



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LA EFICIENCIA DE  
BIOCOAGULANTES RESPECTO A LOS  
COAGULANTES SINTÉTICOS EMPLEADOS EN EL  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

AUTORA

Mercy Carmen Jaramillo Guamán

AÑO

2020



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LA EFICIENCIA DE BIOCOAGULANTES  
RESPECTO A LOS COAGULANTES SINTÉTICOS EMPLEADOS EN EL  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos  
establecidos para optar el título de Ingeniera Ambiental en Prevención y  
Remediación

Profesora guía

Máster. Viviana Pavlova Sigcha Terán

Autora

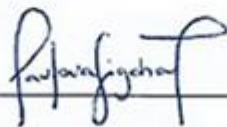
Mercy Carmen Jaramillo Guamán

Año

2020

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

"Declaro haber dirigido el trabajo, revisión bibliográfica de la eficiencia de biocoagulantes respecto a los coagulantes sintéticos empleados en el tratamiento de aguas residuales, a través de reuniones periódicas con la estudiante Mercy Carmen Jaramillo Guamán, en el semestre 202020, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".



---

Viviana Pavlova Sigcha Terán.

Máster en Gestión Integral del Agua.

C.I:172221616-3

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

"Declaro haber revisado el trabajo, Revisión bibliográfica de la eficiencia de biocoagulantes respecto a los coagulantes sintéticos empleados en el tratamiento de aguas residuales, de la estudiante Mercy Carmen Jaramillo Guamán, en el semestre 202020, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".



---

Marco Vinicio Briceño León

Máster en Energías Renovables

C.I:1715967319

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”



---

Mercy Carmen Jaramillo Guamán

CI: 2200051528

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios y a la Virgencita del Cisne que me han bendecido en todo este tiempo, por permitirme culminar esta etapa más en mi vida.

Agradezco a mi familia, por ser un pilar fundamental en mi vida, por su sacrificio y entrega absoluta. A mi mamá Nancy, por su apoyo constante y por sus palabras de aliento, a mi papá Rosendo por ser mi motivación e impulso para seguir adelante y a mis hermanos por apoyarme en mi carrera.

A mi tutora guía la Máster. Pavlova Sigcha y a mi tutor corrector el Máster. Marco Briceño por brindarme sus conocimientos y experiencia en este trabajo. A mis profesores Alejandro e Indira por su apoyo constante en todo el transcurso de mi carrera.

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis con todo cariño a mis padres, hermanos y sobrino por ser el motor de mi vida y la inspiración para cumplir cada uno de mis sueños. Por brindarme las palabras exactas para no desmayar ante mi anhelo de ser una profesional y ser mi ejemplo de lucha y perseverancia.

## RESUMEN

La coagulación es el proceso más importante en el tratamiento convencional del agua. Sus aplicaciones incluyen la eliminación de sustancias en suspensión mediante la adición de coagulantes químicos, y estos a su vez trae las siguientes desventajas: altos costos de operación, producción de grandes cantidades de lodo e impacto y variaciones en el pH del agua tratada. Por lo expuesto anteriormente, es preciso encontrar opciones que incluyan el uso de coagulantes naturales, derivados de las plantas que son menos nocivos para el medio ambiente y que alcancen elevados porcentajes de remoción durante el tratamiento de aguas.

El propósito de este trabajo es realizar una revisión bibliográfica del uso de coagulantes naturales en comparación con los coagulantes sintéticos, que se utilizan para eliminar parámetros fisicoquímicos como; la turbidez, conductividad eléctrica, sólidos totales, DBO<sub>5</sub> y DQO durante el tratamiento de aguas residuales, y revelar otros aspectos importantes.

Como una de las conclusiones de este estudio, se tiene que los extractos derivados de plantas reportados son efectivos, ya que se logra evidenciar el porcentaje de remoción de cada estudio, a los datos que se revisó con un 92% turbidez en el primer estudio, 68.2% en el segundo estudio y el 24.71% en el tercer estudio y en sólidos suspendidos totales alcanzaron un 96% en el primer estudio, 26% en el segundo estudio y en el tercer estudio 84.12%, lo que involucra beneficios para la salud humana y el medio ambiente, convirtiéndolos en una alternativa menos toxica para el tratamiento de aguas.

El presente trabajo de investigación determinó a base de revisión bibliográfica que los coagulantes naturales pueden ser empleados para el tratamiento de aguas residuales, demostrando un 96% de remoción en parámetros fisicoquímicos.



## **ABSTRACT**

Coagulation is the most important process in conventional water treatment. Its applications include the elimination of suspended substances through the addition of chemical coagulants, and these in turn bring the following disadvantages: high operating costs, production of large quantities of mud and impact and variations in the pH of the treated water. Due to the aforementioned, it is necessary to find options that include the use of natural coagulants, derived from plants that are less harmful to the environment and that reach high removal rates during water treatment.

The purpose of this work is to perform a bibliographic review of the use of natural coagulants compared to synthetic coagulants, which are used to eliminate physicochemical parameters such as; turbidity, electrical conductivity, total solids, BOD5, and COD during wastewater treatment, and reveal other important aspects.

As one of the conclusions of this study, it is considered that the extracts derived from plants reported are effective, since it is possible to demonstrate the removal percentage of each study, to the data that was reviewed with 92% turbidity in the first study, 68.2% in the second study and 24.71% in the third study and in total suspended solids reached 96% in the first study, 26% in the second study and in the third study 84.12%, which entail benefits for human health and the environment, making them a less toxic alternative for water treatment.

The present research work determined based on a bibliographic review that natural coagulants can be used for wastewater treatment, demonstrating 96% removal in physicochemical parameters.

# ÍNDICE

1. Capítulo I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Planteamiento el problema.....	2
1.3. Objetivos .....	5
1.3.1. Objetivo general .....	5
1.3.2. Objetivos específicos.....	5
1.4. Alcance.....	5
1.5. Justificación.....	5
2. Capítulo II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1. Aguas residuales .....	7
2.1.1. Generación de aguas residuales .....	7
2.1.2. Clasificación de las aguas residuales .....	8
2.2. Impactos de las aguas residuales .....	8
2.3. Tecnologías de tratamiento de aguas residuales.....	10
2.3.1. Tecnologías convencionales.....	10
2.3.2. Tecnologías sostenibles .....	14
2.4. Coagulación – Floculación .....	14
2.4.1. Descripción del proceso de coagulación.....	16
2.4.1.1. Comprensión de la doble capa.....	17
2.4.1.2. Adsorción y neutralización de cargas .....	17
2.4.1.3. Atrapamiento de partículas dentro de un precipitado .....	18
2.4.1.4. Adsorción y puente .....	18
2.4.2. Etapas de la coagulación.....	18
2.4.3. Floculación .....	19

2.4.4.	Principales coagulantes .....	20
2.4.5.	Principales floculantes .....	22
2.5.	Coagulantes naturales .....	23
2.5.1.	Coagulantes naturales más utilizados .....	24
2.5.2.	Ventajas y desventajas de los coagulantes naturales .....	26
3.	Capítulo III: REVISIÓN DE ESTUDIOS EXPERIMENTALES .....	26
3.1.	Metodología utilizada .....	26
3.1.1.	<i>Moringa oleífera</i> vs. Sulfato de aluminio .....	27
3.1.2.	<i>Cassia fistula</i> vs. Sulfato de aluminio .....	32
3.1.3.	<i>Moringa oleífera</i> y <i>Lemaireoreus griseus</i> vs. Sulfato de aluminio y Policloruro de aluminio (PAC) .....	36
4.	Capítulo IV: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS ENCONTRADOS .....	42
4.1.	Tipos de biocoagulantes .....	42
4.2.	Comparación de coagulantes naturales vs coagulantes químicos .....	44
5.	Capítulo V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	46
5.1.	Conclusiones .....	46
5.2.	Recomendaciones .....	47
	REFERENCIAS .....	48

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.....	8
Clasificación de las aguas residuales.....	8
Tabla 2.....	9
Impactos negativos de las aguas residuales. ....	9
Tabla 3.....	13
Procesos químicos para el tratamiento de aguas residuales.....	13
Tabla 4.....	21
Clasificación según las cargas de los polímeros orgánicos. ....	21
Tabla 5.....	24
Clasificación de coagulantes más utilizados. ....	24
Tabla 6.....	26
Ventajas y desventajas de los coagulantes naturales. ....	26
Tabla 7.....	27
Lectura inicial de agua residual de beneficio de café y agua residual de pelado químico de vegetales. ....	27
Tabla 8.....	28
Lectura final de las aguas residuales de beneficio de café y pelado químico de vegetales. ....	28
Tabla 9.....	32
Lectura inicial de agua residual de la estación de bombeo de la ciudad de Cartagena de Indias - Colombia.....	33
Tabla 10.....	34
Lectura final de las aguas residual de la estación de bombeo de la ciudad de Cartagena de Indias - Colombia.....	34
Tabla 11.....	37

Lectura inicial de agua residual del efluente del sistema de tratamiento de aguas residuales de la planta de tratamiento Salguero – Colombia.....	37
Tabla 12.....	38
Lectura final de agua residual del efluente del sistema de tratamiento de aguas residuales de la planta de tratamiento Salguero – Colombia.....	38
Tabla 13.....	42
Revisión de los coagulantes naturales en las tres revisiones bibliográficas. ...	42

## ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1. <i>Coagulación</i> . .....	16
Tomado de (Andía, 2000) .....	16
Figura 2. <i>Etapas de la coagulación</i> . .....	19
Tomado de (Andía 2000) .....	19
Figura 3. <i>Resultado del porcentaje de remoción del estudio 1 de agua residual de beneficio de café</i> . .....	30
Figura 4. <i>Resultado del porcentaje de remoción del estudio 1 de agua residual de pelado químico de vegetal</i> .....	30
Figura 5. <i>Resultado del porcentaje de remoción del estudio 2 de agua residual doméstica</i> . .....	35
Figura 6. <i>Resultado del porcentaje de remoción del estudio 3 de agua residual de Estación Salguero</i> .....	40
Figura 7. <i>Comparación de coagulantes naturales vs coagulantes químicos</i> ....	45

## 1. Capítulo I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. Antecedentes

Uno de los principales problemas que enfrenta el mundo es el suministro de agua dulce, porque es esencial para la supervivencia humana (Sagüí, Madrigal, & Estigarribia, 2017). En la tierra, la disponibilidad de agua dulce es limitada: el 0.8% del agua dulce existente, el 97% del agua corresponde al agua subterránea y solo el 3% es agua superficial. Aun así, esta no siempre es adecuada para el consumo humano, por lo que es necesario eliminar las impurezas presentes para cumplir con el estándar de consumo (UNESCO, 2019).

Según (Londoño, Giraldo, & Gutiérrez, 2010), Los principales parámetros mencionados en la evaluación de la calidad de las aguas residuales tratadas son la turbidez y el color. Las partículas coloidales que imparten turbidez y color, especialmente en el agua natural, están mayormente cargadas negativamente en su superficie, lo que forma una barrera repulsiva entre ellas, lo que las hace incapaces de reunirse. Por lo tanto, es necesario promover el cambio de las características superficiales de las partículas mediante la adición de coagulantes, que es el primer paso en el proceso de tratamiento del agua cruda en la estación de purificación. Todas las otras etapas posteriores dependen de una coagulación exitosa (Nieto, 2011).

La coagulación se define como la adición de productos químicos y la mezcla para hacer que las partículas y algunos contaminantes disueltos se condensen en partículas más grandes, que pueden eliminarse mediante el proceso de eliminación de sólidos; el proceso de coagulación fisicoquímica intenta inestabilizar, precipitar y suspender las partículas coloidales (Yin, 2010). Los sólidos promueven la extracción formando flóculos, eliminan coloides y partículas suspendidas del agua, reducen la turbidez, el color y, en menor medida, reducen las bacterias (Londoño, Giraldo, & Gutiérrez, 2010).

Sus aplicaciones incluyen la adición de coagulantes químicos convencionales; sin embargo, el uso de estos coagulantes tiene algunas desventajas, como los elevados costos de compra, la producción de grandes cantidades de lodo y su impacto significativo en el pH del agua tratada (Yin, 2010).

Los coagulantes más utilizados que, entre ellos se puede mencionar el sulfato de aluminio, que muestra buenos resultados en la eliminación de contaminantes. Sin embargo, debido a su uso, tiene un gran impacto en la economía y el medio ambiente. Además, su uso generará una gran cantidad de lodo residual, que es difícil de tratar (Llano et al., 2014). Por otro lado, el lodo residual producirá tierras inertes que no son adecuadas para ningún cultivo. La gran cantidad de aluminio que queda en el agua tratada pone en peligro la salud pública porque grandes cantidades de aluminio pueden causar el síndrome de Alzheimer (Matías et al., 2018). La investigación médica realizada en Inglaterra encontró que en lugares donde la concentración de aluminio en el agua excede 0.110 mg/L, el riesgo de desarrollar esta enfermedad es 1.5 veces mayor (Llopis & Ballester, 2002).

