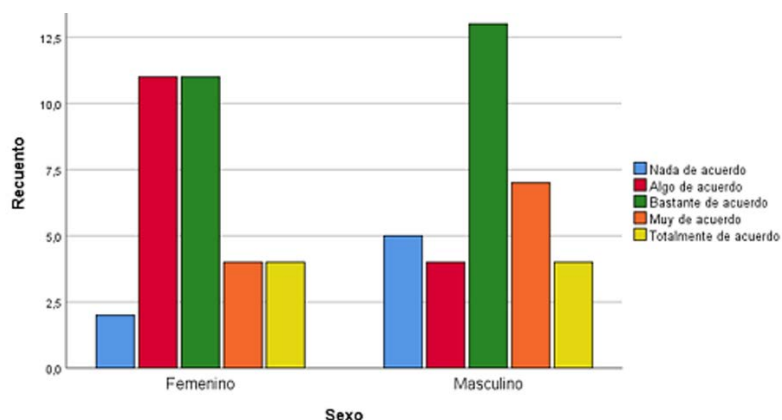


Figura 7. Relación entre sexo y preocupación en tener mejor estado de ánimo

A continuación, se analiza la media de acuerdo a las dimensiones y sexo de la población encuestada. Con los ítems del test se suman las puntuaciones de cada de unas dimensiones, según los valores que encontramos en la Tabla 3, cuyo puntaje va desde el más bajo que es 8, hasta el más alto que son 40 puntos para realizar el análisis, se comparan los valores obtenidos con la Tabla 9 [7], que indican el nivel de cada una de las dimensiones (debe mejorar – adecuada – excelente).

**Tabla 9.** Baremación prueba TMMS-24

| Variable (dimensión) | Debe mejorar | Adecuada | Excelente |
|----------------------|--------------|----------|-----------|
| Atención Hombres     | <21          | 22 - 32  | >33       |
| Atención Mujeres     | <24          | 25 - 35  | >36       |
| Claridad Hombres     | <25          | 26 -35   | >36       |
| Claridad Mujeres     | <23          | 24 - 34  | >35       |
| Reparación Hombres   | <23          | 24 - 35  | >36       |
| Reparación Mujeres   | <23          | 24 - 34  | >35       |

En cuanto a la atención y redondeando la media del sexo femenino a 23 y el masculino a 20 se observa que tanto los hombres como las mujeres están dentro del rango debe mejorar siendo la atención la capacidad para percibir y expresar los sentimientos de manera adecuada se evidencia que todos los participantes de la encuesta deben mejorar este parámetro.

**Tabla 10.** Media del componente atención

| Sexo      | Media | N  | Desv. Desviación |
|-----------|-------|----|------------------|
| Femenino  | 22,63 | 32 | 6,876            |
| Masculino | 20,21 | 33 | 7,507            |
| Total     | 21,40 | 65 | 7,250            |

Para la claridad se redondea las medias de la Tabla 11 y se observa que las mujeres con una puntuación de 22 y los hombres con 23, encontrándose en la escala de deben mejorar. La claridad hace referencia a situarse en el lugar del otro y ser consciente de sus sentimientos por lo cual es un parámetro en el que deben trabajar todos los participantes.

**Tabla 11.** Media del componente claridad

| Sexo      | Media | N  | Desv. Desviación |
|-----------|-------|----|------------------|
| Femenino  | 21,84 | 32 | 6,682            |
| Masculino | 22,94 | 33 | 6,699            |
| Total     | 22,40 | 65 | 6,661            |

De acuerdo con los datos de la Tabla 12 se analiza que el sexo femenino con un puntaje de 23 debe mejorar en cuanto a la regulación de sus sentimientos, sin embargo, el sexo masculino muestra que tiene una regulación adecuada de acuerdo a su puntaje de 25.

**Tabla 12.** Media del componente reparación.

| Sexo      | Media | N  | Desv. Desviación |
|-----------|-------|----|------------------|
| Femenino  | 23,12 | 32 | 7,147            |
| Masculino | 24,58 | 33 | 6,510            |
| Total     | 23,86 | 65 | 6,817            |

Con el propósito de obtener un resultado general se analizó la sumatoria de los puntajes obtenidos de las tres dimensiones que mide el test, las cuales pueden ser según [7] y [9]: 1) Baja = entre 24 a 55 puntos, 2) Media = entre 56 a 88, y 3) Alta = entre 89 a 120.

Como se observa en la Tabla 13, redondeando el total a 68 puntos, la muestra se encuentra dentro de la media, lo que demuestra que los estudiantes a quienes se les aplicó el test muestran un nivel medio de IE, lo que indica con claridad que tienen dificultades para expresar y percibir sus sentimientos y a su vez ser conscientes y manejar sus emociones adecuadamente.

**Tabla 13.** Media de todos los componentes IE

| Sexo      | Media | N  | Desv. Desviación |
|-----------|-------|----|------------------|
| Femenino  | 67,84 | 33 | 16,479           |
| Masculino | 67,66 | 32 | 16,007           |
| Total     | 67,75 | 65 | 16,116           |



## 4. CONCLUSIONES

Este estudio fue realizado con el fin de conocer los niveles de inteligencia emocional con parámetros que lo determinan por dimensiones como la atención, claridad y reparación emocional, mismos que fueron aplicados en una muestra de 65 estudiantes de la Universidad Regional Amazónica Ikiam de igual manera se analiza tomando en cuenta el sexo de los participantes y se comparan los resultados.

A nivel global podemos concluir que los estudiantes de las distintas facultades presentan dificultades al momento de comprender, regular y tener una adecuada percepción de los estados emocionales. Es importante recalcar que en el análisis de resultados muestran que no hay diferencia significativa con respecto al sexo ya que en la atención emocional los hombres y las mujeres muestran una percepción inadecuada, en la claridad emocional tanto hombres como mujeres han demostrado tener dificultades en cuanto a la comprensión de sus sentimientos, sin embargo, en la reparación emocional es el hombre quien interpreta y regula de manera adecuada sus sentimientos y emociones y son las mujeres quienes deben mejorar la regulación de sus sentimientos.

Se realizó la prueba de T-test para cada uno de los identificadores de emociones atención, claridad y reparación, tomando en cuenta el género masculino y femenino obteniendo los siguientes resultados:

Para la atención (capacidad de atender a cada una de las emociones) podemos concluir con un valor de significancia de 0,182 que la capacidad de atención es estadísticamente igual en hombres y mujeres es decir no existen diferencias significativas entre la capacidad de atender a cada una de las emociones entre hombres y mujeres.

Para la claridad (capacidad de comprender las emociones) podemos concluir con un valor de significancia de 0,512 que la capacidad de atención es estadísticamente igual en hombres y mujeres, es decir no existen diferencias significativas entre la capacidad de comprender las emociones entre hombres y mujeres (ver tabla 6). Para la regulación (capacidad para regular las emociones) podemos concluir con un valor de significancia de 0,395 que la capacidad de regular las emociones es estadísticamente igual en hombres y mujeres, es decir que no existen diferencias significativas entre la capacidad de regular las emociones que tienen los hombres y las mujeres.

En distintos estudios en el que han aplicado este test se pudo identificar que no existe diferencia significativa en cuanto al sexo de la muestra estudiada [7] y [9] de igual manera se corrobora que no existen diferencias por género en este estudio. Por otro lado, son los hombres quienes regulan mejor sus emociones, sin embargo, no es un valor relativamente significativo si tomamos en cuenta que toda la muestra presenta dificultades.

Lo que nos dice la literatura y el análisis de este estudio es que si bien la universidad y las diferentes instituciones educativas están centradas al desarrollo del conocimiento, la inteligencia y habilidades relacionadas a cada carrera en específico, se evidencia la necesidad de una educación integral que pueda tomar en cuenta el desarrollo de una adecuada inteligencia emocional, lo cual potencia otras capacidades de los estudiantes y les brinda mejores oportunidades, por otro lado en este estudio al tener un valor medio tendiendo a bajo en cuanto a la inteligencia emocional se sugiere ampliar el estudio con más participantes y posteriormente tomar acciones para cambiar esta realidad y la universidad tenga herramientas técnicas para tomar decisiones y se empodere de la formación integral de los estudiantes.

## REFERENCIAS

- [1] Reyes J. (2019). Inteligencia emocional y autocuidado en los estudiantes de enfermería. Universidad Estatal del Sur de Manabí.
- [2] Pozo T. (2016). La inteligencia emocional como clave para el desarrollo de competencias en la educación superior. Dialnet.
- [3] Goleman D. (2018). La inteligencia emocional Por qué es más importante que el coeficiente intelectual. Press.
- [4] Biscarra A. y Hernández S. (2017). Psicología positiva, educación emocional y el reprograma aulas felices, papeles del psicólogo 1-110.

