

Caracterización físico-química de la epoxidación de biodiesel obtenido a partir de grasa de pollo residual

Physico-chemical characterisation of the epoxidation of biodiesel from waste chicken fat

Galvin Toala Briones¹, Patricia Vivas Bautista¹, Segundo García Muentes¹

¹Facultad de Ciencias Matemática, Física y Química de la Universidad Técnica de Manabí. Ave Universitaria, Portoviejo Manabí Ecuador

*Autor de correspondencia: gtoala1337@utm.edu.ec

Recibido: 1 de junio de 2022

Aprobado: 29 de agosto de 2022

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



RESUMEN/ABSTRACT

El objetivo de la investigación consiste en realizar la epoxidación de grasa de pollo residual y obtener un producto más estable frente a la oxidación, para ser utilizado en la formulación de grasa lubricante. Metodológicamente el estudio se realizó en dos etapas experimentales. En la primera se llevó a cabo la reacción de transesterificación. En la segunda se realizó la epoxidación a 75°C durante 4.5h. Como resultados se logró determinar los parámetros de calidad del biodiesel con valores apropiados como la densidad, viscosidad cinemática e índice de yodo. Se concluyó que con la epoxidación aumentó la densidad y la viscosidad en comparación con la del producto transesterificado. La densidad final del producto de la epoxidación corresponde a lubricantes de tipo pesado en relación a la gravedad API y la viscosidad cinemática medida a 40°C, lo que permitió clasificarlo como lubricante ISO VG 7 de acuerdo a la norma ASTM-D-242.

Palabras clave: grasa de pollo; transesterificación; biodiesel, epoxidación, grasa lubricante.

The aim of the research is to epoxidise residual chicken fat and obtain a product that is more stable against oxidation, to be used in the formulation of lubricating grease. Methodologically, the study was carried out in two experimental stages. In the first stage, the transesterification reaction was carried out. In the second stage, the epoxidation was carried out at 75°C for 4.5h. As results, it was possible to determine the quality parameters of the biodiesel with appropriate values such as density, kinematic viscosity and iodine value. It was concluded that the epoxidation increased the density and viscosity compared to that of the transesterified product. The final density of the epoxidation product corresponds to heavy type lubricants in relation to API gravity and kinematic viscosity measured at 40°C, which allowed it to be classified as an ISO VG 7 lubricant according to ASTM-D-242.

Key words: poultry fat; transesterification; biodiesel, epoxidation, lubricating grease.

INTRODUCCIÓN

El biodiesel es un biocombustible líquido que se obtiene a partir de lípidos naturales como aceites vegetales o grasas animales, ya sean limpias o usadas, mediante procesos químicos [1]. Sin embargo, las instituciones que protegen el medio ambiente se han pronunciado contra el uso de los aceites vegetales para la obtención de biodiesel, debido a que estos cultivos, en especial la palma, requiere altas cantidades de agua para regular su crecimiento, lo que implica importantes gastos de este recurso natural y presenta los efectos negativos de la agricultura intensiva como cambio en el uso del suelo, erosión, uso de plaguicidas y agroquímicos [2].

Cómo citar este artículo:

Galvin Toala Briones; *et al.* Caracterización físico-química de la epoxidación de biodiesel obtenido a partir de grasa de pollo residual. 2022. 43(3), septiembre/diciembre. ISSN: 1815-5901.

Sitio de la revista: <https://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/index>

Los biocombustibles constituyen actualmente la base fundamental de las fuentes renovables de energía, por otra parte, permiten formar renovados y ampliados mercados para los productores agrícolas. Sin embargo, son pocos los proyectos que incluyen biocombustibles que han resultado viables debido esencialmente a los elevados costos sociales y económicos que implican [3]. Los motores que usan combustible no son capaces de aprovechar más del 30 % de la energía primaria contenida en ellos. El 70 % restante se pierde en calor y emisiones de gases y material particulado que contaminan el ambiente [4]. Actualmente, en la ciudad de Portoviejo de la provincia de Manabí en Ecuador existen varios establecimientos que se dedican a comercializar comidas elaboradas a base de pollo. El aceite residual de dichas cocinas es descargado por la red pública de alcantarillados, lo que resulta una contaminación ambiental a los acuíferos del territorio. La obtención del biocombustible empleando grasa de pollo residual se alinea a los principios de la producción más limpia al aprovechar un subproducto útil, de tal modo que se puede generar múltiples ventajas tales como: la mitigación de impactos ambientales, generación de bienestar social al contar con un ambiente más sano, aumento de la competitividad por los bajos costos de la materia prima y, por tanto, importantes oportunidades de emprendimiento [5].