Por otro lado, la historia de los coagulantes naturales extraídos de las plantas utilizadas en el tratamiento del agua se remonta a miles de años, y se realizan investigaciones continuas para identificar el potencial de diferentes plantas a este respecto, reduciendo así el uso de productos químicos sintéticos, así como la producción de lodos biodegradables (Fuentes, Molina, & Ariza, 2016).

En este trabajo se realizará una revisión bibliográfica de la eficiencia de los coagulantes naturales con respecto a los coagulantes sintéticos para el tratamiento de aguas residuales, además de comparar el porcentaje de remoción de ambos coagulantes.

## **1.2. Planteamiento el problema**

El agua es un recurso natural indispensable para el crecimiento y desarrollo biológicos, por lo tanto, se usa ampliamente en diversas actividades de producción llevadas a cabo por los humanos; además, tiene fundamental



relevancia en el ciclo hidrológico en los ecosistemas, formando parte de la interacción de las especies inmersas en un lugar (Wiki, 2007).

El principal problema del mundo actual es la falta de instalaciones de saneamiento para acceder al agua dulce y/o al agua potable. Si se agrega la contaminación del agua, la situación empeorará. Los desechos arrojados al agua dulce y la contaminación del agua salada, fertilizantes, pesticidas o productos químicos pueden causar contaminación (Domínguez, 2010).

Solo el 20% de las aguas residuales del mundo reciben un tratamiento antes de sus descargas, mientras que el 80% no se tratan adecuadamente para evitar la propagación de la contaminación y las enfermedades, lo que es particularmente perjudicial para los países menos desarrollados (PNUMA, 2015). Además, un número pequeño de plantas de tratamiento funcionan correctamente, el resto realiza una depuración ineficiente, principalmente por el alto costo de operación y mantenimiento (PNUMA, 2017).

Si las aguas residuales no son tratadas, generalmente se descargan en aguas superficiales, lo que llega a ser perjudicial para la salud humana, la ecología y los animales (Domínguez, 2010).

En términos de recursos hídricos, Ecuador representa a uno de los países con mayor riqueza en América Latina, con alrededor de 43,500 m<sup>3</sup> por persona por año, es decir, el doble del promedio mundial (CEPAL, 2018). Sin embargo, se considera que en servicios básicos y tratamiento de aguas residuales su tecnología está retrasada en comparación a otros países (WWAP, 2017). No cabe duda de que, en los últimos años, los fondos necesarios para desarrollar plantas de tratamiento de aguas residuales se han distribuido a varias ciudades. En 2014, se invirtió USD 12,3 millones en la ciudad de Quito para construir una planta de tratamiento de aguas residuales (EDAR) con lodo activado en Quitumbe; y se espera implementar otras medidas en el futuro para tratar de manera integral y adecuada las aguas residuales generadas por los habitantes (EPMAPS, 2017).

Los coagulantes químicos se usan comúnmente en el tratamiento de aguas residuales; sin embargo, es necesario reemplazarlos con coagulantes naturales para evitar que el lodo se contamine con metales pesados, los que tienen efectos adversos en los humanos y los ecosistemas (Wiki, 2007). En este momento, el coagulante más utilizado en el proceso de purificación de agua es el coagulante inorgánico, por ejemplo: sulfato de aluminio  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  (Fuentes et al., 2016). Los coagulantes inorgánicos tienen diferentes desventajas ambientales y económicas. Parte del lodo formado en el proceso de sedimentación es el residuo de coagulante que no ha reaccionado en este proceso, cambiando así las características naturales del agua residual y luego descargándola en ella (Llano et al., 2014).

Por lo tanto, el uso de coagulantes de fuentes naturales con el potencial de eliminar la turbidez tiene un impacto importante en el tratamiento del agua. Los beneficios son costos reducidos, impactos ambientales minimizados del uso y almacenamiento del agua, y la síntesis de contaminantes. La bioacumulación reduce la toxicidad de los lodos y los problemas de salud; por lo tanto, también reduce los desechos sólidos generados por los lodos formados por sales de hierro y aluminio (Banchón et al., 2008).

En Morejón (2017), con el fin de demostrar la eficiencia de la cactácea *Opuntia ficus-indica* como coagulante en la purificación de agua sintéticas con alta turbidez, estudio realizado en laboratorio, con diferentes valores de turbidez, desde 100 a 200 UNT, las cuales se realizaron parámetros fisicoquímicos, determinado dosis óptimas de 350 y 450 mg/L, respectivamente. Dando como resultado una tasa de remoción de turbidez de 91,39 y 96,02%. Después del filtrado, el color alcanza una tasa de eliminación del 95,63-100%. Después de usar el coagulante, el pH terminó entre 6,77 y 7,23 unidades de pH, con cambios mínimos en la alcalinidad. Los parámetros evaluados están dentro del rango requerido por los estándares venezolanos de saneamiento de agua potable.

Por ello, a continuación, se presentan los siguientes objetivos para la revisión bibliográfica de la eficiencia de biocoagulantes respecto a los coagulantes sintéticos empleados en tratamientos de aguas residuales.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Realizar una revisión bibliográfica de la eficiencia de biocoagulantes respecto a los coagulantes sintéticos empleados en el tratamiento de aguas residuales.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Comparar el porcentaje de remoción de parámetros fisicoquímicos en ambos tratamientos.
- Determinar la eficiencia de los biocoagulantes en base a estudios experimentales realizados.

### **1.4. Alcance**

La presente investigación tiene como fin realizar una revisión bibliográfica de la eficiencia de los biocoagulantes respecto a los coagulantes sintéticos (químicos) empleados en el tratamiento de aguas residuales, por lo cual se ha realizado una comparación del porcentaje de remoción de los parámetros fisicoquímicos de ambos tratamientos de los resultados investigados. De esta forma se evaluará la eficiencia de los coagulantes naturales como una posible alternativa económica y ecológica en base de estudios realizados.

### **1.5. Justificación**

El trabajo actual se centra en la contaminación de los recursos hídricos, en primer lugar, el daño causado por la intervención humana, que cambia las

condiciones de ciertas preparaciones físicas, químicas y microbianas de este recurso; este es uno de los grandes efectos sobre la vida natural y el desarrollo humano.

Uno de los fenómenos ópticos que podemos ver en la contaminación del agua es la turbidez y otros parámetros importantes. Esta característica física es causada por sustancias insolubles, que se encuentran en estado suspendido o coloidal, que es característica de la fuente de agua residual (Fernández, 2012). Las aguas residuales llegan a ser utilizada para riego agrícola. A nivel mundial, al menos 50 países las utilizan para este propósito, lo que representa aproximadamente el 10% del área total de tierra cultivada. Sin embargo, los datos disponibles sobre este uso en muchas partes del mundo aún están incompletos (UNESCO, 2017). Para precipitar partículas suspendidas y descomponer los agregados orgánicos presentes en las aguas residuales, se debe usar un coagulante para los sólidos y mejorar la calidad del agua. Los coagulantes químicos, como: sulfato de aluminio, policloruro de aluminio o cloruro férrico, pueden causar enfermedades neurodegenerativas al ser humanos (Domínguez, 2010).

Es conveniente utilizar productos naturales para tratar el agua. Los cuales pueden eliminar eficazmente parámetros fisicoquímicos y biológicos sin causar efectos secundarios en la salud. Reemplazar los coagulantes tradicionales con alternativas naturales es una opción que ayuda a proteger el medio ambiente y, por lo tanto, minimiza los efectos del uso excesivo de compuestos químicos en el tratamiento del agua (Fuentes et al., 2016).

Por lo tanto, se realizaron investigaciones del estado del arte (revisión bibliográfica) y estudios comparativos de ambos coagulantes (sintéticos y naturales) para fijar la eficacia de los coagulantes biológicos en función a estudios experimentales realizados con el fin de generar información comprensible. Las ventajas de usar tales alternativas de tratamiento pueden ayudar a reducir el impacto ambiental en los recursos hídricos.

## **2. Capítulo II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Aguas residuales**

Se define a las aguas residuales, como aquellas que han cambiado sus características originales debido a su exposición a contaminantes principalmente de actividades del hombre y de los animales. Así como las aguas de lluvia que son recogidas en los sistemas de alcantarillas o arrojadas al ambiente (Lazcano, 2016). En lo que respecta a las aguas residuales domésticas (también llamadas aguas residuales urbanas), los factores que causan la contaminación incluyen desechos fisiológicos, detergentes, desechos de cocina, etc. Por lo tanto, debido a su alto contenido de contaminantes, es necesario pretratar el agua antes de reutilizarla o descargarla en un pasaje natural.

#### **2.1.1. Generación de aguas residuales**

En Ecuador, las actividades humanas y agrícolas son las fuentes principales para la contaminación del agua. Según la investigación, casi todas las fuentes de agua existentes en nuestro país que se encuentran a una altitud inferior a 2000 metros están contaminadas. Además, es importante mencionar que existen pocas técnicas para el tratamiento de aguas residuales para las zonas rurales o urbanas (WWAP, 2017).

Según lo mencionado por el (INEC, 2016), más del 60% de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales, realizan un respectivo tratamiento a las aguas residuales de su ciudad; mientras que, el 40% restante no realizan tratamiento alguno a sus aguas residuales. Además, se menciona que en la región Sierra, poseen 210 plantas de tratamiento, la región Costa con 129, la región Amazónica con 80 y la región Insular con 2 plantas de tratamiento de aguas residuales (INEC, 2016).

### 2.1.2. Clasificación de las aguas residuales

Las aguas residuales son aguas que contienen impurezas en descargas de diferentes fuentes (principalmente domésticas e industriales). De esta manera, tenemos que las aguas residuales pueden contener elementos contaminantes originados por desechos urbanos o industriales (HIDROTEC, 2016).

Según (Lazcano, 2016), existen las siguientes aguas residuales:

*Tabla 1*

*Clasificación de las aguas residuales.*

<b>Aguas residuales domésticas</b>	Estas aguas están conformadas por la excreta de la población, incluyendo heces y orina, residuos de lavandería, residuos de cocina y sustancias recalcitrantes.
<b>Aguas residuales municipales</b>	Son provenientes de los efluentes domésticos, industrias pequeñas y sectores comerciales, como son: restaurantes, mercados, comercios, oficinas, etc.
<b>Aguas residuales industriales</b>	Aguas provenientes de las grandes zonas industriales, que generalmente deben ser tratadas antes de ser descargadas, y cumplir con la normativa para descargas industriales.

Adaptado de: (Lazcano, 2016).

## 2.2. Impactos de las aguas residuales

Descargar las aguas residuales sin un respectivo tratamiento puede ser extremadamente perjudicial para el ser humano y el medio ambiente. Entre sus consecuencias se incluye enfermedades dadas por vectores, contaminación y pérdida de biodiversidad y ciclos de los ecosistemas (Jáuregui et al., 2007).

Muchos productos químicos domésticos, especialmente los que se usan en grandes cantidades, como detergentes y productos para el cuidado personal

(PPCP), eventualmente se convierten en desechos que contaminan el agua. Los biosólidos generados después de procesar estas aguas residuales pueden ser importantes depósitos de almacenamiento para muchos PPCP, y su aplicación al suelo puede introducir estos contaminantes en ambientes terrestres y acuáticos (PNUMA, 2017).

Además, los microorganismos patógenos provenientes de aguas residuales se propagan por el medio ambiente y llegan a las personas a través de la contaminación del agua (Sagüí et al., 2017). El tratamiento actual, para tratar aguas residuales son los métodos biológicos y fisicoquímicos, dado que reducen en gran medida el hecho de enfermedades en la población, causadas por las bacterias, sin embargo, los protozoos y los virus no suelen ser eliminados ya que son más resistentes que las bacterias (Llopis & Ballester, 2002).

Según (WWAP), Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos. Se menciona ejemplos de impactos para la salud, medio ambiente y economía.

*Tabla 2*

*Impactos negativos de las aguas residuales.*

<b>Impactos:</b>	<b>Detalle de los impactos.</b>
<b>Salud</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento de morbilidad a causa de la calidad del agua potable.</li> <li>- Aumento de enfermedades por mala calidad del agua de baño.</li> <li>- Aumento de morbilidad a causa de alimentos nocivos, por ejemplo; verduras, pescado, entre otros.</li> <li>- Riesgo alto para enfermedades por trabajos en áreas con aguas residuales.</li> </ul>
<b>Medio Ambiente</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Disminución de biodiversidad.</li> <li>- Daños a los ecosistemas acuáticos (Por ejemplo; eutrofización)</li> <li>- Malos olores.</li> <li>- Aumento de emisiones de gases de efecto invernadero.</li> <li>- Elevadas temperaturas del agua.</li> <li>- Bioacumulación de toxinas.</li> </ul>
<b>Economía</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reducir la productividad industrial.</li> <li>- Reducir la productividad agrícola.</li> </ul>

- 
- Se reduce el mercado del cultivo cosechado, si se utilizan aguas residuales peligrosas.
  - Reducción de actividades recreativas acuáticas (menos turistas o eliminación de pago de los servicios de entretenimiento)
  - Reducción de la producción de pescado y mariscos, o del valor de mercado del pescado y los mariscos.
  - Costos de los tratamientos de agua muy elevados (para el abasto del ser humana y otros usos)
- 

Adaptado de: (WWAP, 2017).