- [5] Fernández P. y Extremera N. (2005). Inteligencia emocional y la educación de las emociones desde el modelo de Mayer y Salovey. *Interuniversitaria del profesorado* 19(3), 63-93.
- [6] Salovey P. y Mayer J. (1990). Inteligencia emocional. *Imaginación, conocimiento y personalidad* 9(3), 185-211.
- [7] Romero M. (2017). Inteligencia emocional, creatividad y rendimiento académico en estudiantes de 10 a 11 años. *Universidad Internacional de la Rioja*.
- [8] Del Rosal I. et al. (2016). La inteligencia emocional en estudiantes universitarios: Diferencia entre el grado de maestro en educación primaria y los grados en ciencias. *Psicología, ciencia y profesión: Mirando al futuro* 1, 176.
- [9] Taramuel J. y Zapata V. (2017). Aplicación del test TMMS-24 para el análisis y descripción de la Inteligencia Emocional considerando la influencia del sexo. *Revista Publicando* 11(1), 162-181.

# Fomento de vocaciones científicas en Colombia: ¿Cómo articular a la ruta de investigación Ondas el modelamiento participativo con el método de dinámica de sistemas basada en la comunidad?

Andrés Rey Piedrahita<sup>1</sup>

Laura Daniela Ramírez Prieto<sup>2</sup>

Gustavo Eduardo Quiroz Uribe<sup>3</sup>

Jennifer Alejandra Castellanos Garzón<sup>4</sup>

Luis Alberto Rivera Martínez<sup>5</sup>

Jorge Andrick Parra Valencia<sup>6</sup>

<sup>1-3</sup>Unidad Central del Valle del Cauca

<sup>4,5</sup>Universidad Autónoma de Bucaramanga

Colombia

En los niños y adolescentes el desarrollo de habilidades en Ciencia, Tecnología e Innovación se puede fortalecer mediante diferentes estrategias que actualmente, son objeto de investigación. En este capítulo se presentan algunos resultados que surgen de un proyecto alrededor del fomento de vocaciones científicas en Colombia, donde se indaga cómo articular a la Ruta de Investigación Ondas el modelamiento participativo con el método de Dinámica de Sistemas basada en la comunidad. Al mismo tiempo se buscan formas para que los niños y adolescentes del programa avancen en la apropiación de las tecnologías convergentes y asociadas a la Industria 4.0. Al respecto cabe resaltar que el programa Ondas cuenta con más de 15 años de implementación a lo largo de todo el territorio colombiano, buscando generar condiciones que le permitan a los niños y jóvenes realizar investigación sobre problemas reales de su contexto. Por ello resulta relevante trabajar en su enriquecimiento incorporando nuevos recursos a la Ruta de Investigación Ondas, como las actividades que en sus diferentes etapas define el modelamiento participativo con el método Dinámica de Sistemas basada en la comunidad.

---

<sup>1</sup> Doctor en Ingeniería.

Contacto: [arey@uceva.edu.co](mailto:arey@uceva.edu.co)

<sup>2</sup> Trabajadora Social.

Contacto: [ldrp0503@gmail.com](mailto:ldrp0503@gmail.com)

<sup>3</sup> Magíster en Innovación para el Desarrollo Empresarial.

Contacto: [quirozuribegustavo@gmail.com](mailto:quirozuribegustavo@gmail.com)

<sup>4</sup> Doctor en Ciencias Biomédicas.

Contacto: [jacastellanos@uceva.edu.co](mailto:jacastellanos@uceva.edu.co)

<sup>5</sup> Magíster en Educación Ambiental y Desarrollo Sostenible.

Contacto: [lriviera@uceva.edu.co](mailto:lriviera@uceva.edu.co)

<sup>6</sup> Doctor en Ingeniería.

Contacto: [japarra@unab.edu.co](mailto:japarra@unab.edu.co)

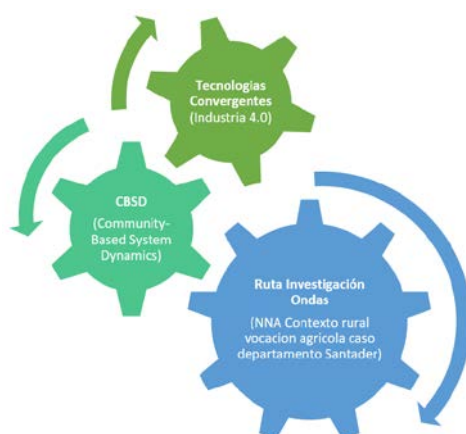
## 1. INTRODUCCIÓN

El Programa Ondas corresponde a una estrategia de la Dirección de Mentalidad y Cultura para la Ciencia, Tecnología e Innovación CTel en Colombia, que tiene por objetivo: 1) promover en niños y adolescentes el interés por la investigación, y 2) desarrollar actitudes y habilidades que les permitan incorporarse activamente en una cultura de la ciencia, la tecnología y la innovación [1]. Para alcanzar este propósito se ha desarrollado una propuesta pedagógica y metodológica que busca generar las condiciones que le permitan a los niños y jóvenes realizar investigación sobre problemas reales de su contexto, construyendo conocimiento que aporta a la solución de dichos problemas.

La propuesta pedagógica y metodológica formulada por el programa Ondas establece el marco de trabajo al respecto para los niños y adolescentes de las instituciones de educación básica y media en Colombia. El Programa Ondas actualmente cuenta con más de 15 años de implementación a lo largo de todo el territorio nacional y durante este tiempo ha convocado la participación de más de 4 millones de niños y jóvenes, organizados en semilleros de investigación, a los cuales se han vinculado más de 100 mil profesores.

Para fortalecer el programa Ondas en el año 2022 la Organización de Estados Iberoamericanos OEI a través de Minciencias apoyó el desarrollo de 20 propuestas de investigación que tienen como propósito brindar aportes al programa. En este capítulo se describe y reflexiona alrededor de una de las propuestas desarrolladas denominada *TecnoConvergentes 4.0*<sup>7</sup> que propone que, en los niños y adolescentes el desarrollo de habilidades en ciencia, vocaciones científicas, creatividad y solución creativa de problemas se puede fortalecer mediante una estrategia de modelamiento participativa que contribuye al desarrollo de capacidades para abordar las problemáticas de interés incorporando las tecnologías convergentes de la Industria 4.0.

Específicamente la propuesta en mención plantea que se puede articular a la Ruta de Investigación Ondas el modelamiento participativo con el método de Dinámica de Sistemas basada en la comunidad CBSD. En la Figura 1 se presenta la estrategia *TecnoConvergentes 4.0*, que se conforma de tres componentes: 1) la Ruta de Investigación Ondas, 2) la Dinámica de Sistemas basada en la comunidad CBSD, y 3) las Tecnologías Convergentes – Industrias 4.0.



**Figura 1.** Componentes que conforman la estrategia - *TecnoConvergentes 4.0*

A continuación, se describe cada uno de los componentes de la estrategia TecnoConvergentes 4.0 y la forma como se pretende realizar su articulación con la Ruta de Investigación Ondas que brinda un esquema base para *el Viaje de la Investigación* que realizan los niños y adolescentes. Primero se describen la Ruta Ondas indicando posteriormente cómo es posible integrar fundamentos de la Dinámica de Sistemas basada en la comunidad CBSD, que permiten fortalecer las vocaciones científicas mediante el fortalecimiento de las capacidades de comunicación, el trabajo en comunidad, el aprendizaje cooperativo y la sistematización del conocimiento, aplicado al caso de la apropiación de tecnologías convergentes - Industria 4.0.

<sup>7</sup> La investigación también es apoyada por la Universidad Autónoma de Bucaramanga UNAB y Unidad Central del Valle del Cauca UCEVA.

## 2. RUTA DE INVESTIGACIÓN ONDAS

El primer componente de la estrategia corresponde a la Ruta de Investigación Ondas (Figura 2), que establece el marco de trabajo al respecto para los niños adolescentes de las instituciones de educación básica y media en Colombia. Corresponde a una iniciativa que tiene el propósito de despertar y fomentar el deseo de investigar y desarrollar proyectos que puedan aportar a solucionar los problemas que viven, sienten y enfrentan en sus comunidades.



Figura 2. Ruta de Investigación Ondas primer componente de la estrategia TecnoConvergentes 4.0

Para ello la Ruta de Investigación establece tres fases para lo que el programa Ondas del Ministerio de Ciencia y Tecnología MinCiencias denominada también *el Viaje de la Investigación* (Figura 3).



Figura 3. Fases de la Ruta de Investigación Ondas el *viaje de la investigación* (a partir de [1])

Cada fase de la Ruta de Investigación Ondas tiene varias etapas para lograr los siguientes propósitos definidos: la primera fase denominada *planeación del proyecto*, busca la conformación del grupo de trabajo (etapa 1), la definición de los problemas-preguntas de investigación (etapa 2) y la definición de la metodología de investigación (etapa 3) que establece el camino a seguir; en la segunda fase *desarrollo del proyecto*, se busca que el grupo realice el diseño (etapa 4) y aplicación de los instrumentos definidos (etapa 5), organizando y sistematizando (etapa 6) la información manejada que es analizada (etapa 7) para obtener resultados que se consignan en el informe de investigación; en la tercera fase, se lleva a cabo la comunicación de los resultados de la investigación con la comunidad involucrada (etapa 8) y también se difunden con la comunidad en general a través de foros y eventos dispuestos por el Programa (etapa 9).

