

Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena empleando cáscara de mango como coagulante natural

Removal of turbidity from Magdalena River using mango peel as a natural coagulant

Arnaldo Lozano-Meza ^{1a}, Jonathan Arbelaez-Lara ^{1b}, Iván Mercado-Martínez* ²

¹ Grupo de Investigación Agroindustrial-GIA, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia.

Correo electrónico: arnaldojlozano@mail.uniatlantico.edu.co ^a, jalexarbelaez@mail.uniatlantico.edu.co ^b

² Grupo de Investigación en Biotecnología de Microalgas, Fisicoquímica Aplicada y Estudios Ambientales, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia. Orcid: [0000-0002-1978-6977](https://orcid.org/0000-0002-1978-6977). Correo electrónico: ivanmercado@mail.uniatlantico.edu.co

Recibido: 4 agosto, 2025. Aceptado: 20 marzo, 2026. Versión final: 14, abril, 2026

Resumen

En esta investigación se evaluó la eficiencia coagulante de la cáscara de mango (*Mangifera indica* L.) como alternativa natural para el tratamiento de coagulación-floculación-sedimentación, del agua del río Magdalena, comparándose con el sulfato de aluminio. Se aplicó un diseño experimental factorial considerando la dosis en diferentes niveles (10, 20, 40, 60, 80 y 100 mg/L), empleando la prueba de jarras bajo la NTC 3903 de 2010. La turbidez se tomó como variable respuesta y se analizaron los datos mediante ANOVA y prueba de Fisher LSD (95% de confianza). Los resultados indicaron que el sulfato de aluminio, con 40 mg/L, removió el 100% de la turbidez inicial (250 UNT), mientras que la cáscara de mango alcanzó una remoción de 55,20% con 20 mg/L. Sin embargo, la turbidez final obtenida no permite cumplir con la norma colombiana para agua potable. Se concluye que la cáscara de mango, como residuo agroindustrial, constituye una alternativa como coadyuvante en el uso de coagulantes químicos en la clarificación de aguas.

Palabras clave: biocoagulante; cáscara de mango; clarificación de agua; coagulante natural; prueba de jarras; sostenibilidad; sulfato de aluminio; remoción; tratamiento de agua; turbidez.

Abstract

This study evaluated the coagulating efficiency of mango peel (*Mangifera indica* L.) as a natural alternative for the coagulation-flocculation-sedimentation treatment of water from the Magdalena River, compared to aluminum sulfate. A factorial experimental design was applied, considering dosage at different levels (10, 20, 40, 60, 80, and 100 mg/L), and using the jar test method following the NTC 3903:2010 standard. Turbidity was used as the response variable, and the data were analyzed using ANOVA and Fisher's LSD test at a 95% confidence level. The results showed that aluminum sulfate at 40 mg/L removed 100% of the initial turbidity (250 NTU), while mango peel achieved a removal of 55.20% at 20 mg/L. Nevertheless, the resulting final turbidity fails to meet the requirements of the Colombian regulation for drinking water. It is concluded that mango peel, as an agro-industrial residue, constitutes an alternative coagulant aid for the use of chemical coagulants in water clarification processes.

ISSN impreso: 1657 - 4583. ISSN en línea: 2145 – 8456, CC BY-ND 4.0 

Como citar: A. Lozano-Meza, J. Arbelaez-Lara, I. Mercado-Martínez, “Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena empleando cáscara de mango como coagulante natural”, *Rev. UIS Ing.*, vol. 25, no. 2, pp. 51-60, 2026, doi: <https://doi.org/10.18273/revuin.v25n2-2026005>

* Autor de correspondencia

Keywords: biocoagulant; mango peel; water clarification; natural coagulant; jar test; sustainability; aluminum sulfate; removal; water treatment; turbidity.

1. Introducción

El acceso a agua potable segura es uno de los principales retos a nivel global, especialmente en países de ingresos bajos y medios, donde la disponibilidad de fuentes hídricas aptas para consumo humano es cada vez más limitada [1]. Las fuentes de agua superficial, como ríos y quebradas, presentan altas concentraciones de partículas suspendidas, materia orgánica, microorganismos y contaminantes coloidales que afectan parámetros como la turbidez, lo que hace imprescindible su tratamiento previo [2]. La clarificación es una etapa fundamental dentro del proceso de potabilización, ya que permite la remoción de sólidos finos y coloides mediante operaciones de coagulación, floculación y sedimentación [3].

La turbidez es un parámetro clave para la calidad del agua potable, ya que niveles elevados afectan la eficacia de la desinfección, pueden transportar patógenos y deteriorar la aceptabilidad del recurso [4]. En Colombia, la Resolución 2115 de 2007 establece un límite máximo de 2 UNT para turbidez en agua apta para consumo humano [5]. En el caso del río Magdalena, se han registrado concentraciones de sólidos suspendidos de hasta 178 mg/L, especialmente durante lluvias o crecidas, lo que evidencia niveles elevados de turbidez [6].