### **2.3. Tecnologías de tratamiento de aguas residuales**

Si el agua residual no es tratada adecuadamente antes de descargarse, puede contener compuestos tóxicos, compuestos que son difíciles de degradar o sustancias con un pH que está lejos de ser neutral. Dependiendo de la contaminación que traigan, los procesos necesarios para un tratamiento adecuado variarán (Gil et al., 2012), entre las principales tecnologías usadas tenemos:

#### **2.3.1. Tecnologías convencionales**

Aunque el tratamiento de aguas residuales es una práctica antigua, hoy en día es fundamental para proteger nuestra vida. Existen muchas tecnologías de tratamiento a largo plazo, y no hay duda de que el conocimiento y el diseño de estas tecnologías han mejorado mucho a lo largo de los años (Rodríguez et al., 2006).

Al revisar los métodos de tratamiento unitario más convencionales, no es fácil organizar una clase general. Las formas más operadas depende de la base del tratamiento, ya sea física, química o biológica o del contaminantes que se encuentren en el agua, pueden ser: materia suspendida, coloides o materia disuelta (Rodríguez et al., 2006).



Acto seguido, se relatan las operaciones unitarias más comunes. El uso de uno u otro depende de las características de las partículas (tamaño, densidad, forma, etc.) y su concentración.

#### - **Sistemas de filtración (Filtros y rejillas)**

En esta operación, se eliminan los sólidos más grandes que suelen tener partículas que logran transportar las aguas. El propósito es evitar y a su vez evitar que se deterioren los equipos después de otro procesamiento. Suelen ser tratamiento inicial (Leal, n.d.).

El equipo de uso común para circular el agua, son las rejillas, que están hechas de barras de metal de 6 mm o más, colocadas horizontalmente en intervalos de 10 a 100 mm. Su limpieza se realiza con rastrillos que generalmente funcionan de forma mecánica (Remtavares, 2016).

En otros asuntos, la filtración es la operación del flujo de agua por medios porosos, con el propósito de atrapar toda la materia suspendida. El medio poroso utilizado comúnmente es un lecho de arena altamente variable, que se distribuye en diferentes capas con diferentes tamaños de partículas, la parte superior es pequeña con medidas aproximadas de 0,15 a 0,3 mm (DAS, 2017). Este es un trabajo ampliamente realizado en el tratamiento del agua potable y reutiliza el tratamiento del agua para separar la materia suspendida (sedimento) que no se ha separado en operaciones anteriores. En el agua industrial, se utilizan más tipos de materiales de filtro, y el uso de tierra de diatomeas es muy común. Para aumentar la eficiencia también es común realizar una coagulación-floculación previa (Prakash, Sockan, & Jayakaran, 2014).

#### - **Sistemas de flotación**

Es una operación física, en la que se generan mínimas burbujas de aire, que se relacionan con partículas presentes en el agua y logran flotar, luego se arrastrarán y son eliminadas del sistema (Leal, n.d.). Obviamente, es apropiada

cuando la densidad de las partículas supere la densidad del agua o estén parecidas, y en el caso de las emulsiones, la agregación del líquido inmisible, por ejemplo; las grasas y aceite ayudarán para que logren flotar más rápido ya que su densidad es menor al del agua (Nieto, 2011).

A la hora del diseño es importante la relación de aire/sólido, ml/L de aire por cada mg/L de sólidos suspendidos presentes en el agua. Son datos determinados experimentalmente y tiene un valor óptimo entre 0.005 y 0.06 mg/L (Prakash et al., 2014).

#### - **Tratamientos biológicos**

Forman una serie de técnicas de tratamiento importantes, que generalmente usan microorganismos (incluidas las bacterias) para eliminar los componentes defectuosos del agua, donde utilizan su actividad metabólica en estos componentes. Las aplicaciones tradicionales incluyen la separación de materia orgánica biodegradable, incluidos los solubles y coloides, y la separación de combinados que retienen nutrientes (N y P). Es uno de los métodos de tratamiento más comunes, presentes en las aguas residuales urbanas y también en la mayoría de las aguas industriales (Rodríguez et al., 2006).

En este proceso, se utilizan organismos vivos, como ese el caso de los microorganismos que utilizan sustancias presentes en el agua para obtener carbono como fuente de energía para crecer y transformarlos en biomasa, dióxido de carbono que no dañen al medio acuático. Esta fuente de contaminantes se denomina consumo de sustrato. El proceso de crecimiento de la biomasa está completamente relacionado con el proceso de consumo de sustrato, y el rendimiento se denomina biomasa producida por unidad de eliminación de sustrato (Robles, Seco, & Robles, 2018).

#### - **Tratamientos químicos**

El propósito de este tratamiento es cambiar el estado físico del contaminante en una forma estable, por medio de la adición de ciertos productos químicos para convertirlo en partículas que puedan separarse por sedimentación. Mediante este tratamiento, puede eliminarse el 80 a 90% de la materia total suspendida, el 40 a 70% de DBO5 y el 30% a 40% de DQO (Wiki, 2007).

A continuación, los siguientes procesos químicos más comunes en el tratamiento de aguas residuales:

*Tabla 3*

*Procesos químicos para el tratamiento de aguas residuales.*

<b>Neutralización</b>	Esta tecnología se maneja para neutralizar el valor de pH, en la cual se añaden ácidos o bases para ajustar valores de descarga o preliminares al siguiente nivel de tratamiento.
<b>Reacciones redox (reducción-oxidación)</b>	Se emplean procesos de oxidación para eliminar compuestos difíciles de biodegradar durante el tratamiento de agua residual y/o agua potable; compuestos oxidantes son utilizados para eliminar pesticidas e hidrocarburos clorados presentes.
<b>Precipitación</b>	Proceso químico, en el que se añaden sales como son: sulfato de hierro (II), cloruro férrico y cloruro de aluminio.
<b>Intercambio de iones</b>	Por ejemplo, iones de calcio por iones de sodio; además se utiliza para el ablandamiento y cambio de salinización del agua.

Adaptado de: (DAS, 2017).

**- Separadores por gravedad**

Operación física que usa la gravedad para hacer que las partículas sean más densas que el agua y así logren llegar al fondo y sedimenten. Esto quiere decir que a mayor tamaño y densidad de las partículas mayor será la velocidad de sedimentación y más efectiva será esta operación. Esta operación de sedimentación también se conoce comúnmente como decantación (Remtavares, 2016). De hecho, las partículas de este tipo (grandes y densas, como la arena) rara vez se encuentran en el agua industrial. Lo común es hallar sólidos de baja

densidad, por lo que es necesario mejorar la eficiencia de la operación y realizar la coagulación-floculación previa, que será explicado después, incluida la suma de ciertos reactivos químicos para ayudar a aumentar la densidad de las partículas y su tamaño (HIDROTEC, n.d.).

### **2.3.2. Tecnologías sostenibles**

La tecnología sostenible de tratamiento de agua se basa en procedimientos de purificación natural que no necesita de químicos. Eliminar contaminantes utilizando flora acuática, microorganismos y suelo (Londoño et al., 2010).

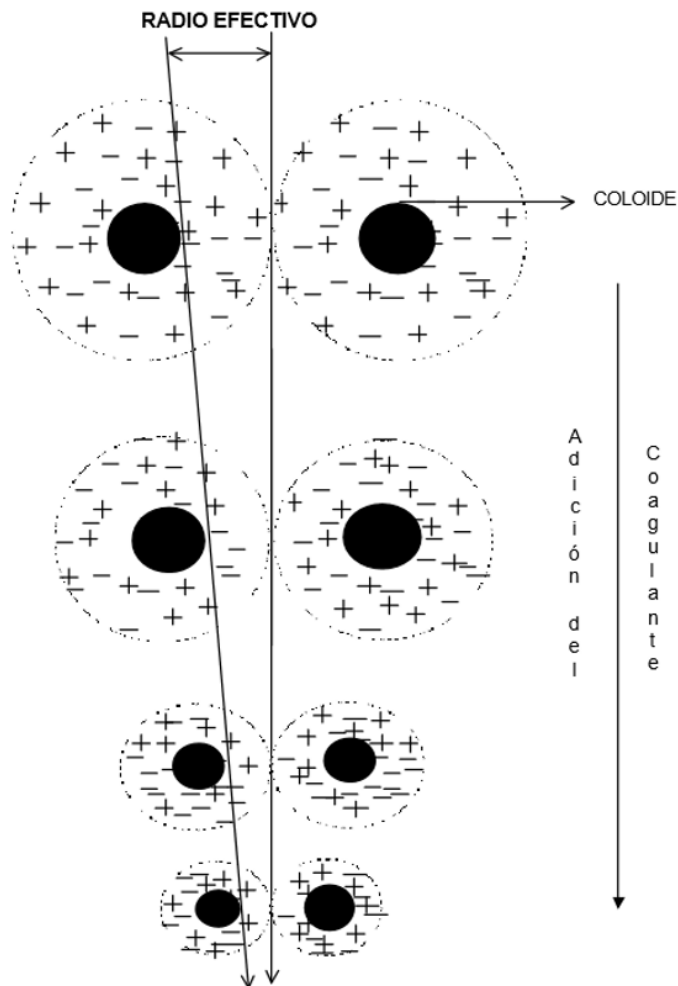
Por ejemplo, vale la pena enfatizar que los humedales construidos, los sistemas de purificación natural, donde el proceso de purificación se lleva a cabo simultáneamente a través de componentes físicos, químicos y biológicos. Donde el área de tratamiento es de 20 a 80 veces más grande que la tecnología tradicional, por lo general, su aplicación se da en áreas rurales, y su uso se limita a la obtención de tierras a un costo asequible (Arias et al., 2017)

Finalmente, en la gestión integral y sostenible del agua, debe considerarse la reutilización del agua. Después de la regeneración del agua, su uso puede ser adecuado para diversas actividades como son: zonas recreativas, municipales, industriales, agrícolas y acuíferos. No hay duda de que al reutilizar el agua regenerada (Nieto, 2011). La tecnología sostenible es una herramienta muy adecuada para facilitar este cambio, especialmente para que los países en desarrollo logren cumplir con el objetivo de Desarrollo Sostenible. Además, esto tendrá una marca efectiva en la calidad de vida, ya que mejorará significativamente varios indicadores como la salud pública (Leal, n.d.).

## **2.4. Coagulación – Floculación**

Es la adición de floculantes químicamente reactivos al agua para mezclar con coloides no sedimentables, y luego depositar lentamente los sólidos en suspensión para producir flóculos rápidamente sedimentados. La coagulación es la rápida adición y mezcla de coagulante, lo que conduce a inestabilidad de los sólidos suspendidos finos coloidales y a la agregación inicial de sólidos particulados inestables (Verma, Dash, & Bhunia, 2012).

La coagulación consiste en la fase preliminar que elimina las partículas coloidales, terminando en grupos para formarse en mayor tamaño para que así logren sedimentar (Andía, 2000). Esto quiere decir que las capas cargadas producen una conexión entre sí; de manera que, para su expulsión es necesario la disminución de la pared energética en la cual neutralizan las cargas eléctricas y provocando que colisionen entre sí, esta interrupción de carga es conocida como coagulación. Una forma de obtener este fin es añadir cationes trivalentes al agua. Las partículas insolubles presentes en el agua se deben a la interacción eléctrica de doble capa debido a la repulsión de estas, es decir la capa exterior tiene generalmente carga negativa que impide que se agrupen. Por otro lado, se crea una energía entre ellas cuando las capas se encuentran cargadas y envuelven las partículas. Para que se produzca la coagulación es necesario el descenso de la pared energética equilibrando las cargas eléctricas y provocando que las partículas puedan toparse entre sí (Vargas & Romero, 2006).



La adición de un coagulante neutraliza las cargas, produciendo un colapso de la "nube de iones" que rodean los coloides de modo que puedan aglomerarse.

Figura 1. *Coagulación.*

Tomado de (Andía 2000).

#### 2.4.1. Descripción del proceso de coagulación

Según (Andía, 2000), la coagulación es un proceso químicamente inestable de partículas coloidales. En la que ocurre reacción físicas y químicas entre el coagulante, las partículas, el agua y la alcalinidad de esta, se puede lograr a través de los siguientes mecanismos fisicoquímicos:

#### **2.4.1.1. Comprensión de la doble capa**

Cuando se acercan dos partículas similares, su capa de difusión interactúa y genera una fuerza repulsiva, cuyo potencial repulsivo hacen que se distancien y disminuya el aumento del ion de carga opuesto a la partícula, esto se logra sólo con los iones del coagulante. Entre mayor distanciamiento, las partículas no podrán atraerse (Andía, 2000).