Una de las áreas de interés que está siendo estudiada para reducir la dependencia del petróleo y el impacto antropogénico sobre el medio ambiente, es el uso de lubricantes a base de aceites naturales, en lugar de los lubricantes a base de petróleo. Estos productos son conocidos como biolubricantes, ya que su uso genera beneficios ambientales, de salud y de rendimiento sobre los lubricantes actuales basados en el petróleo [6]. Por lo tanto, la industria a nivel mundial demanda productos generados a partir de materias primas renovables y biodegradables que cumplan con las características de funcionalidad, que sean tecnológicamente eficaces y competitivos [7; 8]. Una alternativa para los lubricantes minerales son los biolubricantes y se refiere a todos los lubricantes derivados de materias primas de base biológica, es decir, aceites vegetales, grasas animales o cualquier otro hidrocarburo ambientalmente benigno [9].

Sin embargo, la aceptación del consumidor de un lubricante a base de aceites vegetales o animales requiere la superación de algunos inconvenientes, en particular, la inestabilidad térmica y oxidativa y los rangos de viscosidad limitada que impiden su uso en condiciones extremas [10]. Se parte de la premisa de que el aprovechamiento del aceite de pollo epoxidado es capaz de generar un lubricante de alta calidad para la industria y, con ello, reducir el impacto ambiental que se está generando al descargar los residuales del aceite de pollo en la red pública de alcantarillado. Considerando lo analizado anteriormente, el objetivo del trabajo consiste en realizar la epoxidación de grasa de pollo residual y obtener un producto más estable frente a la oxidación, para ser utilizado en la formulación de grasa lubricante.

Marco teórico

La estructura química del biodiesel permite que sea posible epoxidar sus moléculas y usarlas directamente para producir plastificantes o lubricantes. Sin embargo, éstas también pueden ser sujetas a modificaciones para mejorar sus propiedades y servir como intermediarias para la síntesis de poliuretanos. Pero antes se debe realizar la transesterificación de la grasa de pollo. El proceso radica en hacer reaccionar un triglicérido, compuesto por una molécula de glicerol esterificada por tres moléculas de ácidos grasos, con un alcohol de bajo peso molecular (ROH) y en presencia de un catalizador, obteniéndose como productos glicerina y ésteres monoalquílicos, conocido como metiléster o biodiésel [11]. En la figura 1, se muestra la reacción de transesterificación.

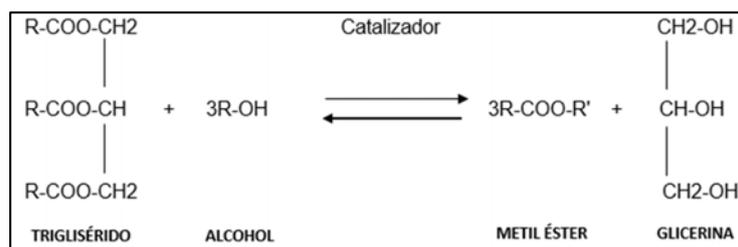


Fig. 1. Reacción de transesterificación. Fuente: a partir de [12]

La epoxidación es un método que consiste en la funcionalización de las grasas animales y vegetales o sus correspondientes ésteres metílicos a través de la incorporación de un átomo de oxígeno en sustitución a los hidrógenos extremos al doble enlace [6; 13; 14]. La utilización del biodiesel para ser quemado como combustible resulta el uso menos económico y factible ambientalmente. Está demostrado que mediante un procesamiento químico adecuado se pueden obtener otros productos derivados de mayor valor social, económico y ambiental [15].

Para ello es necesario partir de la caracterización físico química del biodiesel a partir de la grasa residual del pollo y de los resultados de la epoxidación del mismo utilizando los métodos, técnicas y herramientas de la ingeniería química. De ahí la importancia y la relevancia científica del trabajo. En la figura 2, se muestra un esquema relacionado con la epoxidación.

