

# Revisión bibliográfica del uso de coagulantes naturales como alternativa para el tratamiento de aguas residuales

Bibliographic review use of natural coagulants as an alternative for the treatment of wastewater

María Fernanda Ariza Ruiz\* y Lizeth Liliana Gutiérrez Vargas\*\*

---

---

## Cómo citar:

Ariza Ruiz, M. F., & Gutiérrez Vargas, L. L. (2020). Revisión bibliográfica del uso de coagulantes naturales como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Ingeciencia*, 5, 95-108.

\* Ingeniera ambiental, Universidad Central. Correo: marizar1@ucentral.edu.co  
\*\* Ingeniera ambiental, Universidad Central. Correo: lgutierrezv1@ucentral.edu.co

## Resumen

En el proceso de floculación-coagulación, tradicionalmente se adicionan sales de hierro y aluminio como coagulantes, los cuales generan residuos tóxicos en los lodos producidos, alteran el pH y aumentan la concentración de sales. Con el propósito de conocer alternativas a estos productos, se presenta una revisión bibliográfica sobre polímeros naturales como coagulantes no tóxicos y eficientes en la desestabilización de partículas suspendidas. Para ello, se consultaron en diversas bases de datos artículos de investigación publicados entre 2010 y 2020, en los que se reporta la adición de coagulantes naturales en muestras de agua residual doméstica e industrial real. Los resultados indican que se emplean 25 especies de plantas como coagulantes naturales, entre las cuales se destacan *Moringa oleifera* Lam, *Solanum tuberosum*, *Opuntia ficus indica*, *Pisum sativum*, *Acacia mearnsii*, *Oryza sativa*, *Musa acuminata*, *Strychnos potatorum* y *Brachystegia eurycoma*, con más del 75% de eficiencia en la remoción de turbiedad. Se concluye que el empleo de polímeros naturales mejora los procesos de coagulación, iguala o aumenta la eficiencia de remoción en comparación con los convencionales, no altera el pH y disminuye la toxicidad final.

**Palabras clave:** agua residual doméstica, agua residual industrial, biofloculantes, coagulantes, origen vegetal.

## Abstract

In the flocculation-coagulation process, iron and aluminum salts are traditionally added as coagulants, which generate toxic residues in the sludge produced, alterations in pH and increase the concentration of salts. Therefore, the present bibliographic review aims to search for natural polymers as a non-toxic alternative, efficient in the destabilization of suspended particles. For this purpose, research articles published between 2010-2020 were consulted in various databases, where natural coagulants are added in real domestic and industrial wastewater samples. The consultation carried out indicates the use of 25 natural coagulants, including *Moringa Oleifera* Lam, *Solanum tuberosum*, *Opuntia Ficus Indica*, *Pisum Sativum*, *Acacia Mearnsii*, *Oryza Sativa*, *Musa Acuminata*, *Strychnos Potatorum* and *Brachystegia Eurycoma*, which have a turbidity removal efficiency of over 75%. It is concluded that the use of natural polymers improves the coagulation processes, equals or increases the removal efficiency compared to conventional polymers, does not alter the pH and reduces the final toxicity.

**Keywords:** biofloculants, coagulants, domestic wastewater, industrial wastewater, plant based.

## 1. Introducción

Las aguas residuales son el resultado de procesos domésticos y/o industriales. Dado que están compuestas por sólidos suspendidos, materia orgánica, metales, grasas y aceites, es necesario tratarlos antes de descargarlos a un cuerpo de agua superficial y/o a redes de alcantarillado sanitario, lo cual realizan plantas de tratamiento mediante procesos físicos, químicos y/o biológicos (Orjuela & Lizarazo, 2013). En todo el mundo las aguas residuales son una problemática social y medioambiental, debido a los efectos negativos sobre las fuentes hídricas, la salud y el bienestar de las comunidades, la diversidad biológica, los servicios ecosistémicos, la calidad del agua y su disponibilidad para los usuarios aguas abajo de donde son depositadas.

Uno de los tratamientos primarios más eficaces corresponde a la floculación-coagulación, la cual remueve un considerable porcentaje de turbiedad y contribuye a mejorar otros parámetros en la calidad del agua, como disminuir su color. En este proceso se utilizan productos químicos para desestabilizar las partículas en suspensión y la formación del floc, que posteriormente se decantan para facilitar su remoción; los más utilizados son las sales de aluminio y de hierro (Andía, 2000), debido a su bajo costo y efectividad en anular las cargas superficiales para facilitar la aglomeración y sedimentación de los flóculos, con lo cual se logra una mayor eficiencia en la remoción de los contaminantes. No obstante, el uso de estos productos químicos produce diversas afectaciones, como la alteración en los niveles de pH, mayor producción de lodo y generación de residuos de difícil degradación. Asimismo, debido a la modificación del pH, es necesario adicionar sustancias como cal y soda cáustica para neutralizar el pH de las aguas (Cogollo, 2011).