La coagulación química es la técnica más empleada para reducir la turbidez [7], utilizando sales metálicas como sulfato de aluminio o cloruro férrico, las cuales forman agregados que facilitan la sedimentación de las partículas suspendidas [8]. No obstante, investigaciones realizadas como las de la Organización Mundial de la Salud (OMS) han reportado preocupaciones relacionadas con la presencia de residuos de aluminio en agua tratada, asociados potencialmente a efectos adversos para la salud humana, como enfermedades neurodegenerativas (Alzheimer) [9]. Además, el uso de coagulantes inorgánicos incrementa la generación de lodos residuales con altos contenidos de metales, complicando su disposición final y altera el pH del agua tratada [10]. Por tal motivo, se hace necesario buscar soluciones para llevar a cabo los tratamientos de coagulación, floculación y sedimentación para la potabilización de aguas para consumo humano, con el objetivo de minimizar el impacto negativo generado por los coagulantes químicos mediante el uso de coagulantes de origen natural. Por ejemplo, los elaborados a partir de cáscaras de frutas, semillas de plantas, hojas y raíces, entre otras [10], [11].

Estos biocoagulantes, derivados principalmente de semillas, cáscaras, hojas, raíces y animales (exoesqueletos de mariscos, caparazones de langostas, camarones, insectos, cangrejos, diatomeas y moluscos, y esponjas de agua dulce y marinas), han mostrado resultados prometedores en la clarificación de aguas superficiales y residuales, destacándose especies como *Moringa oleifera* y *Opuntia ficus-indica* [12]. Los coagulantes naturales se consideran sostenibles porque no generan efectos negativos sobre el medio ambiente [13], no implican riesgos para la salud humana y su producción resulta más económica respecto a los coagulantes sintéticos, ya que suelen obtenerse a partir de recursos locales. Además, poseen una buena capacidad para remover la turbidez en aguas con altos niveles de sólidos suspendidos, mostrando una buena eficiencia de clarificación [10].

En Colombia, la industria hortofrutícola enfrenta limitaciones tecnológicas que dificultan la innovación en la creación de nuevos productos y el uso eficiente de sus subproductos, lo cual impacta negativamente en su productividad y en el desarrollo económico del sector [14]. La industrialización de frutas, como el mango, genera grandes cantidades de subproductos que suelen desecharse, provocando impactos ambientales y pérdidas económicas por su escaso aprovechamiento [15]. Residuos agroindustriales de fácil disponibilidad, tales como las cáscaras de plátano (*Musa paradisiaca* L.), naranja (*Citrus sinensis* L.) y mango (*Mangifera indica* L.), pueden emplearse como biocoagulantes [10].

El mango (*Mangifera indica* L.) contiene taninos y grupos funcionales como OH y C-O, siendo los grupos OH clave en la coagulación. Presenta un 2,10% de grasa, 9,05% de humedad y un 70,03% de amilopectinas, además de ser una fuente rica en antioxidantes [16]. La cáscara presenta propiedades similares, destacándose por su alto contenido de fibra, fenoles, polifenoles y compuestos antioxidantes. También posee ácidos oleanólicos con actividad citotóxica y una amplia gama de minerales como potasio, magnesio, calcio, sodio, cromo, cobre, hierro y manganeso. Además, es notable por su buena bioaccesibilidad de carotenoides, incluyendo xantofilas como luteína y zeaxantina, cuyos niveles varían según la variedad de mango, como Langra, Desi, Raspuri, Tommy Atkins y Keaw [17].

El mango (*Mangifera indica* L.) se destaca entre las frutas tropicales por su alta demanda y volumen de

comercialización a nivel mundial. Sin embargo, durante su procesamiento agroindustrial se generan subproductos significativos, principalmente la cáscara, semilla y endocarpio, que en conjunto pueden representar aproximadamente el 18% del peso total del fruto, constituyéndose en una fuente considerable de residuos orgánicos con potencial para ser aprovechado [16]. Por ejemplo, la semilla ha sido objeto de estudio como coagulante natural por los investigadores M. Martínez *et al.*, quienes en el año 2017 evaluaron el extracto de semillas de mango (*Mangifera indica* L.) como coagulante natural para remover turbidez en agua sintética preparada con caolín. Se trabajaron dosis entre 10 y 500 mg/L y turbidez inicial de 10 a 200 UNT. Los mejores resultados se obtuvieron con dosis de 50 a 100 mg/L, logrando remociones de turbidez superiores al 95% en muestras de turbidez alta (100 UNT) y hasta 97,7% en turbidez media (75 UNT), sin alterar significativamente el pH del agua [18].

Un estudio realizado durante el año 2015 en México, por A. Ramírez *et al.*, demostró la acción coagulante del mango a partir de semillas de este fruto en aguas residuales. En la prueba de jarras, el proceso de coagulación se llevó a cabo a 100 rpm durante 3 minutos. Mientras que el proceso de floculación se realizó a 15 rpm durante 20 minutos. Finalmente, la sedimentación se efectuó durante 20 minutos. Se obtuvieron porcentajes de remoción del parámetro turbidez del agua hasta del 60% al utilizar una dosis de coagulante equivalente a 60.000 mg/L [19].

En Perú, durante 2021, B. Romero *et al.*, realizaron una investigación para analizar la eficacia del almidón extraído de la semilla de mango criollo (*Mangifera indica* L.) como coagulante natural, comparándolo con el sulfato de aluminio. El estudio evaluó la capacidad de remoción de turbidez del agua del canal Las Mercedes (17,35 UNT), utilizando soluciones coagulantes preparadas en concentraciones de 10 a 50 mg/L y aplicando ensayos con prueba de jarras para observar las etapas de coagulación, floculación y sedimentación. Los resultados mostraron que una dosis de 30 mg/L del coagulante natural logró una reducción de turbidez de 72% por acción de los compuestos fenólicos, mientras que con sulfato de aluminio se obtuvo el 87,64% de remoción a una dosis de 20 mg/L [16].

