



Eficiencia de la cáscara de *Musa paradisiaca* como coagulante natural en el tratamiento de aguas residuales domésticas

*Efficiency of *Musa paradisiaca* shell as a natural coagulant in the treatment of domestic wastewater*

*Eficiência da concha de *Musa paradisiaca* como coagulante natural no tratamento de águas residuais domésticas*

Autor

- ✉ **Loor Roy**
roy.loor@espam.edu.ec
- ✉ **Zamora Magaly**
magaly.zamora@espam.edu.ec
- ✉ **Banchón Carlos***
carlos.banchon@espam.edu.ec

Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”. Carrera de Ingeniería Ambiental, Ecuador.

* Autor para correspondencia.

Editor Académico
Jean Carlos Pérez Parra

Citación sugerida: Loor, R., Zamora, M. y Banchón, C., (2025). Eficiencia de la cáscara de *Musa paradisiaca* como coagulante natural en el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Revista Bases de la Ciencia*, 10(1), 14-32. DOI: <https://doi.org/10.33936/revbasdelaciencia.v10i1.7105>

Recibido: 01/08/2024
Aceptado: 30/01/2025
Publicado: 10/02/2025

Resumen

La contaminación del agua es un grave problema global, especialmente en países en desarrollo, donde muchas aguas residuales se vierten sin tratamiento, contribuyendo a enfermedades. El objetivo del presente estudio es evaluar la eficacia de la cáscara de plátano verde como coagulante natural en el tratamiento de las aguas residuales domésticas provenientes de la laguna de oxidación de la ciudad de Calceta, Ecuador. Se recolectaron 10 litros de agua residual y se preparó el biocoagulante a partir de cáscaras de plátano. Las pruebas se realizaron en jarras con 400 ml de agua, aplicando concentraciones del biocoagulante de 100 a 2000 ppm y cloruro férrico (FeCl₃) de 100 a 2000 ppm. También se evaluó la combinación de cloruro férrico a 750 ppm con el biocoagulante en 10 y 400 ppm. Se midieron parámetros fisicoquímicos como pH, turbidez, conductividad, color, sólidos disueltos, sólidos suspendidos y sólidos totales, utilizando un diseño completamente al azar para todos los tratamientos y calculando el Índice de Calidad del Agua (ICA). Los resultados mostraron que el biocoagulante de cáscara de plátano mejoró significativamente la calidad del agua, reduciendo la turbidez de 189 NTU a 6,2 NTU y los sólidos disueltos a 639 mg/L, manteniendo un pH estable de 7,5. La combinación con cloruro férrico resultó aún más eficaz, logrando notables reducciones en sólidos suspendidos y color, con un ICA de 57,79, destacando su potencial como alternativa sostenible frente al uso exclusivo de FeCl₃.

Palabras clave: Biocoagulante, tratamiento de agua, sostenibilidad, *Musa paradisiaca*, cloruro férrico.

Abstract

Water pollution is a serious global problem, especially in developing countries, where much wastewater is discharged untreated, contributing to diseases. The objective of the present study is to evaluate banana peel as a natural coagulant for domestic wastewater from the oxidation pond in Calceta, Ecuador. 10 liters of wastewater were collected and the biocoagulant was prepared from banana peels. The tests were performed in jar tests with 400 ml of wastewater, applying concentrations of the biocoagulant from 100 to 2000 ppm and ferric chloride (FeCl₃) from 100 to 2000 ppm. The combination of ferric chloride at 750 ppm with the biocoagulant at 10 and 400 ppm was also evaluated. Physicochemical parameters such as pH, turbidity, conductivity, color, dissolved solids, suspended solids, and total solids were measured using a completely randomized design for all treatments and calculating the Water Quality Index (WQI). The results showed that the banana peel biocoagulant significantly improved water quality, reducing turbidity from 189 NTU to 6.2 NTU and dissolved solids to 639 mg/L, maintaining a stable pH of 7.5. The combination with ferric chloride was even more effective, achieving notable reductions in suspended solids and color, with a WQI of 57.79, highlighting its potential as a sustainable alternative to the exclusive use of FeCl₃.

Keywords: biocoagulant, water treatment, sustainability, *Musa paradisiaca*, ferric chloride.

Resumo

A poluição da água é um problema global sério, especialmente em países em desenvolvimento, onde muitas águas residuais são descartadas sem tratamento, contribuindo para doenças. O objetivo do presente estudo é avaliar a casca de banana como um coagulante natural para águas residuais domésticas da lagoa de oxidação em Calceta, Equador. Foram coletados 10 litros de águas residuais e o biocoagulante foi preparado a partir de cascas de banana. Os testes foram realizados em testes de jar com 400 ml de águas residuais, aplicando concentrações do biocoagulante de 100 a 2000 ppm e cloreto férrico (FeCl₃) de 100 a 2000 ppm. A combinação de cloreto férrico a 750 ppm com o biocoagulante a 10 e 400 ppm também foi avaliada. Parâmetros físico-químicos como pH, turbidez, condutividade, cor, sólidos dissolvidos, sólidos suspensos e sólidos totais foram medidos usando um delineamento inteiramente casualizado para todos os tratamentos e calculando o Índice de Qualidade da Água (IQA). Os resultados mostraram que o biocoagulante de casca de banana melhorou significativamente a qualidade da água, reduzindo a turbidez de 189 NTU para 6,2 NTU e os sólidos dissolvidos para 639 mg/L, mantendo um pH estável de 7,5. A combinação com cloreto férrico foi ainda mais eficaz, alcançando reduções notáveis nos sólidos suspensos e na cor, com um WQI de 57,79, destacando seu potencial como uma alternativa sustentável ao uso exclusivo de FeCl₃.

Palavras-chave: biocoagulante, tratamento de água, sustentabilidade, *Musa paradisiaca*, cloreto férrico.





INTRODUCCIÓN

La contaminación del agua es una preocupación mundial apremiante, ya que aproximadamente la mitad de la población en países en desarrollo se exponen a fuentes de agua contaminada (Adams *et al.*, 2020; Adelodun *et al.*, 2021; Qadri y Bhat, 2020). A nivel global, se generan anualmente 380 mil millones de metros cúbicos de aguas residuales (Qadir *et al.*, 2020), y el 80% de estas aguas se vierten directamente al medio ambiente sin ningún tipo de tratamiento (Ang y Mohammad, 2020; Hube y Wu, 2021; López *et al.*, 2020). En la composición de las aguas residuales predominan bacterias, protozoos, virus, hongos, algas y helmintos, siendo responsables de enfermedades como el cólera, disentería, hepatitis A, fiebre tifoidea y poliomielitis (Owodunni y Ismail, 2021; Rajasulochana y Preethy, 2016). Se estima que las enfermedades transmitidas por el agua mal tratada causan hasta 12 millones de defunciones anuales (Bhatt *et al.*, 2020; Zahedi *et al.*, 2021). En el caso de América Latina, apenas el 20% de las aguas residuales municipales recibe un tratamiento adecuado (Hernández *et al.*, 2017; Lyon *et al.*, 2019; Mekonnen *et al.*, 2015).

Respecto a Ecuador, el enfoque histórico en la gestión del agua se ha centrado principalmente en mejorar el suministro, dejando de lado la calidad del agua, debido a las limitaciones económicas para la conservación de fuentes primarias y la falta de un buen criterio de manejo (Mero *et al.*, 2022). La solución propuesta para el tratamiento de aguas residuales consiste en el uso de lagunas de oxidación, de las cuales existen más de 10,000 en el mundo; estas lagunas pueden eliminar hasta el 90% de los contaminantes presentes en el agua residual, dependiendo de factores como la temperatura, el pH y la carga orgánica (Gad *et al.*, 2022). No obstante, las lagunas de oxidación, aunque son un método común para el tratamiento de aguas residuales, presentan limitaciones importantes en la eficiencia de remoción de nutrientes y en la contaminación de cuerpos de agua receptores, especialmente debido a la baja eliminación de nitrógeno, la falta de fuentes de carbono y la insuficiente capacidad de aeración (Dos Santos y Van Haandel, 2021).