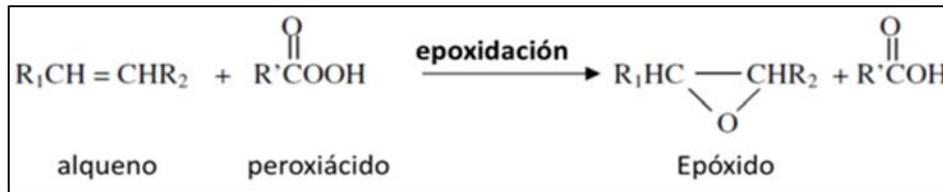


Fig. 2. Reacción de epoxidación

En este sentido, el objetivo de la investigación consiste en aprovechar la grasa de pollo residual para su epoxidación eliminando los dobles enlaces presentes en el éster metílico o biodiesel y obtener un producto más viscoso y más estable frente a la oxidación, para ser utilizado como base en la formulación de grasa lubricante.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en dos etapas experimentales. En la primera se llevó a cabo la reacción de transesterificación [12; 16], tomando en cuenta la cantidad de catalizador, agitación, tiempo y temperatura. En la segunda se realizó la epoxidación [17-19] a 75°C durante 4.5h. La caracterización físico-química de los productos de las reacciones en términos de su densidad, viscosidad, índice de acidez e índice de yodo fueron determinadas y comparadas según las normas ASTM [20]. Como materia prima se utilizó la grasa de pollo residual brindada por la cadena de asaderos de pollo de la ciudad de Portoviejo y que genera en promedio entre 5 y 15 litros semanales de aceite residual. Residuales que no son sometidos a ningún proceso de gestión ambiental y se vierten a la red hidráulica urbana, constituyendo un riesgo latente de contaminación de las fuentes hídricas y el suelo.

Las etapas experimentales llevadas a cabo fueron: transesterificación y epoxidación, las que se desarrollaron en el Laboratorio de Química Analítica de la Universidad Técnica de Manabí. En la figura 3, se muestra un esquema del flujograma experimental aplicado.

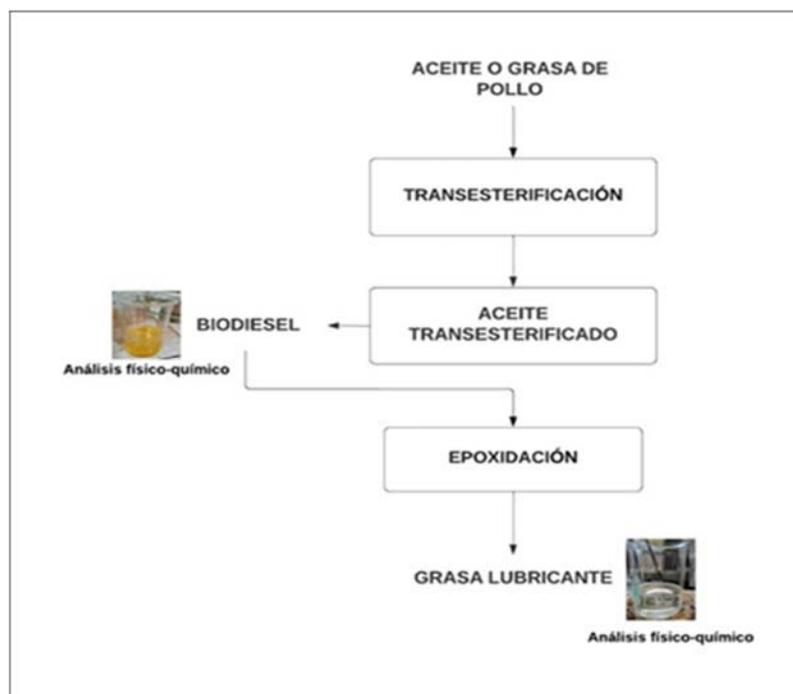


Fig. 3. Flujograma experimental para la elaboración y caracterización de la grasa lubricante

Transesterificación

Para la obtención del biodiesel se siguió la técnica descrita por [12]. Para ello se utilizó como materia prima 100 g de grasa de pollo, 27 ml de metanol más 1 gramo de NaOH a 60°C durante 40 min y una velocidad de agitación de 120 rpm, con una relación molar metanol/aceite de 6:1. La mezcla obtenida se dejó en reposo en un embudo de separación. Una vez separadas las dos fases éster metílico y glicerina se procedió a retirar la glicerina y lavar el éster metílico con agua destilada a una temperatura de 50°C para eliminar las trazas del catalizador presente y otras sustancias solubles en agua.