Cabe destacar que, la cáscara de mango ha demostrado ser efectiva para retirar colorantes. En 2017, en Malasia se evaluaron cáscaras de mango activadas químicamente con ácido para adsorber azul de metileno de aguas contaminadas. Los ensayos mostraron una eficiencia de adsorción de hasta 277,8 mg/g a pH moderado,

confirmando su potencial como adsorbente sostenible en tratamientos de aguas residuales [20].

Frente a este contexto y considerando que subproductos del procesamiento del mango, como su semilla y cáscara, se han empleado exitosamente como coagulantes naturales para la clarificación de aguas, así como adsorbentes de colorantes presentes en efluentes; de este modo, esta investigación se propone evaluar la capacidad coagulante del sulfato de aluminio y de este residuo agroindustrial en el proceso de clarificación del agua proveniente del río Magdalena, Puerto Niño (Departamento del Magdalena).

2. Metodología

2.1. Recolección de la muestra

Se efectuó un muestreo simple en enero del año 2025 a las orillas del río Magdalena, específicamente en el corregimiento de Puerto Niño, ubicado en el municipio de Cerro de San Antonio, departamento del Magdalena, delimitando con el municipio de Calamar, departamento de Bolívar (10°15'22.0"N 74°54'10.2"W). El agua se depositó en contenedores plásticos con una capacidad de 20 L y se transportó al laboratorio de Biotecnología de Microalgas de la Universidad del Atlántico, donde se procedió a analizar parámetros fisicoquímicos, tales como: pH, empleando un potenciómetro modelo ST3100 de la marca OHAUS. Además de la turbidez, mediante un turbidímetro modelo TB 300 IR de la marca Lovibond.

2.2. Obtención del polvo de cáscara de mango (*Mangifera indica* L.)

Para su elaboración se seleccionaron los mangos maduros (madurez de consumo) de diversas variedades (hilacha y azúcar) que inicialmente se limpiaron. Después se les retiraron las cáscaras, que se redujeron de tamaño en tiras rectangulares de 7 cm de largo y 10 cm de ancho, que se sometieron a un proceso de secado a 70 °C usando un deshidratador de la marca WESTON de referencia 75-0201-W durante 9 horas. Después, las cáscaras secas pasaron por un molino eléctrico de la marca BRENTWOOD de referencia CG-152 y se tamizaron usando un tamaño de malla de abertura equivalente a 180,00 µm, dando como resultado un polvo fino que se utilizó como coagulante [21].

2.3. Preparación de los coagulantes

Se pesaron inicialmente 1000 mg de sulfato de aluminio comercial tipo A que se disolvieron en 0,1 L de agua

destilada. Una vez obtenida una solución homogénea, se prepararon 6 dosis con diferentes concentraciones (10, 20, 40, 60, 80 y 100 mg/L). De manera similar, se obtuvo el coagulante natural (1000 mg de cáscara de mango en 0,1 L de agua destilada). Las dosis se determinaron en ensayos previos.

2.4. Ensayo de jarras

Para analizar los coagulantes, se empleó el equipo de jarras modelo FC6S de la marca VELP según los parámetros establecidos por la NTC 3903 de 2010 para determinar la eficiencia de remoción de turbidez. Para la simulación del proceso de clarificación del agua objeto de análisis, se tomaron seis vasos de precipitados en los cuales se vertió aproximadamente 1 L del agua objeto de estudio, registrando previamente del agua cruda su turbidez y pH inicial. Cada muestra se sometió a una mezcla rápida de 150 rpm durante 1 min; en este lapso se le adicionó el coagulante según las dosis establecidas, luego se redujo la velocidad a una mezcla lenta de 30 rpm por un período de 20 min; transcurrido este tiempo, se dejó sedimentar por un período de 15 min. Finalmente, se tomó una muestra del agua clarificada de cada jarra, se determinó su turbidez y pH final. Las pruebas se realizaron por triplicado (se hicieron dos series de experimentos independientes). La temperatura del laboratorio de microalgas de la Universidad del Atlántico (Barranquilla-Colombia), donde se desarrollaron estas pruebas, siempre estuvo entre los 25-27 °C.

2.5. Diseño experimental y análisis de resultados

Esta investigación se desarrolló para tener información científica útil para la presentación de un trabajo de grado del programa Ingeniería Agroindustrial de la Universidad del Atlántico (Barranquilla, Colombia). Además, es insumo para una tesis doctoral del programa Doctorado en Ingeniería de la misma universidad. En esta investigación de carácter experimental, se empleó un diseño factorial con un único factor: la dosis de coagulante, evaluada en seis niveles (10, 20, 40, 60, 80 y 100 mg/L), utilizando como coagulantes el sulfato de aluminio y la cáscara de mango (*Mangifera indica* L.) de forma independiente. La variable respuesta fue la turbidez final del agua del río Magdalena, expresada en unidades nefelométricas de turbidez (UNT). Los ensayos se realizaron por triplicado para cada dosis y coagulante.