En respuesta a la problemática del manejo del agua residual, los coagulantes naturales, como los de Moringa oleífera, poseen propiedades de neutralización de cargas coloidales y adsorción para remover partículas suspendidas, utilizando proteínas catiónicas que permiten una eficaz remoción de microorganismos y sólidos suspendidos, especialmente en aguas de alta turbidez (Banchón, 2016). Dicho producto natural se utiliza de forma combinada en el tratamiento de aguas residuales, industriales y municipales (Kakoi *et al.*, 2017; Jiménez y Perilla, 2019). A diferencia de los coagulantes químicos, los coagulantes naturales de origen vegetal son seguros, ecológicos y generalmente no tóxicos, generando hasta cinco veces menos lodo con un mayor valor nutricional, lo cual reduce los costos de tratamiento y manejo, haciéndolos una opción más sostenible (Badawi *et al.*, 2023). Dentro de sus principales beneficios se destaca la remoción de color, patógenos, turbidez en términos de un uso sostenible (Cerón y Garzón, 2015).

En este contexto, el presente estudio investiga el uso de la cáscara de plátano verde como biocoagulante, considerando las ventajas de los coagulantes naturales sobre los químicos, tales como su menor toxicidad y sostenibilidad ambiental. Así, el objetivo del presente trabajo es evaluar la eficacia de la cáscara de plátano como coagulante natural en el tratamiento de aguas residuales domésticas provenientes de la laguna de oxidación de la ciudad de Calceta, Ecuador.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y muestreo del agua residual

La investigación propuesta se llevó a cabo en la laguna de oxidación ubicada en el cantón Bolívar, provincia de Manabí. Esta laguna se encuentra específicamente en el barrio Francisco González Álava de la ciudad de Calceta, con coordenadas UTM de referencia norte 9907034 m S y este 591756.00 m E, correspondientes a la zona 17 S (Figura 1).



Figura 1. Laguna de oxidación de la ciudad de Calceta, Manabí-Ecuador.

Fuente: Elaboración propia

Se recolectaron en total 50 litros de afluente de la laguna de oxidación para los análisis fisicoquímicos, de acuerdo con la norma INEN 2176 (INEN, 2013). Posteriormente se llevó a cabo el análisis de estos parámetros del antes y después de los tratamientos aplicados. Los sólidos suspendidos totales se determinaron mediante gravimetría en donde 100ml de muestra fue filtrada en un filtro Whitman de 2 μ m para luego evaporar el agua de cada una de las muestras en una estufa MEMMERT UNpa a una temperatura de 103-105°C obteniendo así los sólidos totales. Para determinar la turbidez se utilizó el método nefelométrico, con un turbidímetro HACH 2100Q se determinó el grado de dispersión de la luz causado por partículas suspendidas en el agua. Para la medición del pH se aplicó el método potenciométrico utilizando un pHep 4, mientras que la conductividad eléctrica se calculó por el método electrométrico, se utilizó un conductímetro DIST 5 impermeable de Hanna instruments y por último se midió el color por el método espectrofotométrico. Las características del agua residual se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Calidad inicial del agua residual afluente de la laguna de oxidación.

Parámetros (unidades)	Laguna
pH (N/A)	7.15 – 8.0
CE (μ S/cm)	1600 - 1900
SS (mg/L)	84 – 101.3
ST (mg/L)	876 - 1090
TDS (mg/L)	688 - 792
Color (Pt/Co)	410 - 482
Turbidez (NTU)	189 -198



Coagulante natural

Para la obtención de la harina, se cortaron cáscaras de plátano verde (*Musa paradisiaca*) en pequeños trozos y se lavaron con agua desmineralizada para eliminar impurezas. Luego, se sometieron a un proceso de secado en una estufa MEMMERT UNpa a una temperatura constante de 45 °C durante 72 horas (Azamzam *et al.*, 2022; Mokhtar *et al.*, 2019). Posteriormente, se utilizó un molino manual (Corona tradicional L10000) para triturar las cáscaras, las cuales fueron tamizadas a través de tamices de prueba ASTM E11. Este proceso dio como resultado una harina de textura muy fina (Chong y Kiew, 2017).

Para producir el coagulante natural, se utilizaron 200 g de harina, 500 ml de acetona c Somercial QUIMISUL (60-70%) y 200 ml de etanol Erza al 90%. La mezcla se agitó durante 40 minutos con un agitador magnético Slender SH-2, luego se calentó en una plancha WINCOM DB-1A durante 30 minutos (Daverey *et al.*, 2019; Kalibbala *et al.*, 2023; Banchón y Paredes, 2015). Tras reposar 40 minutos, se observó la sedimentación, obteniéndose un líquido de color verde denominado M1 (Deshmukh y Hedao, 2019).

Se preparó una solución saturada de sal comercial cris-sal al 99,7% de NaCl, la cual se vertió en un vaso de precipitación junto con 160 ml de la mezcla M1 (Zaidi, 2019). Para favorecer la formación de la fase deseada, el vaso de precipitación se sumergió en un baño de hielo durante 20 minutos; al finalizar este tiempo, se observó la aparición de una fase blanquecina, denominada M2, que fue extraída con una jeringa y transferida a un vaso de precipitados, donde se dejó secar a temperatura ambiente durante 72 horas hasta obtener un sólido (Banchón *et al.*, 2016). Posteriormente, el sólido se disolvió en 200 ml de agua destilada (Guzmán, 2020; Revelo *et al.*, 2015).

Test de jarras

Para realizar las pruebas de biocoagulación, se utilizó un equipo de prueba de jarras PHIPPS and BIRD PB-700 JARTESTER, el cual facilitó el contacto entre el agua proveniente de las lagunas de oxidación y el coagulante natural. En cada jarra se vertieron 400 ml de agua residual, y luego se sometieron a una agitación a 200 rpm durante 3 minutos (Shan *et al.*, 2017). A partir de una concentración madre de 20000 ppm, durante la fase de agitación, se administraron dosis con concentraciones que variaron entre 100 y 2000 ppm, aplicadas mediante una jeringa (Maurya y Daverey, 2018).

Posteriormente, se redujo la velocidad de agitación a 30 rpm, manteniendo esta mezcla lenta durante 30 minutos. Después, se tomó una muestra de 200 ml de los recipientes tras un período de sedimentación de 1 hora (Muhamad *et al.*, 2020). Las muestras recolectadas se sometieron a mediciones finales de parámetros fisicoquímicos.

Se empleó un diseño unifactorial completamente al azar (DCA) con 8 tratamientos y 3 repeticiones. Las concentraciones oscilaron entre 100 y 2000 ppm, con un volumen de agua residual constante de 400 ml para todos los tratamientos (Conde y Domínguez, 2021). Además, se realizaron pruebas con cloruro férrico (FeCl_3) utilizando las mismas concentraciones del biocoagulante. También se evaluó una mezcla de ambos coagulantes, empleando una dosis fija de 750 ppm de FeCl_3 , mientras que las dosis del biocoagulante oscilaron entre 10 y 400 ppm.

Cálculo del ICA

Para el cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA), los valores normalizados (Q_i) de cada parámetro se obtuvieron transformando los resultados a una escala de 0 a 100, utilizando curvas de ponderación estandarizadas proporcionadas por la National Sanitation Foundation (NSF). A cada parámetro se le asignó un peso relativo (W_i), siendo 0,12 para el pH, 0,04 para la CE, 0,04 para los TDS, 0,30 para los SS, 0,30 para los ST, 0,10 para la turbidez y 0,10 para el color, sumando un total de 1,0. El ICA se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$ICA = \sum_{i=1}^n (W_i * Q_i) \quad (1)$$

Donde:

Wi = Peso relativo del parámetro i

Qi = Valor normalizado del parámetro i

n = Total de parámetros

De acuerdo con Robledo (2023), el ICA se clasifica en los siguientes rangos: 0-25 agua de mala calidad, 26-50 agua de calidad pobre, 51-70 agua aceptable, 71-90 agua de buena calidad y 91-100 agua de excelente calidad.

Luego de aplicar los tratamientos, el porcentaje de eficiencia de remoción de contaminantes, se obtuvo mediante la Ecuación (2):

$$\%E = \frac{Co - Cf}{Co} * 100 \quad (2)$$

Donde:

% E = Eficiencia de remoción

Co = Contaminación inicial

Cf = Contaminación final

RESULTADOS

Efecto del biocoagulante

La Figura 2 ilustra los efectos del biocoagulante de cáscara de plátano en pH, CE, ST, TDS, turbidez, color, SS, ST e ICA. El pH inicial de 7,2 aumentó a 7,8 con 250 mg/L y se estabilizó en 7,7 con 250–500 mg/L (Fig. 2A). La CE fue estable hasta 1000 mg/L, pero aumentó con dosis mayores, alcanzando 3200 μ S/cm a 2000 mg/L, un incremento del 175,9% respecto al testigo (Fig. 2B). Los TDS se redujeron en 7,12% con 1000 mg/L, pero aumentaron a 800 mg/L con 2000 mg/L (Fig. 2C). La turbidez disminuyó en 96,71% con 100 mg/L (Fig. 2D). El color inicial de 410 Pt-Co se redujo a 280 Pt-Co con 500 mg/L (Fig. 2E). Los SS se redujeron en 61,96% con 100 mg/L, pero aumentaron a partir de 500 mg/L (Fig. 2F). Los ST disminuyeron de 1090 mg/L a 300 mg/L con 100 mg/L, manteniéndose entre 300–380 mg/L a dosis intermedias (Fig. 2G). El ICA alcanzó valores de 61,7 y 61,2 con dosis de 100 y 250 mg/L, disminuyendo con dosis mayores (Fig. 2H).

