

# Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando médula de banano como coagulante

## Removal of turbidity from Magdalena river using banana pith as coagulant

Andrés Sierra-Julio<sup>1a</sup>, Aarón Navarro-Silva<sup>1b</sup>, Iván Mercado-Martínez<sup>2</sup>, Alexy Flórez-Vergara<sup>3</sup>,  
Mario Jurado-Eraso<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Investigación Biotecnología de Microalgas, Fisicoquímica Aplicada y Estudios Ambientales, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia. Correos electrónicos: <sup>a</sup> [afsierra@mail.uniatlantico.edu.co](mailto:afsierra@mail.uniatlantico.edu.co), <sup>b</sup> [adavidnavarro@mail.uniatlantico.edu.co](mailto:adavidnavarro@mail.uniatlantico.edu.co)

<sup>2</sup> Grupo de Investigación Agroindustrial - GIA, Facultad de Ingeniería, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia. Orcid: 0000-0002-1978-6977. Correo electrónico: [ivanmercado@mail.uniatlantico.edu.co](mailto:ivanmercado@mail.uniatlantico.edu.co)

<sup>3</sup> Bioprocesos, Facultad de Ingeniería, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia. Orcid: 0000-0001-5109-0753. Correo electrónico: [alexylflorez@mail.uniatlantico.edu.co](mailto:alexylflorez@mail.uniatlantico.edu.co)

<sup>4</sup> Grupo de Investigaciones Ambientales, Facultad de Ingeniería, Universidad Mariana, Pasto, Colombia. Orcid: 0000-0002-3878-3704. Correo electrónico: [majuradoe@umariana.edu.co](mailto:majuradoe@umariana.edu.co)

Recibido: 23 diciembre, 2018. Aceptado: 15 mayo, 2019. Versión final: 8 agosto, 2019.

### Resumen

En esta investigación se analizó la eficiencia de la médula de banano como sustancia coagulante en la clarificación de aguas naturales y se comparó con el sulfato de aluminio. Se utilizó un diseño experimental factorial, siendo la dosis (10, 20, 40, 60, 80 y 100 mg/L) y el tipo de coagulante (químico o natural) los factores. La turbidez del agua del río Magdalena se empleó como variable respuesta. El proceso de clarificación se realizó mediante la aplicación de la prueba de jarras usando muestras de agua del río en Barranquilla, departamento del Atlántico, Colombia. Se comprobó mediante el análisis estadístico ANOVA y la prueba de HSD (diferencia significativa) de Tukey, que el coagulante natural reduce la turbidez inicial del agua objeto de estudio (210 UNT) en un 67,57%. La médula de banano siendo un residuo agroindustrial es una opción viable y sustentable en la remoción parcial de la turbidez del agua del río Magdalena.

**Palabras clave:** clarificación; coagulante natural; dosis de coagulante; tratamiento del agua.

### Abstract

This research analyzed the efficiency of the banana pith as a coagulant substance in the clarification of natural waters and was compared with aluminium sulphate. It was used a factorial experimental design, being the dosage (10, 20, 40, 60, 80 and 100 mg/L) and the type of coagulant (chemical or natural) the factors. The turbidity of the Magdalena river water was used as a variable response. The clarification process was carried out by applying jar-test using water samples from the river in Barranquilla, Atlántico department, Colombia. It was verified by the statistical analysis ANOVA and the Tukey's HSD (honestly significant difference) test, that the natural coagulant reduces the initial turbidity of the water object of study (210 NTU) in 67.57%. The banana pith being an agro-industrial waste is a viable and sustainable option in the partial removal of water turbidity in the Magdalena river.

**Keywords:** clarification; natural coagulant; coagulant doses; water treatment.

## 1. Introducción

Las fuentes de agua contienen impurezas de diversos tamaños [1] de origen mineral (arcillas, arena, entre otros) u orgánico (producto de la descomposición de plantas y animales); además de estos compuestos, en algunas fuentes hídricas también se pueden encontrar microorganismos como bacterias, plancton, algas y virus [2].

El agua cruda proveniente de fuentes naturales contiene partículas coloidales que generan turbidez debido a sedimentos y nutrientes, los cuales no precipitan fácilmente y deben ser removidos [3]. Por esta razón, la clarificación del agua, entendida como el retiro de materiales sólidos y coloidales, es fundamental en el proceso de potabilización del agua que incluye las fases de coagulación, donde se adicionan sustancias para causar la coalescencia del material suspendido no sedimentable y partículas coloidales del agua [4], [5]; la floculación, que consiste en la aglomeración de partículas llamadas flóculos, generadas a partir de la fase anterior; finalmente en la sedimentación, se retiran las pequeñas partículas que generan el color y la turbidez del agua [6].