Los datos obtenidos se analizaron mediante el programa estadístico Statgraphics Centurión XIX, aplicando un análisis de varianza ANOVA y la prueba de comparaciones múltiples de Fisher LSD, con un nivel de confianza del 95 % (valor $P < 0,05$), para identificar la

influencia de cada dosis y coagulante en la remoción de turbidez.

3. Resultados y discusión

3.1. Análisis estadístico

El pH inicial del agua influye de manera determinante en la eficiencia del proceso de coagulación-floculación, recomendándose valores dentro del rango de 6,5 a 8,5 unidades de pH para optimizar la formación de flóculos; valores inferiores suelen corregirse con la adición de cal o hidróxido de sodio para evitar incrementos innecesarios de la dosis coagulante [22]. Además, se ha documentado que el sulfato de aluminio muestra su máxima solubilidad y desempeño coagulante en el agua cuando esta presenta un intervalo de pH entre 5,5 y 8,0 [23]. Dado que el agua del río Magdalena presenta un pH inicial de 7,48, cuyo valor se encuentra dentro de estos rangos, no se consideró necesario ajustar este parámetro durante la aplicación del coagulante químico ni del coagulante natural.

El agua cruda analizada presenta una turbidez de 250 UNT y un pH de 7,48. De acuerdo con lo estipulado en la Resolución Colombiana 2115 de 2007, el agua destinada a consumo humano debe cumplir parámetros fisicoquímicos específicos, entre ellos un rango de pH de 6,5 a 9,0 y una turbidez máxima de 2 UNT [5]. Por consiguiente, en el presente estudio, el agua recolectada del río Magdalena no satisface los requisitos de calidad en cuanto a turbidez para ser considerada apta para el consumo humano. De forma similar, A. Sierra *et al.* [2] reportaron en el año 2019 valores de turbidez de 210 UNT para el río Magdalena en el departamento del Atlántico, lo que evidencia la recurrencia de altos niveles de sólidos suspendidos.

La Figura 1 muestra la tendencia de la turbidez final del agua del río Magdalena tras la aplicación del sulfato de aluminio como coagulante. Se aprecia que, a medida que se incrementa la dosis del agente químico, la turbidez residual disminuye notablemente.

En este sentido, se evidencia una alta eficiencia de remoción, porque la turbidez se reduce de 250,00 a 0,00 UNT con dosis de 40, 60 y 100 mg/L. Es importante señalar que inicialmente el agua del río tenía una turbidez de 250 UNT y con una dosis de 10 mg/L disminuye a 154 UNT. Además, cuando se usa una dosis de 20 mg/L, se obtiene una turbidez de 139,66 UNT.

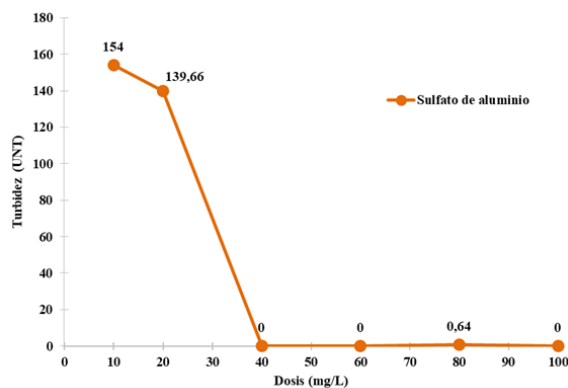


Figura 1. Representación de la turbidez final del agua del río Magdalena después de utilizar el sulfato de aluminio. Fuente: elaboración propia.

Mediante el análisis de varianza (ANOVA) se evalúa el impacto que tiene la cantidad de coagulante aplicada sobre la turbidez final del agua proveniente del río Magdalena, utilizando un nivel de confianza del 95%. De acuerdo con el criterio del valor P, si este resulta menor a 0,05, se confirma que existe un efecto significativo; de no ser así, no se evidencia relación. En este estudio, se obtuvo un valor P de 0,000 para el sulfato de aluminio, lo que demuestra que la dosis utilizada influye directamente en la turbidez del agua.

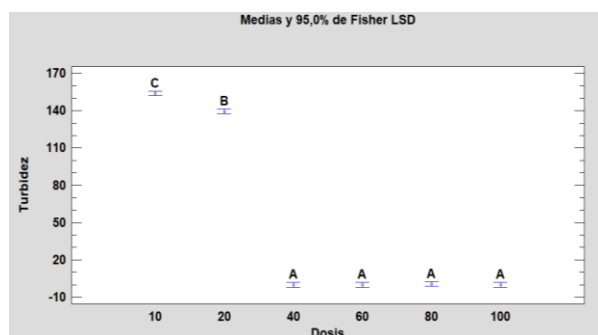


Figura 2. Comparación múltiple de media de Fisher LSD para el sulfato de aluminio. Fuente: Statgraphics Centurion XIX.

La Figura 2 muestra los resultados de la prueba de comparación múltiple Fisher LSD, junto con los intervalos de confianza al 95 % para cada media, los cuales permiten visualizar las diferencias significativas entre tratamientos.