Ante la limitada información que se encontró en otras investigaciones de revisión bibliográfica, en las cuales solo se abarca un reducido número de coagulantes naturales y las muestras experimentales que emplean son en su mayoría de agua residual sintética, la presente revisión bibliográfica tiene el objetivo de hacer una búsqueda más amplia en la literatura sobre los diferentes coagulantes de origen vegetal que han sido utilizados en muestras de agua residual real, tanto doméstica como industrial.

Los principales resultados de la investigación se refieren a la extracción de los coagulantes de origen vegetal, los casos de aplicación, su uso como coayudante y las desventajas, ventajas y limitaciones que tienen para sustituir productos convencionales. Asimismo, se sugiere la aplicación de algunos de estos coagulantes naturales en Colombia, ya que se encuentran de manera nativa en el país por sus condiciones tropicales.

## 2. Materiales y métodos

La metodología de investigación que se empleó para hacer la revisión constó de tres fases, que se describen en los siguientes apartados.

### 2.1 Búsqueda de la información

Se seleccionaron como fuentes de información las bases de datos ScienceDirect, Scopus, SpringerLink, Redalyc, Scielo, ProQuest y Google Académico. Además, se utilizaron las siguientes palabras clave para realizar la búsqueda: “Biofloculants”, “Wastewater”, “Natural coagulant” y “Plant-based”.

## 2.2 Recolección de la información

Posteriormente, se realizó una revisión de títulos y resúmenes de artículos para seleccionar los que formarían parte de la investigación de acuerdo con los siguientes criterios:

- *Criterios de inclusión:* artículos publicados en el ámbito global que analizaran el tratamiento de agua residual industrial y doméstica aplicando sustancias de origen vegetal como coagulantes en los procesos de coagulación y floculación. El período contemplado fue de 2010 a 2020.
- *Criterios de exclusión:* artículos relacionados con el tratamiento de agua sintética, aguas superficiales, procesos de clarificación, agua potable o que utilicen coagulantes de origen animal. No se tuvo en cuenta trabajos de grado, tesis de maestría ni comentarios de editoriales de revistas.

## 2.3 Organización de la información

Después de seleccionarlos, se caracterizó los artículos en relación con los diferentes coagulantes naturales implementados y se diferenciaron según el agua residual doméstica e industrial, el país o región donde se usaron, las dosis óptimas y la eficiencia de remoción obtenida.

## 3. Resultados y discusión

### 3.1. Coagulantes naturales usados en la remoción de contaminantes de aguas residuales domésticas e industriales

De acuerdo con la revisión bibliográfica, 25 coagulantes naturales fueron reportados para la remoción de contaminantes en aguas residuales domésticas e industriales (tabla 1).

Tabla 1. Identificación de coagulantes naturales

	Nombre común del coagulante	Nombre científico	En cuántos artículos se encontró
1	Plátano	<i>Musa acuminata</i>	4
2	Papaya	<i>Carica papaya</i>	1
3	Neem	<i>Azadirachta indica</i>	1
4	Ipomoea	<i>Ipomoea incarnata</i>	1
5	Moringa oleífera	<i>Moringa oleífera</i>	21
6	Caña fístula	<i>Cassia fistula</i>	1
7	Papa	<i>Solanum tuberosum</i>	1
8	Tamarindo	<i>Tamarindus indica</i>	1
9	Yuca	<i>Manihot esculenta</i>	2
10	Cardón guajiro	<i>Lemaireocereus griseus</i>	1
11	Garbanzo	<i>Cicer arietinum</i>	3
12	Arveja	<i>Pisum sativum</i>	1
13	Chayote	<i>Sechium edule</i>	1

	Nombre común del coagulante	Nombre científico	En cuántos artículos se encontró
14	Acacia negra	<i>Acacia melanoxylon</i> <i>Acacia mearnsii</i>	4
15	Goma guar	<i>Cyamopsis tetragonoloba</i>	2
16	Lenteja de agua	<i>Spirodela polyrhiza</i>	1
17	Ciruela india	<i>Ziziphus mauritiana</i>	1
18	Árbol nuez de tala	<i>Strychnos potatorum</i>	1
19	Quimbombó / okra	<i>Abelmoschus esculentus</i>	1
20	---	<i>Brachystegia eurycoma</i>	1
21	Guarumo	<i>Cecropia obtusifolia</i>	2
22	Almidón de arroz	<i>Oryza sativa</i>	1
23	Llantén de la India	<i>Plantago ovata</i>	1
24	Nopal	<i>Opuntia ficus-indica</i>	2
25	Mezquite	<i>Prosopis laevigata</i>	1

Fuente: elaboración propia.

Las propiedades de coagulación de estas especies se les atribuyen a los polisacáridos y proteínas que contienen.

### 3.2 Extracción del principio activo

Para que los coagulantes naturales sean aprovechados en su máximo potencial para la floculación-coagulación es necesario extraer el compuesto activo.



Figura 1. Extracción general de coagulantes naturales. Fuente: adaptado de Yin (2010).