En la Figura 4 se presentan las tres fases de la Ruta de Investigación asociando las etapas definidas por Ondas para llevar a cabo cada una de las actividades y propósitos indicados.



Figura 4. Fases y etapas de la Ruta de Investigación Ondas (a partir de [1])

Se observa que la Ruta Ondas dispone fases y etapas similares a la que siguen investigadores experimentados iniciando con la conformación de un grupo de trabajo, con el cual se define un problema de interés y se diseña una metodología que permite abordar el problema, y al finalizar se comunican los

resultados y aprendizajes del proceso de investigación. Adicionalmente, a lo largo de todo el proceso de investigación en la Ruta de Investigación Ondas se tienen de forma transversal tres procesos permanentes que se observan en la Figura 5.



**Figura 5.** Procesos permanentes en la Ruta de Investigación Ondas (a partir de [1])

El proceso permanente de comunicación de los avances busca permitir que los miembros de la comunidad científica conozcan los avances que tienen lugar en los diferentes campos de conocimiento (esto se realiza normalmente mediante participación en eventos como congresos o publicaciones en revistas especializadas), esta comunicación también busca que la sociedad en general pueda conocer y apropiarse los resultados relevantes de las investigaciones que sean de su interés.

En Ondas se entiende la sistematización del proceso como el registro ordenado del proceso del proyecto en cada una de las diferentes etapas de las fases de la Ruta de Investigación. Esto busca permitir que el grupo reflexione permanentemente sobre cómo transcurre la investigación con respecto a los objetivos establecidos, al desarrollo de las actividades diarias, y en torno a los aprendizajes alcanzados y las reflexiones conceptuales que surgen.

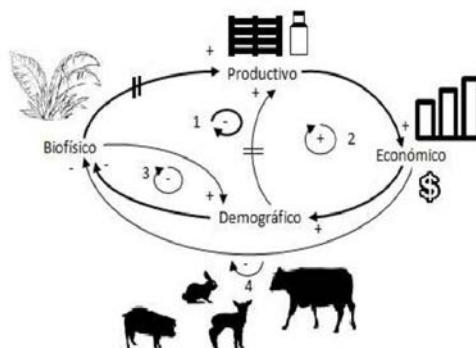
El último proceso transversal que se tiene en la realización de los proyectos de investigación de la Ruta Ondas, es la construcción de comunidades de aprendizaje donde se busca que participen -no solo los NNA del equipo conformado, sino también otras personas y equipos que comparten interés por el tema de indagación y por los propósitos del proyecto. Lo anterior, con el fin de permitir que se establezca un intercambio e interacción permanente del cual surjan aportes que enriquezcan el desarrollo de la investigación.

Al momento se ha presentado una descripción de la Ruta de Investigación Ondas para señalar las posibilidades de articular a ella fundamentos de CBSD, que permitirían robustecer las vocaciones científicas mediante el fortalecimiento de las capacidades de análisis, comunicación, el trabajo en comunidad, el aprendizaje cooperativo y la sistematización del conocimiento; aplicado en este proyecto al caso de la apropiación de tecnologías convergentes -Industria 4.

### 3. DINÁMICA DE SISTEMA

Antes de hablar de CBSD se debe indicar que Dinámica de Sistema DS es una metodología para analizar y modelar el comportamiento dinámico de sistemas simples o complejos [2], que dan origen a diferentes situaciones problemáticas en sectores como el medio ambiente, el agropecuario, la salud, la industria, las tecnologías, entre otras, que son tema de indagación frecuente por grupos de investigación Ondas. DS fue formulada por Jay Wright Forrester del Instituto Tecnológico de Massachusetts MIT [3]. Cuando se trabaja con dinámica del sistema se explora el comportamiento de un sistema a través de una *lente* de realimentación. En esta perspectiva se concibe un sistema (agropecuario, industrial, de salud, escolar, etc.) como un conjunto interconectado de elementos, componentes, partes interesadas (actores) y funciones que están estructuradas de tal manera, que dicha estructuración crea el comportamiento que se observa del sistema [4]. Es por esto que, aunque los sistemas pueden ser afectados por factores externos (intervenciones, cambios en la comunidad, crisis económicas, cambios de política, etc.), la respuesta que

presenta el sistema a variaciones en estos factores es producto de su estructura subyacente [5]. Una característica relevante de la Dinámica de Sistemas es que, para describir la estructura del sistema subyacente que crea el comportamiento observable del sistema, proporciona un método valioso que permite construir mapas causales cualitativos que contienen las variables del sistema, sus relaciones y los ciclos de realimentación (de información o materiales) [6]. En la Figura 6 se presenta a manera de ejemplo la estructura de un sistema productivo agropecuario desarrollado con DS.



**Figura 6.** Estructura de un sistema productivo agropecuario básico [7]

En este ejemplo presentado en [7] se plantea que es posible con DS describir los sistemas de producción agropecuaria utilizando una estructura común que contiene cuatro partes o subsistemas (demográfico, biofísico, productivo y económico), que cuando se encuentran relacionados entre sí constituyen un complejo sistema dinámico.

La estructura de este sistema productivo agropecuario ha sido formulada por el grupo de investigación SIMON de la Universidad Industrial de Santander a partir de resultados de experiencias de investigación y de acuerdo a la literatura sobre el tema [8]. En este modelo, que a simple vista puede resultar simple, se tiene una complejidad dinámica que resulta o está asociada a su estructura realimentada, que habilita que las perturbaciones presentadas en alguna de las variables se transmita en los ciclos hasta retornar sobre la variable inicial, esta es la realimentación donde por ejemplo, el crecimiento de la producción lleva a un incremento de los ingresos económicos, los cuales al crecer causan que la disminución de los recursos biofísicos, y en el tiempo la disminución de estos recursos, conlleva a un decaimiento de la producción.

La anterior es la interacción que presentan las variables del *ciclo 4* que es de tipo compensador (-) o de balance en el sistema agropecuario de la Figura 6, para conocer más sobre DS puede consultarse [6]. No obstante, lo importante a resaltar es que DS conforma una metodología que habilita desarrollar mayor comprensión de los sistemas, identificando las causas del comportamiento que estos presentan, al tiempo que se facilita la toma de decisiones y políticas para llevar al sistema a los comportamientos deseados [5].

Algo importante a resaltar es que en el trabajo con DS se puede avanzar hasta generar una representación formal (matemática) del modelo del sistema objeto de estudio que puede codificarse en una simulación por computadora [9]. En este sentido, en el proyecto con la estrategia TecnoConvergentes 4.0, el interés no es llegar hasta dicho punto (representación formal y simulación computacional), sino en utilizar DS como un lenguaje de representación del conocimiento [10] en los proyectos de investigación en la Ruta Ondas.

#### 4. DINÁMICA DE SISTEMAS BASADA EN LA COMUNIDAD

Para trabajar con DS en la Ruta de Investigación Ondas se plantea hacerlo mediante lo que se conoce como Dinámica de Sistemas basada en la comunidad CBSD, que es el segundo componente que conforman la estrategia propuesta *TecnoConvergentes 4.0*. CBSD (Figura 7) constituye un método participativo que involucra a comunidades en el proceso de estudio, entendimiento y cambio de los sistemas de interés desde una perspectiva endógena y de realimentación [11]; con endógena se indica que el comportamiento es determinado por la estructura de sistema -no por variables exógenas al sistema, y la realimentación se refiere a disponer de estructuras de sistemas que presentan ciclos (como los presentados a manera de ejemplo en la Figura 6).

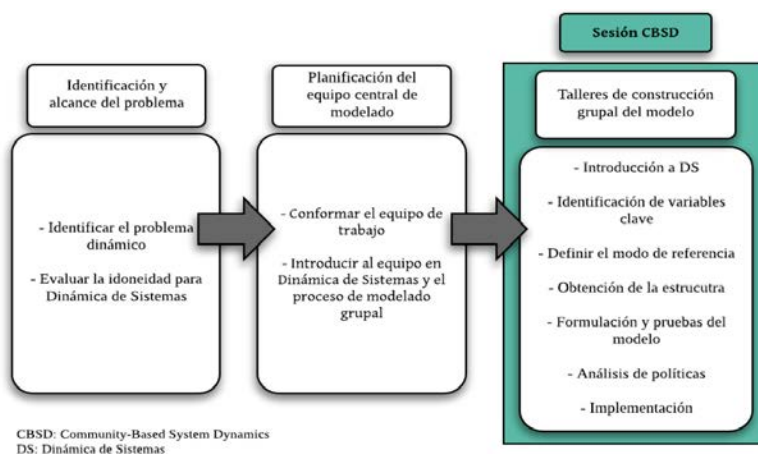


Figura 7. CBSD segundo componente de la estrategia -TecnoConvergentes 4.0

La importancia de CBSD es que presenta un enfoque prometedor para construir un lenguaje compartido que sea apropiado entre las partes interesadas, adaptándose a los contextos de la comunidad local y facilitando movilizar la actuación de las partes interesadas en función de los nuevos conocimientos de los sistemas objeto de estudio donde se encuentran las situaciones o problemáticas abordadas [4]. CBSD permite involucrar a las partes interesadas para que construyan sus propias representaciones del modelo de la estructura del sistema que genera un problema, mediante procesos de construcción grupal, de forma estructurada basándose normalmente en talleres o ejercicios de modelado con Guion (script) para facilitar el desarrollo conjunto de modelos cualitativos y mapas causales [15].