A continuación, se presentan las medias de la turbidez final del agua analizada: 154; 139,33; 0; 0; 0,63 y 0 UNT para las dosis de 10, 20, 40, 60, 80 y 100 mg/L, respectivamente. Según la prueba Fisher LSD con un

nivel de confianza del 95 %, se identificaron tres grupos estadísticamente diferentes: las dosis de 10 y 20 mg/L forman grupos independientes (C y B), mientras que las dosis de 40, 60, 80 y 100 mg/L conforman un solo grupo homogéneo (A), sin diferencias significativas entre ellas. Estas dosis lograron valores de turbidez inferiores al límite máximo permitido (2 UNT) establecido para agua potable por la Resolución 2115 de 2007 de Colombia. No obstante, la dosis recomendada es de 40 mg/L, porque permite cumplir con la norma (0 UNT) usando la menor cantidad de coagulante, optimizando así el consumo de insumo y costos operativos.

Es relevante señalar que en este estudio únicamente se simuló el proceso de coagulación, floculación y sedimentación mediante la prueba de jarras. En otras palabras, no se ejecutaron fases adicionales orientadas a la potabilización, como la filtración y la desinfección con cloro.

El sulfato de aluminio alcanzó una remoción del 100% de la turbidez del agua objeto de estudio, resultado que se relaciona con hallazgos reportados en otros estudios, como el realizado por los investigadores S. Buelvas *et al.* en el año 2020, quienes utilizaron una dosis de 40 mg/L de este coagulante y eliminaron hasta el 99% de la turbidez. En esa ocasión, el agua del río Magdalena presentó una turbidez inicial de 174 UNT [24].

Un estudio realizado por A. Sierra *et al.*, en el año 2019, evaluó la efectividad del sulfato de aluminio en la clarificación del agua del río Magdalena en el departamento del Atlántico. En esta investigación, el agua presentaba una turbidez inicial de 210 UNT y se aplicó una dosis de 40 mg/L de sulfato de aluminio, logrando remover el 97,65% de la turbidez [2].

Así mismo, en el año 2025, los investigadores H. Kurniawan y N. Fadillah demostraron que, al emplear una dosis de 30 mg/L, el sulfato de aluminio removió el 98,33 % de la turbidez del agua del río Salupangkang Tua, en Indonesia. La turbidez inicial de 240 UNT se redujo a un valor final menor a 4 UNT [25].

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos con el coagulante natural, se utilizó el mismo diseño factorial aplicado al sulfato de aluminio. La Figura 3 muestra la turbidez final del agua del río Magdalena clarificada con polvo de cáscara de mango. Al aumentar la dosis, la turbidez final permaneció en un rango entre 112 y 131 UNT, partiendo de una turbidez inicial de 250 UNT. Estos resultados indican que no hay una tendencia clara de reducción significativa de la turbidez, manteniéndose valores relativamente cercanos en todas las dosis evaluadas.

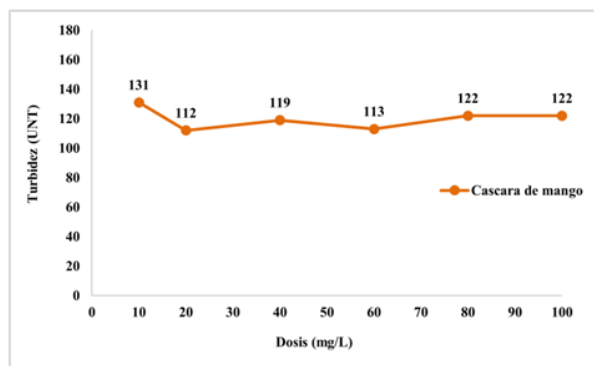


Figura 3. Representación de la turbidez final del agua del río Magdalena después de utilizar el polvo de cáscara de mango. Fuente: elaboración propia.

Cabe destacar que el valor $P = 0,0007$ se obtuvo con el análisis de varianza (ANOVA). Además, se determinó que el factor experimental evaluado (dosis de coagulante) tiene un efecto significativo sobre la variable respuesta (turbidez final).

La Figura 4 muestra el análisis estadístico de comparación de medias utilizando el método de Fisher LSD con un nivel de significancia del 5 %, aplicado a los resultados obtenidos con el coagulante natural. Las medias de turbidez final asociadas a las dosis evaluadas (10, 20, 40, 60, 80 y 100 mg/L) son: 131; 112; 119; 113; 122 y 122 UNT, respectivamente.

El análisis evidencia diferencias estadísticamente significativas entre ciertos tratamientos, agrupándolos en distintos niveles de eficiencia. La dosis de 10 mg/L presentó el valor más alto de turbidez después de realizar la prueba de jarras y se posicionó en un grupo completamente distinto (D), mientras que las dosis intermedias (20, 40 y 60 mg/L) mostraron medias más bajas, compartiendo grupo en común, lo que indica ausencia de diferencia significativa entre algunas de ellas (diferencia solo en dosis de 20 y 40 mg/L). Por su parte, las dosis más altas (80 y 100 mg/L) conformaron un grupo homogéneo (C), reflejando un comportamiento similar en términos de remoción de turbidez. De lo anterior se concluye que la dosis recomendada es 20 mg/L, porque corresponde a la menor cantidad de coagulante empleado, obteniendo una turbidez final de 112 UNT.

El uso de polvo de cáscara de mango como coagulante natural permitió alcanzar una remoción de turbidez del 55,20% en el tratamiento del agua proveniente del río Magdalena, con una turbidez inicial de 250 UNT. Resultados similares fueron reportados por C. Onyutha y

N. Auma, en Uganda durante el año 2023, donde se evaluaron diferentes genotipos de semillas de mango (*Mangifera indica*) como coagulantes en agua con turbidez inicial de 125 UNT, obteniéndose con el genotipo Kent eficiencias de remoción del 57,5; 66 y 69% de la turbidez inicial utilizando dosis de 250, 1000 y 1500 mg/L en 0,2 L de agua objeto de estudio (sintética) [26].