Al respecto, cabe señalar que algunos estudios muestran que la eficiencia en la coagulación de las semillas de *M. oleifera* aumenta considerablemente si sus agentes activos se extraen con una solución como NaCl o KCl. Así mismo, encontraron que una semilla extraída con NaCl al 1M mejoró el proceso de coagulación 7,4 veces más que si la extracción se hubiera realizado con agua destilada, lo cual se debe a que estos compuestos contienen sales que aumentan la solubilidad de las proteínas (Boulaadjoul *et al.*, 2018).

### 3.3 Efectividad del uso de coagulantes naturales

La efectividad de los coagulantes se comprobó en diferentes tipos de agua (doméstica e industrial) y en distintos sectores, como se describe a continuación.

El agua residual doméstica se caracteriza por que tiene considerables concentraciones de demanda biológica de oxígeno (DBO5), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), aceites y grasas. En Rosmawanie *et al.* (2018), la turbiedad fue reducida en el 80,02% usando *C. arietinum* y el 86,24% utilizando *Moringa oleifera* con una dosis óptima de 180 mg/L. Además, después de compararlos con dos coagulantes químicos, se concluyó que las dosis de los coagulantes naturales pueden ser más altas que las requeridas por los coagulantes químicos, pero superan los porcentajes de remoción de turbiedad.

Menkiti *et al.* (2018) reportan el uso de *Brachystegia eurycoma* para tratar el agua residual proveniente de la producción de pintura en Nigeria, que se realiza de pequeña a mediana escala. El agua residual de esta industria no es biodegradable, presenta alta coloración y turbidez, además contiene sustancias tóxicas, aceites y solventes. Específicamente, al utilizar una dosis óptima de 5000 mg/L de *Brachystegia eurycoma* se logró remover el 96,5% de la turbiedad (Menkiti *et al.*, 2018).

Las aguas residuales de textiles y lavanderías contienen altas concentraciones de sales, sólidos suspendidos, DBO, DQO y otros compuestos tóxicos que son el resultado de los tintes u otros productos usados en estas industrias, los cuales pueden ser cancerígenos y/o mutagénicos. Si estas aguas no reciben el debido tratamiento y son vertidas, pueden causar grandes afectaciones al medio ambiente y alterar los sistemas biológicos, especialmente la fotosíntesis. En una investigación de Almeida *et al.* (2017), las aguas residuales de una textilería de jeans localizada en Paraná, Brasil, fueron tratada con una dosis óptima de 15 mg/L de extracto vegetal de chayote, con lo cual se removió el 97,95% de la turbidez y el 83,84% de la DQO (Almeida *et al.*, 2017).

Las características de las aguas residuales producidas por la agroindustria dependen del tipo de materia prima y los productos que se utilicen, pero en general suelen tener una alta DQO y SST, los cuales pueden causar problemas de contaminación. Por ejemplo, en Malasia se producen cada año aproximadamente cincuenta millones de toneladas de aguas residuales al extraer aceite de palma. Como alternativa de tratamiento, Teh *et al.* (2014) encontraron que una dosis óptima de 740 mg/L de almidón de arroz reduce el 92,50% de los SST y el 30,91% de la DQO.

Los efluentes industriales procedentes de las fábricas de papel contienen altos niveles de DBO y DQO, debido a la presencia de lignina y otros derivados de sus materias primas, como los celulósicos, compuestos clorados y sólidos en suspensión (fibras, fibrillas, CaCO<sub>3</sub>, arcillas). En Argelia, se encontró que una dosis óptima de 150 mg/L de *Moringa oleifera* permite remover el 96,02% de la turbidez y el 97,28% de DQO de estas aguas residuales (Boulaadjoul *et al.*, 2018).

En las plantas de sacrificio animal en el municipio de Popayán, Colombia, en donde mensualmente se sacrifican un aproximado de noventa animales, entre bovinos y porcinos, las aguas residuales contienen sangre, estiércol, pelos, huesos, grasas, proteínas, contaminantes solubles, elementos patógenos, valores altos de parámetros como temperatura, concentración de compuestos orgánicos y nitrógeno. Para tratar estas aguas se usaron semillas de *Moringa oleifera* con una dosis óptima de 7 500 mg/L, lo cual permitió remover el 86,7% de turbidez y el 93% del color (Arias-Hoyos *et al.*, 2017).

### 3.4 Coagulantes naturales como coayudantes

Freitas *et al.* (2015) encontraron que emplear *Abelmoschus esculentus* como ayudante de un coagulante inorgánico de hierro disminuye la dosis del coagulante químico de 320 mg/L a 88 mg/L, a partir de lo cual ajustaron una nueva dosis de coagulante natural de 2,4 mg/L a 3,2 mg/L. Esto quiere decir que al usar en combinación una dosis baja de coagulante, tanto químico como natural, se removió el 92,24% de la turbiedad, el 85,69% de DQO y el 93,57% de color a un pH de 6. Asimismo, reportaron que añadir el mucílago extraído del okra permitió reducir el coagulante químico en 72,5%.