Existe un amplio rango de coagulantes inorgánicos que pueden ser usados para el tratamiento de las aguas naturales, muchos de ellos como el cloruro férrico, sulfato de aluminio, cloruro de polialuminio y carbonato de calcio se han utilizado para eliminar las impurezas y las partículas coloidales presentes en los cuerpos de agua [7]. Sin embargo, existe evidencia que relaciona a los coagulantes, a base de aluminio, con el desarrollo de la enfermedad de Alzheimer en los seres humanos, debido a la presencia de aluminio residual en el agua tratada [2]; así como la producción de grandes cantidades de sedimentos que, al ser vertidos en las fuentes de agua, se convierten en un problema ambiental debido a que en altas dosis pueden llegar a ser tóxicos [8].

Ante esta problemática, se hace necesaria la búsqueda de alternativas que puedan sustituir total o parcialmente las sales de hierro y aluminio, así como los polímeros orgánicos sintéticos [9]. En varios países de Latinoamérica, al inicio de los años setenta se propuso el uso de coagulantes extraídos de animales y especies vegetales nativas como alternativa a los coagulantes convencionales utilizados [8], la mayoría de estos se derivan de semillas, hojas, cortezas o savia, raíces y frutos de árboles y plantas, además se pueden extraer de microorganismos, animales y tejidos vegetales [10]; siendo los extractos naturales a base de plantas los más estudiados para la clarificación del agua cruda [11]. En contraste a los polielectrolitos sintéticos, los coagulantes naturales tienen un grado de toxicidad bajo,

buena biodegradabilidad [12], presentan un rango de dosis efectiva más amplio para la floculación de varias suspensiones coloidales y producen lodos menos voluminosos [7], [8].

Muchos desechos agrícolas han sido probados como adsorbentes, entre estos, los desperdicios de banano los cuales son de gran importancia debido a que existen varias partes que se pueden utilizar, como cáscaras de fruta, troncos, pseudotallos, hojas y médulas. Teniendo en cuenta que los desechos de las plantas de banano pueden causar serias amenazas ambientales al no realizarse un manejo adecuado de los mismos, la implementación de cualquiera de estas partes como material adsorbente en la clarificación de aguas es una opción inteligente para un futuro sostenible [13].

Las plantas de banano pertenecen a la familia Musaceae y el fruto consumible es un miembro de la especie *Musa accuminata*; son normalmente altas y robustas, alcanzando algunas especies hasta 8 m de altura [14]; sin embargo, solo pueden dar frutos una vez en la vida, generando muchos residuos de biomasa [13]. La planta de banano es una de las especies populares cultivada en más de 135 países que se encuentran en regiones tropicales y subtropicales [15]. Según la FAO, en Colombia, la producción de banano en el año 2017 fue aproximadamente de 3,79 millones de toneladas, mientras que la producción mundial total de banano durante este mismo año fue alrededor de 114 millones de toneladas [16].

El pseudotallo del banano suministra nutrientes del suelo a los frutos, produciendo un solo racimo de bananos antes de secarse, convirtiéndose en un residuo una vez cosechada la fruta. Se estima que cada hectárea de plantación de banano genera cerca de 220 toneladas de residuos vegetales que consisten principalmente en material lignocelulósico, los cuales en su mayoría son eliminados por los agricultores en ríos, lagos o carreteras cercanas; lo que está causando una seria amenaza ambiental [13], [17]. Lo anterior ha generado un gran interés en el uso eficiente de residuos agroindustriales.

En particular, la médula de banano proveniente de la parte interna del pseudotallo a veces utilizada como alimento para el ganado y por lo general considerada como un desecho [18], ha sido evaluada como un polielectrolito y coagulante natural eficaz en la remoción de la turbidez en la cuenca del río Nairobi en Kenia, alcanzando un mejor porcentaje de remoción (98,5%) bajo condiciones ácidas (4 unidades de pH), debido al gran número de grupos funcionales tales como grupos hidroxilo, carboxílico y éter de polisacáridos, presentes en la misma [19].

En Malasia durante el año 2013, se evaluó la efectividad de la médula de banano como coagulante natural, en el pretratamiento del agua residual de refrigerantes gastados producto de la fabricación de lentes de cámara, reduciendo la turbidez en un 98,48% por la alta capacidad del agente coagulante activo (inulina) en la formación de flóculos [20].