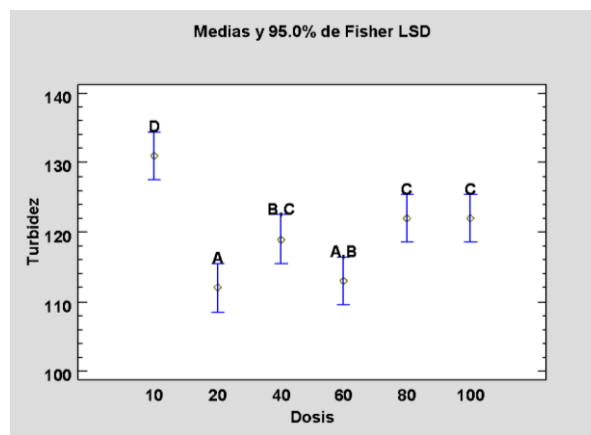


Figura 4. Comparación múltiple de media de Fisher LSD para el polvo de cáscara de mango. Fuente: Statgraphics Centurion XIX.

En ambas investigaciones se utilizaron partes distintas del fruto, la cáscara en el presente caso y la semilla en el estudio ugandés. Es importante resaltar que tanto la cáscara como la semilla contienen compuestos bioactivos con capacidad coagulante, como polisacáridos, taninos y flavonoides [16], [17]. Estas similitudes fisicoquímicas explican los comportamientos análogos observados en la remoción de turbidez. Sin embargo, los resultados del estudio en Uganda evidencian que el poder coagulante varía significativamente según el fenotipo del mango, debido a que diferentes variedades presentaron eficiencias de remoción que oscilaron entre 57,5 y 83,5%, incluso bajo condiciones experimentales similares [26].

Tanto en los coagulantes químicos como en los biocoagulantes, los factores que pueden influir en su eficiencia son múltiples; tales como la dosis óptima y el pH óptimo del coagulante, la velocidad de agitación de la coagulación, la velocidad de agitación en la floculación, el tiempo de mezclado en la coagulación y en la floculación. Además, el tiempo de sedimentación del agua objeto de estudio.

Existen otros factores de origen natural, tales como el clima, que afectan el valor de la turbidez en una fuente hídrica. Durante el verano, este parámetro es menor al

hallado en invierno. Esto se debe al cambio en las características del agua. Cuando su turbidez inicial es baja, es más difícil su remoción, independientemente de que se use un coagulante químico o natural [27]. Adicionalmente, el grado de madurez del fruto influye en el contenido de sustancias con poder coagulante presentes en sus cáscaras.

En Ghana, un estudio desarrollado en el año 2017 por A. Seghosime *et al.* evaluó la eficiencia coagulante del extracto de semillas de mango (*Mangifera indica* L., variedad Duncan) en el tratamiento de agua con turbidez sintética de caolinita bajo condiciones controladas de laboratorio. Se utilizaron tres niveles de turbidez inicial: 50, 100 y 150 UNT, con un pH constante de 7,25. Los resultados demostraron eficiencias de remoción del 74, 87,5 y 92%, empleando dosis de 375, 500 y 625 mg/L, respectivamente. Los ensayos se hicieron con dosis entre 125 y 625 mg/L [28].

En la Tabla 1 se observan los resultados del presente estudio. Se determinó que el polvo de cáscara de mango (*Mangifera indica* L.) logró una eficiencia de remoción de turbidez del 55,20% en muestras de agua cruda del río Magdalena. En contraste, el coagulante químico sulfato de aluminio presentó un comportamiento significativamente más eficiente, alcanzando una remoción del 100% bajo las mismas condiciones experimentales.

Tabla 1. Resultados del presente estudio

Coagulante	Dosis (mg/L)	Turbidez inicial (UNT)	Turbidez final (UNT)
Sulfato de aluminio	40	250	0
Cáscara de mango	20		112

Fuente: elaboración propia.

Además, el pH del agua después del tratamiento de clarificación cuando se usaron ambos coagulantes siempre cumplió con los límites establecidos para consumo humano (6,5-9,0), teniendo en cuenta lo establecido en la resolución 2115 de 2007 de Colombia [5].

4. Conclusiones

El polvo de cáscara de mango, empleado como coagulante natural, mostró una capacidad limitada para reducir la turbidez del agua cruda del río Magdalena

proveniente de Puerto Niño, corregimiento ubicado en el municipio de Cerro de San Antonio, departamento del Magdalena; alcanzó una eficiencia del 55,20%. Si bien este valor no permite cumplir con los estándares de la normativa colombiana para agua potable (valor máximo permisible de 2 UNT), demuestra un comportamiento funcional en la prueba de jarras, pudiendo emplearse como coadyuvante de otros coagulantes con mayor rendimiento, lo cual resulta relevante considerando su bajo costo, origen vegetal y disponibilidad local. Cabe destacar que este estudio se realizó utilizando agua natural de un río y no diseñada a condiciones controladas (agua sintética).

Por su parte, el sulfato de aluminio demostró una mayor eficiencia en la remoción de turbidez, logrando una remoción total del 100%, alcanzando valores finales muy por debajo del umbral regulado (2 UNT), lo cual ratifica su efectividad como coagulante químico convencional en el tratamiento del agua para consumo humano.

