


ARTÍCULO ORIGINAL

Estudio preliminar de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para el tratamiento de aguas superficiales en la cuenca alta del río Magdalena y efectos del tratamiento combinado con filtro de arena y lámpara UV

Preliminary study of the physicochemical and microbiological parameters for the treatment of surface waters of the Magdalena River-Cuenca Alta and effects of the combined treatment of sand filter and UV lamp

John J. Sandoval¹ , Dalia X. Suarez¹ , Diana C. Molina¹ , Hernán D. Fontecha-Tarazona¹ 

María Aldaya^{1,2*} , Daniel F. Campos¹ , Santiago Barreto¹ 

¹ Programa Ingeniería Ambiental, Universidad de Cundinamarca, Colombia.

² Doctorado en Ciencias, UNED, España.

* Autor de correspondencia: maldayar@ucundinamarca.co

Recibido: 18/09/2021

Aceptado: 22/12/2021

Como citar este artículo:

Sandoval J.J., Suarez D.X., Molina D.C., Fontecha-Tarazona H.D., Aldaya M., Campos D.F., Barreto S. (2021). Estudio preliminar de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para el tratamiento de aguas superficiales en la cuenca alta del río Magdalena y efectos del tratamiento combinado con filtro de arena y lámpara UV. *Revista Ciencias Agropecuarias* 7(2): 7-21

Resumen

El río Magdalena es considerado una de las fuentes de agua superficial más importantes en Colombia, ya que el recurso es captado para el consumo humano y para las actividades agropecuarias e industriales en toda la cuenca, especialmente en las regiones del centro y norte del país. Este río recibe varios afluentes que aumentan su caudal y modifican sus condiciones de calidad. Por ello, este trabajo evaluó las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua del río Magdalena y su posible tratamiento mediante un dispositivo portátil. Se tomaron

tres muestras de agua superficial (60 L) en tres puntos localizados en la provincia del Alto Magdalena y se sometieron a procesos de filtración y desinfección con luz UV en un dispositivo autosostenible. A continuación, se llevó a cabo la caracterización total de las muestras a tiempos que oscilaban entre 0, 45, 90 y 135 minutos. El tratamiento mostró una reducción de los parámetros físicos como el color, la turbidez y los sólidos totales. No se obtuvieron diferencias significativas en las concentraciones iniciales y finales de elementos como el manganeso, el zinc, el cobre, el cromo total y el níquel a medida que se introducían y recirculaban las muestras en el dispositivo. La desinfección mostró porcentajes de remoción que oscilaban entre el 15 % y el 56 % para CF y el 20 % y el 36 % para CT. Los resultados indicaron que las muestras analizadas tienen un buen potencial de postratamiento y uso en actividades agrícolas y pecuarias. Se requieren estrategias para mitigar la contaminación del agua, conservar el recurso o incluso mejorar el acceso para el consumo humano o agropecuario.

Palabras clave: saneamiento, agua superficial, calidad del agua.

Abstract

The Magdalena River is considered one of the most important sources of continental water in Colombia, since the resource is captured both for human consumption and for agricultural and industrial activities throughout the entire basin, especially in the central and northern regions of the country. This river receives several tributaries that increase its flow and modify its quality conditions. In this work evaluated the physicochemical and microbiological variables of the water from the Magdalena River and its possible treatment from a portable device. Three surface water samples (60 L) were taken at three points located in the province of Alto Magdalena, subjecting them to filtration and disinfection processes with UV light in a self-sustaining device. Then, the total characterization of the samples was carried out at times that ranged from 0, 45, 90 and 135 minutes. The treatment showed a reduction in physical parameters such as colour, turbidity and total solids. No significant difference was obtained in the initial and final concentrations of elements such as manganese, zinc, copper, total chromium and nickel once entered and recirculated in the device. Disinfection showed removal percentages that varied between 15 and 56% for FC and 20 and 36% for TC. Consequently, the results obtained indicated that the analysed samples have a good post-treatment potential and use in agricultural and livestock activities. Strategies for mitigating water contamination, resource conservation or even improve access for human or agricultural consumption.

Keywords: sanitation, surface water, water quality.

Introducción

La cuenca del río Magdalena es la principal arteria fluvial de Colombia, no solo por su extensión, sino por su importancia económica, social y cultural para el país, como “abastecedor de agua para consumo humano, medio de transporte, despensa alimenticia, insumo básico para procesos agroindustriales y energéticos, y como zona de esparcimiento” [1]. Debido a su importancia y al hecho de ser una región densamente poblada con más de 5,6 millones de habitantes a orillas del río Magdalena, el impacto de la actividad humana está afectando negativamente a esta fuente hídrica.

En cuanto a la contaminación, los vertimientos deben considerarse como uno de los principales generadores de la misma. Según el Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales (PMAR), para el año 2018 solo el 42,8% de las aguas residuales urbanas fueron tratadas, esto es un reto importante ya que en la región Magdalena-Cauca habita cerca del 81,1% de la población del país, con todas las implicaciones ambientales que conlleva el vertido de aguas no tratadas a un cuerpo de agua superficial, por lo tanto, se requieren alternativas viables para mitigar esta problemática [2].