Con dosis de 100-250 mg/L biocoagulante, se logró una reducción significativa en turbidez (96%), ST (72,47%), SS (71,56%), color (18,7%), TDS (3,48%) y CE (5,17%). En términos del ICA, se alcanzó un máximo de 61,7 puntos, lo cual se clasifica a esta muestra de agua como aceptable.

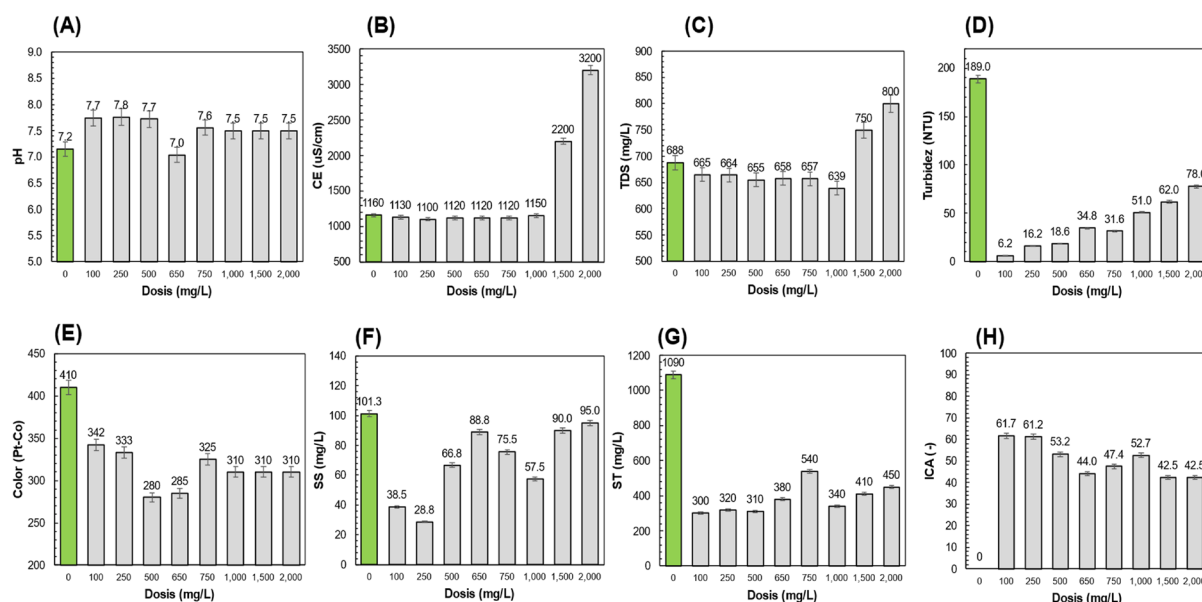


Figura 2. Efecto del biocoagulante en la calidad del agua residual doméstica.

Efecto del cloruro férrico

La Figura 3 muestra los efectos del tratamiento con FeCl_3 en pH, CE, TDS, turbidez, color, SS, ST e ICA. Las dosis de 100 y 900 mg/L resultaron en pH neutro de 7,23 y 7,18, respectivamente, reduciendo el pH inicial de 8, mientras que dosis mayores generaron un pH más ácido (Fig. 3A). La CE disminuyó de 1900 a 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con 100 mg/L de coagulante (47,4% menos), aunque aumentó un 172,3% con dosis superiores a 1500 mg/L (Fig. 3B). Los TDS aumentaron en un 43,0% hasta 1500 mg/L, seguido de un incremento marcado a 2000 mg/L (Fig. 3C). La turbidez se redujo un 97,1% con 1000 mg/L, pero aumentó con dosis mayores a 1500 mg/L (Fig. 3D). El color disminuyó un 73% con 1000 mg/L, pero a dosis más altas subió a 420 Pt-Co, indicando efectos adversos a dosis elevadas (Fig. 3E). Los SS mostraron una reducción de 15,5% con 500 mg/L, pero aumentaron un 90,8% con la dosis máxima (Fig. 3F). Con 100 mg/L de FeCl_3 , los ST disminuyeron un 6,4%, aunque aumentaron un 143,5% a 2000 mg/L (Fig. 3G). El ICA mostró su valor máximo de 59,6 puntos con 500 mg/L, considerado aceptable, disminuyendo con dosis superiores (Fig. 3H).

En general, el tratamiento con 100-800 mg/L de FeCl_3 logró reducciones significativas en turbidez (95,3%), color (67,8%), SS (15,5%), ST (6,4%), TDS (14,1%) y CE (47,4%), mejorando la calidad del agua dentro de un rango aceptable.

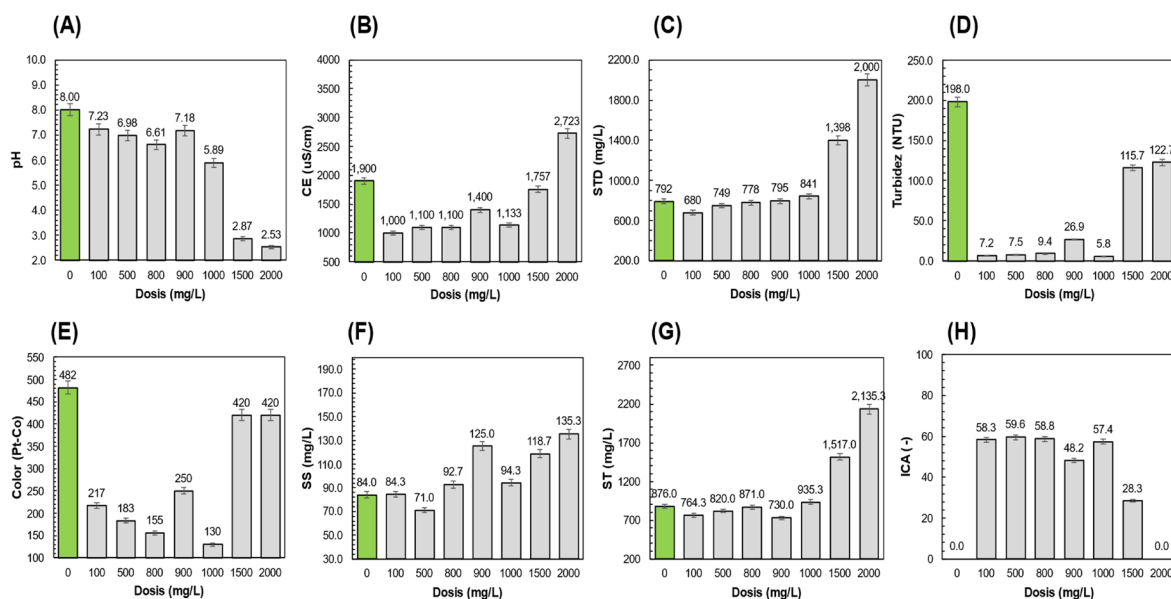


Figura 3. Efecto de cloruro férrico en la calidad del agua residual doméstica.