Los resultados obtenidos con el coagulante químico (sulfato de aluminio) y el biocoagulante (cáscara de mango) son representativos de la etapa de clarificación del agua del río y no de su potabilización.

5. Recomendaciones

Considerando que el coagulante natural a base de cáscara de mango mostró un efecto significativo en la reducción de turbidez, aunque insuficiente para cumplir con los estándares de potabilización, se recomienda evaluar su comportamiento combinado con coagulantes químicos, así como analizar su desempeño en diferentes condiciones de pH, turbidez y tipo de agua, con el fin de desarrollar alternativas más sostenibles y de bajo impacto ambiental para el tratamiento de aguas.

Agradecimientos

Se agradece a la ingeniera, Dra. Ximena Vargas Ramírez, coordinadora del Centro de Estudios del Agua de la Universidad del Atlántico (Barranquilla-Colombia) y coordinadora del Doctorado en Ingeniería. Igualmente, a los químicos, M.Sc. Edgardo Angulo Mercado y Dr. Nestor Cubillán Acosta del Laboratorio de Microalgas de dicha universidad. También, al Ingeniero Dr. Rafael Olivero Verbel y a la Química Farmacéutica Dra. Nuris Morales Pinto; gracias a todos por su apoyo en el desarrollo de este proyecto.

Financiación

No aplica.

Contribución de los autores

A. Lozano-Meza: metodología, investigación, análisis formal, redacción del borrador original. J. Arbelaez-Lara: metodología, investigación, análisis formal, redacción del borrador original. I. Mercado-Martínez: conceptualización, metodología, investigación, análisis formal, redacción del borrador original, redacción, revisión y edición.

Todos los autores han leído y están de acuerdo con la versión publicada del artículo.

Conflicto de interés

Los autores de este artículo declaran no tener conflictos de intereses.

Declaración de la Junta de Revisión Institucional

No aplica.

Declaración de consentimiento informado

No aplica.

Referencias

- [1] WHO, UNICEF, “Progress on Household Drinking Water, Sanitation and Hygiene 2000–2020: Five Years into the SDGs”, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.unwater.org/sites/default/files/app/uploads/2021/07/jmp-2021-wash-households-LAUNCH-VERSION.pdf>.
- [2] A. Sierra, A. Navarro, I. Mercado, A. Flórez, M. Jurado, “Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando médula de banano como coagulante”, *Revista UIS Ingenierías*, vol. 18, no. 4, pp. 131-138, 2019, doi: <https://doi.org/10.18273/revuin.v18n4-2019012>
- [3] H. Ramírez, J. Jaramillo, “Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua”, *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, vol. 11, no. 2, p. 136-153, 2016, doi: <https://doi.org/10.18359/rfcb.1303>
- [4] L. Lachos, “Calidad de agua para consumo humano de los sistemas de abastecimiento SEDA Huánuco zona Castillo Grande y centro poblado Picuroyacu, distrito Castillo Grande, Leoncio Prado”, Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Huánuco, Perú, 2024, [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unas.edu.pe/items/f25a35cd-f328-45b6-a1af-3b9cbf461ead>
- [5] Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano, Resolución 2115 de 2007. [En línea]. Disponible en: <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-2115-2007>
- [6] A. Torregroza, J. Restrepo, A. Correa, N. Hoyos, J. Escobar, J. Pierini, J. Martinez, “Fluvial and oceanographic influences on suspended sediment dispersal in the Magdalena River Estuary”, *Journal of Marine Systems*, vol. 204, artículo 103282, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2019.103282>
- [7] W. Lun Ang, A. Wahab, “State of the art and sustainability of natural coagulants in water and wastewater treatment”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 262, artículo 121267, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121267>
- [8] N. Zouhri, M. El Amrani, M. Taky, M. Hafsi, A. Elmidaoui, “Effectiveness of Treatment of Water Surface with Ferric Chloride and Aluminium Sulphate”, vol. 2, no. 1, pp. 1–13, 2015, doi: <https://doi.org/10.18488/journal.96/2015.2.1/96.1.1.13>
- [9] Y. Cutipa, C. Huanacuni, E. Limache, D. Mamani, W. Sánchez, D. Rubira, R. Gutiérrez, E. Sacari, “Exposure to aluminum in drinking water and the risk of developing Alzheimer’s Disease: A bibliometric analysis and systematic evaluation”, *Water*, vol. 16, no. 17, 2386, 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/w16172386>
- [10] N. Zaidi, K. Muda, L. Loan, M. Sgawi, M. Adibah, M. Rahman, “Potential of fruit peels in becoming natural coagulant for water treatment”, *International Journal of Integrated Engineering*, vol. 11, no. 1, pp. 140-150, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/c4af/164e7065605c7dde8e537b027e563ec50198.pdf>
- [11] J. Barreto, D. Vargas, L. Ruiz, S. Gómez, “Evaluación de coagulantes naturales para el tratamiento de aguas residuales domésticas”, *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, vol. 11, no. 1, pp. 105-116, 2020, doi: <https://doi.org/10.22490/21456453.308>