Así mismo, existe una fuerza de atracción entre las partículas, que es comúnmente conocida como fuerza de Van der Waals, que depende principalmente de los átomos que forman las partículas y la densidad, a lo contrario de las fuerzas repulsivas que no se ven afectadas por la fuerza de Van der Waals (Fahmi et al., 2011).

#### **2.4.1.2. Adsorción y neutralización de cargas**

La superficie de las partículas coloidales está cargada negativamente. Estas llamadas cargas principales atraen iones positivos en la solución en agua y crean la capa originaria para unirse al coloide (Barrenechea, 2000).

La potencial creado en el plano de corte es la fuerza electrocinética ZETA, que controla el desplazamiento y la interacción del coloide (CEPAL, 2018).

La coagulación es un potencial eléctrico que se elimina mediante el proceso de coagulación-floculación, donde la fuerza del mezclado para el movimiento browniano no alcance y es necesario la adición de energía suplementaria. En este caso, es necesario incluir una agitación mecánica (Andía, 2000).

Agregar una cantidad excesiva de coagulante al agua, se genera una rentabilidad de la carga de la partícula. Se entiende que las elevadas dosis de coagulante se adhieren en la superficie de las partículas, generando una carga opuesta a la inicial (Yin, 2010).

#### **2.4.1.3. Atrapamiento de partículas dentro de un precipitado**

Según Andía (2000), al agregar una determinada cantidad de coagulante, las partículas coloidales inestables pueden quedar en un floc, generalmente sales metálicas trivalentes, en este caso el sulfato de aluminio  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  o cloruro férrico  $\text{FeCl}_3$ , el floc está desarrollado de moléculas de  $\text{Al}(\text{OH})_3$  o de  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Para lograr un rápido precipitado es necesario la presencia de aniones y las partículas coloidales. Además, los coloides cumplen un rol importante en la formación de flóculos, pero en la turbidez no ocurre de la misma forma sino inversamente. Es decir que, las altas concentraciones de partículas suspendidas pueden necesitar menos coagulante.

#### **2.4.1.4. Adsorción y puente**

Cuando las partículas tienen carga negativa, el método de tratamiento más económico se puede obtener utilizando polímeros aniónicos, que son explicados por la teoría del "puente". Además, las moléculas de polímero adsorben coloides rápidamente por su beneficio de tener químicos. Por lo tanto, puede adsorber partículas coloidales en uno de sus extremos, al mismo tiempo, otras partes pueden adsorber libremente otras partículas (Barrenechea, 2000).

Esta es la razón por la cual se piensa que las moléculas de polímero forman "puentes" entre partículas coloidales. Debido a la carga excesiva de polímero, la suspensión puede volverse inestable (Andía, 2000).

#### **2.4.2. Etapas de la coagulación**

De acuerdo con la investigación de Andía (2000), el proceso de coagulación se realiza en un corto período de tiempo y se desarrolla en cinco etapas consecutivas de acuerdo con los siguientes detalles:



- **Etapa 1:** El coagulante se hidroliza y las partículas en suspensión son inestables.
- **Etapa 2:** Formación de compuesto polimérico.
- **Etapa 3:** Adsorción de la cadena polimérica por el coloide.
- **Etapa 4:** Los coloides se adsorben entre sí.
- **Etapa 5:** Acción de barrido.

En la Figura 2, se logra observar las fases del coagulante:

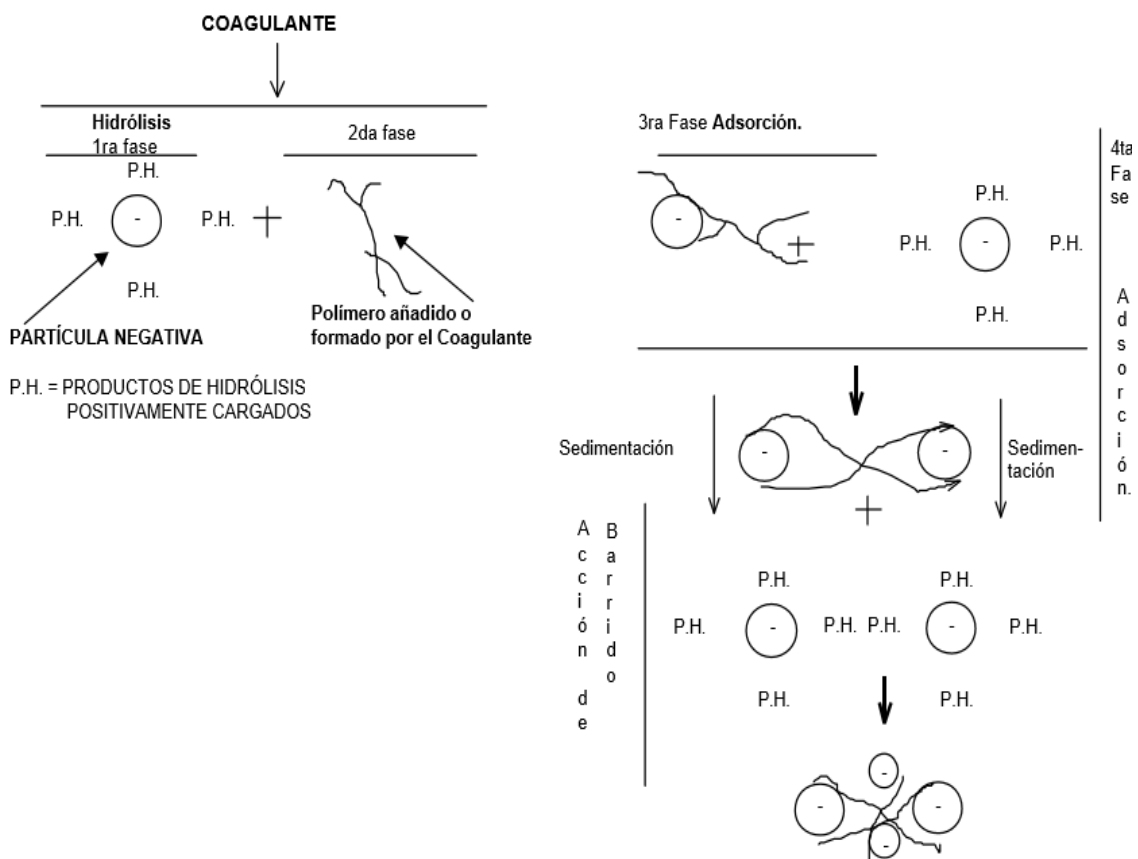


Figura 2. *Etapas de la coagulación.*

Tomado de (Andía 2000).

### 2.4.3. Floculación

Las cadenas de varias partículas se llaman floculación, en la que existen varios tipos de floculación que dependen de la forma en que los polímeros actúan sobre la superficie de la partícula, el más importante es la floculación del puente en el que pequeñas cantidades de grandes los floculantes de cadena se adsorben con muchas partículas, produciendo flóculos más fuertes, con concentraciones de floculante más altas de lo necesario y se adsorben completamente en una partícula, dejando menos posibilidades de adsorción simultánea en otras partículas, lo que estabiliza la suspensión. En consecuencia, hay dosis óptimas de floculantes poliméricos. Si uno o más polímeros lineales se adsorben en partículas, un gel forma una red tridimensional, en este caso, la agregación se llama floculación de red (Concha, 2013). (Andía, 2000) menciona que existen tres mecanismos de transporte en la floculación:

- **Floculación pericinética o browniana:** Es causado por un movimiento naturales provocado por las moléculas de agua y la energía térmica, este movimiento es comúnmente conocido con browniano.
- **Floculación ortocinética o gradiente de velocidad:** En cambio en esta fase se debe a los choques de las partículas por el movimiento del agua y la masa del agua, que puede ser producido mecánicamente.

Como el coagulante se dispersa en agua y las partículas son inestables, para partículas coloidales menores a una micra de tamaño, se requiere floculación casi cinética. El movimiento browniano juega un papel muy importante por la medida del tamaño de partícula y el diseño de los micro flóculos iniciales (Barrenechea, 2000). Solo cuando se alcanza el tamaño de los micrómetros, la floculación orto cinética comienza a funcionar, promoviendo así el mayor desarrollo de un micro flóculo. En el nivel que la temperatura llegar a cero grados, la floculación browniana se cancela y la floculación pericinética también se anula. En este caso, se descubrió la ineficiencia de la floculación del ortocinética porque no atrapa las partículas pequeñas (Wiki, 2007).

#### **2.4.4. Principales coagulantes**

Existen coagulantes que son comúnmente utilizados por ser hechos a base de hierro y aluminio, por ejemplo: sulfato de aluminio, sulfato de hierro y cloruro de hierro. A continuación, se indican los tipos de coagulantes:

#### - **Coagulantes metálicos**

Según la investigación de (Concha, 2013), estos coagulantes metálicos tienen la capacidad de actuar como coagulantes y floculantes. Al ser disueltos forman compuestos hidratados como:  $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$  y  $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ .

#### - **Polielectrolitos**

Según la investigación de Hernández (2016), son polímeros orgánicos sintéticos macromoleculares con una carga eléctrica, son beneficiosos a altos rangos de pH, pero por sus elevados costos deben ser utilizados con coagulantes metálicos. A continuación, clasificación según su carga:

*Tabla 4*

*Clasificación según las cargas de los polímeros orgánicos.*

<b>Catiónicos</b>	<b>Aniónicos</b>	<b>No iónicos</b>
Carga positiva: los aniones se forman estando en contacto con agua, lo que puede eliminar partículas cargadas negativamente y beneficiosos a pH bajos.	Tiene una carga negativa: forma cationes cuando entra en contacto con el agua, puede eliminar partículas cargadas positivamente y es más eficaz a pH alto.	Son neutrales: los iones positivos y negativos se forman al contacto, pero requieren dosis más altas para obtener resultados similares en comparación con los iones anteriores.

Adaptado de: (Dobrynin & Rubinstein, 2005).

#### - **Coagulantes Naturales**

Los coagulantes naturales derivados de, almidón, galactomanano, gelatina, derivados de celulosa, quitosano, pegamento y alginato. Con características naturales se consideran amigables para el ambiente y salud humana, comparado con el aluminio que puede llegar a causar neurología y patología. Los coagulantes naturales son usados en combinación con coagulantes artificiales, estos coagulantes artificiales se consumen como coagulantes y su efectividad como coagulantes clave se mantiene a una etapa temprana. El proceso de tratamiento de estos coagulantes consiste en moléculas puente, adsorción y equilibrio de carga. Los coagulantes naturales pueden tratar las aguas residuales de acuerdo con los estándares de descarga de aguas residuales (Guzmán et al., 2013).

#### **2.4.5. Principales floculantes**

Los floculantes logran que se ensamblen y después logren separarse del medio acuoso, después de que las partículas se encuentren desestabilizadas o durante la etapa de coagulación.

##### **- Floculantes catiónicos**

Los floculantes catiónicos son elaborados a partir de copolímeros de (Acrilato de Metilo Cloruro Cuaternario) o a su vez también pueden ser de (Metacrilato Metil Cloruro Cuaternario) y acrilamida. Además, desarrollan como doble función en coagulando, quiere decir que su carga iónica será positiva, pueden aparecer en dos estados: sólido y emulsión. Su aplicación depende del peso molecular, por ejemplo: el bajo se usa para fuerzas de cizallamiento bajas, como un sedimentador de gravedad; y elevados volúmenes moleculares, son normalmente utilizados en equipos de centrifugación (Dobrynin & Rubinstein, 2005).

## - **Floculantes aniónicos**

Se basan normalmente en ácido acrílico con su respectiva carga y en copolímeros de acrilamida de iones negativos. Se combinan con la carga catiónica residual en el coagulante adsorbido en el coloide de coagulación. Su capacidad de floculación inherente eleva el peso molecular. El mayor peso molecular de la poliacrilamida está en el rango de 10 a 20 millones. Otros polímeros tienen recursos específicos bajo situaciones específicas de acuerdo con sus requerimientos (García, 2007).

Son adecuados para procesos de reticulación sólidos a través de cadenas de polímeros. Para precipitaciones rápidas, porque aumentan la consistencia del coágulo. Ajuste con el tipo de aguas residuales y reduzca el costo de reutilización y purificación de agua (Dobrynin & Rubinstein, 2005).

## **2.5. Coagulantes naturales**

Los coagulantes naturales, también conocidos como coagulantes biológicos, son extractos de diferentes tejidos vegetales: hojas, corteza, raíces, semillas y vainas. Debido a sus ingredientes activos naturales, pueden actuar como coagulantes o floculantes en el tratamiento de aguas residuales (Ramírez & Jaramillo, 2016).