Además, la médula de banano es capaz de remover colorantes. En el año 1993, en India se investigó la médula de banano de desecho como adsorbente para el tratamiento de aguas residuales enriquecidas con el colorante Rodamina B. Se observó una máxima eliminación de este compuesto químico en un 87% a 4 unidades de pH, aunque el agua después del tratamiento se colorea debido al extracto de la médula de banano de desecho, esta puede ser utilizada para fines de irrigación [21].

Ante este panorama y conociendo que la utilización de materiales de origen vegetal como la médula de banano ha sido utilizada como coagulante natural para la clarificación de aguas, así como absorbente de color en aguas residuales que contienen tintes textiles; surge la necesidad de evaluar mediante esta investigación el poder coagulante del sulfato de aluminio y este residuo agrícola en el proceso de clarificación del agua del río Magdalena-Atlántico.

## 2. Metodología

### 2.1. Recolección del agua objeto de estudio

Se realizó un muestreo simple del agua cruda proveniente del río Magdalena en las inmediaciones de la bocatoma situada en las instalaciones de la Sociedad de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Barranquilla S.A. E.S.P. (Triple A), sede Pumarejo, ubicada en el departamento del Atlántico, Colombia. Para realizar los experimentos correspondientes, el agua recolectada se almacenó en recipientes plásticos y se transportó al laboratorio de Biotecnología de Microalgas de la Universidad del Atlántico, donde se conservó a temperatura ambiente (27 °C) y se midieron parámetros iniciales como la turbidez del agua cruda (TB 300 IR, Lovibond) y pH (ST2100, OHAUS).

### 2.2. Extracción y preparación del coagulante natural

Conforme al esquema propuesto por Kakoi Beatrice *et al.* [19], para la elaboración del coagulante natural a base de médula de banano, se recolectaron los seudotallos de la planta desechados luego del proceso de deshije o poda de hijos, se lavaron y luego se les extrajo la parte central del

tronco. La médula se limpió y enjuagó con agua destilada, se cortó en pequeños trozos y se secó en un horno (FD 23, BINDER) a 60 °C durante 6 h. Luego se trituró (TSM6A011W, BOSCH) hasta obtener un polvo fino que finalmente se tamizó (Tyler, con abertura de 0,4 mm).

### 2.3. Determinación del punto de carga cero del coagulante natural

El pH cuando la suma de las cargas en la superficie (positivas y negativas) de la biomasa es cero, se define como punto de carga cero ( $pH_{pzc}$ ). Para determinarlo se empleó la metodología propuesta por Kakoi Beatrice *et al.* [19] con algunas modificaciones; inicialmente se tomaron 50 mL de agua desionizada y se adicionaron en recipientes de 100 mL, ajustando el pH a valores iniciales de 3,10; 5,05; 7,00 y 9,02 adicionando las cantidades necesarias de HCl 0,1 M o NaOH 0,1 M. Luego, a estas soluciones se les agregó 1 g del coagulante natural de médula de banano, posteriormente se agitaron en un Shaker a 27 °C, 180 rpm durante 24 h (MYR4000, Sea Star). Finalmente, se midieron los pH finales de cada una de las soluciones utilizando un potenciómetro (ST2100, OHAUS). El  $pH_{pzc}$  corresponde al punto donde la curva producto del delta de pH en función de pH inicial corta el eje horizontal.

### 2.4. Preparación de las dosis de coagulantes

Se pesó un gramo de cada sustancia y se disolvió en 100 mL de agua destilada para ambos coagulantes (sulfato de aluminio y médula de banano). Luego, mediante ensayos preliminares se determinaron sus dosis, siendo estas 10, 20, 40, 60, 80 y 100 mg/L para cada uno.

### 2.5. Simulación del proceso de clarificación

Para evaluar los coagulantes, se procedió a realizar una prueba de jarras (FC6S, VELP) según los parámetros establecidos por la NTC 3903 de 2010, con la finalidad de analizar su eficiencia en la remoción de la turbidez. Para ello, se tomaron seis vasos de precipitados en los cuales se vertieron aproximadamente 1 L del agua objeto de estudio, registrando previamente su pH y turbidez inicial. Cada muestra se sometió a una mezcla rápida de 120 rpm durante 60 segundos, en este lapso de tiempo se le adicionó el coagulante según las dosis establecidas, luego se redujo la velocidad a una mezcla lenta de 30 rpm por un periodo de 20 min; transcurrido este tiempo, se dejó sedimentar durante 15 min. Finalmente, se extrajo una muestra de 60 mL de agua clarificada de cada jarra y se determinó la turbidez final utilizando un turbidímetro y el pH empleando un potenciómetro.