En este sentido, es necesario entender la alta dependencia entre el funcionamiento del río aguas abajo y los procesos que ocurren aguas arriba, ya que, como proponen Vanno-

te y colaboradores en el llamado *River Continuum Concept (RCC)*, los sistemas fluviales son un continuo [3]. Por lo tanto, hay que suponer que las actividades antropogénicas en la cuenca alta pueden alterar significativamente este equilibrio aguas abajo.

Además, para el municipio de Girardot, es necesario incluir el efecto del tributario río Bogotá, que desemboca antes del casco urbano del municipio, proveniente de una región altamente poblada e industrializada como la ciudad de Bogotá, y que se encuentra altamente contaminado debido al vertimiento de aguas residuales domésticas e industriales, a las malas prácticas agropecuarias y al inadecuado manejo de basuras, alcanzando niveles de degradación considerados como una catástrofe ambiental y ecológica [4].

La reducción de la calidad del agua y la falta de plantas de potabilización en todos los municipios de la cuenca del río Magdalena afectan gravemente al acceso de la población al agua potable. El agua es un recurso fundamental para la vida y los sistemas productivos, por lo que su acceso seguro es una de las claves del desarrollo humano [5], lo que hace que la necesidad de agua limpia y la mejora de “la calidad del agua, reduciendo la contaminación, eliminando los vertimientos y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos” [6], sean objetivos cruciales en la agenda política internacional.

En este sentido, la evaluación de los parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua es una herramienta fundamental que permite caracterizar los cuerpos de agua. Rincón-Silva destaca la necesidad de realizar análisis periódicos de la calidad del agua y de los parámetros fisicoquímicos del agua del río y del agua tratada, ya que los valores pueden variar significativamente de una temporada a otra debido a los procesos naturales, así como a la cantidad de cuerpos adicionados al agua por las actividades domésticas e industriales [7]. A su vez, la evaluación de estos parámetros también permite medir la eficacia de los tratamientos aplicados. Por ejemplo, Rossel-Bernedo y colaboradores destacan la importancia de utilizar la radiación UV-C junto con otros métodos de desinfección para obtener un efecto sinérgico que permita la inactivación mediante tratamientos combinados que puedan compararse con los tratamientos individuales y sean más eficaces [8], [9]. Además, estos procesos son la base para definir si son aptos para la destinación en actividades humanas, según lo establecido en el Decreto 1076 de 2015 respecto a los criterios de calidad admisibles para cada destinación del recurso.

Por ello, este trabajo pretende realizar un estudio preliminar de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de interés en el agua tratada y no tratada del río Magdalena en el tramo final de la cuenca alta, y determinar si el tratamiento combinado del filtro de

arena y la lámpara UV produce algún efecto sobre estos parámetros en las muestras de agua obtenidas.

Materiales y Métodos

Toma de muestra

Con el objetivo de establecer las condiciones fisicoquímicas del recurso hídrico en el río Magdalena y su variación una vez tratado en un dispositivo portátil, se tomaron tres muestras de agua superficial con un volumen de 60 litros cada una entre los municipios de Girardot y Guataquí, en los puntos denominados: el embarcadero (EMB), vereda Zumbanicos (ZUM) y vereda Barrialosa (BAR) (Figura 1). Los procedimientos de muestreo de campo se realizaron en base a la metodología de muestreo de agua propuesta por APHA-AWWA-WEF (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association) y WEF (Water Environment Federation), en el Standard Methods 23rd Edition, 2017 (SM 1060-A).

Tratamiento

Las muestras fueron trasladadas al laboratorio de aguas de la Universidad de Cundinamarca Seccional Girardot y sometidas a tratamiento en un dispositivo portátil. Cada muestra se colocó en un colector principal y se sometió a un proceso de filtración (arena) y desinfección con una lámpara de luz UV a intervalos de 0, 45, 90 y 135 minutos.

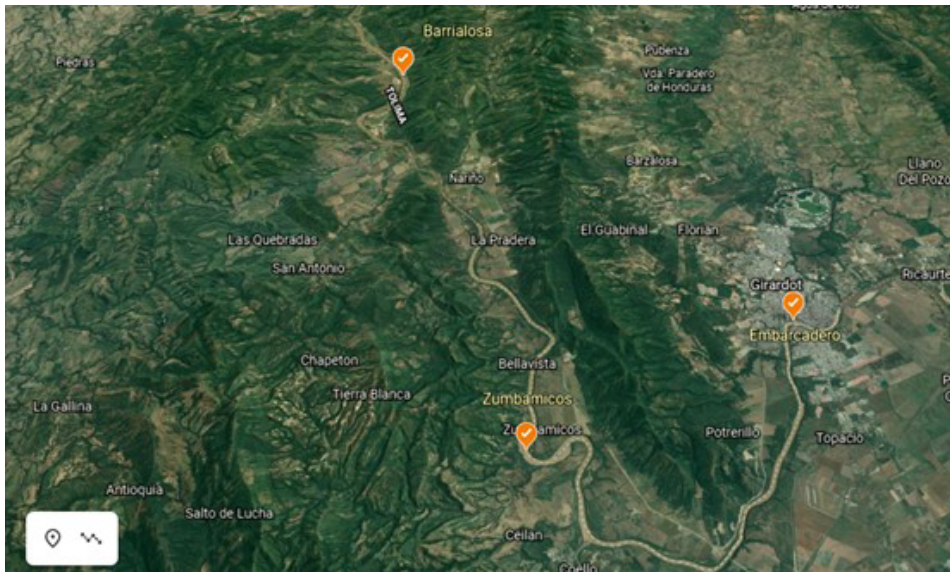


Fig. 1. Puntos de muestreo del presente estudio en el río Magdalena
Fuente: Propia.