Debido a su relevancia, es importante aumentar la cantidad de taninos utilizados en la planta para dar lugar a nuevas investigaciones y así estimular el uso de coagulantes orgánicos (biocoagulantes) (López et al., 2017).

Se han realizado estudios más profundos sobre algunos de ellos, que proporcionan resultados positivos con respecto a su acción de coagulación. Entre todos los coagulantes naturales, el principal coagulante de la fuente vegetal más famosa hoy en día son las semillas de moringa. Algunos estudios han demostrado que, para el agua de baja turbidez, las semillas pueden ser una

alternativa viable potencial al sulfato de aluminio para la purificación del agua (Ramírez & Jaramillo, 2016).

Del mismo modo, en el trabajo de Carpinteyro (2011), se demostró que los biopolímeros, por ejemplo: el mucílago de nopal se utiliza en la coagulación y floculación de aguas residuales municipales y aguas residuales industriales con alta carga orgánica.

Por otro lado, la importancia de seleccionar el coagulante y la dosis óptima se debe al hecho de que fijará la calidad del agua clarificada y la función del tratamiento posterior del agua (Arias et al., 2017).

### 2.5.1. Coagulantes naturales más utilizados

A finales de los 80 se logra publicar una lista de coagulantes – floculantes que son utilizados en varios estudios para el tratamiento de aguas residuales. Estos incluyen almendras, albaricoques, duraznos, cactus, frijoles, moringa, habas, entre otros. Una investigación más profunda sobre algunos de ellos ha proporcionado resultados positivos en su actividad de coagulación (García, 2007).

A continuación, se presentará una tabla indicando los coagulantes más utilizados en estudios de investigación en tratamientos de aguas residuales industriales y domésticas.

Tabla 5

*Clasificación de coagulantes más utilizados.*

Nombre común	Especies vegetativas	Autor (es)	Año
Curare	<i>Strychnos potatorum</i>	Tripathi et al.	1976
		Adinolfi	1994

		Chaudhuri	2005
		Folkard et al.	1986
		Olsen.	1987
		Sutherland et al.	1994
		Muyibi et al.	1995
		Muyibi et al.	1996
<b>Moringa</b>	<i>Moringa oleifera</i>	Ndabigengesere et al.	1998
		Okuda et al.	1999
		Dorea.	2006
		Asrafuzzaman et al.	2011
		Suhartini et al.	2013
		González et al.	2006
<b>Guachapalí</b>	<i>Samanea saman</i>	Caldera et al.	2007
		Fuentes et al.	2012
		Almendárez de Quezada et al.	2004
<b>Tuna</b>	<i>Tuna opuntia</i>	Ortiz, Astudillo & García.	2013
		Parra et al.	2011
		Díaz et al.	1999
<b>Cactus</b>	<i>Cactus Latifaria y Prosopis juliflora</i>	Guzmán et al.	2013
		Olivero et al.	2015
<b>Camarón blanco</b>	<i>Litopenaeus schmitti</i>	Rodríguez et al.	2001
		Fuentes y Contreras.	2008
		Caldera et al.	2009
	<i>Terminalia chebula,</i>		
<b>Linaza</b>	<i>Terminalia belerica y Morinda citrifolia.</i>	Bhole	1987
		Martínez et al.	2004
<b>Algarrobo</b>	<i>Hymenaea courbaril</i>	Mas et al.	2014
		Arcila, & Peralta.	2015
	<i>Leucaena</i>		
<b>Guaje</b>	<i>leucocephala, Albizia lebbeck</i>	López et al.	2008
		Nieto e Hidrobo	2011
<b>Guarango</b>	<i>Caesalpinia spinosa</i>		

Adaptado de (García, 2007).

## 2.5.2. Ventajas y desventajas de los coagulantes naturales

Actualmente, son materia orgánica provenientes de plantas, hojas de árboles, cortezas, semillas y raíces se están estudiando como un método alternativo para eliminar la turbidez del agua. Las principales ventajas que se puede mencionar es la biodegradabilidad, fácil acceso y bajo costo. Y amigables con el ambiente y el ser humano (Muthuraman & Sasikala, 2014) (Pritchard et al., 2010).

A continuación, se presentan las ventajas y desventajas de los coagulantes naturales.

*Tabla 6*

*Ventajas y desventajas de los coagulantes naturales.*

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- No generan contaminación sus residuos.</li> <li>- El volumen de lodo sedimentado es pequeño.</li> <li>- No son tóxicos.</li> <li>- Costos bajos.</li> <li>- Bajas concentraciones.</li> <li>- Inofensivo para la salud.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Presenta variación del pH en el agua.</li> <li>- Las cantidades excesivas pueden causar estabilidad coloidal.</li> <li>- No son tan eficientes como ciertos coagulantes inorgánicos (como es el sulfato de aluminio).</li> <li>- El desempeño de todos es diferente.</li> </ul>

Adaptado de (Ramírez and Jaramillo, 2016).

## 3. Capítulo III: REVISIÓN DE ESTUDIOS EXPERIMENTALES

### 3.1. Metodología utilizada

Se realizó una revisión bibliográfica para analizar información existente sobre trabajos experimentales en el tratamiento de aguas residuales con coagulantes



naturales, en comparación a la utilización de coagulantes sintéticos (químicos). Se levantaron datos de eficiencia de remoción de parámetros fisicoquímicos para la discusión de los resultados alcanzados en tres estudios en diferentes efluentes que recibieron tratamientos de coagulación-floculación.

### 3.1.1. *Moringa oleífera* vs. Sulfato de aluminio

(Mera et al., 2016), estudiaron el efecto del polvo de la semilla de moringa como coagulante y floculante en el tratamiento de aguas residuales. Para la experimentación utilizaron aguas provenientes de una industria del café con una turbidez inicial superior a los 2000 UNT y, aguas generadas en el pelado químico de vegetales, con una turbidez inicial de 91.5 UNT.

Además, se caracterizaron parámetros como: pH, conductividad eléctrica, cloruros y sólidos suspendidos totales; siendo la lectura inicial la que se indica en la siguiente tabla:

*Tabla 7*

*Lectura inicial de agua residual de beneficio de café y agua residual de pelado químico de vegetales.*

<b>LECTURA INICIAL</b>		
<b>Parámetros</b>	<b>Agua residual de beneficio de café</b>	<b>Agua residual de pelado químico de vegetales</b>
Turbidez (UNT)	>2000	91.5
pH	3.75	5.54
Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	3520	3350
Cloruros (mg/L)	712.7	213.5
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	6840	456.5

Adoptado de (Mera et al., 2016).

Para la investigación se siguió la siguiente metodología se tomaron muestras de aguas residuales de beneficio de café y aguas residuales del pelado químico de vegetales. El procedimiento empezó con dos ensayos, en primer lugar, un diseño experimental completamente al azar (DCA) y tres repeticiones, es decir los tratamientos fueron de distintas concentraciones del polvo de moringa (*Moringa oleífera*) como son: 0 a 5.5 g/600 ml para aguas residuales de beneficio de café y de 0 a 0.2 g/600 ml en aguas residuales provenientes del pelado químico de vegetales.

Se utilizó un equipo de agitadores para acelerar el proceso de coagulación y floculación en los dos tipos de aguas residuales con una velocidad de 130 RPM por 30 minutos para el beneficio de café y, 15 minutos para el pelado químico de vegetales. Después se realizó el proceso de filtración con una malla de 0.02  $\mu$  y con el agua sobrante se determinó la turbidez. Para terminar este primer ensayo se utilizó un análisis estadístico en este caso Duncan con una prueba de error del 5% con esta prueba se determinó que tratamientos son diferentes o similares y el mejor porcentaje fue confrontado con un coagulante químico en este caso el sulfato de aluminio.

Para el segundo ensayo se ejecutó un diseño experimental completamente al azar (DCA) y tres repeticiones para ser más precisos, los tratamientos fueron: polvo de moringa, sulfato de aluminio y testigo (sin tratamiento), en la cual se utilizó la prueba de jarras, con la velocidad y el mismo tiempo del primer ensayo. Por último, se realizó análisis físico, químico y microbiológico, para indicar la eficiencia del polvo de moringa en las aguas residuales para ser comparado con el sulfato de aluminio (Mera et al., 2016).

En la tabla 8, se puede observar los resultados de la lectura final (después de los tratamientos) de los parámetros.

#### *Tabla 8*

*Lectura final de las aguas residuales de beneficio de café y pelado químico de vegetales.*

<b>LECTURA FINAL</b>				
<b>Aguas residuales de beneficio de café</b>				
<b>Parámetros</b>	<b><i>Moringa oleífera</i></b>		<b>Sulfato de aluminio</b>	
	<b>Lectura final</b>	<b>% Remoción</b>	<b>Lectura final</b>	<b>% Remoción</b>
Turbidez (UNT)	170	92	402	80
pH	4.6	-	4.1	-
Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S/cm}$ )	2690	23.5	3210	8.8
Cloruros (mg/L)	27.6	96	17	98
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	243	96	366	95
<b>Agua residual de pelado químico de vegetales</b>				
<b>Parámetros</b>	<b><i>Moringa oleífera</i></b>		<b>Sulfato de aluminio</b>	
	<b>Lectura final</b>	<b>% Remoción</b>	<b>Lectura final</b>	<b>% Remoción</b>
Turbidez (UNT)	18.33	80	26.2	71
pH	5.95	-	5.88	-
Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S/cm}$ )	2867	15	2867	15
Cloruros (mg/L)	15.23	93	12.23	94
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	96.33	80	119.3	74

Adoptado de (Mera et al., 2016).

Mientras que, en la figura 3 y 4 se han representado los porcentajes de remoción alcanzados para cada parámetro, tanto en los tratamientos con un coagulante natural como con un coagulante químico.

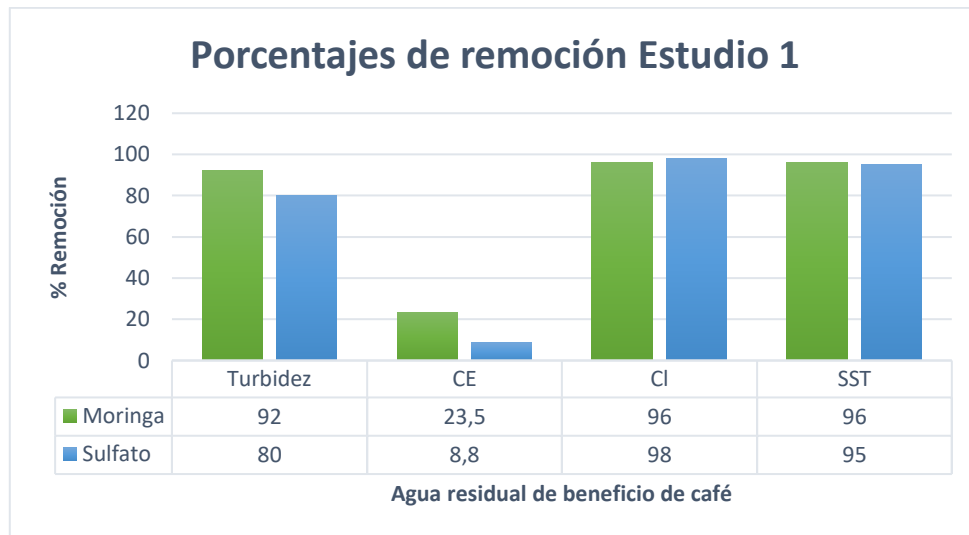


Figura 3. Resultado del porcentaje de remoción del estudio 1 de agua residual de beneficio de café.

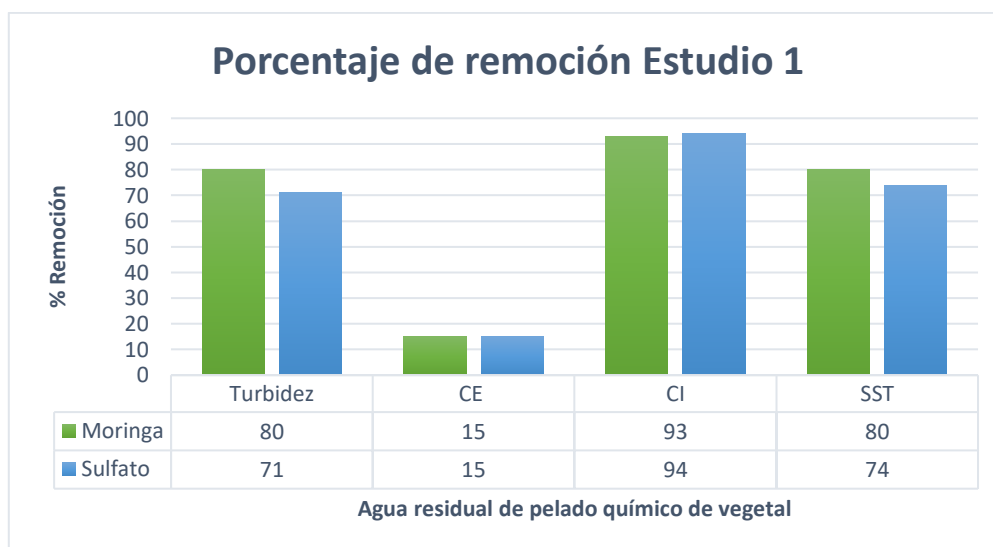


Figura 4. Resultado del porcentaje de remoción del estudio 1 de agua residual de pelado químico de vegetal.