- [12] B. Koul, N. Bhat, M. Abubakar, M. Mishra, A. Arukha, D. Yadav, "Application of natural coagulants in water treatment: A sustainable alternative to chemicals", *Water*, vol. 14, no. 22, p. 3751, 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/w14223751>
- [13] J. Moreira, C. Moreira, "Aplicación de coagulantes naturales obtenidos de las semillas de habas (*Vicia faba*) y durazno (*Prunus persica*) en la potabilización del agua", *Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios*, vol. 9, no. 1, pp. 54–67, 2022. [En línea]. Disponible en: https://revistas.up.ac.pa/index.php/revista_colon_ctn/article/view/2618
- [14] J. Orjuela, M. Herrera, W. Adarme, "Warehousing and transportation logistics of mango in Colombia: A system dynamics model", *Revista Facultad de Ingeniería*, vol. 26, no. 44, pp. 73–86, 2017. [En línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0121-11292017000100073&lng=en
- [15] M. García, J. Paula, L. Paviani, F. Cabral, H. Martinez, "Extracts from mango peel by-product obtained by supercritical CO₂ and pressurized solvent processes", *LWT - Food Science and Technology*, vol. 62, no. 1, part 1 pp. 131–137, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.01.026>
- [16] B. Romero, J. Huamán, N. Castro, "Tratamiento de aguas superficiales empleando como coagulante almidón de semilla de mango (*Mangifera indica* L. variedad criolla)", *Revista Iberoamericana de Polímeros*, vol. 22, no. 6, pp. 240–249, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://reviberpol.org/wp-content/uploads/2021/12/2021-22-6-240-249.pdf>
- [17] A. Pacheco, J. Heredia, E. Gutiérrez, E. Quintana, M. Muy, "Potencial industrial de la cáscara de mango (*Mangifera indica* L.) para la obtención de pectina en México", *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, vol. 25, pp. 1–13, 2022, doi: <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.419>
- [18] U. Martínez, C. Marquina, S. Carrasquero, M. Martínez, C. Rodríguez, A. Morris, "El extracto de semillas de mango (*Mangifera indica* L.) como coagulante natural en la potabilización de aguas", en *15th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology: Global Partnerships for Development and Engineering Education*, Boca Raton, Florida, 2017, pp. 1–8.
- [19] A. Ramírez, "Caracterización química de la semilla de mango (*Mangifera indica* L.) y la valorización de algunos de sus componentes", en *XII Encuentro participación de la mujer en la ciencia*, Querétaro, México, 2015, pp. BCA015. [En línea]. Disponible en: https://congresos.cio.mx/12_enc_mujer_previa/archivos/sesion2/S2-BCA15.pdf
- [20] A. Jawad, N. Hanani, M. Fauzi, K. Ismail, "Adsorption of methylene blue onto acid-treated mango peels: Kinetic, equilibrium and thermodynamic study", *Desalination and Water Treatment*, vol. 59, pp. 210–219, 2017, doi: <https://doi.org/10.5004/dwt.2016.0097>
- [21] L. Arango, C. Garrote, "Influencia de los métodos de secado en las propiedades fisicoquímicas, funcionales y sensoriales de la harina de cáscara de mango (*Mangifera indica* L.)", Tesis de grado, Universidad del Atlántico, 2018.
- [22] A. Lwasa, O. Mdee, J. Ntalikwa, N. Sadiki, "Performance analysis of plant-based coagulants in water purification: a review", *Discover Water*, vol. 4, artículo108, 2024, doi: <https://doi.org/10.1007/s43832-024-00171-0>
- [23] M. Meza, K. Riaños, I. Mercado, R. Olivero, M. Jurado, "Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de *Moringa oleifera* en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo, Atlántico", *Revista UIS Ingenierías*, vol. 17, no. 2, pp. 95–104, 2018, doi: <https://doi.org/10.18273/revuin.v17n2-2018009>
- [24] S. Buelvas, Y. Aguas, R. Olivero, "Clarification of superficial waters of the magdalena river using seeds of *Tamarindus indica* as bio-coagulants", *Respuestas*, vol. 25, no. 2, pp. 170–176, 2020, doi: <https://doi.org/10.22463/0122820X.2960>
- [25] H. Kurniawan, N. Fadillah, "The Effect of pH Variations and Aluminum Sulfate Coagulant Dosage on Reducing Turbidity in Salupangkang Tua River Water", *Journal of Green Chemical and Environmental Engineering*, vol. 1, no. 1, pp. 20–27, 2025, doi: <https://doi.org/10.63288/jgcee.v1i1.3>
- [26] C. Onyutha, N. Auma, "Turbidity reduction efficacies of seed kernels of Mango (*Mangifera indica* L) genotypes in Uganda", *Heliyon*, vol. 9, no. 11, e21415, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21415>

- [27] K. Riaños, M. Meza, I. Mercado, “Uso de almidón de yuca (*Manihot-esculenta*) para la clarificación del agua de la ciénaga de Malambo, Departamento del Atlántico-Colombia”, *Prospectiva*, vol. 21, no. 2, pp. 151-165, 2023. [En línea]. Disponible en: <http://ojs.uac.edu.co/index.php/prospectiva/article/view/3019/2653>
- [28] A. Seghosime, J. Awudza, R. Buamah, A. Ebigbe, S. Kwarteng, “Effect of Locally Available Fruit Waste on Treatment of Water Turbidity”, *Civil and Environmental Research*, vol. 9, no. 7, pp. 7–15, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.iiste.org/Journals/index.php/CER/article/view/37762>