Epoxidación

En cuanto a la experimentación para la epoxidación se siguió la técnica descrita por [21; 22]. En un vaso de precipitado se mezclaron 50 gramos de éster metílico con 16.5 ml de ácido fórmico. Posteriormente, se añadieron 0.85 ml de ácido sulfúrico hasta que el contenido de la mezcla alcanzó un viraje de color de amarillo a negro. Seguidamente, se adicionaron 61.5 ml de peróxido de hidrógeno al 30% gota a gota a través de un embudo separador, en un tiempo de 45 minutos. El color negro fue desapareciendo hasta llegar a un amarillo parecido al del aceite inicial. Se dejó calentar hasta una temperatura de 75°C hasta reaccionar la mezcla durante 4.5 horas produciéndose una reacción exotérmica. El color amarillo desapareció paulatinamente hasta obtener un producto de color blanco. Se neutralizó el reactor hasta pH 5 añadiendo 6.6 ml gota a gota de hidróxido de sodio al 20%. Finalmente, se vertió en un embudo separador y se dejó reposar hasta que se separaron las fases.

Caracterización físico-química

Densidad.

Para la determinación de la densidad se empleó la Norma ASTM D 287 – 92 (Método del Hidrómetro) [23].

Viscosidad Cinemática

Se determinó la viscosidad cinemática [24], con el viscosímetro de Oswald. La función de este equipo se basa en la medición del tiempo en el que el fluido recorre una distancia entre un espacio determinado.

Para determinar la viscosidad dinámica se utilizó la ecuación (1).

$$\frac{n_{H_2O}}{n_{fluido}} = \frac{\rho_{H_2O} \cdot t_{H_2O}}{\rho_{fluido} \cdot t_{fluido}} \quad (1)$$

Donde:

n ã viscosidad dinámica

ρ ã densidad

t ã tiempo

Para calcular la viscosidad cinemática se utilizó la ecuación (2).

$$\varphi = \frac{n}{\rho} \quad (2)$$

Donde:

φ ã viscosidad cinemática

n ã viscosidad dinámica

Porcentaje de acidez

Se siguió la técnica de valoración ácido-base descrita por [12]. Para la determinación del porcentaje de acidez se utilizó la técnica de titulación que consiste en agregar 2g del biodiesel en un matraz erlenmeyer, 10 ml de etanol y 3 gotas de fenolftaleína. Se homogeniza la mezcla y se procede a titular con NaOH 0,1 N gota a gota hasta que la solución se torne de color rosa.

Los cálculos se realizaron de acuerdo a la ecuación (3).

$$\%AO = \frac{C_T \cdot N_T \cdot meQ \cdot 100}{P_M} \quad (3)$$

Donde:

%AO ã porcentaje de acidez

C_T ã Consumo del titulante (NaOH)

N_T ã Normalidad del titulante

meQ ã Mili-equivalente químico

P_M ã Peso de la muestra

Índice de acidez

Para determinar el índice de acidez se aplicó la ecuación (4). En correspondencia con lo plasmado en [25].

$$IA = \frac{C_T \cdot N_T \cdot 56,1}{P_M} \quad (4)$$

Donde:

IA ã índice de acidez.

Índice de Yodo

Para determinar el índice de yodo, es necesario preparar el reactivo de Wijs.

Para la preparación del reactivo de Wijs se agregaron 0,75g de yodo metálico en un matraz del tipo Erlenmeyer y diluido en 50ml de ácido acético. Se guardó en un frasco ámbar con tapón esmerilado para evitar que la luz afecte el reactivo. Seguidamente, en una placa de calentamiento se ubicó en un matraz erlenmeyer con tubo de extracción, se agregaron 3ml de ácido clorhídrico concentrado y 1g dióxido de manganeso sometiendo a estos reactivos a un aumento de temperatura para generar cloro gaseoso y ponerlo en contacto con la solución de yodo – ácido acético antes preparada hasta su cambio de color de café oscuro a amarillo pálido (reactivo de Wijs obtenido).

Para la determinaciónncersiones y eliminaciones del índice de yodo, en un matraz erlenmeyer se agregaron 0,15 g de la muestra y 20 ml de cloroformo para disolver. Seguidamente se añadieron 15 ml del reactivo de Wijs, se tapó, se agitó y se colocó el matraz al abrigo de la luz durante 1 hora. Del mismo modo se preparó un ensayo en blanco con el disolvente y el reactivo, pero sin la muestra problema. Una vez transcurrido el tiempo correspondiente se agregaron a cada uno de los matraces 20 ml de solución de yoduro de potasio y 50 ml de agua destilada. Finalmente, se procedió a titular con la solución de tiosulfato de sodio hasta que haya desaparecido casi totalmente el color amarillo producido por el yodo, luego añadir unas gotas del engrudo de almidón y continuar la valoración hasta el momento preciso en que desaparezca el color azul.