Una vez tratadas, las muestras fueron enviadas al laboratorio de MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S. A. S. acreditado por el IDEAM bajo la norma NTC-ISO/IEC 17025:2005, según la Resolución N.º 0775 del 14 de septiembre de 2020 para los correspondientes análisis fisicoquímicos y microbiológicos. Para interpretar los resultados, se utilizó la estadística descriptiva para contrastar las variables cuantitativas dependientes (parámetros fisicoquímicos) a los 0 y 135 minutos de tratamiento. La información se organizó mediante tablas de distribución y gráficos. De igual forma, se tomó como referencia para el análisis el Decreto 1076 de 2015, que establece los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso en actividades agrícolas, pecuarias y de consumo.

Resultados

Parámetros físicos

Se observó una variación en la concentración de las Unidades de Platino-Cobalto (UPC), que disminuyó progresivamente en los tres puntos de muestreo. En el punto EMB se encontraron valores de 25, 24,5 y 24,4 UPC para los tiempos de tratamiento (45, 90 y 135 minutos respectivamente), y para los puntos ZUM y BAR se obtuvieron valores de 44,5, 42,6 y 37; 35,3, 27,3 y 25 UPC para los mismos tiempos (Figura 2).

En cuanto a las variaciones de turbiedad en los diferentes puntos de muestreo (Figura 3), se evidenció una disminución significativa de NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*) desde

el primer tratamiento (45 min). Para el punto EMB, la determinación de turbiedad inicial fue de 661 NTU, seguida de 146, 82,7 y 76,3 NTU para los diferentes tratamientos (45, 90 y 135 min), respectivamente. Del mismo modo, para el punto ZUM, la determinación inicial fue <1000 NTU, seguida de 788, 546 y 493 NTU en los mismos tiempos. Y finalmente para el punto BAR, la determinación inicial fue <1000 NTU, seguida de 693, 482 y 358 NTU.

En cuanto a los sólidos totales (Figura 4), las cantidades iniciales aumentan en los diferentes puntos de muestreo EMB 557 mg/L, ZUM 1,051 mg/L y BAR 1,579 mg/L. Respecto a la eficacia del tratamiento, para los tres puntos se aprecia una tendencia a la reducción de los sólidos totales a medida que aumenta el tiempo de tratamiento. Sin embargo, el porcentaje de reducción difiere entre los tres puntos de muestreo como sigue: EMB 82,5 %, ZUM 67,8 % y BAR 63,5 %.

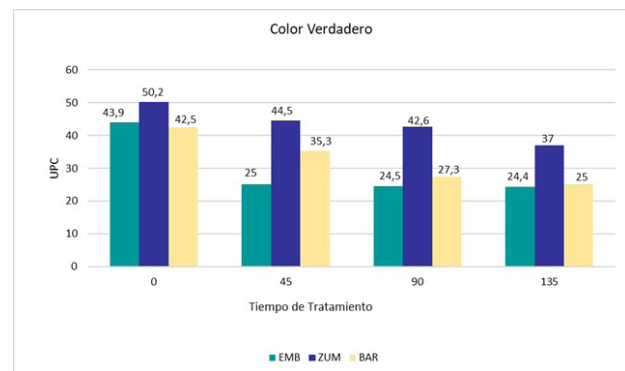


Fig. 2. Frecuencia de las UPC en diferentes tiempos después del tratamiento
Fuente: Propia.

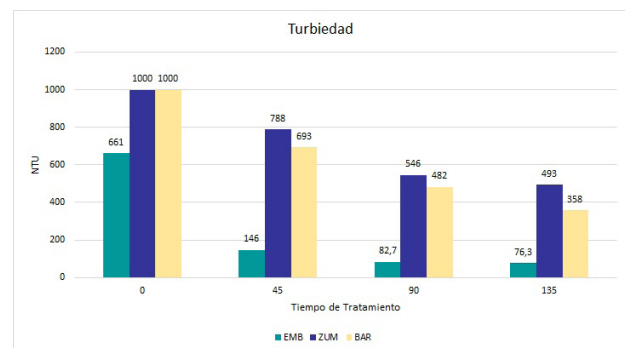


Fig. 3. Cambios en la turbiedad en diferentes tiempos después del tratamiento
Fuente: Propia.