## 2.6. Diseño experimental y análisis de resultados

En esta investigación de tipo experimental, se determinó la turbidez final como única variable respuesta para cada uno de los coagulantes utilizados (sulfato de aluminio y médula de banano) expresada en unidades nefelométricas de turbidez (UNT), teniendo como factor la dosis empleada que contenía 6 niveles expresados en mg/L. Los ensayos fueron realizados por triplicado.

Los resultados obtenidos fueron analizados a través del programa estadístico Statgraphics Centurion XVI versión 16.1.03, mediante un análisis de varianza ANOVA y la prueba de HSD (diferencia honestamente significativa) de Tukey con una confiabilidad del 95% (valor  $P < 0,05$ ).

## 3. Resultados

### 3.1. Punto de carga cero del coagulante natural

Teniendo en cuenta que el pH de una solución afecta a la carga superficial de un coagulante natural, se determinó que 6,49 unidades de pH es el punto de carga cero (Figura 1). Siendo 7,20 el pH inicial del agua proveniente del río Magdalena y superior al  $pH_{pzc}$ , la médula de banano se carga negativamente en la superficie e interactúa con especies contaminantes de cargas positivas.

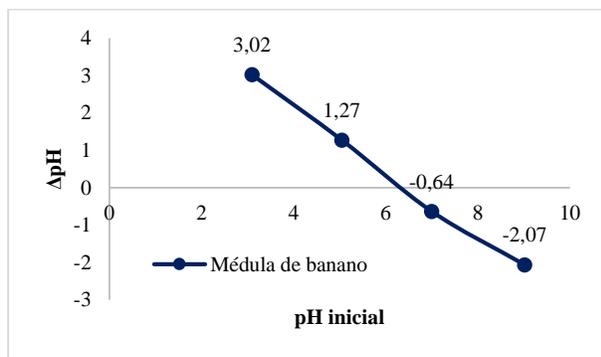


Figura 1.  $pH_{pzc}$  de la médula de banano. Fuente: elaboración propia.

### 3.2. Análisis estadístico

El pH inicial de la muestra a tratar afecta significativamente la coagulación y debe estar en el rango de 6,5-8,5 unidades de pH, por debajo de estos valores se utiliza cal o hidróxido de sodio para aumentarlo. Cuando el proceso se lleva a cabo fuera de este rango, se aumenta la cantidad de coagulante utilizado [12]. Cabe destacar que el rango de pH en el que se solubiliza el sulfato de aluminio es 5,5-8,0 [22], teniendo en cuenta que 7,20 unidades de pH es el valor inicial del agua proveniente

del río Magdalena, no se realizó la corrección de este parámetro al emplear los coagulantes, químico y natural.

En Colombia, según la Resolución 2115 del 22 de junio del año 2007, el agua apta para el consumo humano debe tener máximo una turbidez de 2 UNT [23]; sin embargo, el agua del río Magdalena analizada en el mes de diciembre del año 2018 presentó una turbidez inicial de 210,00 UNT, demostrándose que esta no cumple con la normativa vigente. Otros autores como Rafael Olivero *et al.* [24], en el año 2017 reportaron valores de turbidez inicial mucho más altos de este mismo río en el departamento del Atlántico, que oscilan entre 433-489 UNT.

La Figura 2 presenta el comportamiento de la turbidez final del agua proveniente del río Magdalena luego de emplear el sulfato de aluminio. Se observa que al aumentar la dosis de sustancia química, disminuye la turbidez final del agua del río. Además se determinó que este coagulante remueve en gran medida este parámetro; por ejemplo, la turbidez disminuyó de 210,00 a 129,00 UNT utilizando una dosis de 10 mg/L, mientras que al usar 100 mg/L se obtuvo un valor de 1,19 UNT.

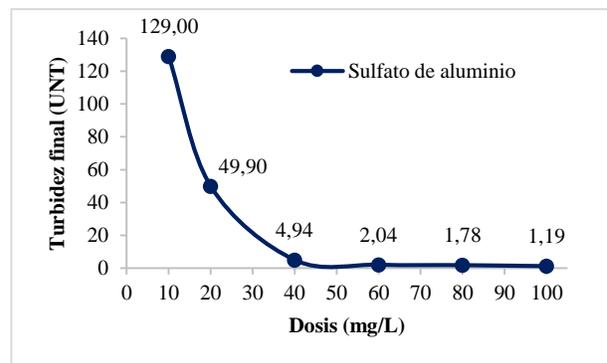


Figura 2. Curva que representa la turbidez final del agua del río Magdalena después de utilizar el sulfato de aluminio. Fuente: elaboración propia.