CBSD aprovecha la opinión y el conocimiento de la comunidad sobre la estructura del sistema habilitando la colaboración, el análisis y la acción de las partes, además de permitir identificar intervenciones (o propuestas de políticas) que aborden los síntomas y no las causas; asimismo, evita diseñar intervenciones que pueden ser bien intencionadas, pero llevar a empeorar los problemas en lugar de mejorarlos [2].

El trabajo con CBSD se distingue de otros métodos grupales porque busca desarrollar capacidades de Pensamiento Sistémico y de Dinámica de Sistemas en torno a la construcción y uso de modelos de DS, con sus suposiciones y limitaciones [11]. El propósito de CBSD es que las comunidades participantes incrementen los conocimientos que disponen acerca de los sistemas en los cuales se encuentran inmersos (o los afectan) y que puedan utilizar este método después de terminados los proyectos en futuros proyectos o situaciones [11]. En la Figura 8 se describe la metodología CBSD.



CBSD: Community-Based System Dynamics  
 DS: Dinámica de Sistemas

Figura 8. Metodología CBSD según sus tres etapas fundamentales

Los propósitos [11] de cada etapa de la Metodología CBSD son:

- *Identificación y alcance del problema*, busca la definición dinámica del problema que será modelado, el aseguramiento de su representatividad mediante una perspectiva dinámica de ciclos de realimentación y el desarrollo de una página de descripción del problema, antecedentes, propósito, audiencia, alcance y recursos necesarios.
- *Planeación del equipo central de modelado* pretende el desarrollo de un modelo conceptual, las estructuras semilla que apoyarán la comprensión del problema, la construcción de capacidades, el



diseño del procesamiento de desarrollo en grupo del modelo, la creación de agendas para cada una de las sesiones, el desarrollo de los scripts o ejercicios de modelamiento para pequeños grupos y el entrenamiento.

- *Sesión CBSD. Modelamiento en Grupo con los Participantes* busca la realización de sesiones de CBSD que incluyen una introducción a la metodología de representación basada en ciclos de realimentación, la elicitación de variables, la definición de los comportamientos de referencia con respecto al tiempo de las variables elicítadas, la elicitación de la estructura de ciclos de realimentación, la formulación del modelo y su evaluación, el análisis de políticas y la apropiación del modelo y de sus resultados.

Para ello se tienen sesiones de CBSD que consisten en el desarrollo de una serie de ejercicios organizados por el equipo coordinador realizados en varias jornadas/ talleres que tienen entre 90 y 120 minutos de duración que se desarrollan en diferentes días con cada grupo (las sesiones se pueden desarrollar con varios grupos de acuerdo con las necesidades de atención a participantes).

## 5. ARTICULACIÓN DE CBSD EN LA RUTA DE INVESTIGACIÓN ONDAS

Teniendo presente las características que brinda CBSD en la estrategia *TecnoConvergentes 4.0* se plantea que puede utilizarse y articularse adecuadamente con la Ruta de Investigación Ondas para robustecer las vocaciones científicas mediante el fortalecimiento de las capacidades de análisis, comunicación, el trabajo en comunidad, el aprendizaje cooperativo y la sistematización del conocimiento.

CBSD puede facilitar el trabajo en grupo (e interdisciplinario) permitiendo que los NNA (*pequeños científicos*) co definan una visión compartida del problema y desarrollen un lenguaje común [12].

Esta propuesta plantea que con CBDS pueden incorporarse al proceso investigativo de los niños y adolescentes otros actores de la comunidad o sociedad, los cuales de forma guiada y estructurada pueden interactuar con el grupo propiciando intercambios que permiten de forma conjunta realizar: la elicitación de variables del sistema; la definición de los comportamientos de referencia con respecto al tiempo de las variables elicítadas; la elicitación de la estructura de ciclos de realimentación del sistema; la formulación del modelo y su evaluación; el análisis de políticas y la apropiación del modelo y de sus resultados.

De esta manera se haría partícipe durante el proceso investigativo a la comunidad de la que se forma parte, construyendo pequeñas comunidades de aprendizaje, logrando mayor amplitud en la visión del problema, y facilitando evaluar algunas de las soluciones propuestas para las cuales se reduce la resistencia de los actores (pudiendo incluso encontrar aliados en diferentes aspectos).

CBSD puede robustecer los procesos transversales permanentes de construcción de comunidades de aprendizaje, de sistematización del proceso, comunicación de avances y resultados del proyecto, facilitando que estos procesos sean parte integral del proceso de investigación y no es un apéndice que se lleva a cabo al finalizar la misma; todas estas son propósitos perseguidos por el programa Ondas [1].

Por ejemplo, en el proceso de construcción de comunidades de aprendizaje CBSD puede fortalecer el aprendizaje cooperativo entre los participantes, en los dos sentidos, no solo del grupo de investigación al público (o beneficiarios), sino también de estos actores hacia el grupo, reconociendo que las comunidades disponen de conocimientos, saberes y valores relacionados con la investigación los cuales serán aprovechados.

En lo que refiere al proceso de sistematización CBSD permitiría construir y representar conocimiento sobre el objeto de indagación (y sobre la forma de hacerlo) habilitando la participación de todos los miembros del grupo. En este sentido es de resaltar que el uso de DS brinda un lenguaje de representación del conocimiento [10] que resulta útil también para comunicar los avances y resultados obtenidos en los proyectos de investigación en la Ruta Ondas. En la Figura 9 se muestra el esquema de articulación de CBSD en la Ruta de Investigación Ondas.

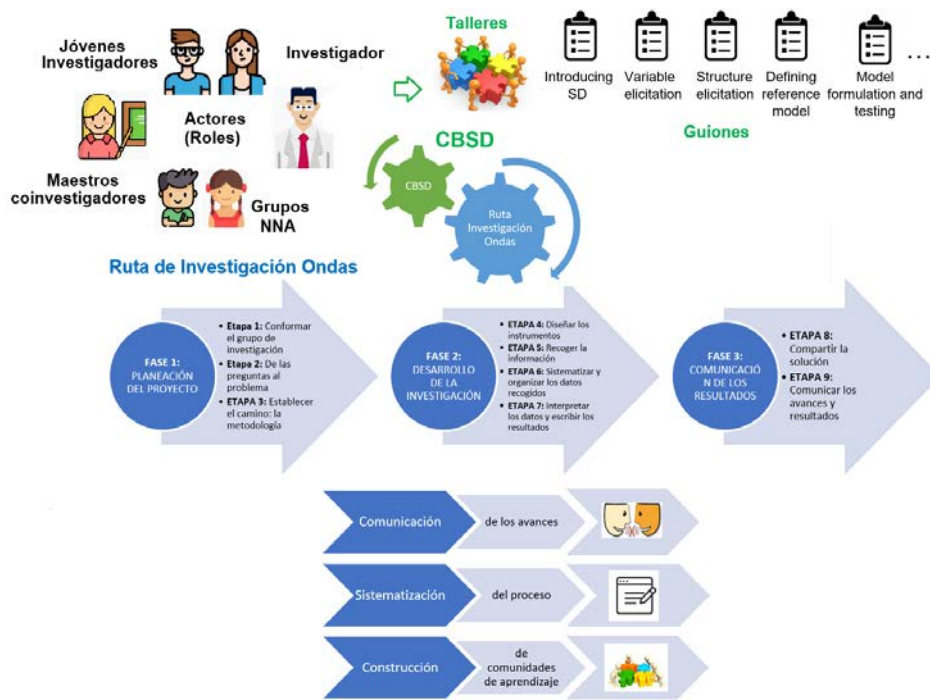


Figura 9. Articulación de CBSD en Ruta de Investigación Ondas

Básicamente, la Figura 9 ilustra que a partir de la intencionalidad de un grupo por desarrollar un proyecto de I+D+I en un contexto de fomentar el interés por la investigación y el desarrollo de actitudes y habilidades para la CTel, existen posibilidades de articular, las etapas y actividades que fundamentan CBSD, con las fases, etapas y procesos transversales de la Ruta de Investigación Ondas. Un posible esquema de articulación se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Articulación de etapas CBSD con fases y etapas de la Ruta de Investigación Ondas

| Ruta de Investigación Ondas                              | CBSD  |
|--|---|
| <b>Fase 1: Planeación del proyecto</b>                   | <b>Etapa 1:</b> Identificación y alcance del problema       |
| Etapa 2: De las preguntas al problema                    |   |
| <b>Fase 1. Planeación del proyecto</b>                   | <b>Etapa 2:</b> Planeación del equipo central de modelado   |
| Etapa 1: Conformar el grupo de investigación             |   |
| Etapa 3: Establecer el camino – metodología              |   |
| <b>Fase 2. Desarrollo de la investigación</b>            | <b>Etapa 3:</b> Modelamiento en grupo con los participantes |
| Etapa 4: Diseñar los instrumentos                        |   |
| Etapa 5: Recoger la información                          |   |
| Etapa 6: Sistematizar y organizar los datos recogidos    |   |
| Etapa 7: Interpretar los datos y escribir los resultados |   |
| <b>Procesos permanentes</b>                              |   |
| 1 comunicación de los avances                            |   |
| 2 sistematización del proceso                            |   |
| 3 construcción de comunidades de aprendizaje             |   |