Efecto de la mezcla FeCl_3 y biocoagulante

La Figura 4 muestra los efectos de la combinación de cloruro férrico y biocoagulante de cáscara de plátano en el tratamiento del agua residual. El pH inicial de 7,2 aumentó a 7,8 con dosis de biocoagulante de 100–250 mg/L, pero disminuyó a 6,1 con la dosis máxima de 2000 mg/L (Fig. 4A). La CE se mantuvo en 1160 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con dosis bajas, pero aumentó un 167,2% a partir de 500 mg/L, indicando mayor concentración de iones disueltos (Fig. 4B). En cuanto a la turbidez, se redujo significativamente de 189,0 NTU a 1,9 NTU con 750 mg/L, logrando una disminución del 98,99% (Fig. 4C). Los TDS se mantuvieron estables hasta 1000 mg/L, pero luego aumentaron un 85,7% (Fig. 4D). El color del agua residual disminuyó un 77,7% con 750 mg/L (Fig. 4E). Los SS se redujeron un 69% con 500 mg/L, aunque incrementaron a mayores dosis (Fig. 4F). Los ST mostraron una disminución del 70,73% a bajas dosis, estabilizándose entre 190 y 195 mg/L con 1000 mg/L (Fig. 4G). En términos del ICA, la dosis de 750 mg/L alcanzó un puntaje máximo de 62,5, clasificando el agua como “aceptable” según valores de referencia (Fig. 4H). Para una dosis entre 100 y 750 mg/L de la mezcla de coagulantes, se observaron reducciones significativas en turbidez (99%), ST (70,6%), SS (69,1%) y color (77,3%), con menores reducciones en TDS (5%) y CE (0,9%).

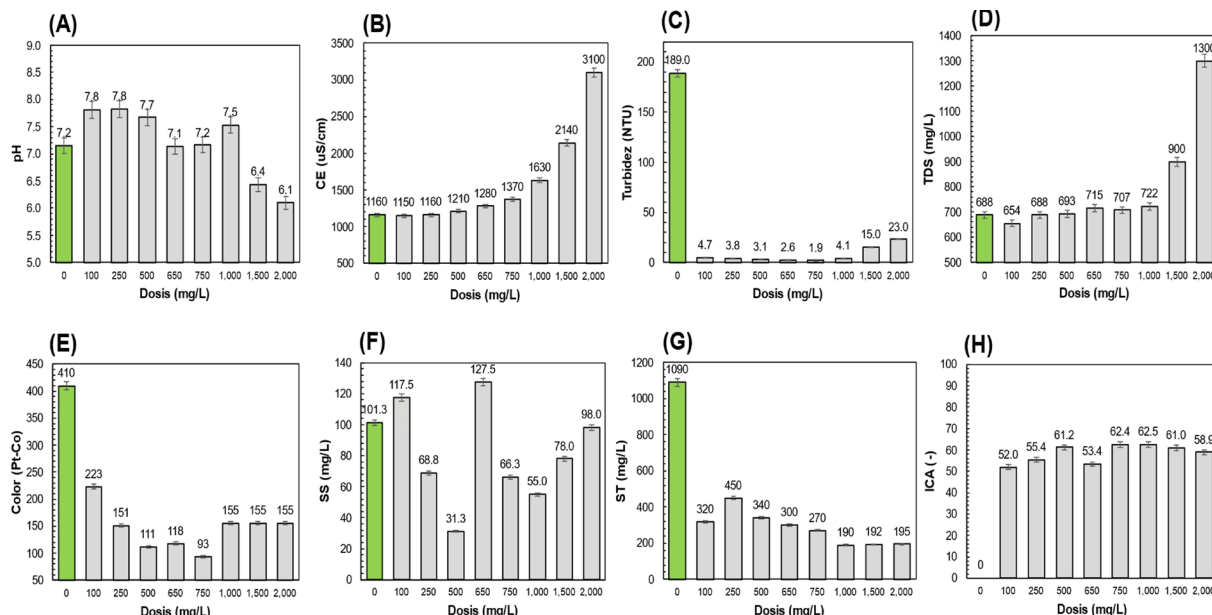


Figura 4. Efecto de la mezcla biocoagulante y cloruro férrico en la calidad del agua residual doméstica.

La Figura 5 compara los efectos del biocoagulante de cáscara de plátano, FeCl_3 y su combinación sobre el pH, CE, TDS, turbidez, color, SS, ST e ICA. El FeCl_3 reduce significativamente el pH a medida que aumenta la dosis, mientras que el biocoagulante y su combinación lo mantienen cerca de la neutralidad. La CE y los TDS aumentan con el FeCl_3 , pero solo levemente con el biocoagulante y su combinación, indicando menor adición de iones. En turbidez y color, la combinación y el biocoagulante muestran mejor desempeño que el FeCl_3 , especialmente a dosis moderadas. Los SS y ST disminuyen más eficazmente con el biocoagulante y su combinación a dosis intermedias, mientras que el ICA es más favorable en el tratamiento combinado, sugiriendo una mejor calidad del agua.

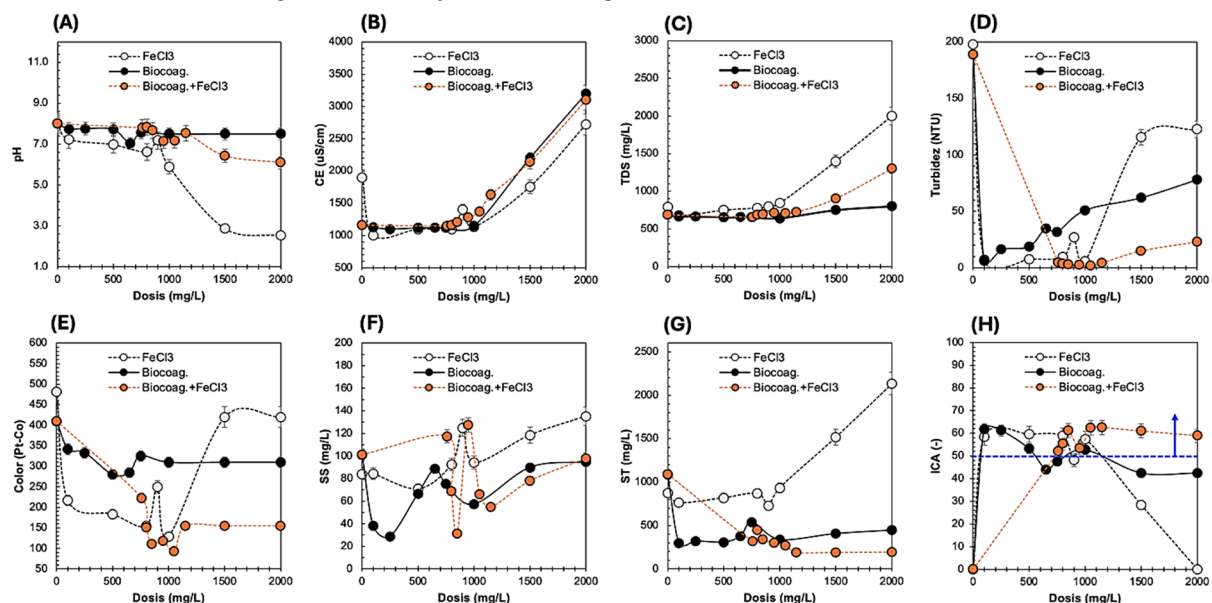


Figura 5. Resumen de los efectos de los parámetros bajo tres tratamientos aplicados.

El análisis ANOVA (Tabla 2) muestra efectos significativos de los tratamientos con FeCl_3 , biocoagulante y su combinación en el agua residual doméstica, variando según el parámetro. FeCl_3 tuvo efectos altamente significativos ($p < 0,05$) en todos los parámetros, especialmente en TDS, SS, y ST. El biocoagulante también mostró efectos altamente significativos, destacando en color, SS y ST, aunque sin efecto en CE. La mezcla de biocoagulante y FeCl_3 también presentó efectos significativos ($p < 0,05$), especialmente en turbidez, TDS, color y SS, mientras que su impacto en CE fue no significativo.

Tabla 2. Resumen de valores F del ANOVA de los tres procesos (Biocoagulante, FeCl_3 , Bioc.+ FeCl_3). Los tratamientos son las diferentes dosis.

	pH	CE	TDS	Turbidez	Color	SS	ST	ICA
FeCl_3	494.18***	47.961***	1105.95***	52.311***	90.676***	451.70***	887.65***	57.86***
Biocoagulante	280.69***	1.608 (NS)	152.65***	11.23**	216.88***	597.90***	1535.19***	77.67***
Biocog+ FeCl_3	34.13***	0.660 (NS)	41.72***	6.32**	7.29**	113.60***	8.265**	13.17***

Gl = Grados de libertad. Códigos de significancia: 0 (***) 0.001 (**) 0.01 (*) 0.05 (.) 0.1 (-) No Significativo (NS)

El análisis de Tukey HSD muestra diferencias significativas entre los tratamientos con biocoagulante, FeCl_3 y su combinación para el tratamiento de agua residual doméstica (Tabla 3). El pH se mantiene estable en el testigo, biocoagulante y la combinación, mientras que FeCl_3 reduce significativamente. La CE disminuye progresivamente con la combinación y biocoagulante en comparación con el testigo, mientras FeCl_3 no muestra variaciones significativas. En cuanto a los TDS, el biocoagulante y la combinación ofrecen las mayores reducciones, destacando sobre FeCl_3 . La combinación reduce turbidez, color, SS y ST de manera más efectiva. El ICA es más alto en la combinación de coagulantes y utilizando solo el biocoagulante, indicando una calidad de agua aceptable en estos tratamientos. En conclusión, la combinación biocoagulante más FeCl_3 ofrece la mejor remoción de contaminantes.