El análisis de varianza ANOVA permite conocer la influencia del factor dosis de coagulante sobre la variable respuesta turbidez final del agua del río Magdalena, con una confiabilidad del 95% y teniendo en cuenta el valor  $P$ , si es menor a 0,05 existe una influencia, de lo contrario no la hay. El análisis mostró que la dosis de coagulante, sulfato de aluminio, tiene un Valor  $P$  de 0,0001 influyendo en la variable respuesta.

La Figura 3 muestra los resultados obtenidos a partir de la prueba de HSD (diferencia honestamente significativa) de Tukey con intervalos de confianza del 95,0%,

utilizada para probar las diferencias entre las medias de la muestra para determinar su importancia.

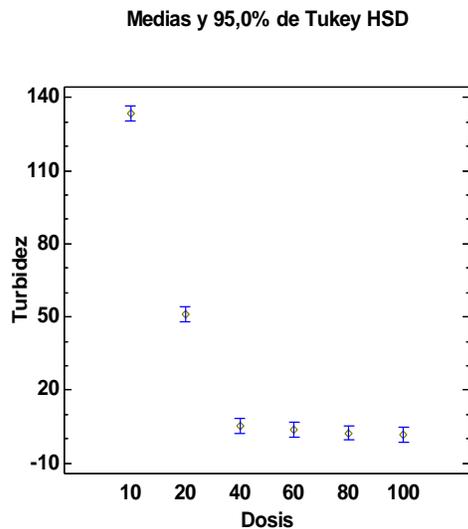


Figura 3. Contraste múltiple de media de Tukey para el sulfato de aluminio. Fuente: Statgraphics Centurion XVI.

Las medias de la turbidez final del agua analizada presentaron los siguientes valores: 133,67; 51,17; 5,22; 3,57; 2,30 y 1,59 usando las dosis de 10, 20, 40, 60, 80 y 100 mg/L respectivamente. Se observan 3 grupos homogéneos, las dosis de 10 y 20 mg/L corresponden a los dos grupos que no están alineados entre sí. Por otro lado, se presenta un grupo comprendido por las dosis de 40, 60, 80 y 100 mg/L que muestran mejores resultados de turbidez, logrando con la última dosis obtener un valor inferior (1,59 UNT) al parámetro establecido para el consumo de agua potable (2 UNT). Sin embargo, la dosis óptima es 40 mg/L porque utiliza la menor cantidad de coagulante, obteniendo una turbidez final de 5,22 UNT que no cumple con la Resolución 2115 del año 2007 porque sobrepasa el valor máximo de turbidez exigido.

Es importante aclarar que en la presente investigación, solo se realizó la simulación de los procesos de clarificación del agua del río Magdalena (coagulación, floculación y sedimentación) mediante el test de jarras, es decir, no se llevaron a cabo etapas posteriores para la potabilización del agua, como filtración y cloración.

El sulfato de aluminio removió 97,65% de turbidez, información que coincide con los resultados obtenidos de otras investigaciones. En el año 2017, se observó que al usar una dosis de 40 mg/L de esta sustancia química, se remueve 99,78% de este parámetro, es decir, el río Magdalena en el departamento del Atlántico con una

turbidez inicial de 462 UNT después de la clarificación del agua se obtiene un valor de 1,02 UNT [24].

En el año 2014, se determinó que a una dosis de 40 mg/L la turbidez del agua del río Magdalena en el municipio de Magangué-Bolívar, es removida un 98,30% partiendo de una turbidez inicial de 174 UNT [25].

De igual manera en el año 2013 se demostró que al emplear una dosis de 40 mg/L, el sulfato de aluminio remueve el 99,78% de la turbidez de un agua del río Magdalena (canal del Dique), en el corregimiento de Gambote, municipio de Arjona del departamento de Bolívar-Colombia, obteniendo un valor final de 0,60 UNT de este parámetro y cumpliendo con la normativa colombiana para consumo humano [26].

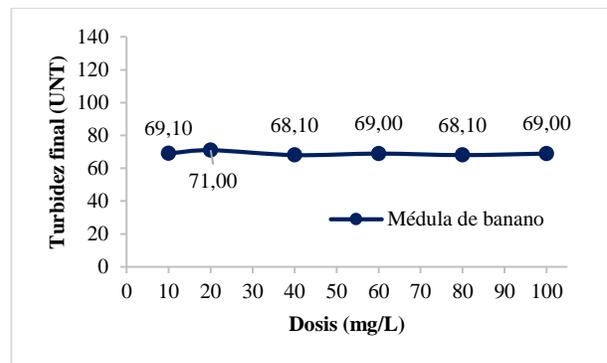


Figura 4. Curva que representa la turbidez final del agua del río Magdalena después de utilizar la médula de banano. Fuente: elaboración propia

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos con el coagulante natural, se empleó el mismo diseño factorial del sulfato de aluminio. El comportamiento de la turbidez después de la clarificación del agua proveniente del río Magdalena usando médula de banano, se observa en la figura 4. Al aumentar la dosis, la turbidez final del agua objeto de estudio se mantuvo en un rango de 68,10-71,00 UNT partiendo de una turbidez inicial de 210,00 UNT.