Por su parte, Teh *et al.* (2014) compararon el tratamiento de efluentes de una fábrica de aceite de palma usando almidón de arroz y almidón de arroz-alumbre. Sus resultados indican que esta combinación reduce la dosis requerida si solo se emplea alumbre, se pasa de 730 mg/L a 380 mg/L y se aumenta el porcentaje de remoción de DQO, aunque se obtienen mejores resultados en la remoción de SST al utilizar solo almidón.

Finalmente, la literatura consultada reporta que las plantas de concreto utilizan grandes cantidades de agua, que se convierten en residuos líquidos con altas cantidades de sólidos en suspensión, de manera que tienen una turbiedad elevada. Al utilizar 80% de sulfato de aluminio y 20% de *Moringa oleifera*, De Paula (*et al.*, 2014) lograron remover el 99,5% de la turbiedad y redujeron la alta alcalinidad que tenía el agua residual tratada.

### 3.5 Desventajas del uso de coagulantes químicos

Los coagulantes inorgánicos y compuestos sintéticos pueden producir cambios en el pH del agua, de manera que es necesario adicionar estabilizadores para cumplir con los rangos permisibles de este parámetro, según la normatividad de vertimientos de cada país (Cabrera *et al.*, 2018). Además, los lodos que generan producen una contaminación secundaria, pues se caracterizan por tener baja biodegradabilidad y potencial limitado para un uso posterior.

Los coagulantes químicos se encuentran en el mercado a bajo precio y son eficaces para el tratamiento de aguas, pero tienen impactos negativos en el ambiente y en la calidad del agua, no son biodegradables y pueden tener efectos toxicológicos en la fauna acuática (Pandey *et al.*, 2020). Además, sustancias como el alumbre pueden dejar altas concentraciones de aluminio residual en el agua tratada (Freitas *et al.*, 2015), las cuales pueden estar relacionadas con la aparición de enfermedades como el Alzheimer (Arias-Hoyos *et al.*, 2017).

### 3.6 Ventajas del uso de coagulantes naturales

En los diferentes artículos consultados para esta revisión se menciona en repetidas ocasiones que los coagulantes naturales son una alternativa de bajo costo, son biodegradables y tienen poca toxicidad, además se encuentran de manera abundante para extraerlos (Freitas

*et al.*, 2015). Los coagulantes naturales forman flóculos más fuertes debido al efecto puente, en comparación con los coagulantes químicos como el alumbre (Yin, 2010). Además, se reduce la concentración de sustancias químicas en los vertimientos, lo que a su vez genera un impacto positivo porque mejora los ecosistemas y las condiciones sanitarias aguas abajo del punto de descarga (Arias-Hoyos *et al.*, 2017).

A continuación, se sintetizan algunos de los estudios identificados en la búsqueda bibliográfica. Nonfodji *et al.* (2020) reportaron que el uso de *Moringa oleifera* en el agua residual obtenida del Centro Hospitalario de Benín tuvo una eficiencia del 76,82% para eliminar la bacteria *Escherichia coli*. También respecto a estas semillas, Villaseñor-Basulto *et al.* (2018) describieron que tienen actividad antibacteriana frente a gram negativas y gram positivas, además de que han mostrado actividad antimicótica.

Además, también se debe señalar que los coagulantes naturales no alteran de forma considerable los parámetros del agua. Al respecto, Ramavandi y Farjadfard (2014) concluyeron que al utilizar el *Plantago ovata* la relación DBO5/DQO aumentó de 0,19 (agua sin tratamiento) a 0,48 en las condiciones óptimas, por lo que la biodegradabilidad del agua textil aumentó y, en consecuencia, se puede tratar de manera biológica.

### 3.7 Limitaciones en la sustitución de coagulantes convencionales

En la información obtenida en la literatura recolectada solo se reporta la aplicación de coagulantes naturales a escala de laboratorio, es decir, no se evidencia que se implementen a escala real en plantas piloto de agua residual doméstica ni industrial, pese a encontrar un número considerable de artículos de investigación con argumentos y demostración experimental de la efectividad de estas especies vegetales.

Según Ang y Mohammad (2020), los retos que tienen los coagulantes naturales para ser aceptados son: la producción en masa, cuestiones técnicas, suministro continuo de una cantidad de coagulante con las propiedades requeridas, sin que se vean afectadas por diferencias en la extracción y la purificación.

Asimismo, se destaca que si bien los coagulantes naturales se encuentran a un menor precio, no se evidencian estudios en los cuales se puedan entrever los costos de la materia prima, la extracción, la purificación y la operación, de modo que sea posible realizar una comparación económica entre estas sustancias y los coagulantes químicos convencionales usados en la actualidad (Ang & Mohammad, 2020). Tampoco se localizaron investigaciones sobre los impactos ambientales y la sostenibilidad de los coagulantes químicos, por lo cual se necesitan más estudios sobre el tema.