## 6. TECNOLOGÍAS CONVERGENTES E INDUSTRIA 4.0

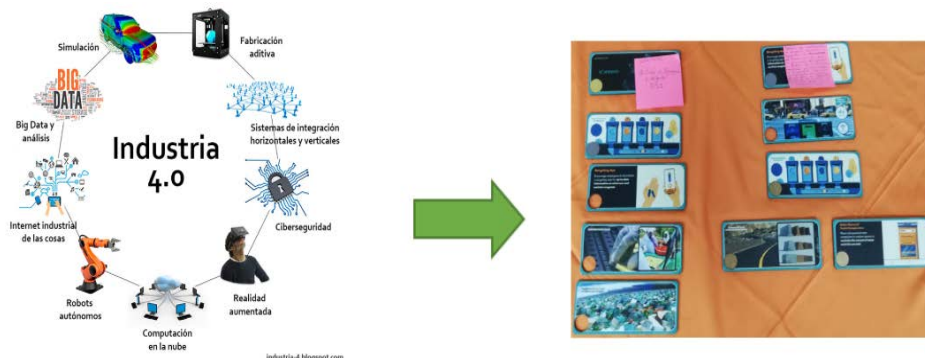
Las tecnologías convergentes hacen referencia a desarrollos tecnológicos en áreas como la nanotecnología, la biotecnología, las tecnologías de la información y las ciencias cognitivas NBIC [13]. Actualmente se reconoce que estas tecnologías son una de las principales apuestas que pueden favorecerse para dar un impulso hacia la Industria 4.0.

El constante crecimiento de la tecnología que experimentamos nos ha llevado a hablar de una evolución o revolución industrial, la cual se ha nombrado cómo Industria 4.0. La implementación de estas tecnologías son un pilar muy importante para las empresas del futuro, las cuales necesitarán de tecnologías que les permitan adaptarse a sistemas de fabricación flexibles, interconectando todos los procesos involucrados en una línea de producción para obtener datos en grandes magnitudes para mejorar la toma de decisiones y la estrategia.

El panorama de desarrollo hacia la evolución de la industria 4.0 de la región y el país requiere de recursos humanos y tecnológicos adecuados que permitan implementar este tipo de tecnologías (esto sin mencionar las necesidades de políticas públicas apropiadas) [14]. La situación actual en Colombia muestra que existen en el sector industrial por ejemplo muchas plantas de manufactura que tienen entre 40 y 60 años (esto se puede evidenciar al visitar las plantas de producción de un buen número de empresas cuyos procesos productivos cuentan con equipos desactualizados, muchas empresas del departamento de Santander no escapan a esta tendencia), razón por lo cual diferentes autores plantean que en el país aún no hemos conseguido desarrollar la tercera etapa de automatización y pensar en saltar de la Industria 1.0 a la 4.0 deja muchos cuestionamientos y desafíos por abordar.

En la historia la convergencia de la ciencia y la tecnología ha sido un factor esencial para avanzar y resolver problemas globales en la sociedad. De allí, la importancia e interés por mejorar el nivel de apropiación social de Ciencia y Tecnología CTel y en este momento el turno es para las tecnologías convergentes. En este sentido, la misión de sabios (2020) plantea la necesidad de que el país revise las NBIC como una base esencial para el desarrollo sostenido de la cuarta revolución industrial que es precisamente hacia donde se orienta el proyecto con la estrategia *TecnoConvergentes 4.0*, pero trabajando con niños y adolescentes en el programa Ondas.

Básicamente, lo que se planteó para trabajar el componente de tecnologías convergentes e Industria 4.0 en el proyecto es desarrollar unos materiales de apoyo que se denominaron *Kit didáctico de Tecnologías Convergentes e Industria 4.0 basado en fichas representativas de las tecnologías* que corresponde a una especie de juego de mesa en términos más técnicos. Se desarrolla (al momento de escribir esta publicación) un juego de mesa con un conjunto de fichas similares a las que se muestran a manera de ejemplo en la Figura 10 pero diseñadas específicamente para la/s línea/s estratégica/s de Agrotecnología, Biotecnología o Biodiversidad que trabajan los grupos Ondas en Santander con proyectos de investigación relacionados con en el tema de cultivos, piscicultura, y cuidado del medio ambiente (entre otros).



**Figura 10.** Ejemplo de un Kit de fichas representativas de tecnologías convergentes para situaciones problemáticas. Nota: al lado izquierdo se tiene la imagen de un conjunto de algunas tecnologías convergentes, y al lado derecho algunas fichas de un Kit desarrollado para el problema de la basura en centros urbanos y las posibilidades de desarrollo de economía circular

Las fichas que se muestran en la Figura 11 fueron desarrolladas para talleres de innovación y emprendimiento. El taller brinda una muy buena *experiencia al usuario* pese a no trabajar con las tecnologías directamente sino con elementos que las representan, pero que resultan adecuados para los propósitos del taller.



**Figura 11.** Juego-taller: *Validando consumidores* [16]



Figura 12. Ilustración del trabajo en desarrollo del Kit de fichas representativas de tecnologías convergentes para un juego de mesa en la línea de Agrotecnología

En la estrategia *TecnoConvergentes 4.0* este tipo de fichas resultan adecuadas para utilizar en los talleres de modelado participativo, y en los análisis, al explorar posibles soluciones tecnológicas que impacten variables del sistema conformado al rededor del problema objeto de estudio. Por ejemplo en relación a la estructura del sistema productivo agropecuario presentado en la Figura 6, e imaginando que fuese resultado del proceso de modelamiento participativo, incrementos en el componente/variable de producción podrían plantearse con desarrollos basados en tecnologías convergentes que se representen con las fichas adecuadas, y para los cuales los NNA brinden los argumentos requeridos con base en el conocimiento teórico de dichas tecnologías; este sería un trabajo en el abordaje sistémico del problema que permitiría avanzar posteriormente hasta ejercicios más prácticos.

El desarrollo del Kit de fichas de tecnologías convergentes e Industria 4.0 para el proyecto es cubierto con un rubro denominado *Apoyo para la propuesta de I+D+i* que dispone la convocatoria de la OEI; en esta parte del presupuesto también se incluyen la compra de un software de modelado.

Finalmente, en la Figura 13 se muestra el esquema de articulación de los tres componentes que conforman la estrategia *TecnoConvergentes 4.0*. El Kit de fichas se integra a los dos componentes que se tenían: Ruta de Investigación ondas y CBSD, brindando una posibilidad de trabajar de forma simbólica con tecnologías convergentes -Industria 4.0 cuando se tienen restricciones por un contexto limitado en recursos (energía eléctrica, TIC, etc.) como es el caso de muchos colegios e instituciones rurales en Colombia; una vez desarrollado el Kit se posibilita replicar el proyecto posteriormente con los recursos que brinda Ondas.



Figura 13. Articulación de componentes estrategia TecnoConvergentes 4.0

Al momento se ha brindado una descripción de la estrategia *TecnoConvergentes 4.0* y de los tres componentes que la conforman señalando algunos aspectos pedagógicos y metodológicos que la sustentan. A continuación, se finaliza presentando algunas conclusiones.

## 7. CONCLUSIONES

El análisis realizado en este trabajo muestra que en los niños y adolescentes el desarrollo de habilidades en ciencia, vocaciones científicas, creatividad y solución creativa de problemas se puede fortalecer mediante una estrategia de modelamiento participativa que contribuye al desarrollo de capacidades para abordar las problemáticas de interés incorporando las tecnologías convergentes -Industria 4.0.

Específicamente se muestra cómo se puede articular a la Ruta de Investigación Ondas el modelamiento participativo con el método de Dinámica de Sistemas basada en la comunidad CBSD. Este método se selecciona porque permite que las comunidades participantes incrementen los conocimientos que disponen acerca de los sistemas en los cuales se encuentran inmersos (o los afectan). CBSD aprovecha la opinión y el conocimiento que la comunidad tiene sobre la estructura del sistema que genera los comportamientos problemáticos de interés, habilitando la colaboración, el análisis y la acción de las partes, al tiempo que permite identificar intervenciones que aborden los síntomas y no las causas. Asimismo, la incorporación de CBSD favorece las capacidades de análisis, comunicación, el trabajo en comunidad, el aprendizaje cooperativo y la sistematización del conocimiento; CBSD puede facilitar el trabajo en grupo (e interdisciplinario) permitiendo que los niños y adolescentes (*pequeños científicos*) co definan una visión compartida del problema desarrollando un lenguaje común que puede facilitar la transferencia a otros miembros de la comunidad y además después de terminados los proyectos los aprendizajes realizados sobre este método pueden utilizarse en futuros proyectos o situaciones.

Lo anterior, permitirá contribuir a la transformación social que requiere el desarrollo de una mayor comprensión de las problemáticas del entorno y de identificar posibles soluciones que pueden implementarse en muchos casos con las tecnologías convergentes que sustentan el avance hacia la industria 4.0.

## REFERENCIAS

- [1] Minciencias. (2018). El viaje de la investigación. Colección ondas serie brújula juvenil.
- [2] Sterman J. (2006). Learning from evidence in a complex world. *American journal of public health* 96(3), 505-514.
- [3] Forrester J. (1997). *Road Maps: A guide to learning system dynamics*. MIT.
- [4] Ballard E. et al. (2020). Community-based system dynamics for mobilizing communities to advance school health. *Journal of School Health* 90(12), 964-975.
- [5] Meadows D. (2008). *Thinking in systems: A primer*. Chelsea green publishing.
- [6] Sterman J. (2002). *System Dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world*. Press.
- [7] Gómez U. et al. (2015). Lineamientos metodológicos para construir ambientes de aprendizaje en sistemas productivos agropecuarios soportados en dinámica de sistemas. *Información tecnológica* 26(4), 125-136.
- [8] Lellis A. et al. (2011). Rural development and system dynamics: An ex ante evaluation of conservation agriculture to improve dairy farming systems in the Brazilian Paraíba Do Sul Valley. EN IX Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas. Brasil.
- [9] Richardson G. (2011). Reflections on the foundations of system dynamics. *System dynamics review* 27(3), 219-243
- [10] Andrade H. et al. (2001). *Pensamiento Sistémico: Diversidad en búsqueda de Unidad*. Ediciones Universidad Industrial de Santander.
- [11] Hovmand P. (2014). *Community Based System Dynamics: Lessons from The Field*. Press.
- [12] Golubiewski N. (2012). Is there a metabolism of an urban ecosystem? An ecological critique. *Ambio* 41(7), 751-764.
- [13] de Sabios M. (2019). Colombia hacia una sociedad del conocimiento. Informe de la misión internacional de sabios. Magisterio.
- [14] Niño E. et al. (2020). Colombia y la nueva revolución industrial. Press.
- [15] Rouwette E. et al. (2002). Group model building effectiveness: a review of assessment studies. *System Dynamics Review. The Journal of the System Dynamics Society* 18(1), 5-45.
- [16] Quiroz G. (2022). Prototipo juego-taller: Validando Consumidores. UNAB Creative.

# Aprendizaje social desde la participación comunitaria: Un estudio a las maneras como se genera aprendizaje en las organizaciones, programas, proyectos y actividades sociales

Eucario Parra Castrillón<sup>1</sup>  
*Corporación Universitaria Minuto de Dios*  
Colombia

El objetivo principal del estudio fue conocer las maneras cómo se genera aprendizaje en las organizaciones, programas, proyectos y actividades sociales. Se realizó una investigación con enfoque cualitativo basada en un diseño fenomenológico aplicando las técnicas de grupos focales y de entrevistas en profundidad. La población de estudio la conformaron líderes sociales, participantes de grupos comunitarios y profesores investigadores de educación superior. Los datos se obtuvieron de fuentes de la Comuna 5 de Medellín, Colombia. El análisis de datos se hizo codificando textos obtenidos de las fuentes para lograr una categorización de expectativas frente a proyectos y actividades de las organizaciones sociales de base comunitaria, reconocimiento de los alcances de la educación informal y motivaciones y formas de participación en los proyectos y organizaciones sociales. Se encontró que la educación informal se refleja en el aprendizaje social que obtienen los participantes en los grupos sociales de base comunitaria y a partir de las interacciones y propósitos comunes en los territorios. Un desafío para las políticas públicas, la sociedad civil y los líderes comunitarios es fomentar proyectos educativos amplios que coexistan con la educación formal, basados en educación informal emergente de los proyectos y actividades sociales.

---

<sup>1</sup> Ingeniero de Sistemas, Licenciado en Matemáticas y Magister en Educación.  
Contacto: [eucarioparra5@gmail.com](mailto:eucarioparra5@gmail.com)

## 1. INTRODUCCIÓN

En la educación existen tres posibles escenarios de aprendizaje: formal, no formal o informal. La educación formal se desarrolla dentro de un sistema reglado por la legislación del Estado y comprende desde el nivel preescolar hasta los postgrados. La educación no formal coincide con la anterior en cuanto a la existencia de conjuntos de contenidos, objetivos y métodos para aprender, pero no hace parte del sistema institucionalizado formalmente como encadenamiento de grados o niveles. Es decir, la educación no formal está al margen de la escuela tradicional. Mientras tanto la educación informal ocurre en contextos experienciales, no tiene niveles, sino que es continuo toda la vida y se erige continuamente con las destrezas, saberes, actitudes que las personas adquieren interactuando con mundo [1]. Ni la educación no formal ni la informal hacen parte del sistema oficial de educación.

La educación informal considera que la capacidad de aprendizaje es inseparable del ser humano, o sea, todas las personas están incluidas dentro de sus procesos; es ilimitada, puesto que no está dentro de secuencias formativas estructuradas, está subordinada a distintos procesos sociales y culturales [1]. Las comunidades de practica constituyen una categoría del aprendizaje social informal, caracterizadas porque los procesos de aprendizaje no se basan en la individualidad, sino que se sitúan en dimensiones socioculturales e históricas. Según [2, 6], el aprendizaje surge a partir de compilaciones compartidos desarrolladas a la manera de prácticas comunes de las integrantes adquiridas en sus interacciones. Estas prácticas varían desde palabras, historias, acciones y formas de hacer las cosas hasta rituales y conceptos que la comunidad ha producido.

En [3] se expone como en un proyecto de innovación social la participación de las personas les provoco unos aprendizajes prácticos y aplicados (sobre proyectos de energía, contratos, regulaciones y habilidades para comunicarse) y otros más profundos sobre valores (relación entre cambio climático y uso de la energía, maneras de ejercicio de poder y nuevas formas de relacionarse). Los participantes en el proyecto mostraron la diversidad de sus aprendizajes y las incidencias en sus modos de vida.

Asimismo, en un proyecto sobre consumo agroecológico se evidencio un denominado aprendizaje desde la acción, originado en la participación en los grupos y las interrelaciones emergentes e informales y caracterizado por unas dimensiones intelectuales, emocionales, políticas y éticas. Se concluyo que en ese proyecto se fomentaron aprendizajes en dos niveles: unos instrumentales, representados en habilidades para el trabajo, aprender a participar y sobre los impactos del sistema agroalimentario industrial; y otros de concientización, relacionados con cambios en sus visiones sobre su identidad, el sistema consumidor o las realidades capitalistas [4].

En referencia a la educación social y la pedagogía social, [5] plantea que las crisis de las sociedades actuales nos empujan a abrir la educación, demasiado encerrada en la familia y la escuela, a otros modelos, agentes, actores y escenarios, sin soslayar el trascendente papel de las dos grandes instituciones educadoras, pero sin renunciar tampoco a que la sociedad misma asuma su responsabilidad formativa. Se deduce de esta propuesta de apertura, que la sociedad debe reconocer los impactos de la educación informal, entendiendo que, aunque en las escuelas también hay aprendizajes sociales resultado de las interacciones entre los estudiantes, en el transcurrir del mundo el aprendizaje social e informal adquiere significados especiales para las personas, ya que están relacionados con sus pasiones, intereses, problemas y expectativas.

La teoría sobre aprendizaje social de Vygotski explica que el aprendizaje es el resultado de las interacciones de los individuos con su entorno, ya que cada uno se reconoce conscientemente examinando sus condiciones en relación con los demás [6]. La mutua colaboración se funda para los procesos de adquisición y transmisión cultural, desde donde se forma el aprendizaje social.

En concordancia con los referentes teóricos anteriores, la educación social es informal en tanto que no es escolarizada, los contenidos de aprendizaje no están organizados curricularmente sino que emergen de los intercambios de las personas, los periodos no están acotados pues la vida social no tiene interrupciones, los métodos son constructivistas intensamente, Con respecto a los momentos pueden considerarse varios eventos: aprendizajes que resultan de proyectos sociales en particular; aprendizajes que son inherentes a

la participación en una organización social; aprendizajes originados en el transcurrir de la vida en el territorio.

Los contenidos de la educación informal no tienen una organización previa, pero finalmente los participantes en proyectos o en organizaciones aprenden técnicas para el hacer, conocimientos específicos o valores individuales o sociales. Asimismo, las personas aprenden en la comunidad los rasgos de su cultura representada en la identidad conjunta de valores, representaciones, arraigos o historias.

El problema que le dio luz a la investigación es la forma como el aprendizaje informal es reconocido y valorado en las organizaciones sociales para considerarlo como un objetivo específico, dentro de los demás que se consideran cuando se realizan proyectos o cuando se planean o se hacen balances de las actividades. Se considero que las organizaciones sociales de base comunitaria son acopio de intereses territoriales que convocan al trabajo solidario de la comunidad, en las cuales condiciones como el altruismo, la participación, la inclusión y el gobierno democrático son transversales a sus estructuras.

La pregunta de investigación fue: ¿cuál es la representación que tienen líderes de organizaciones sociales sobre el aprendizaje social derivado de las actividades y proyectos y de qué manera incluyen su realización dentro de los objetivos concretos en los planes y proyectos?

## 2. MÉTODO

Se realizó una investigación con enfoque cualitativo utilizando un diseño fenomenológico interpretativo para conocer y describir el entendimiento del aprendizaje social en las organizaciones sociales de base comunitaria. La información sobre el fenómeno se obtuvo de las percepciones y representaciones de personas que conocen las vivencias de las organizaciones sociales o que hacen parte de sus engranajes. Como técnica se aplicaron siete entrevistas en profundidad y un grupo focal, con la intención de conocer la fenomenología desde el dialogo con los actores. En el grupo focal participaron dos líderes de organizaciones sociales y siete personas que han participado en ejecutorias de estas organizaciones. El proyecto se desgarró en el entorno de la Comuna 5 Castilla, del occidente de la Ciudad de Medellín. La población de estudio se especificó de la siguiente forma:

- *Entrevistas en profundidad:* los entrevistados fueron un líder cultural, un líder de gestión territorial (junta administradora local), un líder de un grupo juvenil, un profesor de danzas, dos profesores universitarios investigadores sociales y un líder de comunicaciones territoriales (periodista de un canal de antena parabólica local).
- *Grupo focal:* participaron dos integrantes de un grupo de tercera edad, un gestor cultural, un líder de una organización de educación ambiental, un integrante de una junta administradora local, un líder de corporación de limitados físicos, un limitado físico que ha sido beneficiado con proyectos de inclusión y dos personas que han participado en proyectos artísticos y culturales financiados por el Municipio de Medellín, pero ejecutados por una organización cultural.

Para el análisis de la información se siguieron las siguientes fases: 1) reducción de datos cualitativos; 2) Organización y transformación de datos, y 3) Elaboración de resultados y confirmación de conclusiones. Se creó una unidad hermenéutica con el texto de las entrevistas y el grupo focal para luego hacer un proceso de codificación (citas o marcación de segmentos de texto con significado para la investigación). Con la interpretación de las citas codificadas se procedió a construir redes semánticas con vínculos y relaciones entre los distintos elementos.

## 3. RESULTADOS

Se realizó un proceso de construcción de unidades de análisis o categorización de tipo inductivo en el cual las categorías se fueron construyendo de acuerdo con la interpretación de los textos. Son categorías emergentes, ya que se crean desde patrones y recurrencias encontradas en la información. Se obtuvieron las siguientes:



1. Expectativas frente a proyectos y actividades de las organizaciones sociales de base comunitaria
2. Reconocimiento de los alcances de la educación informal
3. Las motivaciones y formas de participación en los proyectos y organizaciones sociales

### 3.1 Expectativas frente a proyectos y actividades de las organizaciones sociales de base comunitaria

De acuerdo con las fuentes, las expectativas sobre los proyectos y las actividades están orientadas al incremento de los servicios de manera que haya una mayor cobertura. Critican que con alguna frecuencia no hay continuidad en las realizaciones, ocurren interrupciones abruptas o se cambian las condiciones. Los líderes explicaron que en gran parte las incertidumbres del instituto para la recreación y el deporte del Municipio de Medellín para contratación de gestores, profesores y entrenadores impactan negativamente en los programas. La mayor expectativa encontrada es que el instituto y otras entidades de la Alcaldía de esta ciudad asuman el compromiso con la comunidad de una manera más organizada y responsable. Por otra parte, a manera de autocrítica expresaron en las entrevistas y en el grupo focal, que las personas inicialmente participan con intensidad, pero luego va decayendo la participación. Un gestor cultural dijo:

*Hermano, es muy triste lo que ocurre a veces. La gente empieza muy bien y a las semanas que lio, los profesores ahí esperando y luego viene el problema cuando tenemos que reportar resultados. Claro que no siempre es así, pero ah que lio ese del incumplimiento. Yo esperarí que la gente participe seriamente pues todo se hace para ese fin.*

Además, hablaron de la manera injusta como a veces actúan los usuarios de los servicios y la ingratitud con los líderes, profesores o entrenadores. Una percepción compartida por las fuentes es el impacto positivo de los grupos, programas y proyectos para la comunidad. Coincidieron sobre la necesidad de un mayor compromiso por parte de la Alcaldía, incrementar los patrocinios, ampliar la cobertura y mejorar las contrataciones de profesores y gestores.

### 3.2 Reconocimiento de los alcances de la educación informal

Cuando se tocó el tema educativo en los diálogos, inicialmente la parquedad se sentía en las respuestas siendo necesario insistirles a los participantes. Para las fuentes, aparte de los profesores universitarios, realmente el tema es secundario, según la postura observada. Es decir, el aprendizaje informal derivado de la participación en los programas no fue reconocido totalmente como un atributo ventajoso de los proyectos, programas y organizaciones sociales. El aprendizaje social es un tema superficial para los líderes de las organizaciones sociales y para los usuarios. No obstante, se pudo recoger un listado de lo que expresaron son aprendizajes: aprender a bailar, a hablar en público, reglas de tránsito; aprender sobre contaminación ambiental, reciclaje, hacer adornos navideños, sembrar árboles y hacer gimnasia.

Los profesores universitarios (investigadores sociales) dieron unas opiniones más amplias y explícitas. Le dieron una mayor trascendencia al tema:

*Es gratificante ver como aprenden en los grupos. No es un aprendizaje planeado, los objetivos plasmados son otros, tienen que ver con las actividades específicas. Pero aprenden finalmente, aprenden digamos a permanecer con disciplina, aprenden a quererse, aprenden a participar, aprender a valorarse, a ser personas, a ser sujetos.*

Otro profesor dijo:

*Se expresa cierta pedagogía grupal, que me perdonen los eruditos. Pero en mi opinión en mi proyecto con madres cabeza de familia hay un modelo pedagógico. Claro que ellas han sido convocadas es para un proyecto productivo consistente en hacer alfajores y galletas para vender en empresas, pero ellas aprenden muchas cosas. Mira aprenden a costear los productos, trabajan en equipo, eso se aprende, aprenden valores. Entonces sí, hay un modelo pedagógico. A la pregunta de porque pide perdón a los eruditos, ¿cuáles eruditos? la respuesta fue: los licenciados son complicados con ese tema pedagógico, en la facultad de educación de la U de A ese tema pedagógico tiene aires muy elevados y la teoría es complicadita, si me escucharan diciendo que en mi proyecto hay pedagogía grupal se me pararían serios.*

Otro asunto relevante descubierto en los diálogos con las fuentes es que los procesos educativos los remiten a la educación escolar formal, con excepción de los profesores universitarios. Lo afirmo una participante en un grupo de tercera edad:

*Me pregunta que yo que aprendo en el grupo, pues yo sé que no estoy en un colegio ni una escuela. Yo pase por allá hace años.....jajaja... uno viejo que va a aprender, además las escuelas son de los niños. Yo en el grupo hago muchas cosas y los quiero mucho a todos, y estoy muy amañada, pero yo no vine a aprender, cual aprender jajaja...*

En los diálogos se notó como asociación que hicieron las personas entre aprendizaje y educación formal cuando se les indago acerca de: ¿que aprenden? ¿Cómo aprenden? Se observo que encajan el concepto de educación informal como producto de la participación en proyectos sociales u organizaciones de ese tipo.

### **3.3 Las motivaciones y formas de participación en los proyectos y organizaciones sociales**

Fue conocer las motivaciones para la participación en las organizaciones, proyectos, programas o actividades en el territorio. De acuerdo con la similitud de las respuestas se pudo lograr lo siguiente:

1. Por la necesidad de cambiar la rutina del hogar, participar les abre opciones para salir.
2. Porque familiares, vecinos y amigos los invitan a participar y se convierten en referentes.
3. Por la necesidad de socialización e interactuar con otras personas.
4. Por la actitud de servicio a la comunidad y el espíritu solidario con los demás
5. Porque participando se invierte bien el tiempo y se evita ser improductivo
6. Para ampliar el círculo de amistades
7. Porque la participación es una buena opción para superar la soledad
8. Por la necesidad de aprender cosas nuevas y aprender de los demás
9. Por lograr dádivas concretas o servicios específicos
10. Porque la salud física y mental demanda actividad permanente

En ese orden fue la frecuencia de las respuestas. El listado visto así muestra predisposiciones, aunque es impropio generalizar pues no se aplicaron métodos estadísticos. Así las cosas, el fenómeno de la participación esta activado por esas nueve motivaciones en el caso concreto de la población de estudio especificada y bajo los métodos descritos.

En ese listado es llamativo que la motivación del aprendizaje se exhibe con menor importancia. No obstante, vistas en su totalidad estas motivaciones se convierten en insumo para el análisis y decisiones relacionadas con la inversión pública y privada para el desarrollo humano y social en los territorios locales. Con respecto al motivo del aprendizaje un profesor de danzas asevero:

*Mi grupo es una escuela. Claro que ellos van es a bailar y relajarse, se divierten, el tiempo pasa volando. Les encanta cuando nos llaman a eventos o desfiles, ese es el mejor premio para nosotros, que nos inviten. Pero el grupo es una escuela porque varios ya son profesores de otros grupos, otros han armado sus proyectos con niños. Puedo decirlo ellos aprenden a quererse, son solidarios, aprenden a respetar y aprenden que la disciplina es esencial en el arte de la danza.*

Un asunto fundamental fue la alegría manifiesta en las fuentes al hablar sobre las maneras de su participación. Fueron resonantes los elogios para promotores, profesores, talleristas y lideres de las distintas actividades; con exaltación hicieron referencias sobre las distintas actividades; con pasión defendieron el dinamismo impregnado en los grupos. Un integrante de junta administradora local afirmo:

*Lo más bonito es el entusiasmo de la gente. Para nosotros la mayor motivación es la gente, pero no es por decirlo, no. Es que uno ve la gente muy satisfecha y empoderada, uno ve la gente contenta y ve las ganas y ve como se inspiran. Agréguele que en 23 años lidiando con convocar a la gente he visto crecer a muchos, he visto cambios. Conozco casos de personas que han aprendido toneladas y que hoy son grandes lideres o están triunfando en otras partes.*

En los diálogos se ventilaron también otros asuntos contrarios a la alegría por participar. Un líder expreso:

*Todo hay que decirlo, miren hay gente que va a las reuniones por un sanduche o por un cuaderno o van por quedar en la lista de los regalos. Hay gente así y no son muy pocos. Yo he conocido muchos casos de personas que no les interesa sino el que me dan.*

Como estas se escucharon varias aseveraciones denunciando que a veces las personas acuden sin criterios constructivos y con posiciones que los convierten en contras en el fluir de las actividades. Pero, según lo

escuchado, estos son casos de menor representación y de menor incidencia que la mayoría de las participantes que lo hacen con pasión por su participación.

#### 4. DISCUSIÓN

Las expectativas de las comunidades frente a los programas sociales demandan mayor compromiso del Estado representado por el Gobierno local para una mayor sostenibilidad de los programas. Pero es un asunto de corresponsabilidad que implica concienciación social que convoque a los ciudadanos para proyectar lo que ellos valoran. La comunidad organizada con la formalización de los grupos de diversa índole a su vez que es receptora de las políticas públicas se convierte en un vector que continuamente está empujando para mayores logros.

Cuando se abren oportunidades para que la gente participe en espacios culturales, recreacionales, comunicacionales o artísticos, se está contribuyendo a la felicidad colectiva e individual; se están abriendo puertas para la inclusión y para el ejercer liderazgo. Desde este punto de vista, los programas sociales contribuyen al desarrollo humano. Con respecto a las organizaciones sociales, tienen la responsabilidad de impulsar el encuentro de los ciudadanos para el ejercicio de la creatividad y la construcción de oportunidades. En el territorio la comunidad valora estas organizaciones con la aspiración del apoyo del Estado, dado que ser autosuficientes es un desafío no siempre fácil de lograr.

En relación con el reconocimiento de la educación social, no se encontró homogeneidad sobre su valoración como resultado directo de los proyectos y programas sociales. Se escucharon algunas voces de líderes exaltando las organizaciones sociales como escenarios educativos, en tanto que para otros participantes el tema pasa desapercibido o con menor importancia. Las percepciones especializadas de los profesores universitarios resaltan ampliamente los aportes educativos de los proyectos y programas sociales, lo que es lógico en vista de sus conocimientos y experiencias formativas.

Sin embargo, aunque no haya conciencia plena de la comunidad, la participación sostenida, la responsabilidad con los grupos, la perseverancia de las organizaciones sociales e incluso, la alegría y satisfacción manifiestas por las fuentes puede interpretarse como eventos formativos relacionados con el ser. Aprender a convivir, por ejemplo, es un resultado de la participación, así las personas no lo enaltezcan o defiendan. Esto conduce a un desafío para los líderes, gestores, patrocinadores y ejecutores de programas, proyectos y organizaciones sociales, para que consideren el componente pedagógico dentro de los objetivos, convirtiéndose en un elemento esencial reconocido por todos.

Se infiere que, si hubiera una valoración de los aportes educativos de los proyectos sociales, entonces el Estado tendría un mayor cuidado en el fomento de las organizaciones sociales y con más responsabilidad ampliaría los recursos destinados para el desarrollo social.

Tanto para las comunidades como para institucionalidad pública, una visión para el desarrollo humano sería apreciar que la educación formal no es la única opción formativa para la población, ya que desde otros ambientes también se genera aprendizaje social. Entendiendo esto es trascendental incrementar opciones para participar en organizaciones, redes, grupos, programas, proyectos o actividades, lo cual compromete a distintos estamentos de la sociedad.

Las motivaciones para la participación son variadas, pero circunscritas a dos dimensiones: socialización e interacción con los otros y fortalecimiento personal. Las personas necesitan oportunidades para salir, encontrarse, comunicarse, estar en contacto con los otros. Asimismo, requieren satisfactores para su filiación ya que son sujetos con dilemas, privacidades, problemas o tensiones resultadas de su forma de vivir cotidiano.

Otros dos motivos para participar merecen considerarse, aunque no hayan sido suficientemente resaltadas por las fuentes, son las relacionadas con la necesidad de aprender y con la que tienen por objetivo obtener dadas. Paradójicamente, aunque no todas las personas son conscientes que van a aprender o tienen en su mira ese propósito, adquieren aprendizajes y esa condición formativa subrepticamente se convierte en

dispositivo enajenador para incrementar la participación. O sea, ese aprendizaje interno es una motivación para querer comprometerse más.

Con respecto a participar motivados por dadas o por coyunturas como obtener ingresos económicos o por militancia política, es evidente que son antagónicos para el buen transcurrir de los programas y organizaciones sociales. Para los líderes y los patrocinadores es retador transformar esas motivaciones, lo que se traduce en procesos formativos para que las personas participen concienzudamente.

## 5. CONCLUSIONES

Un desafío para las políticas públicas y las comunidades territoriales es comprender que el aprendizaje no obedece exclusivamente a los procesos de la educación formal, ya que en las organizaciones sociales de base comunitaria también se fomenta su desarrollo. El aprendizaje social se logra con la participación en las actividades de los programas y proyectos sociales y, además, estas son potenciadoras de transformaciones personales.

En los territorios las personas disfrutan de los grupos porque son posibilidades para su interlocución con otros y para satisfacer su individualidad, aspecto que es oportunidad para iniciativas educativas amplias que coexistan con la educación formal.

Considerando lo anterior, las organizaciones sociales de base comunitaria pueden asumir un rol trascendente si se planean para cumplir con los propósitos de su objeto básico (artes, recreación, inclusión, por ejemplo) y como escenarios pedagógicos para la educación informal.

## REFERENCIAS

- [1] Martín R. (2017). Contextos de Aprendizaje: Formales, no formales e informales. Omega.
- [2] Martín R. et al. (2021). Comunidades y aprendizaje informal: Las narrativas rurales de dos cooperativistas. Revista Brasileira de Educação do Campo 6, e11885-e11885.
- [3] Pellicer D. y Cuesta H. (2019). Participación ciudadana y aprendizaje para una transición energética transformadora: El caso de Som Energía. Icaria Editorial.
- [4] Belda G. (2019). Los grupos de consumo agroecológico como espacios colectivos de aprendizaje para la transición: El caso de Valencia. Icaria Editorial.
- [5] Pérez V. (2021). Pedagogía social y educación social. Revista Educação em Questão 59(59).
- [6] Rojas Y. et al. (2021). El aprendizaje y las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones. Educación Médica Superior 35(3).

# Ciencia Transdisciplinar en la Nueva Era

Edición 1

El libro se sitúa en el contexto de la adaptación a los grandes cambios en el Nuevo orden Mundial, un campo cada vez más caracterizado por el discurso transdisciplinar y la experimentación metodológica. Una adaptación que tiene lugar tanto en lo local como en lo global, por lo que la integración del conocimiento y la producción de soluciones relevantes para los desafíos se deben considerar especialmente urgentes. Es decir, las complejidades de la adaptación a la Nueva Era exigen conocimientos pertinentes, que proceden desde una serie de disciplinas y perspectivas, y una aplicación que salve la brecha en la ciencia disciplinar. Como se evidencia en este libro, la ciencia transdisciplinar es posible, y el lector encontrará factores y patrones comunes que la convierten en un modelo atractivo para que los científicos, los investigadores y los académicos busquen la adaptación social, a pesar de los desafíos prácticos y epistemológicos a los que se enfrenta la humanidad en este siglo.