Los cálculos se realizaron de acuerdo a la siguiente ecuación (5).

$$IY = \frac{(V_1 - V_2) C_T \cdot 12,69}{m} \quad (5)$$

Donde:

IY ã Índice de Yodo

V_1 ã Volumen del titulante consumido por el ensayo en blanco

V_2 = Volumen del titulante consumido por la muestra problema

C_T = Consumo del titulante

m = Masa de la muestra.

RESULTADOS y DISCUSIÓN

Las propiedades físico-químicas del biodiesel se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Análisis físico químico del biodiesel

Propiedad	Unidades	Resultado	Técnica	Referencia	Norma
Densidad	Kg/m^3	890	Picnometría	(860 - 900)	ASTM D287
Viscosidad Cinemática 100°C	mm^2/s	4,77	Viscosimetría	(1.9 - 6.0)	ASTM D445
Porcentaje de acidez	$\%mg I_2/g$ <i>biodiesel</i>	0,36	Valoración ácido-base	-120 máx.	-EN 14214
Índice Porcentaje de acidez	$mg KOH/g$	0,7236	Valoración ácido-base	0,5-	ASTM D6751
Índice de yodo	$mg I_2/g$ <i>biodiesel</i>	68,68	Valoración ácido-base	120 máx.	EN 14214

El valor de la densidad encontrada fue de 890 kg/m^3 a 15°C como especifica la norma ASTM D287 [23]. El rango establecido en esta norma es de $860\text{--}900 \text{ kg/m}^3$ por lo tanto, cumpliendo con lo establecido por otros autores [26; 27] la densidad del biodiesel obtenido cumple la norma. Con referencia a las especificaciones el valor calculado para la viscosidad cinemática del biodiesel es de $4,77 \text{ mm}^2/\text{s}$, el cual se encuentra dentro de los límites establecidos por la norma ASTM D445, el rango establecido en esta norma es de $1,9\text{--}6,0 \text{ mm}^2/\text{s}$.

Según valores reportados por estudios anteriores [25], y por la norma establecida ASTM D6751-08 la acidez del biodiesel debe estar por debajo de 0,5, por lo que el valor obtenido no cumple con la normativa requerida. Este parámetro es uno de los más importantes para tener en cuenta antes de llevar a cabo la reacción de transesterificación, dado que materias primas de baja acidez al reaccionar con un catalizador básico, reduce la formación de jabones y agua que pueden llegar a afectar la separación de la mezcla biodiesel/glicerina y la degradación del biocombustible.

El índice de acidez es una medida intrínseca que indica cómo se encuentra una grasa o aceite [27; 28]. El valor calculado para el índice de yodo fue de $68,68 \text{ g de } I_2/100 \text{ g de biodiesel}$, el cual se encuentra dentro del valor establecido por la norma EN 14214, que especifica $120 \text{ g de } I_2/100 \text{ g de biodiesel}$ como límite máximo para este parámetro.

En la tabla 2, se muestran los resultados del análisis físico-químico de la grasa lubricante.

Tabla 2. Resultados del análisis físico-químico de la grasa lubricante

Propiedad	Unidades	Resultado	Técnica	Referencia	Norma
Densidad a 15°C	Kg/m^3	960	Picnometría	(920 -1000)	ASTM 1298
Viscosidad Cinemática $40/100^\circ\text{C}$	mm^2/s	6,54	Viscosimetría	(2-1659)	ISO ASTM D242
Porcentaje de acidez Índice de	$\%mg I_2/g$ <i>biodiesel</i>	1,97	Valoración ácido-base	-(89-112)	-EN 41111
Índice Porcentaje de Acidez	$mg KOH/g$	3,921,97	Valoración ácido-base	-	-
Índice de yodo	$mg I_2/g$ <i>biodiesel</i>	7,61	Valoración ácido-base	(89-112)	EN 41111

De acuerdo al resultado de la densidad en la grasa lubricante se puede apreciar un aumento significativo después de efectuar la modificación química, lo que indica que al ocurrir la reacción de epoxidación aumenta la masa del producto.