### 3.8 Coagulantes sugeridos para Colombia

De acuerdo con los resultados de la revisión bibliográfica, se sugiere que en Colombia se usen los siguientes coagulantes naturales como sustitutos en las plantas de tratamiento de aguas residuales doméstica e industrial: *Ipomoea incarnata*, *Solanum tuberosum* (papa), *Lemnaea gibbera* (Cardón guajiro), *Musa acuminata* (plátano), *Pisum sativum* (arveja), *Acacia melanoxylon* (acacia negra), *Spirodela polyrhiza* (lenteja de agua), *Ziziphus mauritiana* (ciruela india), *Cecropia obtusifolia* (guarumo), *Oryza sativa* (arroz) y *Moringa oleifera*, debido a que estas especies obtuvieron porcentajes de remoción de turbiedad, DQO y sólidos suspendidos totales por encima al 70%.

## 4. Conclusiones

La revisión de literatura sobre el uso de coagulantes naturales para tratar aguas residuales domésticas e industriales en procesos de floculación-coagulación arrojó 25 productos extraídos de semillas, hojas, tallos de árboles y plantas. El uso de estos coagulantes se reportó en quince países, de los cuales solamente diez se hicieron en la zona intertropical, que es donde se encuentra la mayor diversidad de especies vegetales. Por lo tanto, se puede afirmar que el uso de los coagulantes naturales depende de las condiciones geográficas del país o la región y de la disponibilidad de las plantas en los territorios donde fueron usados.

Los artículos seleccionados reportaron la aplicación de coagulantes naturales en muestras de aguas residuales obtenidas de diferentes industrias (sector textil, agroindustrial, alimentos, concreto, refinería, hospitales) y recolectadas de plantas de tratamiento de agua residual doméstica. De acuerdo con la información analizada, 18 de los 25 coagulantes encontrados obtuvieron remociones de turbidez por encima al 75%. Además, se debe destacar que *Moringa oleifera* Lam, *Solanum tuberosum*, *Opuntia ficus indica*, *Pisum sativum*, *Acacia mearnsii*, *Oryza sativa*, *Musa acuminata*, *Strychnos potatorum* y *Brachystegia eurycoma* obtuvieron un porcentaje de remoción de contaminantes mayor al 90%, al igual que lo hacen los coagulantes convencionales de aluminio o hierro.

Respecto a las dosis óptimas que establecieron los artículos analizados en la revisión, se halló que estas pueden variar dependiendo de varios factores, tales como el tipo de coagulante usado y su proceso de extracción y purificación. De igual manera, la información muestra que los contaminantes difieren en la muestra que se va a tratar dependiendo de si es doméstica o industrial. No se evidencia un patrón en las dosis óptimas halladas experimentalmente, por lo tanto no es posible establecer un rango de aplicación.

De otra parte, se registra que los coagulantes naturales no producen cambios significativos en el pH final, por lo cual no es necesario adicionar sustancias estabilizadoras, en comparación con las sales de hierro o aluminio. Antes bien, mejoran parámetros como la demanda química de oxígeno (DQO) y los sólidos suspendidos totales (SST), al tiempo que remueven entre el 90% y 100% de coliformes, lo cual se atribuye a las propiedades antibacterianas que algunos contienen. Además, los autores reportan que el uso de coagulantes naturales disminuye de forma considerable el volumen de los lodos generados y proponen que estos sean utilizados como fertilizantes o biomasa, dependiendo de su composición.

Finalmente, se concluye que, de acuerdo con las condiciones tropicales de Colombia, es posible implementar en el país coagulantes naturales en las plantas de tratamiento de agua residual doméstica o industrial, debido a que alrededor de dieciséis especies del total de los coagulantes identificados son cultivadas o se encuentran de manera nativa.

## Referencias

- Almeida, C. A., De Souza, M. T. F., Freitas, T. K. F. S., Ambrósio, E, Geraldino, H. C. L., & Garcia, J. C. (2017). Vegetable residue of Chayote (*Sechium edule* SW.) as a natural coagulant for treatment of textile wastewater. *International Journal of Energy and Water Resources*, 1(1), 37-46. <https://bit.ly/3ajllSc>