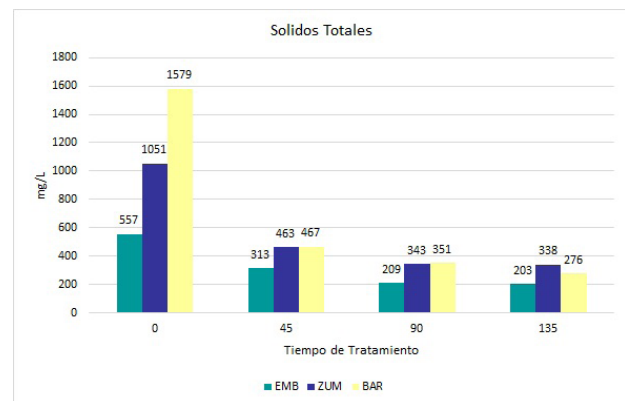


Fig. 4. Valores de sólidos totales determinados en la escala de tiempo después del tratamiento
Fuente: Propia.

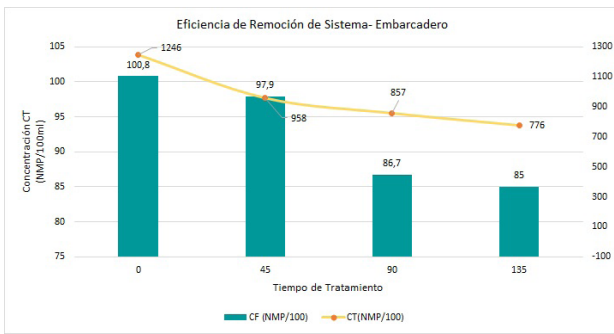


Fig. 5. Eficiencia de la remoción de CT y CF en el punto embarcadero
Fuente: Propia.

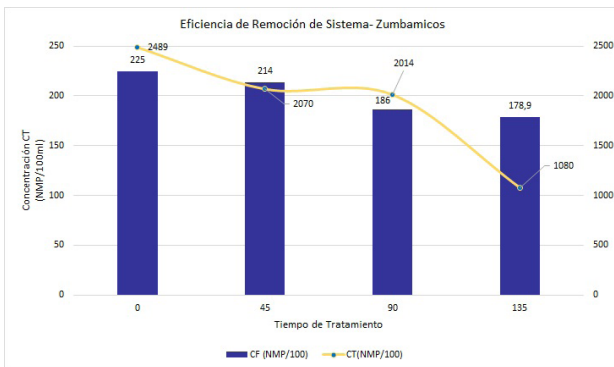


Fig. 6. Eficiencia de remoción CT y CF en el punto Zumbamicos
Fuente: Propia.

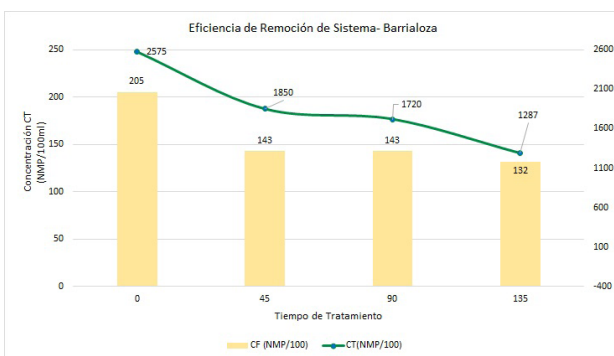


Fig. 7. Eficiencia de remoción CT y CF en el punto Barrialosa
Fuente: Propia.

Parámetros microbiológicos

La Figura 5 muestra el comportamiento de la concentración de coliformes totales y fecales una vez que la muestra fue sometida a tratamiento. Para la muestra del embarcadero, la concentración inicial de CF se redujo en un 15,6 % en el minuto 135 y la de CT en un 37,7 %.

En el caso de la muestra obtenida del punto Zumbamicos (Figura 6), la reducción del CT fue del 20,8 % y la del CF del 56,6 %. Por último, la muestra de Barrialosa (Figura 7) presentó el mayor porcentaje de remoción de CT con un 35,6 % y CF de 50,02 %.

Parámetros químicos

Cloruros y sulfatos

En cuanto a los cloruros y los sulfatos, se observaron concentraciones en aumento en las tres muestras analizadas en función del tiempo de tratamiento, encontrándose las variaciones más significativas en el punto EMB para los cloruros (24,1, 29,9 y 30,7 mg/L) y en el punto BAR para los sulfatos (5,67, 12,9 y 14,3 mg/L) (Figuras 8 y 9).

Hierro y manganeso

En relación con los análisis de hierro y manganeso, hubo un porcentaje significativo de remoción después del tra-

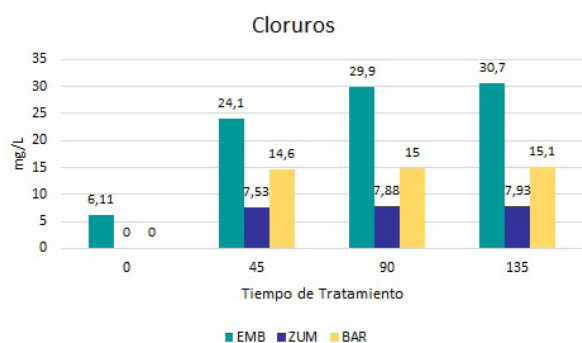


Fig. 8. Cambios en la concentración de cloruros después del tratamiento
Fuente: Propia.

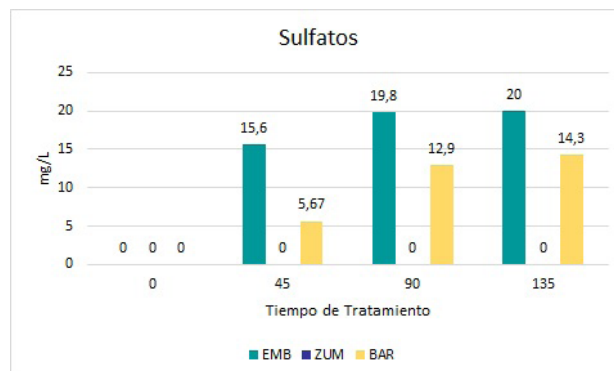


Fig. 9. Frecuencia en la concentración de sulfatos posterior al tratamiento
Fuente: Propia.

Tabla 1.

Concentración de hierro y manganeso y porcentaje de remoción

Hierro (Fe) mg/L				
Punto de muestreo	Caudal	Afluente	Efluente	% Remoción
BAR	0.5 m ³ /h	29,0	4,11	85,82
ZUM	0.5 m ³ /h	16,0	8,75	45,31
Manganeso (Mn) mg/L				
Punto de muestreo	Caudal	Afluente	Efluente	% Remoción
BAR	0.5 m ³ /h	0,54	0,12	77,77
ZUM	0.5 m ³ /h	0,29	0,20	31,03

Fuente: Propia.

tamiento, pasando de 29 a 4,11 mg/L de hierro y de 16 a 8,75 mg/L para los puntos de muestreo BAR y ZUM, respectivamente. De igual manera, se presenta una disminución de las concentraciones de manganeso con una tasa de remoción del 77,77 % tras el tratamiento para el punto BAR y una tasa de remoción del 31 % para el punto ZUM (Tabla 1).

Metales

Las 3 muestras sometidas a tratamiento presentaban concentraciones iniciales inferiores a 0,15 mg/L de elementos como el manganeso, el zinc, el cobre, el cromo total y el níquel, que no variaban una vez que entraban y recirculaban en el dispositivo. El cadmio, el plomo y el mercurio presentaron concentraciones iniciales menores a 0,01, 0,05, 0,001, respectivamente, las cuales no superan los límites máximos permisibles

para la destinación del recurso para las diferentes actividades de consumo, agrícolas o pecuarias, según el Decreto 1076 de 2015, y no experimentaron ninguna variación una vez sometidos a tratamiento.

Discusión

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en el Decreto 1076 de 2015 establece los criterios de calidad del agua superficial para los diferentes usos e incluye los límites máximos permisibles para los parámetros físicos, químicos y biológicos entre los cuales se evalúan las sustancias tóxicas o irritantes y los agentes biológicos cuya acción por contacto, ingestión o inhalación, produce reacciones adversas a la salud humana o altera el estado de conservación de la flora y la fauna.

Parámetros físicos

De acuerdo con los resultados obtenidos, la variación en el comportamiento del color está en concordancia con lo descrito por Aguirre y colaboradores [10], que afirman que los diferentes procesos de tratamiento de aguas naturales permiten una reducción de la turbidez y del color directamente relacionada con la carga de partículas y materia orgánica que se encuentra en el río. Esto se reflejó en los tres puntos analizados en los que se produjo una disminución de las Unidades de Platino-Cobalto (UPC) durante los diferentes tiempos de tratamiento, con máximos en el punto ZUM (promedio

de 43,6) y mínimos en el punto EMB (29,5 UPC). Sin embargo, el análisis de este parámetro no cumple con los criterios de calidad del agua admisibles en el tratamiento convencional según el Decreto 1076 de 2015 (color real 20 UPC).

En cuanto a los sólidos en el agua, se sabe que la litología es un elemento clave que condiciona su presencia. En el caso de la cuenca Magdalena-Cauca, las unidades litológicas de mayor extensión están conformadas principalmente por depósitos no consolidados o formaciones superficiales del Cuaternario, siendo predominantes las de origen aluvial [11]. No es raro, por tanto, que debido a la acción erosiva del agua, los sólidos no disueltos aumenten con el flujo de agua y con ello los sólidos totales.

Respecto a la reducción por tratamiento de filtración, cabe señalar que los sólidos suspendidos quedan retenidos en la arena del filtro, lo que da lugar a una reducción de los sólidos totales.

La reducción de los sólidos totales a lo largo del tiempo registrada en las tres muestras se debe a que las impurezas presentes en el agua, al pasar por el lecho filtrante, son retenidas, lo que hace que los poros del medio filtrante sean cada vez más pequeños, reteniendo así partículas cada vez más pequeñas [12].

Parámetros microbiológicos

La variación en la concentración de coliformes fecales y coliformes totales se atribuye principalmente a los vertidos domésticos (directos o indirectos) de los municipios de Gigante, Palermo, Neiva, Natagaima, Purificación y Girardot, que se ubican aguas arriba de los puntos de muestreo. Sin embargo, según el ENA (2018) el Índice de Calidad del Agua (ICA) solo adquiere una categoría de *malo* cuando el río Bogotá desemboca en el río Magdalena. Por el contrario, aguas arriba el ICA se mantiene en categoría de regular y aceptable [13].