Con el análisis de varianza ANOVA (Valor  $P = 0,0001$ ), se determinó que existe influencia del factor experimental evaluado, dosis de coagulante, sobre la variable respuesta.

En la Figura 5, se muestra el contraste múltiple de medias de Tukey con un 95% de confianza para el coagulante natural. A continuación se presentan las medias de la turbidez final del agua analizada de las 6 dosis empleadas: 69,40; 71,43; 68,40; 69,50; 68,37 y 69,47 para 10, 20, 40, 60, 80 y 100 mg/L, respectivamente.

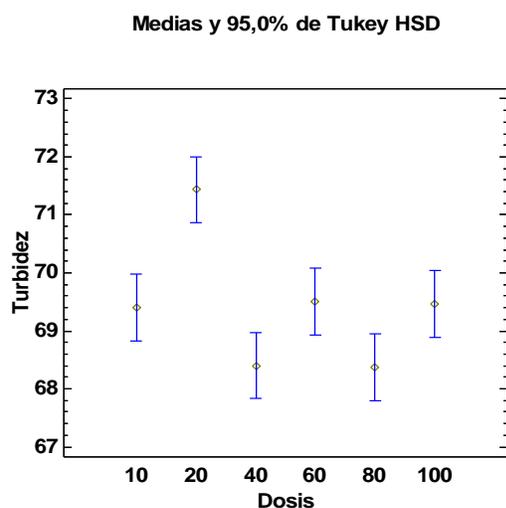


Figura 5. Contraste múltiple de media de Tukey para la médula de banano. Fuente: Statgraphics Centurion XVI.

Al analizar los resultados de la Figura 5, se observan 3 grupos homogéneos, la dosis de 20 mg/L corresponde a un grupo; siendo las dosis de 10, 60 y 100 mg/L otro grupo y finalmente el grupo comprendido por las dosis de 40 y 80 mg/L que obtuvieron los mejores resultados de turbidez final del agua analizada; sin embargo, la dosis óptima es 40 mg/L porque corresponde a la menor cantidad de coagulante empleado, obteniendo una turbidez final de 68,40 UNT.

La médula de banano removió la turbidez del agua del río Magdalena en 67,57% cuando inicialmente este parámetro tenía un valor de 210,00 UNT. Este porcentaje de remoción es menor al obtenido en el año 2016, en la cuenca del río Nairobi-Kenia, donde se determinó que una dosis de 100 mg/L de médula de banano remueve el 98,56% de la turbidez del agua, que inicialmente tenía 279 UNT; finalmente este parámetro alcanza un valor de 4 UNT cuando el agua de este río tiene un pH de 4,0 [18].

Aunque se utilizó la misma biomasa (médula de banano) como coagulante, la diferencia de los resultados entre ambos estudios se debe a la naturaleza propia de los mismos. El pH del agua del río Nairobi al compararse con el  $pH_{pzc}$  obtenido (4,8) es menor [18], por tal motivo la médula de banano se carga positivamente en la superficie y adsorbe especies contaminantes de cargas negativas, siendo estas en su mayoría partículas coloidales responsables de la turbidez en el agua. Sin embargo, en el presente estudio sucedió lo contrario, porque el pH inicial del agua del río Magdalena (7,20) presentó un valor superior al  $pH_{pzc}$  (6,49).

En Malasia durante el año 2013, se determinó que la médula de banano, reduce la turbidez en un 98,48% en el pretratamiento del agua residual de refrigerantes gastados de una compañía fabricante de lentes de cámara, cuando presenta una turbidez inicial de 81,25 UNT [20].

Mediante este estudio se demostró que la médula extraída de la parte interna del seudotallo de banano removió en un 67,57% la turbidez del agua cruda proveniente del río Magdalena en Barranquilla, mientras que el sulfato de aluminio obtuvo un porcentaje de remoción mayor (97,65%).