Se puede apreciar que la moringa ha alcanzado un porcentaje promedio de 76.88% de remoción de los cuatro parámetros; en contraste, con un 70.45% alcanzado por el sulfato de aluminio. En el tratamiento con moringa la turbidez alcanzó una remoción igual al 92%, que puede estar relacionado con el estudio

de (Ndabigengesere & Subba Narasiah, 1998), en la que muestra que la moringa tiene proteínas que actúan como polielectrolitos catiónicos naturales durante el proceso de tratamiento y causan la coagulación, reduciendo así la turbidez; lo cual concuerda con el estudio que presentó una turbidez inicial de 80 a 500 UNT. En comparación, el polvo de semilla de moringa logró una reducción alta de 95% y el sulfato de aluminio con 82% de reducción; demostrando de esta manera que el polvo de semilla de moringa es un coagulante natural que podría llegar a reemplazar al sulfato de aluminio.

Con respecto a la conductividad eléctrica, se observó que el valor inicial fue de 3520  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para el agua residual del café; en la figura 4 se puede apreciar un alto porcentaje de remoción al final de los tratamientos, lográndose reducir en un 23.5% que supera la remoción del sulfato de aluminio, esto se relaciona con una investigación realizado por (Shak & Wu, 2015) que menciona que se debe a la disociación de ácido después de un ajuste de pH, y la adición del alumbre durante el tratamiento contribuye a que aumente o no exista cambio en la conductividad, además baja el pH, por la adición de iones al agua, relación que concuerda con este estudio.

En el caso de los cloruros presentes en las aguas residuales, las concentraciones no deben ser superiores a los 350 mg/L, ya que esto podría ocasionar toxicidad a los cuerpos acuáticos; además restringe el crecimiento de las plantas y deterioro de la calidad del suelo (Fernández, 2012). Se logra observar que después de los tratamientos se obtuvieron niveles de cloruro por debajo de 300 mg/L.

Asimismo, se puede apreciar una notable disminución de sólidos suspendidos en los dos tratamientos, presentándose inicialmente con 6840 mg/L y después de los tratamientos existe una disminución con el polvo de semilla de moringa a 243 mg/L y con el sulfato de aluminio a 366 mg/L, valores que son aceptables para el ecosistema. Como menciona (Mera et al., 2016), en su contexto, los sólidos suspendidos están muy relacionados con la turbidez del agua, la cual es reducida por la moringa, lo que contribuye al ingreso de luz y consecuente aumento del crecimiento de las macrófitas acuáticas, por lo cual cumplen su

función y aumentan el oxígeno, además de acuerdo a la investigación realizada por (Abdul et al., 2016) la disminución de los sólidos suspendidos se debe a la proteína catiónica que constituye el coagulante moringa se vuelve más soluble en el agua. Esto lleva a un mayor contacto con las partículas presentes en el agua, lo que hace que el coagulante sea eficiente.

Se puede concluir, que en los estudios presentes; el polvo de la semilla de moringa alcanzó una eficiencia efectiva para el tratamiento de aguas residuales en su función de coagulante y floculante natural, en el estudio de aguas residuales provenientes de café, logrando demostrar que solo se necesitó 4 gramos para tratar 600 ml de agua residual, como se presentó en el estudio de (Mera et al., 2016).

Además, demostrando que estos dos coagulantes son eficientes para mejorar la calidad del agua, pero la moringa por ser un coagulante natural no perjudica el ecosistema, y para algunos parámetros suele ser eficiente (Mera et al., 2016).

### **3.1.2. *Cassia fistula* vs. Sulfato de aluminio**

(Tarón, Guzmán, & Barros, 2017), estudiaron el efecto del polvo de la semilla de la *Cassia fistula* (conocida también como Lluvia de oro o caña fístula) como coagulante natural en el tratamiento de aguas residuales. Para la experimentación se utilizaron aguas provenientes de la estación de bombeo de aguas residuales domésticas de la ciudad de Cartagena de Indias, Colombia; con una turbidez inicial superior a los 1156.9 UNT.

Además, se caracterizaron parámetros como: conductividad eléctrica, color real, dureza total, DBO<sub>5</sub>, DQO, sólidos totales, alcalinidad y pH; siendo la lectura inicial la que se muestra en la siguiente tabla:

*Tabla 9*

*Lectura inicial de agua residual de la estación de bombeo de la ciudad de Cartagena de Indias - Colombia.*

<b>LECTURA INICIAL</b>	
<b>Parámetros</b>	<b>Agua residual de estación de bombeo</b>
Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	1156.9
Turbidez (NTU)	95
Color real (UPC)	280
Dureza total mg $\text{CaCO}_3/\text{L}$	510
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	152
DQO (mg/L)	241.5
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	747
Alcalinidad (mg $\text{CaCO}_3/\text{L}$ )	258
pH	7.4

Adoptado de (Tarón, Guzmán, & Barros, 2017)

En horas de la mañana las muestras fueron tomadas a fin de monitorear los picos más altos de descarga que cruzan por esta estación de bombeo y, que registran una elevada turbidez. El coagulante natural se obtuvo a base de revisión bibliográfica, las semillas de *Cassia fistula* fueron recolectadas manualmente en buen estado y después se expusieron al sol por un término de 8 días. Una vez secas las semillas, se molieron en un molino mecánico; posteriormente, se pasaron por un tamiz, se realizaron varias repeticiones para la obtención del agente coagulante. Para la obtención final del coagulante se realizó una preparación de 100 ml de agua destilada para 25 gramos de polvo de semilla que fueron utilizados en la prueba de jarras, incluyendo siete vasos de precipitado con 500 ml de agua residual doméstica, justificado que uno de ellos será el control; mientras que; los otros seis tienen diferentes concentraciones que van de 120 a 200 mg/L de coagulante. Estas mezclas fueron sometidas a dos velocidades (rápida y lenta) de 100 (RPM) por 1 minuto y 40 (RPM) por 30 segundo y, finalmente por un tiempo de 1 hora (Tarón, Guzmán, & Barros, 2017)

Se esperó que el agua sedimentara y así obtener con la ayuda de una pipeta agua clarificada para realizar los análisis. Los parámetros fisicoquímicos fueron analizados antes y después del tratamiento, los autores mencionan que se tomaron los resultados obtenidos por la mejor dosis, que fue de 160 mg/L del coagulante de *Cassia fistula* y se comparó los ensayos con la misma dosis de coagulante químico, en este caso el sulfato de aluminio (Tarón, Guzmán, & Barros, 2017).

Tabla 10

Lectura final de las aguas residual de la estación de bombeo de la ciudad de Cartagena de Indias - Colombia.

LECTURA FINAL				
Agua residual doméstica. Dosis 160 mg/L.				
Parámetros	<i>Cassia fistula</i>		Sulfato de aluminio	
	Lectura final	% Remoción	Lectura final	% Remoción
Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	1210	100	1330	100
Turbidez (NTU)	30.25	68.2	95	100
Color real (UPC)	84	70	42	15
Dureza total mg $\text{CaCO}_3/\text{L}$	408	20	331.5	65
$\text{DBO}_5$ (mg/L)	46.20	70	31.92	21
DQO (mg/L)	239.5	0.83	245	100
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	194.2	25.99	149.4	20
Alcalinidad (mg $\text{CaCO}_3/\text{L}$ )	288.0	100	290	100
pH	7.48	-	7.3	-

Adoptado de (Tarón, Guzmán, & Barros, 2017).



Mientras que, en la figura 5 se han representado los porcentajes de remoción alcanzados para cada parámetro, tanto en los tratamientos con un coagulante natural como con un coagulante químico.

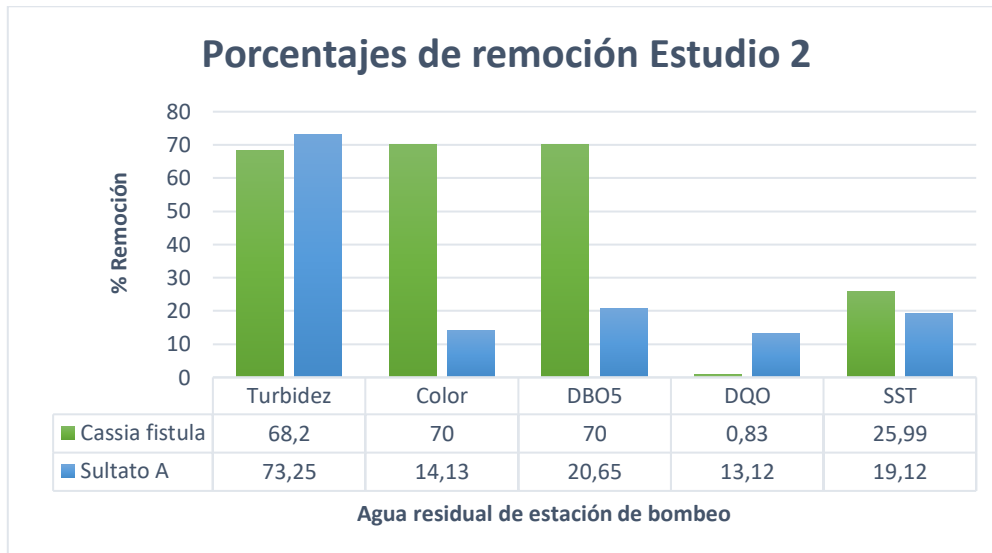


Figura 5. Resultado del porcentaje de remoción del estudio 2 de agua residual doméstica.

Se puede apreciar que la *Cassia fistula* ha alcanzado un porcentaje promedio de 42.50% de remoción de los cinco parámetros; en contraste, con un 31.65% alcanzado por el sulfato de aluminio. En el tratamiento con *Cassia fistula* la turbidez alcanzó una remoción de 44.57%, que puede estar relacionado con el estudio de (Guzmán, Taron, & Nuñez, 2015) trabajando con *Cassia fistula*, en el que se encontró que la dosis óptima del coagulante está entre 15 y 25 mg/L, logrando valores finales de turbidez y color de 6 NTU y 25 UPC, respectivamente; indicando la potencialidad del uso como coagulante natural en el tratamiento de aguas crudas.

Con respecto a la DBO<sub>5</sub> se puede determinar que una dosis del coagulante reduce en un 70% su concentración, en comparación al sulfato de aluminio, esto se debe a que los coagulantes naturales presentan mayor cantidad de proteínas y sacarosa, así lo menciona (Ramos, 2006). En cambio, en el caso de la DQO

no se pudo observar cambios, ya que existe presencia de compuestos orgánicos no biodegradables.

El color inició con un valor de 280 UPC, demostrando que al ser tratado con un coagulante natural logró reducir su color a 84 UPC, dando un 70% de remoción con una dosis de 160 mg/L a comparación del sulfato de aluminio que alcanzó a reducir solo a 24 UPC, esto quiere decir que existe un 50% de diferencia entre los dos coagulantes en el parámetro, estos valores son similares a los presentados por (Prakash, Sockan, & Jayakaran, 2014).

Asimismo, se puede apreciar una considerable baja de sólidos suspendidos totales en los dos tratamientos, presentándose inicialmente con 747 mg/L y después de los tratamientos existe una disminución con *Cassia fistula* a 194.2 mg/L y con el sulfato de aluminio a 149.4 mg/L, según (Gilles, 1996) esto sucede porque las semillas de *Cassia fistula* son ricas en polisacáridos, estos una vez extraídos de la semilla son galactomananos, la cual es útil en las industrias alimenticias, textil, imprentas de papel y cosmética como agente espesante. Es importante mencionar que después de la aplicación de los dos tratamientos se presentó una disminución favorable en comparación a la caracterización inicial.

### **3.1.3. *Moringa oleífera* y *Lemaireoreus griseus* vs. Sulfato de aluminio y Policloruro de aluminio (PAC)**

(Dearmas & Ramírez, 2015), estudiaron el desempeño y eficiencia de dos coagulantes químicos como son: sulfato de aluminio y policloruro de aluminio (PAC) en comparación con los dos coagulantes naturales como son: moringa (*Moringa oleífera*) y cardón guajiro (*Lemaireoreus griseus*) como coagulante y floculante en el tratamiento de aguas residuales provenientes de las lagunas de estabilización ubicado en el Municipio de Valledupar, César, Colombia.