El aumento significativo de la densidad fue de 890 a 960 kg/m³ tras realizar la epoxidación del biodiesel para obtener el lubricante. El valor presentado cumple con la norma establecida. Los lubricantes según su viscosidad cinemática se clasifican en grados ISO. Esta clasificación tiene 18 distintos grados que van de un valor inferior de viscosidad cinemática de 2 cSt hasta un valor superior de 1650 sCt. Cada uno de los 18 distintos grados dispone de un límite inferior y superior, ampliando las viscosidades cinemáticas aceptadas por la norma ASTM-D-242 que define el sistema de designación para los aceites lubricantes industriales [20].

Si un aceite esta fuera de los márgenes inferior o superior de los especificados por la norma, no puede ser utilizado directamente en lubricación líquida si no se ajusta su viscosidad mediante la utilización de aditivos. En correspondencia de la clasificación de los lubricantes según la norma ASTM-D-242 el aceite obtenido se clasifica como ISO VG 7, siendo su límite inferior 6,12 y el superior 7,48 sCt. El índice de yodo del biodiesel tiene un valor de 68,68 el cual se redujo a 7,61 una vez que este fue sometido al proceso de epoxidación, lo que indica que esta modificación química logró disminuir en gran medida el número de dobles enlaces.

CONCLUSIONES

A partir del método experimental se logró cumplir con los objetivos del trabajo que consistió en realizar la epoxidación de grasa de pollo residual y obtener un producto más estable frente a la oxidación, para ser utilizado en la formulación de grasa lubricante. Ello permitió demostrar que el aprovechamiento del aceite de pollo epoxidado es capaz de generar un lubricante de alta calidad para la industria y con ello reducir el impacto ambiental que se está generando al descargar los residuales del aceite de pollo en la red pública de alcantarillado.

Lo que se corrobora en la investigación realizada por [29]. Se pudo verificar que tres propiedades del biodiesel caracterizado se encuentran dentro de los rangos establecidos por las respectivas normas, lo que permitió conocer que presenta buenas condiciones para realizar la reacción de epoxidación. Mediante el análisis físico-químico del producto transesterificado (biodiesel), seguida de la epoxidación se obtuvo un producto estructuralmente diferente al original.

De acuerdo a la caracterización físico-química del producto epoxidado (lubricante) y tomando en cuenta las normas de calidad de los aceites lubricantes se pudo determinar que por sus propiedades resulta positivo, incluyendo la viscosidad cinemática que de acuerdo al valor obtenido puede clasificarse como un aceite lubricante del tipo ISO VG 7, siendo su límite inferior 6,12 y el superior 7,48 sCt.

REFERENCIAS

- [1]. Noriega Zavala, S., *et al.* "Estrategias Biotecnológicas Para La Producción De Biodiesel A Partir De *Yarrowia Lipolytica*". *Jovenes en la Ciencia*, 2015, vol. 1, n. 3, p. 11-15. [Consultado el 22 de febrero de 2021]. Disponible en: https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/713/pdf_3
- [2]. Medina Villadiego, M., Ospino Roa, Y., & Tejeda Benítez, L. "Esterificación Y Transesterificación De Aceites Residuales Para Obtener Biodiesel". *Revista Luna Azul*, 2015, vol. 40, p. 25-34. DOI: 10.17151/luaz.2015.40.3. [Consultado el 22 de febrero de 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n40/n40a03.pdf>
- [3]. Velásquez Zambrano, K. D. "Análisis de un combustible alternativo, mezcla de diésel y biodiesel dirigido a la disminución de las importaciones de combustibles fósiles en el Ecuador período 2010 – 2015". 2018. Tesis de Posgrado. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil Ecuador. [Consultado el 22 de febrero de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/11948/1/T-UCSG-POS-MFEE-148.pdf>
- [4]. Carbajal, V. M., & Acosta, A. S. "La Electromovilidad y Su Efecto En El Mercado De Energía Del Perú". (Tesis de fin de maestría). 2021. Universidad Nacional Del Santa, Nuevo Chimbote. [Consultado el 22 de febrero de 2022]. Disponible en: <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/3742>
- [5]. Galeano, C., & Guapacha, E. "Aprovechamiento y caracterización de los residuos grasos de pollo para la producción de biocombustibles (biodiesel)". 2011. Tesis de grado sin publicar. Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia. [Consultado el 22 de febrero de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.utp.edu.co/items/1beda362-7e16-481a-95e5-e35bd5aa336e>
- [6]. Hernández Cruz, M. d. "Desarrollo biotecnológico de biolubricantes a partir de grasa de pollo". 2020. Tesis Doctoral. Tecnológico Nacional de México, Chiapas México. [Consultado el 22 de febrero de 2022]. Disponible en: <http://repositoriodigital.tuxtla.tecnm.mx/xmlui/handle/123456789/1634>