Al observar el potencial de desinfección del sistema en la muestra del EMB, se observó una reducción del 37,7 % de coliformes totales y del 15,6 % de coliformes fecales tras 135 minutos de tratamiento y recirculación del agua en el equipo. En el caso de la muestra obtenida del punto Zumbamicos, la reducción del CT fue del 20,8 % y del CF del 56,6 %. Finalmente, la muestra de Barrialosa arrojó el mayor porcentaje de remoción de CT con un 35,6 % y de CF con un 50,02 %. Los porcentajes de remoción se producen principalmente por el efecto del sistema de filtración (arena) que a través de mecanismos como el cribado, la interceptación, la absorción y la adsorción reducen los sólidos en suspensión y, por tanto, los microorganismos asociados a estas partículas, lo que podría contribuir a la disminución de los dos grupos [14]. Además, la inactivación de los

microorganismos fue complementada por irradiación y la absorción de radiación ultravioleta (UV), que provoca reacciones fotoquímicas de los componentes fundamentales de las células, perturbando su normal funcionamiento por el daño a la membrana celular y afectar directamente al material genético [15].

En el caso de esta investigación, donde el método de desinfección fue la radiación UV, se puede inferir que los polisacáridos generados por otros grupos bacterianos oportunistas como **Pseudomonas sp.** podrían distorsionar el efecto de la radiación sobre la membrana celular y el material genético de las bacterias, sin afectar sus funciones fisiológicas y reproductivas, impidiendo un mayor porcentaje de reducción.

Se ha demostrado que estas bacterias colonizan las superficies interiores de las tuberías de agua y los tanques de almacenamiento en presencia de nutrientes, temperaturas cálidas, bajas concentraciones de desinfectantes y largos periodos de almacenamiento [16]. En el caso de este estudio, la concentración de materia orgánica, nitrógeno y fósforo presente en el agua del río Magdalena podría haber favorecido el desarrollo de estas células en las mangueras de conexión entre cada una de las unidades operativas. De igual forma, la temperatura ambiente en la que se realizaron los ensayos (de 28 a 32 °C) y los largos periodos de retención (135

minutos) en el sistema pudieron beneficiar la proliferación de microorganismos.

Parámetros químicos

Cloruros y sulfatos

En lo que respecta a la variación de la concentración de cloruros, se obtuvieron resultados en las muestras en el rango de <4,00 a 30,7 mg/L, con valores mayores en el punto EMB (promedio de 22,7 mg/L) y más bajos en el punto ZUM (6,83 mg/L). Estos valores se consideran bajos con respecto a los reportados por Ospina y colaboradores, que sugieren un aumento considerable en las concentraciones de nitratos, nitritos, cloruros, hierro y fosfatos en el río Magdalena durante la primera mitad de la duración del fenómeno de El Niño, disminuyendo progresivamente hasta su finalización [17]. En este sentido, se espera un comportamiento particular debido al aporte que realizan las aguas domésticas procedentes de los barrios aledaños al río y que están cerca del punto EMB. Este indicador se ve generalmente modificado por el uso de sustancias ablandadoras; sin embargo, su presencia se establece como un parámetro admisible, ya que no supera los límites permitidos para el tratamiento convencional de las aguas naturales (valor máximo 250 mg Cl⁻/L).

Las concentraciones de sulfato oscilaron entre <5,00 y 20 mg/L en los tres puntos analizados, con un promedio mínimo de <5,00

mg/L en el punto BAR y una máxima de 15,1 mg/L en el punto EMB. Estos valores se consideran altos según Pava y colaboradores, que reportaron concentraciones en promedio de 2,0 mg/L y 4,0 mg/L, respectivamente, en cursos de agua de alta montaña y ciénagas del bajo Magdalena [18]. Por su parte, la Norma Técnica Colombiana (NTC) 2240 de 2020, indica que el contenido de sulfatos en las arenas de río debe ser menor al 1,2 % [19]. En este sentido, la oscilación en la concentración de sulfatos observada en los puntos de muestreo de la EMB y la BAR podría atribuirse a la presencia de sedimentos provenientes de agregados de hormigón que se encuentran en el río Magdalena, los cuales no pueden ser filtrados por el lecho [20], [21]. Sin embargo, esta concentración no ejerce una influencia significativa en la evaluación de estos parámetros, por ejemplo, en el tratamiento convencional y los criterios de calidad para el consumo humano y doméstico (límite máximo: 400 mg SO₄²⁻/L).

Hierro y manganeso

Las aguas superficiales de los principales ríos del país sufren algunas alteraciones en su calidad, debido a los diferentes tipos de vertimientos generados por las poblaciones aledañas, ya sean industriales o agropecuarias, y por las escorrentías contaminantes de las diferentes actividades de la población y los residuos generados y arrojados a las fuentes hídricas. Estas alteraciones limitan significativamente el uso potencial del recurso.