Para la experimentación se utilizaron aguas provenientes del río César tomadas en el efluente del sistema de tratamiento, con una turbidez inicial de 25 a 67 UNT. Además, se caracterizaron parámetros como: pH, turbidez, temperatura,

fosforo total, sólidos suspendidos totales, DBO<sub>5</sub> y DQO; siendo la lectura inicial la que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 11

*Lectura inicial de agua residual del efluente del sistema de tratamiento de aguas residuales de la planta de tratamiento Salguero – Colombia.*

LECTURA INICIAL	
Parámetros.	Efluente de Estación Salguero
Temperatura °C	24.6
pH	7.01
Turbidez (UNT)	42.9
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	76.33
DQO (mg/L)	194
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	88
Fósforo total (mg/L)	33.66

Adoptado de (Dearmas & Ramírez, 2015).

Se realizó la siguiente metodología: se tomaron muestras de aguas residuales de 40 litros que fueron levantadas del efluente que fueron tomadas del sistema de tratamiento de aguas residuales de la “Planta de Tratamiento Salguero”, antes de ser vertidas al río César. Las muestras fueron enviadas a la Universidad Popular del César, en la cual fueron almacenadas para las respectivas caracterizaciones. Como primer punto de realizó la preparación de los coagulantes naturales como son: moringa (*Moringa oleífera*) y cardón guajiro (*Lemaireoreus griseus*); para el caso del cardón guajiro, las especies vegetales fueron tomadas en San Juan del César de Guajira - Colombia y, se utilizó únicamente la pulpa del tallo, en la que se realizó una limpieza que consiste en quitar las espinas, corteza y la médula y, después fue triturada con la ayuda de un mortero hasta obtener el coagulante final. En el caso de la moringa, se

recolectaron 300 semillas secas con distintos tamaños. Se licuaron los cotiledones de las semillas con 100 ml de agua destilada y, con la ayuda de un filtro se obtuvo el coagulante final (Dearmas & Ramírez, 2015).

En cambio, los coagulantes químicos se trabajaron en base a las concentraciones comerciales utilizadas comúnmente en el tratamiento de las aguas residuales. El proceso de coagulación se realizó con la ayuda del equipo de prueba de jarras en la que utilizó 6 vasos de precitados con 1 litro de agua residual, de los cuales uno fue el testigo o blanco. Los ensayos se realizaron con coagulantes naturales y químicos con velocidades de 100 (RPM) al inicio del mezclado (rápido) en un tiempo de 1 min, con diferentes dosis que van de 45 a 65 mg/L para los coagulantes químicos y de 600 a 800 mg/L para los coagulantes naturales, después se determinaron distintas velocidades como son:

- Mezclado lento, para los coagulantes químicos con una velocidad de 40 (RPM) en un tiempo de 15 min.
- Mezclado lento, para los coagulantes naturales con dos diferentes velocidades y tiempos, para la moringa (*Moringa oleífera*) se realizó con una velocidad de 30 (RMP) en un tiempo de una hora y, para cardón guajiro (*Lemaireoreus griseus*) se empleó una velocidad de 60 (RPM) en un intervalo de una hora.

Por último, se realizó análisis fisicoquímico para indicar la eficiencia de la moringa (*Moringa oleífera*) y cardón guajiro (*Lemaireoreus griseus*) en las aguas residuales para ser comparado con el sulfato de aluminio y PAC (Dearmas & Ramírez, 2015)

En la tabla 12, se puede observar los resultados de la lectura final (después de los tratamientos) de los parámetros.

#### Tabla 12

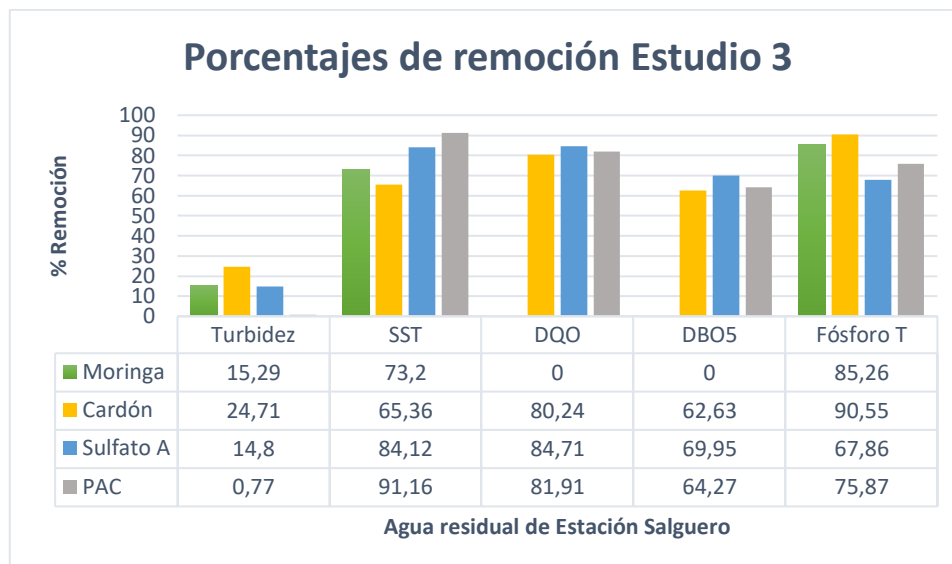
*Lectura final de agua residual del efluente del sistema de tratamiento de aguas residuales de la planta de tratamiento Salguero – Colombia.*

LECTURA FINAL								
Efluente de Estación Salguero.								
Parámetros	<i>Moringa oleífera</i>		<i>Lemaireoreus griseus</i>		Sulfato de aluminio		PAC	
	Lectura final	% R	Lectura final	% R	Lectura final	% R	Lectura final	% R
pH	6.96	-	7	-	4.8	-	6.29	-
Turbidez (UNT)	6.56	15.29	10.6	24.71	6.35	14.80	0.33	0.77
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	20.46	73.20	26.44	65.36	12.12	84.12	6.75	91.16
DQO (mg/L)	197.98	-	38.34	80.24	29.66	84.71	35.1	81.91
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	110.25	-	32.89	62.63	26.44	69.95	31.44	64.27
Fósforo total (mg/L)	4.96	85.26	3.18	90.55	10.82	67.86	8.121	75.87

Nota: %R= porcentaje de remoción.

Adoptado de (Dearmas & Ramírez, 2015).

Mientras que, en la figura 6 se han representado los porcentajes de remoción alcanzados para cada parámetro, tanto en los tratamientos con los coagulantes naturales como con los coagulantes químicos.



*Figura 6. Resultado del porcentaje de remoción del estudio 3 de agua residual de Estación Salguero.*

Se puede apreciar que los dos coagulantes naturales alcanzaron un porcentaje promedio de remoción de 34.75% en el caso de la moringa y con 64.70% del cardón guajiro de los cinco parámetros; en contraste, con un 64.29% alcanzado por el sulfato de aluminio y 62.80% del PAC. En el tratamiento con moringa la turbidez alcanzó una remoción de 15.29% y el cardón guajiro un 24.71%; mientras que, los dos coagulantes químicos solo alcanzaron un 14.80% en el caso del sulfato de aluminio y 0.77% en PAC, esto se debe a lo mencionado en la investigación de (Henriquez et al., 2009) que el cardón guajiro, pertenece a la familia de las cactáceas, por lo tanto el mucílago del cardón demuestran una composición similar a los exudados de goma que ayudan a atrapar los coloides y logra sedimentarlos, tradicionalmente, también se ha utilizado como aditivo para la purificación del agua y acondicionador de suelos pobres, que ha demostrado mejor sus propiedades físicas.

No obstante, en los ensayos que se realizaron en el laboratorio, se pudo apreciar el porcentaje de remoción de SST, obteniendo una remoción de 73.2% en la moringa y 65.36% en el cardón guajiro a comparación con los coagulantes químicos quienes representaron los valores más altos de remoción ocupando el

primer lugar el PAC con el 91.16%, seguidamente del sulfato de aluminio con un 84.12%, tomando muy en cuenta que estos procesos físicos se rigen en decantación, filtración y sedimentación, demostrando así que para este caso y parámetro el PAC resultó ser el más eficiente, así como lo menciona (Alvarado, Pérez, & Saba, 2014) en su estudio de investigación que indica que esto se debe a los dosis del coagulante logran dispersarse sobre el agua así atrapando la mayor cantidad de coloides así logrando una eliminación de turbidez efectiva, también proporciona el peso necesario para la posterior resuspensión de los flóculos.

En el estudio de la DQO se logró observar diferentes porcentajes de remoción en los tratamientos, los valores más altos lo obtuvieron los coagulantes químicos, destacándose el sulfato de aluminio con un porcentaje de remoción de 84.71%, seguidamente del PAC con 81.91% y, finalmente, el cardón guajiro con una remoción de 80.24% y en el caso de la moringa no se presentó remoción sino que hubo un incremento en la DQO, lo que indica que el coagulante contiene demanda química de oxígeno. Cuando se agrega a la muestra, la demanda química de oxígeno permanece suspendida y no se estabiliza, mientras que en el estudio mencionado por (Carpinteyro, 2011), utilizando polímeros naturales (como goma de algarrobo, semillas de mezquite y mucílago de la tuna) como coagulante-floculante para el tratamiento de aguas residuales municipales e industriales, la tasa de eliminación de DQO es de entre 42% y 51%, mientras que en este estudio logró superar el porcentaje en 80.24%.

De igual manera en la DBO, se pudo observar que los coagulantes químicos obtuvieron valores como son: 69.95% de remoción con sulfato de aluminio y 64.27% con el PAC, y en los coagulantes naturales no tan lejos a estos valores se encuentran los porcentajes de remoción de 62.63% en el PAC, al igual que en la DQO en la moringa, no se pudo evidenciar una remoción debido a que la DBO incluida en la solución de moringa no realiza ningún cambio, ya que el floc formado no sedimenta, es un factor perjudicial en el proceso de descontaminación de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

## 4. Capítulo IV: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS ENCONTRADOS

### 4.1. Tipos de biocoagulantes

Se realizó la revisión bibliográfica encontrando un sinnúmero de coagulantes naturales, en los cuales en este proyecto se determinaron los más comunes en los tratamientos de aguas residuales; a continuación, se presenta la tabla de los coagulantes revisados.

Tabla 13

Revisión de los coagulantes naturales en las tres revisiones bibliográficas.

COAGULANTES NATURALES			
Estudio	Nombre común	Nombre científico	Referencia
Efecto de la <i>Moringa oleífera</i> en el tratamiento de aguas residuales en el Cauca, Colombia.	Moringa	<i>Moringa oleífera</i>	Mera, Gutiérrez, Montes, & Paz, (2016)
Evaluación de la <i>Cassia fistula</i> como coagulante natural en el tratamiento primario de aguas residuales	Lluvia de oro	<i>Cassia fistula</i>	Arnulfo, Tarón, Guzmán & Barros (2017)
Remoción de nutrientes mediante coagulantes naturales y químicos en planta de tratamiento de aguas residuales, Valledupar Colombia.	Moringa y Cardón guajiro	<i>Moringa oleífera</i> y <i>Lemaireoreus griseus</i>	Dearmas & Ramírez (2015)

En el primer estudio se puede observar que la moringa es efectiva para el tratamiento de aguas residuales procedentes del proceso de beneficio del café y del pelado químico de vegetales, porque actúa como coagulante y floculante;



además que su dosis óptima determinada en 4g/600 ml, demuestra que no se necesita mayor cantidad para tratar la misma cantidad de agua que sería tratada por un coagulante químico. Resultando ser un mejor coagulante al ser comparado con el sulfato de aluminio ya obtuvo un 80.9% de remoción en los parámetros del estudio y 73.56% de remoción por parte del sulfato de aluminio.

Para el segundo estudio, se registró un porcentaje de remoción de 47% para *Cassia fistula* y de 28% para sulfato de aluminio, demostrando una vez más que los coagulantes naturales son eficientes para el tratamiento de aguas residuales. Las pruebas de jarras que se realizaron confirmaron el poder como coagulante de esta especie; además, que su dosis óptima determinada en 20 mg/L del agente coagulante, alcanzó una reducción mínima de 25 UPC tanto en el color, como 6 NTU en la turbidez; indicando que la *Cassia fistula* es un coagulante natural, que puede llegar a sustituir a los coagulantes inorgánicos, tales como el alumbre en el proceso de coagulación de aguas crudas.

Finalmente, el tercer estudio de los dos coagulantes naturales; moringa oleífera y cardón guajiro en comparación al sulfato de aluminio y PAC se determinaron que los tratamientos alcanzaron un porcentaje de remoción de 85.26% en moringa y 90.55% de cardón guajiro, además, pese a no alcanzar los mismo porcentajes que los coagulantes naturales, es un coagulante que remueve aproximadamente el 80% en los parámetros de DQO, DBO5 y algas, en cambio el policloruro de aluminio es conveniente para reducir la turbidez y los sólidos suspendidos total en un 92%, y en la disminución de fósforos presentes en el agua los coagulantes naturales alcanzaron un 90.35% de remoción.

Concluyendo que los coagulantes naturales presentaron una eficiencia en los parámetros estudiados, estableciendo que la moringa es una posible alternativa para el tratamiento de aguas residuales.