- Andía, Y. (2000). *Tratamiento de agua: Coagulación y floculación*. Sedapal. <https://bit.ly/3bW4bvD>
- Ang, W. L., & Mohammad, A. W. (2020). State of the art and sustainability of natural coagulants in water and wastewater treatment. *Journal of Cleaner Production*, 262, Article 121267. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121267>
- Arias-Hoyos, A., Hernández-Medina, J. L., Castro-Valencia, A. F., & Sánchez-Peña, N. E. (2017). Tratamiento de aguas residuales de una central de sacrificio: Uso del polvo de la semilla de la *M. oleifera* como coagulante natural. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15(1), 29-39. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/548>
- Boulaadjoul, S., Zemmouri, H., Bendjama, Z., & Drouiche, N. (2018). A novel use of *Moringa oleifera* seed powder in enhancing the primary treatment of paper mill effluent. *Chemosphere*, 206, 142-149. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.123>
- Cabrera, N. C., Simancas Vásquez, E. P., & Hernández Julio, A. R. (2018). Ensayo de coagulantes naturales extraídos de *Ipomoea incarnata* y *Moringa olífera* en la depuración de aguas residuales industriales en Cartagena de Indias. *Prospectiva*, 16(2), 94-99. <https://doi.org/10.15665/rp.v16i2.1434>
- Cogollo Flórez, J. M. (2011). Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: Caso del hidroxicloriguro de aluminio. *Dyna*, 78(165), 18-27. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49622372002%0ACómo>
- De Paula, H. M., De Oliveira Ilha, M. S., & Andrade, L. S. (2014). Concrete plant wastewater treatment process by coagulation combining aluminum sulfate and *Moringa oleifera* powder. *Journal of Cleaner Production*, 76, 125-130. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.04.031>
- Freitas, T. K. F. S., Oliveira, V. M., De Souza, M. T. F., Geraldino, H. C. L., Almeida, V. C., Fávaro, S. L., & Garcia, J. C. (2015). Optimization of coagulation-flocculation process for treatment of industrial textile wastewater using okra (*A. esculentus*) mucilage as natural coagulant. *Industrial Crops and Products*, 76, 538-544. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.06.027>
- Menkiti, M. C., Okoani, A. O., & Ejimofor, M. I. (2018). Adsorptive study of coagulation treatment of paint wastewater using novel *Brachystegia eurycoma* extract. *Applied Water Science*, 8(6), Article 189. <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0836-1>
- Nonfodji, O. M., Fatombi, J. K., Ahoyo, T. A., Osseni, S. A., & Aminou, T. (2020). Performance of *Moringa oleifera* seeds protein-polyaluminum chloride composite coagulant in removing organic matter and antibiotic resistant bacteria from hospital wastewater. *Journal of Water Process Engineering*, 33, Article 101103. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.101103>
- Orjuela, M. I., & Lizarazo, J. M. (2013). *Sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia* [Monografía de especialización, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio UN. <https://bit.ly/3OQ03Me>
- Pandey, N., Gusain, R., & Suthar, S. (2020). Exploring the efficacy of powered guar gum (*Cyamopsis tetragonoloba*) seeds, duckweed (*Spirodela polyrhiza*), and Indian plum (*Ziziphus mauritiana*) leaves in urban wastewater treatment.

- Journal of Cleaner Production*, 264, Article 121680. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121680>
- Rosmawanie, M., Mohamed, R., Al-Gheethi, A., Pahazri, F., Amir-Hashim, M. K., & Nur-Shaylinda, M. Z. (2018). Sequestering of pollutants from public market wastewater using *Moringa oleifera* and *Cicer arietinum* flocculants. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(2), 2417-2428. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.03.035>
- Teh, C.Y., Wu, T.Y., & Juan, J. C. (2014). Optimization of agro-industrial wastewater treatment using unmodified rice starch as a natural coagulant. *Industrial Crops and Products*, 56, 17-26. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.02.018>
- Villaseñor-Basulto, D. L., Astudillo-Sánchez, P. D., Del Real-Olvera, J., & Bandala, E. R. (2018). Wastewater treatment using *Moringa oleifera* Lam. seeds: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 23, 151-164. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.03.017>
- Yin, C. Y. (2010). Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. *Process Biochemistry*, 45(9), 1437-1444. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.05.030>

### Otras referencias revisadas

- Adelodun, B., Ogunshina, M. S., Ajibade, F. O., Abdulkadir, T. S., Bakare, H. O., & Choi, K. S. (2020). Kinetic and prediction modeling studies of organic pollutants removal from municipal wastewater using *Moringa oleifera* biomass as a coagulant. *Water (Switzerland)*, 12(7), Article 2052. <https://doi.org/10.3390/w12072052>
- Alwi, H., Idris, J., Musa, M., & Ku Hamid, K. H. (2013). A preliminary study of banana stem juice as a plant-based coagulant for treatment of spent coolant wastewater. *Journal of Chemistry*, 2013, Article 165057. <https://doi.org/10.1155/2013/165057>
- Barbosa, A. D., Da Silva, L. F., De Paula, H. M., Romualdo, L. L., Sadoyama, G., & Andrade, L. S. (2018). Combined use of coagulation (*M. oleifera*) and electrochemical techniques in the treatment of industrial paint wastewater for reuse and/or disposal. *Water Research*, 145, 153-161. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.08.022>
- Bouatay, F., & Mhenni, F. (2014). Use of the Cactus Cladodes Mucilage (*Opuntia Ficus Indica*) as an eco-friendly flocculants: Process development and optimization using stastical analysis. *International Journal of Environmental Research*, 8(4), 1295-1308. <https://doi.org/10.22059/IJER.2014.822>
- Carpinteyro-Urban, S., & Torres, L. (2013). Use of response surface methodology in the optimization of coagulation-flocculation of wastewaters employing biopolymers. *International Journal of Environmental Research*, 7(3), 717-726. <https://doi.org/10.22059/IJER.2013.651>
- Dehghani, M., & Alizadeh, M. H. (2016). The effects of the natural coagulant *Moringa oleifera* and alum in wastewater treatment at the Bandar Abbas Oil Refinery. *Environmental Health Engineering and Management Journal*, 3(4), 225-230. <https://doi.org/10.15171/ehem.2016.24>