Según Cruz y colaboradores, para el caso especial del uso agrícola y pecuario de las fuentes hídricas superficiales, la presencia de hierro y manganeso son parámetros críticos que requieren su remoción a través de diferentes tipos de tratamiento, incluyendo procesos de filtración y oxidación [22]. La reducción de estos dos elementos en el sistema de tratamiento puede atribuirse principalmente a la combinación de la aireación generada por la recirculación del agua al tanque y el sistema de filtración de arena. La aireación proporciona el oxígeno disuelto necesario para la conversión de las formas solubles de hierro y manganeso (Fe^{+2} y Mn^{+2}) en el agua cruda en óxidos relativamente insolubles (Fe^{+3} y Mn^{+4}) de estos elementos [23].

Metales

En el caso de los metales, según el IDEAM, los cambios en la composición química de los suelos del río Magdalena indican que la contaminación por la aplicación de insumos agrícolas o el mal manejo de los metales pesados residuales constituyen una amenaza para la estabilidad química de los suelos [24]. En este sentido, Ortiz-Romero y colaboradores [25] encontraron que las determinaciones de metales como Cd, Cr, Pb y Hg sugieren una función de señalización de la contaminación según los sedimentos presentes en el río. Por este motivo, y debido a la época en la que se obtuvieron los resultados, no se observa una concentración

considerable en términos de contaminación en los tres puntos analizados, según la normatividad establecida para la potabilización del recurso (valores máximos permitidos en el Decreto 1076/2015: Cd: 0,01; Cr: 1,0; Cr: 0,05; Hg: 0,002; Pb: 0,05 mg/L).

Conclusiones

Los sólidos, el color y la turbidez son parámetros estrechamente relacionados que en el caso del río Magdalena tienen valores entre medio y fuerte, pero que con tratamientos de bajo costo como los filtros de arena se pueden reducir, mejorando las características físicas del agua.

El proceso de desinfección del dispositivo a través de la luz UV ha demostrado su eficacia en la eliminación de coliformes fecales y totales, sin embargo, es necesario asegurar que las condiciones de operación, como el tiempo de retención y la recirculación del recurso, no afecten su eficiencia.

En cuanto a la composición química, los parámetros estudiados no presentan valores fuera de los establecidos por la normatividad colombiana para los diferentes usos, pero es necesario el monitoreo en diferentes épocas del año para determinar el comportamiento en épocas de mayor o menor caudal del río Magdalena.

Finalmente, la acelerada contaminación de las fuentes hídricas en nuestro país ha des-

encadenado diferentes acciones que buscan mitigar el impacto sobre el recurso. En el caso del río Magdalena, por ser la principal arteria fluvial de Colombia, es fundamental generar estrategias de investigación que permitan estudiar las dinámicas y variaciones que se desarrollan continuamente. Por lo tanto, el compromiso de la academia, especialmente en la provincia del Alto Magdalena, es fortalecer estos procesos de tal manera que se conviertan en un punto de partida para el estudio del agua en esta región y sus posibles tratamientos, de tal forma que beneficien directamente a las comunidades que habitan la zona.

Agradecimientos

A la Agencia Nacional de Infraestructura Concesión Alto Magdalena S. A. S., en calidad de financiador del proyecto de seguimiento de la calidad de las aguas superficiales y la evaluación de la eficiencia de un dispositivo portátil para el mejoramiento de la calidad del agua en fuentes superficiales: caso de la cuenca alta del río Magdalena, localizado en jurisdicción de los municipios de Girardot y Guataquí, en el departamento de Cundinamarca.

Referencias

- [1] Mancera-Rodríguez N, Rodríguez-Sánchez L. Río Grande de la Magdalena: Recurso estratégico para el desarrollo Colombiano. *Revista Economía Colombiana y Coyuntura Política* [Internet]. 2002 [Citado 2021 Agosto 26]; 292: 83-91. Disponible en: <https://cutt.ly/Pg7ypYs>
- [2] Camacho-López A. Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales [Internet]. Bogotá D.C.: Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico; 2019 [Citado 2022 enero 20]. Disponible en: <https://bit.ly/3tIDu4j>
- [3] Gómez Cerezo R. Modelos conceptuales de funcionamiento de ríos y arroyos [Internet]. [Citado 2021 Agosto 26]. Disponible en: <https://cutt.ly/IWhIJ6C>
- [4] Observatorio Colombiano de Gobernanza del Agua. Sentencia del Río Bogotá [Internet]. [Citado 2021 Agosto 26]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/web/ocga/sentencia>
- [5] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). 4 Escasez de agua, riesgo y vulnerabilidad [Internet]. En: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Informe sobre Desarrollo Humano 2006. Más allá de la escasez: Poder, pobreza y la crisis mundial del agua. Barcelona: Mundi-Prensa; 2006. [Citado 2021 Agosto 26]. Disponible en: <https://cutt.ly/LWWhKqe>
- [6] Naciones Unidas. Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos [Internet]. [Citado 2021 Agosto 26]. Disponible en: <https://cutt.ly/3WIOW56>
- [7] Rincón-Silva N. Evaluación de parámetros físico-químicos del agua en el proceso de potabilización del río Subachoque. *Revista Tecnogestión: una mirada al ambiente*, 2016 [Internet]. [Citado 2022 enero 20]. Disponible en: <https://bit.ly/3KtIGju>
- [8] Rossel-Bernedo, L. J., Rossel-Bernedo, L. A., Mayhua, F., Ferro, A., Zapana-Quispe, R. Radiación ultravioleta-c para desinfección bacteriana