Tabla 3. Resumen de promedios del análisis Tukey HSD.

	pH	CE	TDS	Turbidez	Color	SS	ST	ICA
Testigo	7.57 ^a	1.53 ^a	740.00 ^b	193.50 ^a	446.00 ^a	100.73 ^b	983.00 ^b	0.000 ^c
FeCl_3	5.44 ^b	1.46 ^a	1059.73 ^a	43.77 ^b	254.00 ^c	100.73 ^a	1150.47 ^a	43.96 ^b
Biocoagulante	7.55 ^a	1.21 ^b	656.33 ^d	26.41 ^c	312.50 ^b	59.29 ^d	365.00 ^c	53.37 ^a
Biocog+ FeCl_3	7.52 ^a	1.12 ^c	696.50 ^c	3.34 ^d	141.83 ^d	77.70 ^c	311.66 ^d	57.79 ^a

Letras idénticas por parámetro indican diferencias no significativas.

El análisis de la matriz de correlación (Figura 6) indica que, los valores cercanos a 1,0 indican una correlación positiva fuerte, sugiriendo que el aumento en una variable, como los TDS, también eleva la CE. Por otro lado, valores cercanos a -1,0 reflejan una correlación negativa fuerte, como la observada entre ICA y TDS, lo que implica que un incremento en los sólidos disueltos puede deteriorar la calidad del agua. Valores cercanos a 0 indican una relación débil o inexistente. Los resultados preliminares revelan que TDS, CE y ST están altamente correlacionados, evidenciando su conexión lógica, mientras que ICA muestra una correlación negativa fuerte con varios parámetros, lo que subraya su utilidad como indicador de calidad. Además, turbidez y color tienen una correlación positiva moderada con TDS y CE, sugiriendo que un aumento en los sólidos también afecta estas propiedades. En contraste, el pH presenta correlaciones más débiles, lo que indica una relación menos directa con las demás variables analizadas.

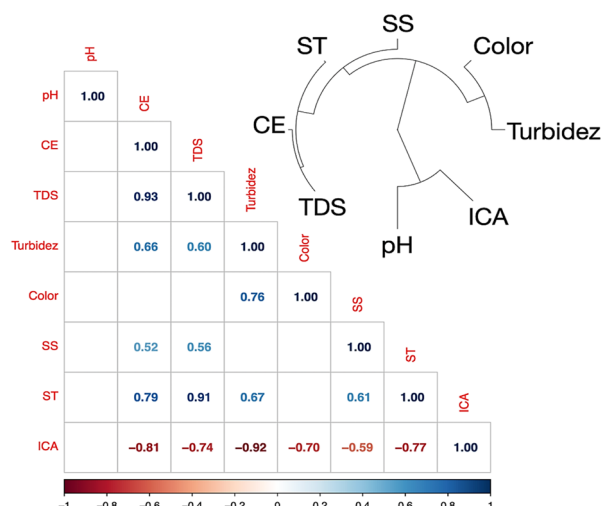


Figura 6. Matriz de correlación de Pearson para los parámetros de calidad de agua en los tratamientos que generan efectos significativos ($p < 0,05$).

DISCUSIÓN

Efecto del biocoagulante

Estudios sobre biocoagulantes en el tratamiento de aguas residuales han mostrado resultados diversos. Los estudios de Daffi *et al.* (2023) y Maurya y Daverey (2018) sugieren que la variabilidad en el pH del agua es dependiente de la dosis, lo cual concuerda parcialmente con los resultados obtenidos, ya que las dosis entre 100 y 250 mg/L del biocoagulante no parecen haber alterado significativamente el pH. Además, esta investigación muestra que la reducción de la turbidez es considerable, alineándose con los estudios de Aripin *et al.* (2023) y Azamzam *et al.* (2022), que reportan una efectividad similar de la cáscara de plátano en cuanto a turbidez y sólidos disueltos. En términos de conductividad eléctrica, los resultados obtenidos muestran una disminución modesta de 5,17%, lo que concuerda con las observaciones de otros autores como Méndez *et al.* (2022) y Putra y Airun (2021), quienes destacaron que coagulantes de bajo contenido como la cáscara de plátano o la semilla de papaya tienen un impacto menor en este parámetro, aunque dosis mayores de ciertos coagulantes (por ejemplo, sulfato de aluminio) pueden reducirla más significativamente.

Otro aspecto importante es la reducción del color, que fue del 18,7%, esto es relativamente bajo en comparación con los resultados de Fu *et al.* (2019), quienes reportaron una remoción del color hasta un 85,2% con cáscara de plátano. La diferencia en estos resultados está relacionada con las condiciones del agua tratada, la concentración del biocoagulante, o incluso la especificidad de la carga de colorante en el agua utilizada.

Efecto del cloruro férrico

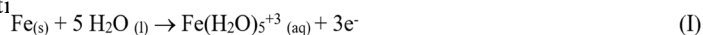
Rashuaman (2024) reportó una disminución del pH en un 43,1% con una dosis de 40 ml/L de cloruro férrico, reduciéndolo de 8 a 4,4; lo que refleja el impacto en el equilibrio ácido-base. En cuanto a la conductividad eléctrica, Zahrim *et al.* (2017) observaron un incremento al utilizar dosis altas de FeCl_3 , debido a la presencia de iones no reaccionados; a concentraciones entre 7000 y 9000 mg/L, las partículas tienden a reestablecerse, afectando negativamente la eficiencia del proceso.

En este estudio, se observó un comportamiento similar, al incrementar la dosis de FeCl_3 , la CE aumentó, alcanzando un valor de $2723 \mu\text{S/cm}$ con 2000 mg/L . Batrawy *et al.* (2020) y Rajala *et al.* (2020) demostraron que dosis elevadas de FeCl_3 provocan un aumento en los sólidos totales disueltos y en los residuos inorgánicos, comportamiento consistente con los resultados de este estudio, donde los TDS aumentaron de forma progresiva con las dosis, alcanzando un valor máximo a los 2000 mg/L .

En cuanto a la turbidez, Huaira y Moran (2024) reportaron una reducción del 66,8% utilizando 300 mg/L de FeCl_3 , mientras que Nuñez *et al.* (2023) identificaron que la dosis óptima era de 700 mg/L . En esta investigación, se logró una disminución del 97,1% con una dosis de 1000 mg/L , aunque, al aumentar la dosis más allá de este punto, se observó un incremento de la turbidez. En relación con la eliminación del color, Azis *et al.* (2007) reportaron una reducción de hasta el 94% utilizando 800 mg/L de FeCl_3 . Sin embargo, Karam *et al.* (2020) advirtieron que dosis superiores a 1000 mg/L reducen la efectividad del proceso. En este estudio, se alcanzó una reducción del 73% en el color con 1000 mg/L , pero al aumentar la dosis, la eficiencia en la eliminación del color disminuyó considerablemente.

Por otro lado, Tunc (2020) reportó una reducción del 99% en SS con una dosis de 500 mg/L de FeCl_3 . Sin embargo, en esta investigación, se alcanzó una reducción de apenas el 15,5% con la misma dosis, lo que demuestra que, en comparación, el tratamiento en este estudio no fue tan eficaz. Además, Mansouri *et al.* (2021) y Akinawo *et al.* (2023) encontraron que dosis altas de FeCl_3 incrementan los sólidos totales, especialmente en concentraciones superiores a 1000 mg/L , debido a la presencia de residuos del coagulante. Este comportamiento es consistente con los resultados obtenidos en este estudio, donde, al aumentar la dosis a 2000 mg/L , se alcanzó un valor máximo de 2135 mg/L de sólidos totales.

Según la reacción (I), una sal de hierro se disuelve en agua y pierde tres electrones de sus orbitales externos. Como resultado, el átomo de hierro queda con cinco electrones, y el ion se hidrata en forma de $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_5^{+3}$. En la reacción (II), el catión de hierro con carga positiva se une a un átomo de oxígeno de una de las cinco moléculas de agua en el complejo $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_5^{+3}$, formando un ion complejo. Este ion complejo actúa como donador de protones debido al aumento en la polaridad de los enlaces O-H de la molécula de agua, lo que facilita la ionización de los átomos de hidrógeno. Como resultado, la solución se vuelve ácida debido a la hidrólisis del catión metálico y la liberación de protones. Estos son los protones que generan la desestabilización coloidal de los sólidos suspendidos, promoviendo la coagulación y respecti



Efecto de la mezcla FeCl_3 y biocoagulante

La combinación de FeCl_3 y biocoagulantes ha mostrado ser eficaz en la remoción de contaminantes, especialmente en aplicaciones a pequeña escala o como coadyuvantes. Gandiwa *et al.* (2020) lograron reducir el pH a 5 con 45 mg/L de una mezcla de coagulantes naturales (alumbre, *Moringa oleifera* y *Cactus opuntia*), mientras que en este estudio el pH aumentó de 7,2 a 7,8 con dosis de $100\text{-}250 \text{ mg/L}$ y comenzó a disminuir a partir de 1.500 mg/L . En cuanto a la conductividad eléctrica (CE), los resultados coinciden con López *et al.* (2020), quienes reportaron que los biocoagulantes combinados con FeCl_3 no alteran la CE a dosis bajas, pero la incrementan a dosis altas.

En este caso, la CE se mantuvo constante en $1.160 \mu\text{S/cm}$ con dosis bajas, lo que subraya la estabilidad del sistema en condiciones iniciales. Respecto a la turbidez, Padilla *et al.* (2020) lograron una reducción del 71,06% con sulfato de aluminio y almidón de yuca. Ruiz y Amaya (2021) obtuvieron un 97% con 10.000 mg/L de *Moringa oleifera* y 5 mg/L de sulfato de aluminio. Este estudio, por su parte, mostró una alta eficacia, reduciendo la turbidez de $189,0 \text{ NTU}$ a $1,9 \text{ NTU}$ con una dosis mucho menor de 750 mg/L , lo que sugiere un mayor potencial de optimización en condiciones específicas.



Por consiguiente, Sulaiman *et al.* (2019) indicaron que dosis altas de coagulantes liberan más iones metálicos, incrementando los TDS. En esta investigación, los TDS se mantuvieron constantes hasta 1.000 mg/L, pero aumentaron un 85,7% con 2.000 mg/L. Para el color, Shabanizadeh y Taghavijeloudar (2023) observaron una reducción significativa con 700 mg/L, comportamiento que coincide con este estudio, donde el color disminuyó de 410 Pt-Co a 93 Pt-Co con 750 mg/L. Precious *et al.* (2021) y Akinnawo *et al.* (2023) destacaron que dosis intermedias de coagulantes naturales y químicos reducen sólidos suspendidos y totales, lo que también se evidenció en esta investigación. Los sólidos suspendidos disminuyeron a 31,3 mg/L con 500 mg/L, y los sólidos totales se redujeron de 1.090 mg/L a 320 mg/L con 100 mg/L, estabilizándose entre 190 y 195 mg/L a dosis de 1.000 mg/L.

Índice de Calidad del Agua

El Índice de Calidad del Agua (ICA) muestra variaciones notables en función del tipo de tratamiento aplicado y la dosis utilizada, reflejando la efectividad de cada enfoque en la mejora de aguas residuales domésticas. Méndez *et al.* (2020) reportaron que el índice de calidad del agua (ICA-NSF) en su investigación disminuyó en estaciones con alta carga de contaminantes, la estación 1 mostró calidad “buena” con un valor de 71,68, mientras que las estaciones 2 y 3 tuvieron calificaciones “regulares” y “malas”, respectivamente, debido a elevados niveles de nitratos, fosfatos y coliformes fecales. En el presente estudio, el biocoagulante a base de cáscara de plátano mantuvo un ICA “bueno” (61,7 y 61,2) a dosis de 100 y 250 mg/L, pero se redujo con dosis más altas. El cloruro férrico (FeCl_3) presentó una caída más pronunciada del ICA, alcanzando 28,3 a 1000 mg/L, indicando calidad “mala”. La combinación de FeCl_3 y biocoagulante mostró el mejor desempeño, alcanzando un ICA de 62,5 a 750 mg/L. Estos resultados coinciden con los encontrados por Peñaranda *et al.* (2023), donde se observó una disminución del ICA en estaciones con alta contaminación, especialmente por coliformes fecales.

CONCLUSIONES

El presente estudio demuestra que la combinación de biocoagulante de cáscara de plátano verde y FeCl_3 optimiza la remoción de contaminantes en aguas residuales. Se lograron remociones significativas en turbidez (99 %), ST (70,6 %), SS (69,1 %) y color (77,3 %), mientras que los efectos sobre la CE y los TDS fueron menores, indicando una adición controlada de iones. El ICA se mantuvo dentro de un rango aceptable, especialmente en tratamientos combinados. El análisis ANOVA confirmó que tanto FeCl_3 como el biocoagulante tienen efectos significativos sobre los parámetros evaluados. La correlación entre los parámetros analizados sugiere que un incremento en los TDS afecta negativamente la calidad del agua, lo que resalta la importancia de la combinación de tratamientos para lograr resultados óptimos en el tratamiento de aguas residuales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su sincero agradecimiento a la ESPAM-MFL por su valioso apoyo en la gestión del presente trabajo, con un reconocimiento especial a la Dra. Miryam Elizabeth Félix López por su destacada contribución.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERÉS DE LOS AUTORES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

REFERENCIAS

- Adams, E., Stoler, J. y Adams, Y. (2020). Water insecurity and urban poverty in the Global South: Implications for health and human biology. *American Journal of Human Biology*, 32(1). <https://doi.org/10.1002/ajhb.23368>
- Adelodun, B., Ajibade, F., Ighalo, J., Odey, G., Ibrahim, R., Kareem, K., Bakare, H., Tiamiyu, A., Ajibade, T., Abdulkadir, T., Adeniran, K. y Choi, K. S. (2021). Assessment of socioeconomic inequality based on virus-contaminated water usage in developing countries: A review. *Environmental Research*, 192, 110309. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110309>
- Akinawo, S., Ayadi, P. y Oluwalope, M. (2023). Chemical coagulation and biological techniques for wastewater treatment. *Ovidius University Annals of Chemistry*, 34 (1), 14-21. <https://doi.org/10.2478/auoc-2023-0003>
- Ang, W. y Mohammad, A. (2020). State of the art and sustainability of natural coagulants in water and wastewater treatment. *Journal of Cleaner Production*, 262, 121267. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121267>
- Aripen, N., Halim, N., Saadon, S. y Jamil, N. (2023). The Usage of Banana Peels and Soybean Hull for the Treatment of Lake Water: Turbidity and Total Suspended Solids. *Journal of Science and Technology*, 15(1), 1-6. <https://doi.org/10.30880/jst.2023.15.01.001>
- Azamzam, A., Rafatullah, M., Yahya, E., Ahmad, M., Lalung, J., Alam, M. y Siddiqui, M. (2022). Enhancing the Efficiency of Banana Peel Bio-Coagulant in Turbid and River Water Treatment Applications. *Water*, 14(16), 2473. <https://doi.org/10.3390/w14162473>
- Badawi, Ahmad K., Reda S. Salama, and Mohamed Mokhtar M. Mostafa. (2023) Natural-Based Coagulants/Flocculants as Sustainable Market-Valued Products for Industrial Wastewater Treatment: A Review of Recent Developments. *RSC Advances* 13, no. 28: 19335–55. <https://doi.org/10.1039/D3RA01999C>.
- Balpande, S. y Nagarnaik, D. (2020). Performance of natural and chemical based coagulant used in water and waste water treatment – a review. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 7(5), 727248 - 7253. <https://www.irjet.net/archives/V7/i5/IRJET-V7I51364.pdf>
- Banchón, C. y Paredes, L. (2015). Tannery liming drum wastewater treatment by natural coagulants from *C. spinosa*, *P. granatum*, *Eucalyptus* SPP. and *V. vinifera*. *International Journal of Current Research*, 7(4), 14843-14849. <https://www.journalcra.com/sites/default/files/issue-pdf/8284.pdf>
- Banchón C., Baquerizo R., Muñoz D., and Zambrano L (2016). Coagulación Natural Para La Descontaminación de Efluentes Industriales. *Enfoque UTE* 7, no. 4: 111–26. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n4.118>.
- Batrawy, O., Sonbati, M., Awadly, E. y Hegazy, T. (2020). Study on ferric chloride coagulation process and fenton's reaction for pretreatment of dairy wastewater. *International Current Science*, 10, 366-370. [0.36632/csi/2020.9.1.x](https://doi.org/10.36632/csi/2020.9.1.x)
- Bhatt, A., Arora, P. y Prajapati, S. (2020). Occurrence, fates and potential treatment approaches for removal of viruses from wastewater: A review with emphasis on SARS-CoV-2. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5), 104429. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104429>



- Cerón, I. y Garzón, N. (2015). *Evaluación de la semilla de moringa oleífera como coadyudante en el proceso de coagulación para el tratamiento de aguas naturales del río Bogotá en su paso por el municipio de villapinzón Cundinamarca* [Tesis de grado, Universidad Libre]. Repositorio Institucional UL. <http://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/8109>
- Chong, K. y Kiew, P. (2017). Potential of Banana Peels as Bio-Flocculant for Water Clarification. *Revista de Progress in Energy and Environment*, 1, 47-56. <https://www.akademibaru.com/submit/index.php/progee/article/view/1034>
- Conde, T. y Domínguez, J. (2021). *Evaluación de la eficiencia coagulante-floculante de la cáscara de cacao (CCN-51) y yuca (Manihot esculenta) en agua superficial: Río Tenguel* [Tesis de grado, Universidad de Guayaquil]. Repositorio Institucional UG. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/57968>
- Daffi, R., Alfa, M., Wamyil, F. y Lagasi, J. (2023). Comparative Study of the Effectiveness of Banana and Lemon Peels Powder as Natural Coagulants for Domestic Wastewater Treatment. *Journal of Engineering and Technology*, 8(2). <https://doi.org/10.46792/fuoyejt.v8i2.1000>
- Daverey, A., Tiwari, N. y Dutta, K. (2019). Utilization of extracts of Musa paradisiaca (banana) peels and Dolichos lablab (Indian bean) seeds as low-cost natural coagulants for turbidity removal from water. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(33), 34177-34183. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3850-9>
- Deshmukh, S. y Hedao, M. (2019). Wastewater Treatment Using Bio-Coagulant as Cactus opuntia Ficus Indica. *Energy and Environmental Engineering*, 6(10), 2321-0613. <https://n9.cl/vhz58>
- Dharsana, M. y Prakash, A. (2023). Nano-banana peel bio-coagulant in applications for the treatment of turbid and river water. *Desalination Water Treat*, 294, 100-110. <https://doi.org/10.5004/dwt.2023.29491>
- Dos Santos, Silvânia Lucas, and Adrianus Van Haandel. (2021) Transformation of Waste Stabilization Ponds: *Reengineering of an Obsolete Sewage Treatment System*. *Water* 13,9: 1193. <https://doi.org/10.3390/w13091193>
- Ferrer, E. (2018). *Tratamiento biológico aerobio para aguas residuales con elevada conductividad y concentración de fenoles* [Tesis de grado, Universitat Politècnica de València]. Repositorio institucional UPV. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/83382>
- Fragoso, P., Rubiano, L., Kerguelen, J., Fragoso, P., Rubiano, L. y Kerguelen, J. (2021). Análisis de variables físico-químicas en el proceso de remoción de coliformes en el sistema de lagunas de oxidación, Salguero, Valledupar (Colombia). *Revista de Información tecnológica*, 32(1), 113-122. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642021000100113>
- Fu, Y., Meng, X., Lu, N., Jian, H. y Di, Y. (2019). Characteristics changes in banana peel coagulant during storage process. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-02188-0>

- Gad, M., Abdo, M., Hu, A., El-Liethy, A., Hellal, S., Doma, S., y Ali, H. (2022). Performance Assessment of Natural Wastewater Treatment Plants by Multivariate Statistical Models: A Case Study. *Sustainability*, 14(13), Article 13. <https://doi.org/10.3390/su14137658>
- Gandiwa, B. I., Moyo, L. B., Ncube, S., Mamvura, T. A., Mguni, L. L. y Hlabangana, N. (2020). Optimisation of using a blend of plant based natural and synthetic coagulants for water treatment:(Moringa oleifera-Cactus opuntia-alum blend). *South African Journal of Chemical Engineering*, 34, 158-164. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2020.07.005>
- González, M., Pérez, L. y Ramírez, J. (2021). Combination of ferric chloride and Moringa oleifera seed extract for the treatment of industrial wastewater. *Journal of Environmental Management*, 256, 109956.
- Guerra Atauje, M. y Polo Velezmoro, D. A. (2021). *Uso del plátano (Musa paradisiaca) como coagulante para el tratamiento de las aguas residuales del Río Rímac en Matucana–2021* [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/84349>
- Guzmán, S. (2020). *Tratamiento de aguas de drenaje de mina mediante biocoagulación con Caesalpinia spinosa (Guarango)* [Tesis de grado, Universidad de las Américas]. Repositorio Institucional UDLA <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/12055>
- Hernández, F., Margni, M., Noyola, A., Guereca, L. y Bulle, C. (2017). Assessing wastewater treatment in Latin America and the Caribbean: Enhancing life cycle assessment interpretation by regionalization and impact assessment sensibility. *Journal of Cleaner Production*, 142, 2140-2153. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.068>
- Huair, P. y Moran, W. (2024). *Evaluación del cloruro férrico y amonio cuaternario en la reducción de turbidez de aguas del río Shulcas* [Tesis de grado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional UC. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/14754>
- Hube, S. y Wu, B. (2021). Mitigation of emerging pollutants and pathogens in decentralized wastewater treatment processes: A review. *Revista de Science of the Total Environment*, 779, 146545. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146545>
- Jiménez, E. y Perilla, A. (2019). Análisis del efecto coagulante de la semilla moringa oleífera para el tratamiento de aguas residuales en el hotel Ítaca. *Revista Udistrital*, 13(2), 59-69. <https://geox.udistrital.edu.co/index.php/bsa/article/view/15873>
- Kakoi, B., Kaluli, J., Ndiba, P. y Thiong'o, G. (2017). Optimization of Maerua Decumbent bio-coagulant in paint industry wastewater treatment with response surface methodology. *Journal of Cleaner Production*, 164, 1124-1134. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.240>
- Kalibbala, H., Olupot, P. y Ambani, O. (2023). Synthesis and efficacy of cactus-banana peels composite as a natural coagulant for water treatment. *Results in Engineering*, 17, 100945. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.100945>
- Karam, A., Bakhoum, E. y Zaher, K. (2020). Coagulation/flocculation process for textile mill effluent treatment: experimental and numerical perspectives. *International Journal of Sustainable Engineering*, 14 (5), 983–995. <https://doi.org/10.1080/19397038.2020.1842547>





- López, D., Martínez, E. y Torres, F. (2020). Uso de Residuos Agrícolas como Coagulantes Naturales en el Tratamiento de Aguas. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(12), 14567-14575.
- Lyon, S., Goethals, P., Schneider, P., Dominguez, L., Hampel, H., Lam, N., Nolivos, I., Reinstorf, F., Tejeda, R., Vázquez, R. y Ho, L. (2019). Improving Water Management Education across the Latin America and Caribbean Region. *Water*, 11(11), 2318. <https://doi.org/10.3390/w11112318>
- Mansouri, A., Bousserhane, K. y Zaghib, S. (2021). Performance of ferric chloride in industrial wastewater treatment: effects on solids and organic matter removal. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(15), 19180-19192.
- Maurya, S. y Daverey, A. (2018). Evaluation of plant-based natural coagulants for municipal wastewater treatment. *3 Biotech*, 8(1), 77. <https://doi.org/10.1007/s13205-018-1103-8>
- Mekonnen, M., Pahlow, M., Aldaya, M., Zarate, E. y Hoekstra, A. (2015). Sustainability, Efficiency and Equitability of Water Consumption and Pollution in Latin America and the Caribbean. *Sustainability*, 7(2), 2086-2112. <https://doi.org/10.3390/su7022086>
- Méndez, P., Arcos, J., y Cazorla, X. (2020). Determinación del índice de calidad del agua (NSF) del río Copueno ubicado en Cantón Morona. *Dominio de las Ciencias*, 6(2), 734-746. <http://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/1245>
- Mero, J., Párraga, A., Mero, E. y Villafuerte, S. (2022). Contaminantes biológicos presentes en fuentes de agua del centro-sur de la provincia de Manabí, Ecuador. *Revista Siembra*, 9(2). <https://doi.org/10.29166/siembra.v9i2.4011>
- Mokhtar, N., Priyatharishini, M. y Kristanti, R. (2019). Study on the Effectiveness of Banana Peel Coagulant in Turbidity Reduction of Synthetic Wastewater. *International Journal of Engineering Technology and Sciences*, 6(1), 82-90. <https://doi.org/10.15282/ijets.v6i1.2109>
- Muhamad, N., Juhari, N. y Mohamad, I. (2020). Efficiency of Natural Plant-Based Coagulants for Water Treatment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 616(1), 012075. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/616/1/012075>
- Núñez, A., Palacio, K., Campos, A., Salinas, J., Pisfil, J., Farfán, R., Perez, S., Paz, A. y García, J. (2023). Optimización del proceso de coagulación-floculación utilizando cloruro férrico y fosfato para la reducción de contaminantes en aguas residuales de mataderos. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de Membranas*. <https://doi.org/10.15379/ijmst.v10i3.1754>.
- Owodunni, A. y Ismail, S. (2021). Revolutionary technique for sustainable plant-based green coagulants in industrial wastewater treatment-A review. *Journal of Water Process Engineering*, 42, 102096. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102096>

- Padilla, K., Pimienta, G. y Mercado, I. (2020). Evaluación de la mezcla de un coagulante químico-natural en el proceso de clarificación de una ciénaga. *Revista UIS Ingenierías*, 19(3), 49-60. <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n3-2020005>
- Peñaranda, C., Carrasco, V., Pucha, H., Celi, B., Pérez, C., y Acosta, A. (2023). Aplicación del índice de calidad del agua (ICA) caso de estudio: río jubones, Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 1264-1277. <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/6953>
- Prathna, T. C. y Srivastava, A. (2021). Ferric chloride for odour control: Studies from wastewater treatment plants in India. *Water Practice & Technology*, 16(1), 35-41. <https://doi.org/10.2166/wpt.2020.111>
- Precious Sibiya, N., Rathilal, S. y Kweinor Tetteh, E. (2021). Wastewater coagulation treatment: kinetics and evaluation of natural coagulants. *Molecules*, 26 (3), 698. [10.3390/molecules26030698](https://doi.org/10.3390/molecules26030698)
- Putra, R. y Airun, N. (2021). The effect of particle size and dosage on the performance of Papaya seeds (Carica papaya) as biocoagulant on wastewater treatment of batik industry. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1087. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1087/1/012045>
- Qadir, M., Drechsel, P., Jiménez, B., Kim, Y., Pramanik, A., Mehta, P. y Olaniyan, O. (2020). Global and regional potential of wastewater as a water, nutrient and energy source. *Natural Resources Forum*, 44(1), 40-51. <https://doi.org/10.1111/1477-8947.12187>
- Qadri, H. y Bhat, R. (2020). Fresh Water Pollution Dynamics and Remediation. *Springer Nature*. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-8277-2>
- Rajala, K., Grönfors, O., Hesampour, M., y Mikola, A. (2020). Removal of microplastics from secondary wastewater treatment plant effluent by coagulation/flocculation with iron, aluminum and polyamine-based chemicals. *Water Research*, 183, 116045. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116045>
- Rajasulochana, P. y Preethy, V. (2016). Comparison on efficiency of various techniques in treatment of waste and sewage water – A comprehensive review. *Resource-Efficient Technologies*, 2(4), 175-184. <https://doi.org/10.1016/j.reffit.2016.09.004>
- Rashuaman, K. (2024). *Comparación de la eficiencia de tratamiento en la remoción de materia orgánica entre opuntia ficus-indica y cloruro férrico para las aguas del río Mantaro-2023* [Tesis de grado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional UC. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/15535>
- Revelo, A., Proaño, D. y Banchón, C. (2015). Biocoagulación de aguas residuales de industria textilera mediante extractos de Caesalpinia spinosa. *Enfoque UTE*, 6(1), 1-12. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v6n1.50>
- Robledo, J. (2023). Evaluación del Índice de Calidad de Agua ICA-NSF en las microcuencas del Parque Nacional Río Dulce como herramienta en la gestión integral del manejo sustentable, Livingston, Izabal, Guatemala, Centroamérica. *Revista Tecnología en Marcha*, 36(1), 106-116. <https://doi.org/10.18845/tm.v36i1.6241>
- Ruiz, M. y Amaya, J. (2021). *Evaluación del biocoagulante extraído de la semilla de moringa (m. oleífera) como coadyuvante en el proceso de coagulación para el tratamiento de aguas superficiales en la cuenca Río Molino (Popayán-Cauca)* [Tesis de grado, Corporación Universitaria Autónoma Del Cauca]. <http://repositorio.uniautonomo.edu.co/handle/123456789/608>



- Sani, M. U., & Muhammad, A. K. (2021). Assessment of phytochemical and mineral composition of unripe and ripe plantain (*Musa paradisiaca*) peels. *African Journal of Food Science*, 15(3), 107–112. <https://doi.org/10.5897/AJFS2017.1680>
- Shabanizadeh, H. y Taghavijeloudar, M. (2023). A sustainable approach to industrial wastewater treatment using pomegranate seeds in the flocculation-coagulation process: optimization of COD and turbidity removal by response surface methodology (RSM). *Journal of Water Process Engineering*, 53, 103651. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.103651>
- Shan, T., Matar, M., Makky, E. y Ali, E. (2017). The use of Moringa oleifera seed as a natural coagulant for wastewater treatment and heavy metals removal Appl Water Sci, 7(3), 1369-1376. <https://doi.org/10.1007/s13201-016-0499-8>
- Sulaiman, M., Zhigila, DA, Mohammed, K., Umar, DM, Aliyu, B. y Abd Manan, F. (2019). Semilla de Moringa oleifera como coagulante natural alternativo para una posible aplicación en el tratamiento del agua: una revisión. *Revista de investigación avanzada en ciencia de los materiales*, 56 (1), 11-21. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.103651>
- Syukriani, L., Febjislami, S., Lubis, D. S., Hidayati, R., Asben, A., Suliansyah, I., & Jamsari, J. (2021). Physicochemical characterization of peel, flesh and banana fruit cv. Raja [*Musa paradisiaca*]. IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, 741(1), 012006. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/741/1/012006>
- Turcios, A., Miglio, R., Vela, R., Sánchez, G., Bergier, T., Włodyka, A., Cifuentes, J., Pignataro, G., Avellan, T. y Papenbrock, J. (2021). From natural habitats to successful Application-Role of halophytes in the treatment of saline wastewater in constructed wetlands with a focus on Latin America. *Environmental and Experimental Botany*, 190, 104583. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104583>
- Yongabi, K. (2010). Biocoagulants for Water and Waste Water Purification: A Review. *International Review of Chemical Engineering*, 2(3). https://www.researchgate.net/publication/265532081_Biocoagulants_for_Water_and_Waste_Water_Purification_a_Review
- Zahrim, A., Dexter, Z. D., Joseph, C. y Hilal, N. (2017). Effective coagulation-flocculation treatment of highly polluted palm oil mill biogas plant wastewater using dual coagulants: Decolourisation, kinetics and phytotoxicity studies. *Journal of water process engineering*, 16, 258-269. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2017.02.005>
- Zaidi, N. (2019). Potential of Fruit Peels in Becoming Natural Coagulant for Water Treatment. *International Journal of Integrated Engineering*, 11(1), 140-150. <https://penerbit.uthm.edu.my/ojs/index.php/ijie/article/view/4289>
- Zaki, N., Hadoudi, N., Charki, A., Bensitel, N., Ouarghi, H., Amhamdi, H. y Ahari, M. (2023). Advancements in the chemical treatment of potable water and industrial wastewater using the coagulation–flocculation process. *Separation Science and Technology*, 58(15–16), 2619–2630. <https://doi.org/10.1080/01496395.2023.2219381>

Zamora, E., Carmona, R. y Brabata, G. (2007). Distribución de aves acuáticas en las lagunas de oxidación de la ciudad de La Paz, Baja California Sur, México. *Revista de Biología Tropical*, 55(2), 617-626. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442007000200022

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

Autor	Contribución
Loor Roy	Desarrollo de la investigación, redacción del manuscrito
Zamora Magaly	Asesoría de la investigación, revisión del manuscrito
Banchón Carlos	Interpretación de datos, revisión final