- Dela Justina, M., Rodrigues Bagnolin Muniz, B., Mattge Bröring, M., Costa, V. J., & Skoronski, E. (2018). Using vegetable tannin and polyaluminium chloride as coagulants for dairy wastewater treatment: A comparative study. *Journal of Water Process Engineering*, 25, 173-181. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.08.001>
- Dos Santos, J. D., Veit, M. T., Juchen, P. T., Da Cunha Gonçalves, G., Moreno Palácio, S., & Fagundes-Klen, M. (2018). Use of different coagulants for cassava processing wastewater treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(2), 1821-1827. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.02.039>
- Dotto, J., Fagundes-Klen, M. R., Veit, M. T., Moreno Palácio, S. M., & Bergamasco, R. (2019). Performance of different coagulants in the coagulation/flocculation process of textile wastewater. *Journal of Cleaner Production*, 208, 656-665. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.112>
- Duarte, D., & Ramírez, L. F. (2015). Remoción de nutrientes mediante coagulantes naturales y químicos en planta de tratamiento de aguas residuales, Valledupar Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6(2), 183-195. <https://doi.org/10.22490/21456453.1415>
- Durán Hernández, Z. L., Roa, R., Coronel, D., & Alvarado, A. (2017). Análisis del proceso de coagulación de un agua residual usando un coagulante natural y un coagulante químico. *Documentos de Trabajo ECAPMA*, 2. <https://doi.org/10.22490/ECAPMA.1821>
- Flores Pérez, L. A., Lostado Lorza, R., & Corral Bobadilla, M. (2019). Uso del programa simapro para evaluar coagulantes naturales en el tratamiento de aguas. *Biotecnía*, 21(3), 108-113. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v21i3.1039>
- Fuentes Molina, N., Molina Rodríguez, E. J., & Ariza, C. P., (2016). Coagulantes naturales en sistemas continuos como sustituto del  $Al_2(SO_4)_3$  para clarificación de aguas. *Producción Limpia*, 11(2), 41-54. <https://doi.org/10.22507/pml.v11n2a4>
- Gopika, G. L., & K. Mophin, K. (2016). Accessing the suitability of using banana pith juice as a natural coagulant for textile wastewater treatment. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 7(4), 260-264. <https://bit.ly/3RfHqTe>
- Guardián-López, R., & Coto-Campos, J. (2010). Estudio preliminar del uso de la semilla de tamarindo (*Tamarindus indica*) en la coagulación-floculación de aguas residuales. *Tecnología en Marcha*, 24(2), 18-26. [https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec\\_marcha/article/view/138](https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/138)
- Herrera, M. (2015). Evaluación del almidón de papa como floculante para el tratamiento de aguas residuales domésticas. *@limentech Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 13(2), 123-135. <https://doi.org/https://doi.org/10.24054/16927125.v2.n2.2015.1877>
- Jagaba, A. H., Kutty, S. R. M., Hayder, G., Latiff, A. A. A., Aziz, N. A. A., Umaru, I., Ghaleb, A. A. S., Abubakar, S., Lawal, I. M., & Nasara, M. A. (2020). Sustainable use of natural and chemical coagulants for contaminants removal from palm oil mill effluent: A comparative analysis. *Ain Shams Engineering Journal*, 11(4), 951-960. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.01.018>