- [7]. Gawrilow, I. "Vegetable oil usage in lubricants". *Oleochemicals*, 2004, vol. 15, n. 11, p. 702-705. [Consultado el 22 de febrero de 2022]. Disponible en: <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1139>
- [8]. Metzger, J., & Bornscheuer, U. "Lipids as renewable resources: current state of chemical and biotechnological conversion and diversification". *Applied microbiology and biotechnology*, 2006, vol. 71, n. 1, p. 13-22. doi: 10.1007/s00253-006-0335-4. [Consultado el 22 de febrero de 2022]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00253-006-0335-4>
- [9]. Syahir, A. Z., et al. "A review on bio-based lubricants and their applications". *Journal of Cleaner Production*, 168, 2017 (Supplement C), 997-1016. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.09.106. [Consultado el 22 de febrero de 2022]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652617320966>
- [10]. Salimon, J., Salih, N., & Yousif, E. "Biolubricants: Raw materials, chemical modifications and environmental benefits". *European journal of lipid science and technology*, vol. 112, 2010. 519-530. doi: 10.1002/ejlt.200900205. [Consultado el 22 de febrero de 2022]. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ejlt.200900205>
- [11]. Sánchez, E. T., & Torres, V. Y. "Desarrollo de una propuesta de proceso para la producción de biodiésel partiendo de residuos grasos de pollo". 2020. Tesis de grado. Fundación Universidad de América, Bogotá Colombia. [Consultado el 22 de febrero de 2022]. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8182/1/6152696-2020-2-IQ.pdf>
- [12]. García Muentes, S. A., et al. "Propiedades físicoquímicas del aceite y biodiesel producidos de la *Jatropha curcas* L. en la provincia de Manabí, Ecuador". *Revista Cubana de Química*, 2018, vol. 30, n. 1, p. 142-158. [Consultado el 22 de febrero de 2022]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212018000100012&lng=es&tlng=es
- [13]. Garcés Jiménez, S. A. "Obtención y evaluación de epóxidos provenientes de mezclas de aceites de palma y soya para su uso como plastificante en formulaciones de PVC flexible". 2020. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá Colombia. [Consultado el 22 de febrero de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79613>
- [14]. McNutt, J., & He, Q. "Development of biolubricants from vegetable oils via chemical modification". *J. Ind. Eng. Chem*, 2016, vol. 36, p. 1-12. [Consultado el 22 de febrero de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2016.02.008>
- [15]. De la Rúa, C., Rodríguez, I., Lechón, Y., & Herrera, I. "Análisis de los impactos Socio-Económicos de la producción de Bioetanol en la planta de bella Unión". 2017. Proyecto de investigación. Alcoholes Uruguay (ALAU). Montevideo, Uruguay. [Consultado el 22 de febrero de 2022]. Disponible en: <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/sites/ministerio-industria-energia-mineria/files/documentos/publicaciones/1.2%20-%20Impactos%20Bioetanol%20Planta%20Bella%20Uni%C3%B3n.pdf>
- [16]. Alfonso, J. A. "Obtención de biodiesel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad del Refugio". Tesis de Maestría. 2013. Centro de investigación en materiales avanzados, s. c. Chihuahua. México. [Consultado el 22 de febrero de 2022]. Disponible en: <file:///X:/TESIS%20DE%20DIPLOMA%202021/AIJADO/BIBLIOGRAF%C3%8DA/Tesis%20Juan%20Antonio%20Alfonso%20Alvarez.pdf>
- [17]. Panchal, T. M. Patel, A. Chauhan, D.D. Thomas, M. & Patel, J. V. "Una revisión metodológica sobre biolubricantes a partir de recursos a base de aceite vegetal". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017, vol. 70, Abril 2017, p. 65-70. [Consultado el 22 de febrero de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.105>
- [18]. Ramírez, L. M. "Modelo cinético para la reacción de epoxidación de aceite vegetal usado". 2020. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. [Consultado el 22 de febrero de 2022]. Disponible en: <file:///X:/TESIS%20DE%20DIPLOMA%202021/AIJADO/BIBLIOGRAF%C3%8DA/EPOXIDACI%C3%93N.pdf>
- [19]. Sustaita-Rodríguez, A. et al. "Epoxidación enzimática de metil ésteres de ácidos grasos de origen vegetal y sus aplicaciones como alternativa para sustituir a los derivados del petróleo". TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas, 2020, vol.22, e174. Epub 04-Mar-2020. [Consultado el 22 de febrero de 2022]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-888X2019000100205&script=sci_abstract
- [20]. Norma ASTM D-2422. Aceites lubricantes de uso industrial. Sistema de clasificación según la viscosidad, 2da Revisión. 1997. [Consultado el 22 de febrero de 2022]. Disponible en: http://manual.mobilonline.cl/manualmobil/especificaciones_det.php?pg=5