#### 4. Conclusiones

El coagulante natural extraído del seudotallo de banano presentó una eficiencia de remoción que solo con los procesos de coagulación-floculación-sedimentación, no permite lograr el nivel de turbidez exigido por la norma de calidad de agua potable de Colombia (valor máximo admisible 2 UNT); sin embargo, se destaca la capacidad coagulante que posee este residuo agroindustrial en la remoción de la turbidez del agua cruda proveniente del río Magdalena, que presentó un valor inicial elevado en este parámetro.

El sulfato de aluminio es un coagulante químico efectivo en el tratamiento de aguas turbias, logrando valores de turbidez final inferiores al establecido por la normativa colombiana de agua potable.

#### 5. Recomendaciones

A diferencia de los coagulantes químicos, los estudios sobre coagulantes naturales se han centrado principalmente en la eliminación de la turbidez de las aguas superficiales sintéticas y crudas, con amplio espacio para futuras investigaciones. Sin embargo, teniendo en cuenta los problemas de salud y medioambientales de los coagulantes químicos, se recomienda realizar más investigaciones sobre los coagulantes naturales buscando una alternativa sostenible.

#### Referencias

- [1] L. Cánepa de Vargas, V. Maldonado, A. Barrenechea, and M. Aurazo, "Tratamiento de agua para consumo humano," Lima, 2004.
- [2] L. Guzmán, Á. Villabona, C. Tejada, and R. García, "Reducción De La Turbidez Del Agua Usando Coagulantes Naturales: Una Revisión," *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, vol. 16. scieloco, pp. 253–262, 2013.

- [3] L. Fuentes, W. Contreras, R. Perozo, I. Mendoza, and Z. Villegas, "Uso del quitosano obtenido de *Litopenaeus schmitti* (Decapoda, Penaeidae) en el tratamiento de agua para consumo humano," *Multiciencias*, vol. 8, pp. 281–287, Aug. 2008.
- [4] Y. Parra, M. Cedeño, M. García, I. Mendoza, Y. González, and L. Fuentes, "Clarificación de aguas de alta turbidez empleando el Mucílago de *Opuntia wentiana* (Britton & Rose) / (Cactaceae)," *REDIELUZ*, vol. 1, no. 1, 2011.
- [5] Katerin Rianos, M. C. Meza Leones, and I. D. Mercado Martínez, "Clarificación del agua de un humedal usando una mezcla de coagulantes naturales," *DYNA; Vol. 86, Núm. 209 Abril - Junio*, vol. 86, no. 209, pp. 73–78, 2019. doi:10.15446/dyna.v86n209.73687.
- [6] S. E. Aguirre, N. V. Piraneque, and R. K. Cruz, "Sustancias Naturales: Alternativa para el Tratamiento de Agua del Río Magdalena en Palermo, Colombia," *Inf. tecnológica*, vol. 29, pp. 59–70, 2018. doi: 10.4067/S0718-07642018000300059.
- [7] L. Guzmán C, A. A. Taron D, And A. Núñez M, "Polvo De La Semilla Cassia Fistula Como Coagulante Natural En El Tratamiento De Agua Cruda," *Biotechnol. en el Sect. Agropecu. y Agroindustrial*, vol. 13, no. 2, pp. 123–129, 2015, doi: 10.18684/BSAA(13)123-129.
- [8] N. C. Cabrera Martínez, A. R. Hernández Julio, E. del P. Simancas Vásquez, J. M. Ayala Jiménez, and K. Almanza Caraballo, "Coagulantes naturales extraídos de *Ipomoea incarnata* en el tratamiento de aguas residuales industriales en Cartagena de Indias," *Sci. Tech.*, vol. 22, no. 1, p. 109, Mar. 2017. doi: 10.22517/23447214.13281.
- [9] A. Arias-Hoyos, J. L. Hernández-Medina, A. F. Castro-Valencia, And N. E. Sánchez-Peña, "Tratamiento De Aguas Residuales De Una Central De Sacrificio: Uso Del Polvo De La Semilla De La M. Oleífera Como Coagulante Natural," *Biotechnol. en el Sect. Agropecu. y Agroindustrial*, vol. 15, no. spe, pp. 29–39, 2017. doi: 10.18684/BSAA(EdiciónEspecial)29-39.
- [10] A. A. Tarón-Dunoyer, L. E. Guzmán-Carrillo, and I. Barros-Portnoy, "Evaluación de la Cassia fistula como coagulante natural en el tratamiento primario de aguas residuales," *ORINOQUIA*, vol. 21, no. 1, pp. 73–78, 2017. doi: 10.22579/20112629.396.
- [11] H. Ramírez Arcila and J. Jaramillo Peralta, "Agentes Naturales como Alternativa para el Tratamiento del Agua," *Rev. Fac. Ciencias Básicas*, vol. 11, no. 2, p. 136, Jan. 2016, doi: 10.18359/rfcb.1303.
- [12] D. Trujillo, L. F. Duque, J. S. Arcila, A. Rincón, S. Pacheco, and O. F. Herrera, "Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano," *Revista ION*, vol. 27, pp. 17–34, 2014.
- [13] T. Ahmad and M. Danish, "Prospects of banana waste utilization in wastewater treatment: A review," *J. Environ. Manage.*, vol. 206, pp. 330–348, 2018, doi: 10.1016/j.jenvman.2017.10.061.
- [14] J. Anwar, U. Shafique, Waheed-uz-Zaman, M. Salman, A. Dar, and S. Anwar, "Removal of Pb(II) and Cd(II) from water by adsorption on peels of banana," *Bioresour. Technol.*, vol. 101, no. 6, pp. 1752–1755, 2010. doi: 10.1016/j.biortech.2009.10.021.
- [15] A. Vézina and I. Van den Bergh, "Where bananas are grown," *Promusa*, 2018. . [En línea]. Disponible en: <http://www.promusa.org/Banana-producing+countries+portal>. [Accedido: 18-may-2019].
- [16] Food and Agriculture Organization of the United Nations, "Production indices," *FAOSTAT*. . [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/en/?fbclid=IwAR1sUYGxHW9cDo3C13qt59NoTfXpuc0kiT5FRYGBIx6TcVJwB7ki275Ptm8#data/QC>. [Accedido: 18-may-2019].
- [17] M. P. Shah, G. V Reddy, R. Banerjee, P. Ravindra Babu, and I. L. Kothari, "Microbial degradation of banana waste under solid state bioprocessing using two lignocellulolytic fungi (*Phylosticta* spp. MPS-001 and *Aspergillus* spp. MPS-002)," *Process Biochem.*, vol. 40, no. 1, pp. 445–451, 2005. doi: 10.1016/j.procbio.2004.01.020.
- [18] H. Kristianto, "The Potency of Indonesia Native Plants as Natural Coagulant: a Mini Review," *Water Conserv. Sci. Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 51–60, 2017. doi:10.1007/s41101-017-0024-4.
- [19] B. Kakoi, J. W. Kaluli, P. Ndiba, and G. Thiong'o, "Banana pith as a natural coagulant for polluted river water," *Ecol. Eng.*, vol. 95, pp. 699–705, 2016. doi: 10.1016/j.ecoleng.2016.07.001.
- [20] H. Alwi, J. Idris, M. Musa, and K. H. Ku Hamid, "A Preliminary Study of Banana Stem Juice as a Plant-Based Coagulant for Treatment of Spent Coolant Wastewater," *J. Chem.*, vol. 2013, pp. 1–7, Feb. 2013. doi:10.1155/2013/165057.
- [21] C. Namasivayam, N. Kanchana, and R. T. Yamuna, "Waste banana pith as adsorbent for the removal of