- Jaseela, L., & Chadaga, M. (2015). Treatment of dairy effluent using *Cicer arietinum*. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 4(6), 15047-15053. <https://doi.org/10.15680/IJIRSET.2015.0406140>
- Kumar, V., Othman, N., & Asharuddin, S. (2017). Applications of natural coagulants to treat wastewater - A review. *MATEC Web of Conferences*, 103, Article 06016. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710306016>
- Lek, B. L., Peter, A. P., Qi Chong, K. H., Ragu, P., Sethu, V., Selvarajoo, A., & Arumugasamy, S. K. (2018). Treatment of palm oil mill effluent (POME) using chickpea (*Cicer arietinum*) as a natural coagulant and flocculant: Evaluation, process optimization and characterization of chickpea powder. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(5), 6243-6255. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.09.038>
- Maurya, S., & Daverey, A. (2018). Evaluation of plant-based natural coagulants for municipal wastewater treatment. *3 Biotech*, 8, Article 77. <https://doi.org/10.1007/s13205-018-1103-8>
- Menkiti, M., Nwoye, C., Onyechi, C., & Onukwuli, O. (2011). Factorial optimization and kinetics of coal washery effluent coag-flocculation by *Moringa oleifera* seed biomass. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 1(03), 125-132. <https://doi.org/10.4236/aces.2011.13019>
- Mera-Alegría, C. F., Gutiérrez-Salamanca, M. L., Montes-Rojas, C., & Paz-Concha, J. P. (2016). Efecto de la *Moringa Oleifera* en el tratamiento de aguas residuales en el Cauca, Colombia. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 100-109. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(14\)100-109](https://doi.org/10.18684/bsaa(14)100-109)
- Muralimohan, N., Palanisamy, T., & Vimaladevi, M. N. (2014). Experimental study on removal efficiency of blended coagulants in textile wastewater treatment. *Impact: International Journal of Research in Engineering & Technology*, 2(2), 15-20. <https://bit.ly/3RcoV2b>
- Natarajan, R., Al Fazari, F., & Al Saadi, A. (2018). Municipal waste water treatment by natural coagulant assisted electrochemical technique— Parametric effects. *Environmental Technology and Innovation*, 10, 71-77. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.01.011>
- Ortiz Alcocer, V., López Ocaña, G., Torres Belcazar, C. A., & Pampillón González, L. (2018). Almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) como coadyuvante en la coagulación floculación de aguas residuales domésticas. *CIBA Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 7(13), 18-46. <https://doi.org/10.23913/ciba.v7i13.73>
- Palmero, J., & Lías, J. (2018). Efecto de la semilla de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) como coagulante natural en una agua residual de origen agroindustrial. *Revista Ambientellanía*, 1, 87-97.
- Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas. (2017). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos: Aguas residuales: El recurso desaprovechado*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247647>

- Radin, M. S. R., Ibrahim, N. M. A., & Mohd, A. H. (2014). Efficiency of using commercial and natural coagulants in treating car wash wastewater treatment. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 8, 227-234. <https://doi.org/http://eprints.uthm.edu.my/id/eprint/6209>
- Ramavandi, B., & Farjadfard, S. (2014). Removal of chemical oxygen demand from textile wastewater using a natural coagulant. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 31(1), 81-87. <https://doi.org/10.1007/s11814-013-0197-2>
- Sandoval Arreola, M., Navarrete Teodoro, L., Olais Pineda, J., & Ortiz Rodríguez, G. (2018). Evaluación de la eficiencia de un polímero natural en el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Multidisciplinas de la Ingeniería*, 6(8), 37-46. <https://bit.ly/3yJ9Ei0>
- Servyeco. (2018). *Ecotan: Productos naturales para tratamientos de aguas*. [https://bewat.eu/wp-content/uploads/2018/06/ECOTAN\\_ED12.pdf](https://bewat.eu/wp-content/uploads/2018/06/ECOTAN_ED12.pdf)
- Servyeco. (n. d.). *Serie ECOTAN: Coagulantes naturales*. <https://bit.ly/3acVtsp>
- Shak, K. P.Y., & Wu, T.Y. (2014). Coagulation-flocculation treatment of high-strength agro-industrial wastewater using natural *Cassia obtusifolia* seed gum: Treatment efficiencies and flocs characterization. *Chemical Engineering Journal*, 256, 293-305. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.06.093>
- Shak, K. P.Y., & Wu, T.Y. (2017). Synthesis and characterization of a plant-based seed gum via etherification for effective treatment of high-strength agro-industrial wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 307, 928-938. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.08.045>
- Soares, G., Passos, Y., & de Oliveira, A. (2020). Avaliação do uso da *Moringa oleifera* no tratamento de efluente proveniente de usina de concreto. *Brazilian Journal of Development*, 6(6), 32822-32835. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n6-002>
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2013). *Informe técnico sobre sistemas de tratamiento de aguas residuales*. <https://bit.ly/3NOOgfA>
- Tarón-Dunoyer, A., Guzmán-Carrillo, L.E., & Barros-Portnoy, I. (2017). Evaluación de la *Cassia fistula* como coagulante natural en el tratamiento primario de aguas residuales. *Orinoquia*, 21(1), 73-78. <https://doi.org/10.22579/20112629.396>
- Ugwu, S. N., Umuokoro, A. F., Echiegu, E. A., Ugwuishiwu, B. O., & Enweremadu, C. C. (2017). Comparative study of the use of natural and artificial coagulants for the treatment of sullage (domestic wastewater). *Cogent Engineering*, 4, Article 1365676. <https://doi.org/10.1080/23311916.2017.1365676>
- Vunain, E., Masoamphambe, E. F., Mpeketula, P. M. G., Monjerezi, M., & Etale, A. (2019). Evaluation of coagulating efficiency and water borne pathogens reduction capacity of *Moringa oleifera* seed powder for treatment of domestic wastewater from Zomba, Malawi. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(3), Article 103118. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103118>
- Wolf, G., Schneider, R. M., Bongiovani, M. C., Morgan Uliana, E., & Garcia do Amaral, A. (2015). Application of coagulation/flocculation process of dairy wastewater from conventional treatment using natural coagulant for reuse. *Chemical Engineering Transactions*, 43, 2041-2046. <https://doi.org/10.3303/CET1543341>