- [21]. Díaz-Velázquez, M., *et al.* "Epoxidación del aceite vegetal de *Jatropha curcas* L. con ácido peracético". Tecnología Química, 2018, vol. 38, n. 2. [Consultado el 22 de febrero de 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/4455/445558422015/html/>
- [22]. Pérez-Quesada, L. M. "Aceite lubricante obtenido a partir del éster metílico epoxidado de *Jatropha Curca* L". Trabajo de diplomado. Universidad del Oriente, Santiago de Cuba. 2016, vol. 38. n. 2. [Consultado el 22 de febrero de 2022]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852018000200015
- [23]. Norma ASTM D 287 – 92. Método de Prueba Estándar para la Determinación de la Gravedad API de Petróleo Crudo y sus Derivados (Método del Hidrómetro). 1992. [Consultado el 22 de febrero de 2022]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/126483470/ASTM-D-287-92-Metodo-de-Prueba-Estandar-para-la-Determin>
- [24]. American Society for Testing and Materials [ASTM]. "Método de prueba estándar para la viscosidad cinemática de líquidos transparentes y opacos (y cálculo de la viscosidad dinámica)". 2012. ASTM D445. [Consultado el 22 de febrero de 2022]. Disponible en: <https://www.astm.org/d0445-06.html>
- [25]. Norma Europea [EN]. Productos líquidos de petróleo - Ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) para uso en motores diésel y aplicaciones de calefacción - Requisitos y métodos de prueba. 2012. [Consultado el 22 de febrero de 2022]. Disponible en: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/3e3109e5-edfa-43f2-9104-f792e2b4309e/en-14214-2012>
- [26]. Abreo, A. A. & Acosta, C. Producción de biodiesel a partir de grasa de pollo. (Tesis de maestría). 2009. Universidad Autónoma de Bucaramanga., Bucaramanga Colombia. [Consultado el 22 de febrero de 2022]. Disponible en: https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/1412/2009_Tesis_Angela_Andrea_Abreo_Garcia.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [27]. Gerhard, K. Calidad del Biocombustible diesel y la norma ASTM. Revista Palmas, vol. 31 2010 (especial), p. 162-171. [Consultado el 22 de febrero de 2022]. Disponible en: <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1563>
- [28]. López Jiménez, W., & Valero Eslava, S. "Estudio de la estabilidad, bajo condiciones de almacenamiento, del biodiésel obtenido a partir de aceite reciclado de cocina". 2015. Universidad Libre, Bogotá Colombia. [Consultado el 22 de febrero de 2022]. Disponible en: <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/7947>
- [29]. García, A. "Diseño, selección y producción de nuevos lubricantes". 2011. Tesis Doctoral. Universitat Ramon Llull, Barcelona España. [Consultado el 22 de febrero de 2022]. Disponible en: <https://www.tesisenred.net/handle/10803/48759#page=1>

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES:

Galvin Toala Briones: <https://orcid.org/0000-0003-2079-9588>

Diseño de la investigación, recolección de datos, análisis de los resultados, redacción del borrador del artículo, revisión crítica de su contenido, aprobación final.

Patricia Vivas Bautista: <https://orcid.org/0000-0001-8540-4781>

Diseño de la investigación, recolección de datos, análisis de los resultados, revisión crítica de su contenido, aprobación final.

Segundo García Muentes: <https://orcid.org/0000-0002-8152-3406>

Diseño de la investigación, análisis de los resultados, revisión crítica de su contenido, aprobación final.