(coliformes totales y termotolerantes) en el tratamiento de agua potable. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 2020 [Internet]. [Citado 2022 enero 20]. Disponible en: <https://bit.ly/3lrFdiJ>

[9] Koivunen, J., Heinonen-Tanski, H. Inactivation of enteric microorganisms with chemical disinfectants, UV irradiation and combined chemical/UV treatments. *Water Research*, 2005 [Internet]. [Citado 2021 Agosto 26]. Disponible en: <https://cutt.ly/3WIOW56>

[10] Aguirre S, Piraneque N, Cruz R. Sustancias naturales: Alternativa para el tratamiento de agua del Río Magdalena en Palermo, Colombia. *Revista Información Tecnológica*. Vol. 29, No 3, 2018. [Internet]. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000300059>

[11] Corporación Autónoma Regional de Río Grande de la Magdalena, CORMAGDALENA. Estudio ambiental de la cuenca Magdalena - Cauca y elementos para su ordenamiento territorial: resumen ejecutivo. Barrancabermeja: CORMAGDALENA: IDEAM, 2002.

[12]. Universidad de los Andes y Corporación Universitaria Minuto de Dios. Manual de materiales, instalación y uso de filtro lento [Internet]. Bogotá; 2008 [Citado 2021 agosto 26]. Disponible en: https://isfcolombia.uniandes.edu.co/images/documentos/manual_instalacion_v1.pdf

[13]. IDEAM, Estudio Nacional del Agua 2018. Bogotá, D. C: Panamericana Formas e Impresos S.A, 2019. p 452. ISBN: 978-958-5489-12-7.

[14]. Romero, Jairo. Purificación del Agua. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Segunda Edición. 2006. 218p.

[15]. Guimaraes, José Roberto, et al. Desinfección de agua. En: *Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogénea*. Red Cydted VIII, Buenos Aires, 2001. p. 388.

[16]. Vásquez G, Castro G, González I, Pérez R, Castro T. Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua. *Contacto [Revista en Internet]* 2006 [Citado 2021 Septiembre 07]; (60): 41-8

[17] Ospina, O., Ochoa, A., Vélez, M. Efecto del fenómeno del niño 2015-2016 en la calidad del agua del río Magdalena, municipio de purificación - Tolima. *Revista Producción + Limpia*. Vol. 13, No 1, 2018. [Internet]. <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v13n1/1909-0455-pml-13-01-65.pdf>

[18] Pava, E., Carrasquilla, J., López, W. Caracterización de la comunidad fitoplanctónica de un plano de inundación del río Sogamoso en la cuenca media del Río Magdalena (ciénaga San Silvestre Colombia). *Intrópica: Revista del Instituto de Investigaciones Tropicales*, 3(1). 2006. [Internet]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4866567>

[19] ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC 2240:2020. Agregado de mortero para mampostería. [Internet]. <https://docplayer.es/82328640-Norma-tecnica-colombiana-2240.html>

[20] Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Especificaciones Técnicas para construcción de viviendas. [Internet]. [Consultado 2021 Julio 10]. Disponible en: <https://bit.ly/3laYCff>

[21] Bernaj, J., Mahmoud, S., Reyes, E., Moragues, A. Estudio de la influencia de los medios con presencia de sulfatos en hormigones con cementos sulforesistentes y adiciones minerales. Parte 1: Hormigones expuestos a sulfato sódico (Na_2SO_4). *Revista de la construcción*. Vol. 12, No 2, 2013. [Internet]. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-915X2013000200002>

[22] Cruz, C., Barba, L.E., Duque, A., Patiño P., Holguín J. (2004). Propuesta Metodológica Para La Identificación De Parámetros Críticos De Ca-

lidad De Agua En Corrientes Superficiales Caso De Estudio Rio Cauca. Universidad Del Valle. CVC- EIDENAR. Cali - Colombia <http://revista-eidenar.univalle.edu.co/revista.htm>

[23] Díaz-Delgado, C. Remoción de hierro y manganeso en fuentes de agua subterránea para abastecimiento público. Agua potable para comunidades rurales, reúso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas. México D.F: RIPDA-CYTED; 2003. p. 37-54. [Internet]. [Consultado 2021 Julio 10]. Disponible en: <https://bit.ly/3KovLyh>

[24] IDEAM. Estudio ambiental de la cuenca Magdalena-Cauca y elementos para su ordenamiento territorial, Resumen ejecutivo. 2001. [Internet]. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/000051/EstudioAmbientaLMagdalena-Cauca.pdf>

[25] Ortiz-Romero, L., Delgado-Tascón, J., Pardo-Rodríguez, D., Murillo-Perea, E., Guio, J. Determinación de metales pesados e índices de calidad de aguas y sedimentos del río Magdalena - tramo Tolima, Colombia. Revista Tumbaga. Vol. 2, No 10. 2015. [Internet]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5710210>