rhodamine-B from aqueous solutions,” *Waste Manag.*, vol. 13, no. 1, pp. 89–95, 1993. doi: 10.1016/0956-053X(93)90038-X.

[22] M. Meza-Leones, K. Riaños Donado, I. Mercado Martínez, R. Olivero Verbel, and M. Jurado Erasó, “Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de Moringa oleífera en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico,” *Rev. UIS Ing.*, vol. 17, no. 2, pp. 95–104, Jun. 2018. doi:10.18273/revuin.v17n2-2018009.

[23] *Ministerio De La Protección Social And Ministerio De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial, Resolución Número 2115*, República de Colombia, 2007.

[24] R. Olivero Verbel, A. Florez Vergara, L. Vega Fellizola, and G. Villegas de Aguas, “Evaluación de una mezcla para coagulantes naturales, Opuntia ficus y Moringa oleífera en clarificación de aguas,” *Prod. + Limpia*, vol. 12, no. 2, pp. 71–79, 2017. doi: 10.22507/pml.v12n2a6.

[25] R. O. Verbe, Y. del A. Mendoza, I. M. Martínez, D. C. Camargo, and L. M. Gazabón, “Utilización de Tuna (opuntia ficus-indica) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas,” *Av. Investig. en Ing.*, vol. 11, no. 1 SE-Artículos, Dec. 2014. doi: 10.18041/1794-4953/avances.1.302.

[26] R. E. Olivero Verbel, I. D. Mercado Martínez, and L. E. Montes Gazabón, “Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal Opuntia ficus-indica,” *Prod. + Limpia*, vol. 8, pp. 19–27, 2013.