Por otro lado, el sulfato de aluminio resultó ser eficiente pero perjudicial para el ecosistema y el ser humano, dando que en muchos estudios mencionan la toxicidad que produce el aluminio al permanecer en pequeñas partículas en el agua después de su descarga o como también se encuentran presentes en pequeñas cantidades en los lodo generados, de acuerdo a (Vega et al., 2015),

menciona que la toxicidad del aluminio puede ser perjudicial para los peces debido a las propiedades físicas y químicas del agua, especialmente su pH. El aluminio es soluble cuando el valor de pH está por debajo de 6.0, y pueden formarse variedades de especies químicas, visto que a valores altos el aluminio precipita como hidróxido, el cual puede flocular en el agua.

Y en los lodos generados (Yin, 2010), indica que el aluminio al no ser biodegradable como los coagulantes naturales, puede producir problemas ambientales durante el tratamiento y disposición de los lodos sedimentables. Una técnica innovadora para resolver estos problemas puede ser el uso de coagulantes naturales, que es una alternativa prometedora para eliminar la turbidez en el agua, que además son seguros para la salud y biodegradables (Muthuraman & Sasikala, 2014).

Por lo mismo, los estudios revisados anteriormente indican que, en toda América Latina, las personas están desarrollando y estudiando soluciones alternativas a los problemas de tratamiento del agua causados por la contaminación.

#### 4.2. Comparación de coagulantes naturales vs coagulantes químicos

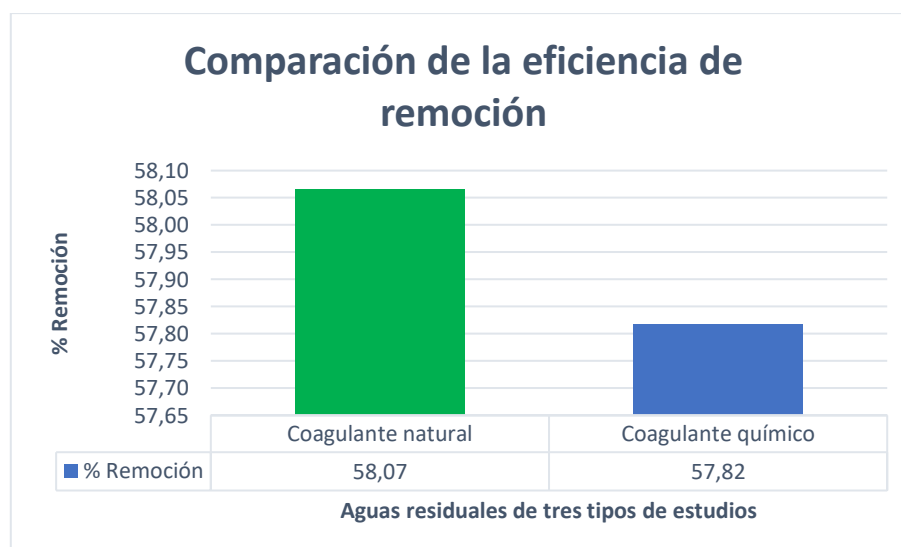


Figura 7. *Comparación de coagulantes naturales vs coagulantes químicos.*

En la figura 7, se puede comprobar que los coagulantes naturales demuestran una gran eficiencia en el tratamiento de aguas residuales, en comparación a los coagulantes químicos.

Asimismo, se puede evaluar que los coagulantes naturales obtuvieron un 58.07% de remoción en los tres estudios detallados anteriormente con respecto a los parámetros propuestos por el investigador, en comparación a los coagulantes químicos que removieron un 57.82% con los mismos parámetros y tipo de agua. Esto debido a que los coagulantes naturales por su naturaleza química, son compuestos poli fenólicos que pueden adherirse a los materiales en partículas para formar moléculas más grandes, que luego se precipitan previamente de la misma manera que las sales de metales pesados, alcaloides, entre otros (Arias et al., 2017). Por ejemplo, como es el caso de la *Cassia fistula* tienen hidrocoloide, comúnmente conocido como mucílago que por sus redes moleculares logran formar cantidades de agua y atrapan los coloides para sedimentarlos (Saag et al., 1975).

Además, demostrando ventajas que son reflejadas en otros estudios como se puede apreciar.

De acuerdo con (Ghimici & Nichifor, 2010), menciona que en las última décadas se han utilizado polímeros orgánicos para el tratamiento de aguas en el proceso de coagulación/floculación en comparación con el alumbre, que demuestra como ventaja la mínima cantidad de dosis como coagulante, produciendo pequeños volúmenes de lodos y disminuyendo la carga iónica del agua y además con respecto a costos, son mucho más económicos, en comparación a los coagulantes químicos.

En cambio (Yin, 2010), menciona que los coagulantes naturales más conocidos en estudios científicos son: *Moringa oleífera*, cactus y taninos. Ensayos con el de (Pritchard et al., 2010) con *Moringa oleífera*, *Jatropha curcas* y *Goma de guar*, demostraron excelentes resultados en aguas turbias, removiendo hasta el 90%

de turbidez, en comparación a coagulantes químicos. Varios estudios han demostrado que las semillas de *Moringa oleífera* es comparable a la obtenida con sulfato de aluminio (Fahmi et al., 2011).

La ventaja es que no cambia la naturaleza del agua tratada, por lo que se recomienda usarlas como una alternativa efectiva y barata en la población rural, y no hay ningún peligro para la salud de la población de consumidores (Olson & Fahey, 2011).

## **5. Capítulo V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. Conclusiones**

Se ha realizado una revisión bibliográfica en base a un estudio comparativo de la eficiencia de los coagulantes naturales respecto a los coagulantes sintéticos, empleados en el tratamiento de aguas residuales. En tres estudios que utilizaron las siguientes especies naturales *Moringa oleífera*, *Cassia fistula* y *Lemaireoreus griseus*, y los siguiente coagulantes sintéticos sulfato de aluminio y policloruro de aluminio por consiguiente se puede concluir que los coagulantes naturales tienen un potencial sobresaliente para tratar las aguas residuales.

En comparación con los coagulantes sintéticos, los coagulantes naturales identificados, lograron una remoción promedio mayor dado que alcanzaron el 92% turbidez en el primer estudio, 68.2% de turbidez en el segundo estudio y el 24.71% de turbidez en el tercer estudio y en sólidos suspendidos totales alcanzaron un 96% en el primer estudio, 26% en el segundo estudio y en el tercer estudio 84.12%, lo que involucra beneficios para la salud humana y el medio ambiente, convirtiéndolos una opción menos toxica para el tratamiento de aguas.

Se determinaron la eficiencia de los biocoagulantes en base a estudios experimentales, obteniendo un porcentaje global de remoción de 58.07% en los coagulantes naturales y 57.82% en los coagulantes sintéticos. Demostrando que

los coagulantes naturales son eficaces para mejorar la calidad del agua y no perjudican el ecosistema.

En algunos casos, los coagulantes naturales probados e informados en esta revisión pueden eliminar efectivamente la turbidez del agua en comparación con el policloruro de aluminio y el sulfato de aluminio. La adición de coagulantes naturales, con ayuda de la coagulación, reduce hasta un 42% de productos químicos. Esto demuestra que, en comparación con los coagulantes existentes en el mercado, los coagulantes naturales estudiados tienen un mayor rendimiento.

## **5.2. Recomendaciones**

Es necesario formular proyectos de investigación a gran escala, que puedan contribuir en la búsqueda de nuevas alternativas ambiental y viables. Para esto se propone realizar un estudio más específico, donde se utilicen coagulantes naturales en una planta de tratamiento en funcionamiento, porque todos los artículos revisados en este trabajo se hicieron en base a laboratorio a través de pruebas de jarras.

Se recomienda identificar y clasificar las plantas locales con posibles propiedades de coagulación y floculación, y en proyectos posteriores, estudiar métodos para obtener polímeros naturales de cada especie y su aplicación en el proceso de clarificación del agua sintética.

## REFERENCIAS

- Abdul, Siti Hajar, Fathurrahman Lananan, Helena Khatoon, Ahmad Jusoh, and Azizah Endut. 2016. "A Study of Coagulating Protein of Moringa Oleifera in Microalgae Bio-Flocculation." *International Biodeterioration and Biodegradation* 113:310–17.
- Alvarado, C., H. Pérez, and C. Saba. 2014. "Evaluation of the Use of Poly Aluminum in Conjunction with Aluminum Sulfate in the Coagulation Process in a Water Purification Water Plant in Carabobo State." *Ingeniería y Sociedad UC* 10(1):35–46.
- Andía, Y. 2000. "TRATAMIENTO DE AGUA COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN Documento Preparado Por." P. 44 in.
- Arias, Arnol, José Luis Hernández-medina, Andrés Fernando Castro-valencia, and Nazly Efredis Sánchez-peña. 2017. "Wastewater Treatment from Slaughter House: Using Power of M. Oleífera as a Natural Coagulant." *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial* (1):29–39.
- Banchón, Carlos, Ricardo Baquerizo, Diego Muñoz, and Leila Zambrano. 2008. ". Análisis Comparativo de La Remoción de Un Sustrato Orgánico Por Las Macrófitas Pistia Stratiotes y Egeria Densa En Un Sistema Batch." *Enfoque UTE* 7(4):111.
- Barrenechea, Ada. 2000. *CAPÍTULO 4 COAGULACIÓN*.
- Carpinteyro, Sandra. 2011. "Tratamiento De Aguas Residuales Empleando Polímeros Naturales Y Biodegradabilidad De Los Lodos Generados." *Carpinteyro Sandra* 1–135.
- CEPAL. 2018. *Panorama Social En América Latina*.
- Concha, Fernando. 2013. "Solid-Liquid Separation in the Mining Industry." (1952):429.
- DAS. 2017. "Tecnologías Del Tratamiento Físico-Químico de Aguas Residuales | DAS." Retrieved July 3, 2020 (<https://www.das-ee.com/es/tratamiento-de-efluentes/procedimientos/tratamiento-fisico-quimico/>).

- Dearmas, Damileth, and Luis Ramírez. 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.
- Dobrynin, Andrey V, and Michael Rubinstein. 2005. "Theory of Polyelectrolytes in Solutions and at Surfaces."
- Domínguez, Judith. 2010. "El Acceso Al Agua y Saneamiento: Un Problema de Capacidad Institucional Local." *Primer Congreso de La Red de Investigadores Sociales Sobre Agua Morelos*, M:1–31.
- EPMAPS. 2017. "TERMINA LA CONSTRUCCIÓN DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES -PTAR- QUITUMBE - Bienvenido a EPMAPS." *Mario Revilla*. Retrieved August 16, 2020 (<https://www.aguaquito.gob.ec/planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-ptar-quitumbe-inicia-funcionamiento/>).
- Fahmi, Muhammad Ridwan, Nor Wahidatul Azura Zainon Najib, Pang Chan Ping, and Nasrul Hamidin. 2011. "Mechanism of Turbidity and Hardness Removal in Hard Water Sources by Using Moringa Oleifera." *Journal of Applied Sciences* 11(16):2947–53.
- Fernández, Maria Juliana. 2012. "Validación De Los Ensayos De Alcalinidad, Cloruros Y Dureza En El Agua Tratada Y Cruda En La Planta De Tratamiento De Empocabal (Santa Rosa De Cabal)."
- Fuentes, Natalia, Emiro José Molina, and Carla Patricia Ariza. 2016. "Coagulantes Naturales En Sistemas de Flujo Continuo, Como Sustituto Del  $Al_2(SO_4)_3$  Para Clarificación de Aguas." *Producción + Limpia* 11(2):41–54.
- García, Beatriz. 2007. "Metodología de Extracción in Situ de Coagulantes Naturales Para La Clarificación de Agua Superficial." *Ysirim* 6.
- Ghimici, Luminita, and Marieta Nichifor. 2010. "Novel Biodegradable Flocculating Agents Based on Cationic Amphiphilic Polysaccharides." *Bioresource Technology* 101(22):8549–54.

- Gil, Miriam Janet, Adriana María Soto, Jorge Iván Usma, and Omar Darío Gutiérrez. 2012. "Emerging Contaminants in Waters: Effects and Possible Treatments." *Scielo* 7(2):1–22.
- Gilles, Marc. 1996. "Utilizacion de Extractos de Semillas de Cassia, Enriquecidos En Galactomananos, En Productos Cosméticos."
- Guzmán, Luis, Arnulfo Taron, and Antonio Nuñez. 2015. "POLVO DE LA SEMILLA Cassia Fistula COMO COAGULANTE NATURAL EN EL TRATAMIENTO DE AGUA CRUDA." *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial* 13(2):123.
- Guzmán, Luis, Ángel Villabona, Candelaria Tejada, and Rafael García. 2013. "Reducción de La Turbidez Del Agua Usando Coagulantes Naturales: Una Revisión." *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 16(1):253–62.
- Henriquez, