

Evaluación de la eficiencia de los residuos de plantas de sacrificio como coagulante natural

Evaluation of the efficiency of sacrifice plant waste as a natural coagulant

Gabriel Moreno-Martínez , Iván Ricardo-Perdomo 
Iván Mercado-Martínez 
Universidad del Atlántico, Colombia

Open Access

Recibido:

20 de diciembre de 2019

Aceptado:

13 de abril de 2020

Publicado:

23 julio de 2020

Correspondencia:

ivanmercado@mail.uniatlantico.edu.co

DOI:

<https://doi.org/10.17081/invinno.8.2.3615>



© Copyright: Investigación e Innovación en Ingenierías

Resumen

Objetivo: Analizar la eficiencia de la gelatina obtenida a partir de residuos de una planta de sacrificio mezclada con sulfato de aluminio y utilizada en el proceso de clarificación del agua. **Metodología:** Se analizó el agua de la ciénaga de Malambo como objeto de estudio y se realizó un muestreo simple para su recolección. Se llevó a cabo la realización de la prueba de jarras empleando dosis de 10, 20, 40, 60, 80 y 100 mg/L para la mezcla gelatina-sulfato de aluminio en proporción 9:1 y el sulfato de aluminio según se estipula en la NTC 3903 de 2010. **Resultados:** La mezcla gelatina-sulfato de aluminio removió 82,63% la turbidez del agua analizada y el coagulante químico un 83,25%. **Conclusiones:** La mezcla coagulante propuesta en este estudio muestra propiedades de clarificación muy cercanas al empleado comercialmente, que la potencializan para su uso.

Palabras claves: Clarificación, Coagulación, Gelatina, Remoción, Turbidez.

Abstract

Objective: To analyze the efficiency of gelatin obtained from a sacrifice waste mixed with aluminum sulfate and used in water clarification processes. **Methodology:** Water from the Malambo swamp was analyzed for a study and a simple sampling was conducted for its collection. A jug test was conducted using doses of 10, 20, 40, 60, 80, and 100 mg/L of a 9:1 ratio gelatin–aluminum sulfate mixture and the aluminum sulfate as specified in NTC 3903 of 2010. **Results:** The gelatin–aluminum sulfate mixture removed 82.63% of the turbidity of the water analyzed, while the chemical coagulant removed 83.25% of the turbidity. **Conclusions:** The coagulant mixture proposed in this research shows clarification properties very close to those used commercially, which boosts its potential for use.

Keywords: Clarification, coagulation, gelatin, removal, turbidity.

Como citar (IEEE): G. Moreno-Martínez., I.R. Perdomo., y I. Mercado-Martínez, "Evaluación de la eficiencia de los residuos de plantas de sacrificio como coagulante natural", Investigación e Innovación en Ingenierías, vol. 8, n.º. 2, 2020. DOI: <https://doi.org/10.17081/invinno.8.2.3615>

Introducción

La ciénaga de Malambo perteneciente al departamento del Atlántico-Colombia, ubicada a 3 metros sobre el nivel del mar, cuyas coordenadas son 10°51'19" N y 74°45'23" O [1], es un cuerpo acuífero cuyas aguas usualmente son utilizadas por animales para su subsistencia y por las comunidades adyacentes para realizar labores de limpieza, ducharse y preparar alimentos; esto a pesar de no ser apta para consumo humano, debido principalmente a su turbidez y elevado grado de contaminación, representando un alto riesgo para los consumidores.

En la actualidad, se han tomado medidas para la conservación y mejoramiento de la calidad del agua de las fuentes hídricas por medio de procesos químicos, físicos y fisicoquímicos; los primeros a pesar de ser eficaces, suelen dejar en el agua trazas de sus componentes que pueden afectar los distintos sistemas de vida. Dichos procesos, son empleados para que los niveles de carga de contaminantes sean llevados a niveles aceptables para poder consumir el agua de esas fuentes hídricas, sin riesgo de contraer enfermedades [2].

Por tal motivo, para que el agua pueda cumplir con los requisitos mínimos para su consumo se lleva a cabo su tratamiento empleando la coagulación, siendo una de las etapas más importantes del proceso de la clarificación del agua, donde se desestabilizan las especies que están en estado de suspensión, agregando sustancias químicas como coagulantes [3], posteriormente se presenta la etapa de floculación que consiste en agrupar las partículas y darles un mayor volumen, aumentando su velocidad de sedimentación [4].

En la actualidad los coagulantes más utilizados en el proceso de potabilización del agua son los de origen químico, promovidos por su bajo costo, beneficio de su alta eficiencia y fácil adquisición, siendo uno de los más utilizados el sulfato de aluminio [5]. El uso de esta sustancia química, empleado en muchas partes del mundo en el proceso de potabilización del agua, representa un alto riesgo a la salud humana debido a las enfermedades asociadas a los residuos de aluminio, presentes en las aguas que han sido previamente tratadas [6].

Mediante algunas investigaciones se ha dado a conocer los efectos negativos que tiene los residuos de aluminio en el agua tratada para la salud humana, relacionándolos con enfermedades como el Alzheimer [5]. Por lo tanto, es necesario buscar alternativas que permitan sustituir las sustancias químicas potencialmente nocivas, con el objetivo de obtener resultados similares haciendo uso de productos de origen natural [7].

Los coagulantes naturales pueden ser de origen vegetal o animal, estos han sido empleados desde hace mucho tiempo en distintos países, por ser eficientes en la coagulación de aguas con alta turbidez [8]. Este tipo de sustancias tienen la característica de ser no tóxicos, ecológicos y en el proceso de clarificación del agua dan como resultado menos volumen de lodo [9]; además, tiene propiedades antimicrobianas, lo cual permite combatir directamente la carga de microorganismos presentes en el agua [10].

Las sustancias coagulantes de origen vegetal han sido ampliamente estudiadas, dando muestras de casos particulares como la *Moringa oleífera* y algunos almidones [11]; en Colombia en el año 2018, se llevó a cabo un estudio donde se evaluó el poder coagulante de las semillas de *Moringa oleífera* y el sulfato de aluminio en el proceso de clarificación del agua de una ciénaga, con porcentajes de remoción de turbidez del 64% y 96% respectivamente, destacando la sustancia natural por su eficacia, bajo costo e impacto positivo con el medio ambiente por ser biodegradable [12].

De los animales se logran extraer compuestos y sustancias útiles en los procesos de clarificación del agua. El quitosano, extraído de camarones y otros crustáceos ha demostrado tener un importante papel como coagulante. Durante el año 2016 en Irak, se realizó una investigación donde se evaluó las características fisicoquímicas de esta sustancia extraída a partir de la cáscara de camarón, como coagulante en el proceso de potabilización del agua de un río que contenía una turbidez inicial de 1,98 UNT, logrando una remoción de este parámetro del 24,07% [13].

El uso de coagulantes naturales de origen animal como la gelatina, debido a sus características y propiedades fisicoquímicas, permite ser empleada como coagulante primario o como ayudante en el proceso de coagulación en el tratamiento de clarificación del agua [14].

La gelatina es un biopolímero industrial con aspecto gelificante. La de origen animal es extraída de los residuos de las plantas de sacrificio, obtenida mediante un proceso donde el colágeno sufre una degradación hidrolítica mediante una reacción ácido-básica, siendo este el componente mayoritario en el tejido conectivo del animal [15]. El colágeno está formado por tres cadenas polipeptídicas que se entrelazan formando una especie de hélice [16]. Además, puede obtenerse mediante el proceso de reticulación química de las cadenas proteicas y ser usado como material útil para la industria biomédica y la ingeniería de tejidos [17].

En las plantas de sacrificio animal se presentan residuos como carnazas, pezuñas, tendones, pieles, entre otros, donde el colágeno es su principal componente proteico y que al ser tratado de manera específica da origen a una dispersión gelatinosa con propiedades coagulantes. En Venezuela

durante el año 2014, se utilizó esta sustancia como coagulante para la evaluación del proceso de coagulación en el agua proveniente de una planta de potabilización, donde se tomaron muestras de agua con turbidez iniciales de 50, 60, 80 y 90 UNT. En este estudio la dispersión gelatinosa removió más del 80% de la turbidez del agua [8].

Debido a la creciente demanda de gelatina actualmente se ha visto la necesidad de buscar diferentes orígenes, siendo una alternativa las pieles de diversos animales. La piel de pescado tiene un alto contenido proteico, permitiendo su uso como coagulante para la clarificación del agua. En el año 2018, se llevó a cabo una investigación que promovió la extracción de gelatina a partir de pieles de rana, pollo y atún. Se obtuvo como resultado cantidades de proteínas mayores al 77%. Finalmente se demostró que la dispersión gelatinosa es capaz de coagular material suspendido en el agua [18].

El uso de la gelatina como coagulante ha venido creciendo de manera significativa permitiendo su uso en diferentes investigaciones relacionada con el tratamiento de agua y recuperación de fuentes hídricas altamente contaminadas. En China en el año 2016, se realizó un estudio donde se llevó a cabo la implementación de un nuevo floculante a base de nano-partículas de lignina (L-NP) y gelatina, con la finalidad de capturar bacterias en el tratamiento de agua residuales con valores iniciales entre 107 y 109 unidades formadoras de colonias en un mililitro (UFC/mL). Se logró más del 90% de retención de los microorganismos, tales como, *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*. Además, gracias a la actividad coagulante de la gelatina se redujo la turbidez del agua tratada [19].

En Colombia hay zonas que no cuentan con agua potable que sumado a la contaminación progresiva que van teniendo las fuentes hídricas, es necesario realizar métodos convencionales de tratamientos de potabilización para su recuperación [20]; por lo tanto, en los procesos de clarificación se busca usar coagulantes naturales que sean amigables con el medio ambiente y no generen efectos negativos en la salud humana. Lo anterior motivó a estudiar la eficiencia de la gelatina obtenida a partir de residuos de una planta de sacrificio mezclada con sulfato de aluminio utilizada como coagulante y compararla con el sulfato de aluminio, sustancia química comúnmente utilizada en el proceso de clarificación del agua.

Metodología

Muestreo

Se analizó el agua de la ciénaga de Malambo (departamento del Atlántico) como objeto de estudio y se realizó un muestreo simple para la recolección

de 42 L de agua en el mes de diciembre del año 2018. Luego se trasladó a las instalaciones del laboratorio de Biotecnología de Microalgas de la Universidad del Atlántico donde se ejecutó la medición de parámetros como pH con un potenciómetro (ST3100, OHAUS) y la turbidez del agua con un turbidímetro (TB 300 IR, Lovibond).

Obtención del coagulante natural (gelatina)

Para elaborar la gelatina inicialmente se recolectó la materia prima rica en colágeno, en este caso se utilizaron residuos de una planta de sacrificio: tendones, pieles, huesos, carnazas y pezuñas. Posteriormente, se realizó el lavado de la materia prima y luego se redujo su tamaño manualmente con cuchillos y una cortadora cárnica en un establecimiento de expendio para carnes. Seguidamente, se llevó al laboratorio de Biotecnología de Microalgas de la Universidad del Atlántico, donde se realizó una inmersión en ácido acético y después se neutralizó usando una solución de bicarbonato de sodio. Luego, la materia prima se sometió a tratamiento térmico (inmersión en baño de agua) durante 4 h, posteriormente se filtró con un embudo decantador (VIN BOUQUET) con la finalidad de separar el material sólido del líquido siendo este último secado en un horno (FD 23, BINDER) a 100 °C durante 2 h, triturado y pulverizado (TSM6A011W, BOSCH). Finalmente se obtuvo un polvo amarillento como coagulante.

Soluciones coagulantes

Para el uso del coagulante químico, inicialmente se pesó 1,0 g de sulfato de aluminio comercial tipo A y se disolvió en 100 mL de agua desmineralizada dentro de un beaker, luego de obtener la solución homogénea, se extrajeron 6 dosis de concentraciones diferentes, siendo estas 10, 20, 40, 60, 80, y 100 mg/L.

Para la elaboración del coagulante conformado por sulfato de aluminio y gelatina, se realizó una mezcla a escala 1:9, lo que indica que por cada 0,1 g de sustancia química se adicionó 0,9 g de gelatina; posteriormente se disolvió la mezcla en 100 mL de agua desmineralizada y se mantuvieron las mismas 6 dosis empleadas cuando se utilizó sulfato de aluminio como coagulante.

Prueba de jarras simulando la clarificación del agua

Para la realización de la prueba de jarras, se utilizó como referencia la NTC 3903 de 2010. Se vertió 1 L del agua de la ciénaga de Malambo en cada uno de los beakers que se colocaron en el equipo de test de jarras (FC6S, VELP). Se midió el pH y la turbidez inicial de cada una de las muestras. Posteriormente se añadieron las dosis establecidas de coagulantes en los distintos vasos de precipitado y se sometieron a un proceso de agitación

rápida a una velocidad de 120 rpm durante un minuto, luego se someterán a una agitación lenta a 30 rpm durante veinte minutos, donde se observó la formación de flóculos. Finalizado este tiempo, inició la sedimentación de los mismos por un tiempo de 15 min. Finalmente se extrajeron muestras de cada uno de los vasos de precipitado y se realizaron mediciones de pH y turbidez final [21].

Diseño experimental planteado y análisis de sus resultados

Las pruebas se elaboraron por triplicado con la finalidad de realizar un análisis estadístico de los datos. Se empleó un diseño factorial donde la turbidez del agua (UNT) de la Ciénaga de Malambo es la variable respuesta, siendo el tipo de coagulante utilizado el primer factor que se evaluó en 2 niveles: sulfato de aluminio y la mezcla coagulante, sulfato de aluminio y gelatina (en relación 1:9); además como segundo factor se estableció la dosis de coagulante que se analizó en 6 niveles: 10, 20, 40, 60, 80 y 100 mg/L.

Los resultados obtenidos de este estudio se analizaron mediante un análisis de varianza ANOVA, usando una confiabilidad del 95% (valor $P < 0,05$), para observar la incidencia de los factores en los valores de la variable respuesta. Además, se realizó la prueba de Duncan para conocer la mejor dosis y tipo de coagulante. Para lo anterior, se utilizó el programa de análisis estadístico Statgraphics Centurión XVI.

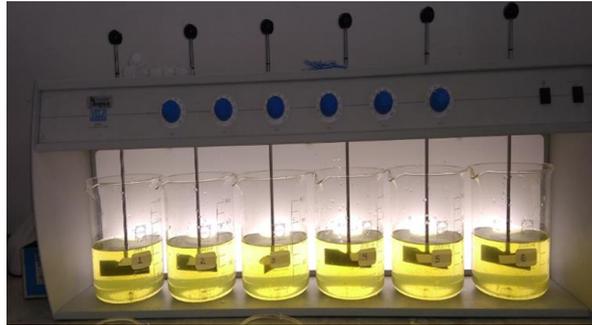
Después se comparó la eficiencia de la mezcla coagulante (sulfato de aluminio y gelatina) con la sustancia química bajo las mismas condiciones.

Resultados

El agua cruda proveniente de la Ciénaga de Malambo presentó las siguientes características: color amarillo claro, pequeñas cantidades de materiales sólidos visibles, turbidez de 50,80 UNT y un valor de pH de 7,80. Las condiciones del agua anteriormente descritas, permiten definirla según la Resolución 2115 de 2007 como no apta para consumo humano, no puede emplearse en la preparación de alimentos y tampoco en labores domésticas porque supera el valor máximo permitido de turbidez (2 UNT) [22]; por tanto su tratamiento es necesario.

Se llevó a cabo la simulación del proceso de clarificación del agua cruda por medio de la prueba de jarras como se muestra en la Figura 1, donde se empleó sulfato de aluminio y la mezcla sulfato de aluminio-gelatina a escala 1:9 como coagulantes.

Figura 1. Fotografía que presenta el agua antes de la prueba de jarras



Fuente: Elaboración propia

Los resultados de turbidez del agua después del tratamiento y el porcentaje de remoción obtenidos en función de la dosis de coagulante, se observan en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados de la simulación del proceso de clarificación

Sustancia coagulante usada	Dosis de coagulante (mg/L)	Turbidez finales UNT	Porcentaje de remoción (%)
Sulfato de Aluminio	10	22,23	56,24
	20	15,57	69,35
	40	15,90	68,70
	60	11,97	76,43
	80	8,51	83,25
	100	9,47	81,35
Mezcla sulfato de aluminio-gelatina (1:9)	10	11,20	77,95
	20	10,05	80,21
	40	8,82	82,63
	60	10,66	79,01
	80	13,36	73,70
	100	11,63	77,10

Fuente: Elaboración propia

El análisis ANOVA indicó que los coagulantes y las dosis utilizadas en esta investigación, influyeron sobre la turbidez del agua de la Ciénaga. Lo anterior se demostró mediante el valor $P = 0,0001$ obtenido para cada coagulante. Los resultados de la prueba de Duncan al emplear el coagulante químico sulfato de aluminio, presentaron 5 grupos homogéneos, siendo un grupo cada dosis de 10, 60, 80 y 100 mg/L, además otro grupo conformado por las

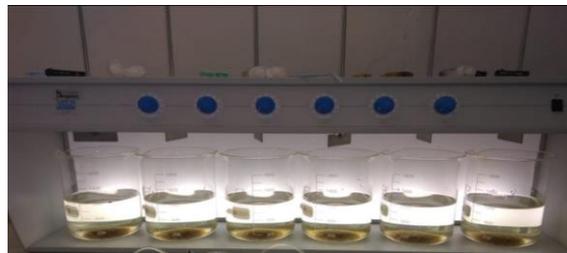
dosis de 20 y 40 mg/L. La menor turbidez final del agua objeto de estudio 8,51 UNT, se obtuvo al utilizar una dosis óptima de 80 mg/L, equivalente a un porcentaje de remoción de turbidez del 83,25%.

Datos similares se hallaron en un estudio realizado en el año 2009 en Brasil, donde en muestras de agua de la Laguna de Jiqui, se emplea como sustancia coagulante sulfato de aluminio en dosis de 15 y 70 mg/L, logrando remociones de turbidez entre 79-86% [23].

Sin embargo, los resultados obtenidos en una investigación elaborada en el año 2014 en la ciudad de Montería (Córdoba-Colombia), donde el agua cruda provenientes del río Sinú presentó una turbidez inicial de 48,20 UNT y después de emplear sulfato de aluminio como coagulante en dosis entre 7,5-15,0 mg/L, se obtuvieron remociones de turbidez del agua mayores al 90% [24]. Las diferencias entre los resultados de estos estudios se relacionan directamente con la composición fisicoquímica de los cuerpos de agua.

Los resultados de la prueba de Duncan al utilizar la mezcla coagulante sulfato de aluminio-gelatina a escala 1:9 presentaron 6 grupos homogéneos, siendo un grupo cada dosis de 10, 20, 40, 60, 80 y 100 mg/L. La menor turbidez final del agua de la ciénaga 8,82 UNT, se obtuvo al emplear una dosis óptima de 40 mg/L, equivalente a un porcentaje de remoción de turbidez del 82,63% que se muestra en la Figura 2.

Figura 2. Fotografía que presenta el agua después de la prueba de jarras, usando la mezcla coagulante



Fuente: Elaboración propia

Estos resultados se asemejan a los obtenidos en Venezuela en el año 2014, donde muestras de agua de la planta de tratamiento Pueblo Viejo se diluyeron con agua del grifo hasta obtener valores de turbidez comprendidos entre 50-90 UNT, empleando como coagulante la dispersión gelatinosa de huesos bovinos provenientes de una planta de sacrificio. En esta investigación se usaron dosis óptimas de 22,8 y 34,2 mg/L para obtener porcentajes de remoción de turbidez del agua entre 71,5-81,4% [8].

Datos similares se reflejan en la investigación realizada en Venezuela en el año 2011, donde se evaluó la efectividad del cardón *Stenocereus griseus* como alternativa coagulante para el proceso de clarificación del agua; en el estudio se recolectó agua cruda de una planta de potabilización y posteriormente se diluyó hasta obtener valores de turbidez iniciales de 20,

40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100 UNT. Los resultados presentaron una remoción de turbidez del agua tratada entre 14,50-80,42% [25].

Sin embargo, efectos parecidos se lograron en una investigación realizada en China en el año 2016, donde se utilizó como floculante una mezcla entre gelatina y nanopartículas de lignina (L-NP) para realizar tratamientos de aguas residuales altamente contaminadas; donde se empleó una dosis de 25 mg/L de gelatina por cada 1012 células de L-NP. Se obtuvieron valores de remoción de la turbidez del agua mayores al 95%, además, se logró remover más del 90% de microorganismos patógenos presentes [19].

Los resultados descritos anteriormente demuestran la gran relevancia que tiene el uso de la gelatina como coagulante en los tratamientos de agua. Debido a la significativa demanda de este compuesto en el año 2018 se realizó un estudio para valorar la cantidad de proteína presente en la gelatina obtenida a partir de pieles de animales como pollo, rana y pescado (atún). Los resultados presentaron cantidades de proteínas mayores al 77% y finalmente se demostró que la dispersión gelatinosa es capaz de actuar como coagulante en la clarificación del agua [18].

También son parecidos a los obtenidos en un estudio elaborado en Inglaterra en el año 2010, donde se clarificó el agua de un río con una turbidez inicial de 45 UNT hasta obtener un valor de 11,8 UNT de este parámetro, utilizando una dosis óptima de 250 mg/L de *M. oleífera* como coagulante, obteniendo un porcentaje de remoción de turbidez del 74% [26].

De la misma manera, los resultados son semejantes a los presentados en una investigación realizada en el año 2008 en Venezuela, donde en muestras de agua sintética con una turbidez inicial de 50 UNT, se empleó exudado gomoso de *A. siamea* como coagulante natural con una dosis óptima de 50 mg/L. Se obtuvieron remociones de la turbidez del agua hasta del 90% [27].

Otro estudio llevado a cabo en África, en el año 2008 muestra resultados similares. Se obtuvieron porcentajes de remoción de turbidez mayores al 90% en muestras de agua de pozos que contenían un valor inicial de 49 UNT; en esta ocasión se emplearon extractos de *J. curcas* y goma guar como coagulantes naturales, siendo la dosis óptima 50 mg/L, además se utilizó la *M. oleífera* empleando una dosis óptima de 250 mg/L [28].

Entre la mezcla coagulante gelatina-sulfato de aluminio (en proporción 9:1) y el sulfato de aluminio que se utilizaron en esta investigación para la clarificación del agua proveniente de la ciénaga de Malambo, la sustancia química presentó una remoción (83,25%) semejante a la mezcla gelatina-sulfato de aluminio (82,635), siendo el valor mínimo de turbidez final al emplear el sulfato de aluminio de 8,51 UNT y para la mezcla de 8,82 UNT en dosis de 80 mg/L y 40 mg/L, respectivamente. Es decir, se empleó la mitad de la dosis al utilizar la mezcla coagulante en comparación con el sulfato de aluminio.

Conclusiones

Este estudio demostró que es posible sustituir el uso del sulfato de aluminio como coagulante, mediante la mezcla con sustancias naturales biodegradables, que no afectan la salud como la gelatina, obtenida a partir de plantas de sacrificio. Es decir, se convierte un residuo en una sustancia con valor agregado, que presenta buenos resultados en el proceso de clarificación del agua y es de fácil adquisición. Sin embargo, el sulfato de aluminio una vez más demostró su efectividad en la remoción de turbidez de aguas crudas.

Referencias bibliográficas

1. Get a map. Ciénaga malambo/Atlántico., 2019. [En línea]. Disponible:
http://es.getamap.net/mapas/colombia/atlantico/_malambo_ci_enaga/. [Citado el 10 de septiembre de 2019].
2. M. Romero, "Tratamientos utilizados en potabilización de agua," *Boletín electrónico*, n°. 8, pp. 1-12, 2016. [En línea]. Disponible:
<http://www.ozonoalbacete.es/wp-content/uploads/2011/08/estudio-agua-zono.pdf>. [Citado el 8 de septiembre de 2019].
3. L. Guzmán, A. Villabona, C. Tejada y R. García, "Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión," *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, vol. 16, n°. 1, pp. 253–262, 2013.
4. D. Montero y A. Ilia "Comparación de tratamientos físico-químicos para aguas residuales de la empresa textil "PARIS QUITO", sector Tambillo, zona industrial Miraflores bajo," Tesis de licenciatura, Universidad Central de Ecuador, Quito, Ecuador, 2017. [En línea]. Disponible:
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/13564/1/T-UC-0012-47.pdf>. [Citado el 8 de septiembre de 2019].
5. A. Sierra, A. Navarro, I. Mercado, M. Jurado y A. Flórez, "Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando médula de banano," *Rev. UIS Ing.*, vol. 18, n°. 4, pp. 131–138, 2019. DOI: <https://doi.org/10.18273/revuin.v18n4-2019012>
6. K. Riaños, M. Meza and I. Mercado, "Clarification of the water of wetlands using a mixture of natural coagulants," *DYNA*, vol. 86, n°. 209, pp. 73–78, 2019. DOI: <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n209.73687>
7. R. Olivero, I. Mercado y L. Montes, "Remoción de la turbidez del agua del Río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia*

ficus indica,” *Prod. + Limpia*, vol. 8, n°. 1, pp. 19–27, 2013. DOI: <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.302>

8. L. Fuentes, Y. Aguilar, Y. Caldera y I. Mendoza, “Dispersión gelatinosa de huesos bovinos para la clarificación de aguas con baja turbidez,” *Revista Tecnocientífica URU*, n°. 7, pp. 71–81, 2014.
9. S. Yan, K. Nagendra, T. Yeong, M. Eshwaraiah and R. Nagasundara, “Performance of conventional starches as natural coagulants for turbidity removal”, *Ecol. Eng.*, vol. 94, pp. 352–364, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.05.082>
10. G. Muthuraman and S. Sasikala, “Journal of Industrial and Engineering Chemistry Removal of turbidity from drinking water using natural coagulants”, *J. Ind. Eng. Chem.*, vol. 20, n°. 4, pp. 1727–1731, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.08.023>
11. N. Fuentes, E. Molina y C. Ariza, “Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del $Al_2(SO_4)_3$ para clarificación de aguas,” *Prod. + Limpia*, vol. 11, n°. 2, pp 41-54, 2016.
12. M. Meza-Leones, K. Riaños Donado, I. Mercado Martínez, R. Olivero Verbel, y M. Jurado Eraso, “Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de Moringa oleífera en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico,” *Rev. UIS Ing.*, vol. 17, n°. 2, pp. 95–104, 2018. DOI: <https://doi.org/10.18273/revuin.v17n2-2018009>
13. Al-Manhel, A. Al-Hilphy and A. Niamah, “Extraction of chitosan, characterisation and its use for water purification,” *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, vol. 17, n°. 2, pp. 186-190, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.04.001>
14. S. Rodríguez, R. Muñoz, O. García y E. Fernández, “Empleo de un producto coagulante natural para clarificar agua,” *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, vol. 36, n°. 4, 2005.
15. G. Martínez, R. Uresti, J. Ramírez y G. Velázquez, “Extracción y caracterización de algunas propiedades fisicoquímicas de gelatina de piel de trucha,” *Revista Ciencia UAQ*, vol. 4, n°. 2, pp. 26–34, 2011.
16. K. Gómez, C. Piña, N. Rodríguez y M. Romero, “Obtención y caracterización de colágena tipo I a partir de tendón bovino,” *Superficies y vacío*, vol. 24, n°. 4, pp. 137–140, 2011.

17. J. Skopinska, K. Olszewski, A. Bajek, A. Rynkiewicz and A. Sionkowska, "Dialysis as a method of obtaining neutral collagen gels", *Mater. Sci. Eng. C.*, vol. 40, pp. 65–70, 2014. DOI: 10.1016/j.msec.2014.03.029
18. E. Aksun, Ü. Cansu, G. Boran, J. Regenstein and F. Özoğul, "Physicochemical and functional properties of gelatin obtained from tuna, frog and chicken skins", *Food Chem.*, vol. 287, pp. 273–279, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.088>
19. H. Yin, L. Liu, X. Wang, T. Wang, Y. Zhou, B. Liu, Y. Shan, L. Wang and X. Lü, "A novel flocculant prepared by lignin nanoparticles-gelatin complex from switchgrass for the capture of Staphylococcus aureus and Escherichia coli," *Colloids and Surfaces A: Physicochem. and Eng. Asp.*, vol. 545, pp. 51–59, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2018.02.033>
20. R. Olivero, Y. Aguas, I. Mercado, D. Casas, y L. Montes, "Utilización de Tuna (opuntia ficus-indica) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas," *Av. Investig. en Ing.*, vol. 11, no. 1, pp. 70–75, 2014. DOI: <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.302>
21. Instituto colombiano de normas técnicas y certificación ICONTEC, Norma Técnica Colombiana NTC 3903, Procedimiento para el ensayo de coagulación-floculación en un recipiente con agua o método de jarras. Colombia, 2010
22. Ministerio de la Protección social y Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, Resolución 2115 del 2007, Características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Bogotá D.C., Colombia, 2007.
23. P. Lédo, R. Lima, J. Paulo y M. Duarte, "Estudio comparativo de sulfato de aluminio y semillas de Moringa oleífera para la depuración de aguas con baja turbiedad," *Información tecnológica*, vol. 20, n°. 5, pp. 3-12, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1612/inf.tecnol.4096it.08>
24. J. Feria, S. Bermúdez y A. Estrada, "Eficiencia de la semilla Moringa Oleífera como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú," *Producción + limpia*, vol. 9, n°. 1, pp. 9-22, 2014.
25. L. Fuentes, I. Mendoza, A. López, M. Castro y C. Urdaneta, "Efectividad de un coagulante extraído de *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. en la potabilización del agua," *Revista Técnica de la*

Facultad de Ingeniería Universidad Del Zulia, vol. 34, n°. 1, pp. 039-047, 2011.

26. M. Pritchard, T. Craven, T. Mkandawire, A. Edmondson and J. O’neill, “A comparison between Moringa oleifera and chemical coagulants in the purification of drinking water – An alternative sustainable solution for developing countries,” *Physics and Chemistry of the Earth*, vol. 35, n°. 13-14, pp. 798-805, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2010.07.014>
27. A. Fernández, M. Chávez, F. Herrera, M. Mas, D. Mejías y A. Díaz, “Evaluación del exudado gomoso de Acacia siamea como coagulante en la clarificación de las aguas para consumo humano,” *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, vol. 31, pp. 32-40, 2008.
28. M. Pritchard, T. Mkandawire, A. Edmondson, J. O’neill and G. Kululanga, “Potential of using plant extracts for purification of shallow well water in Malawi,” *Physics and Chemistry of the Earth*, vol. 34, n°. 13-16, pp. 799-805, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2009.07.001>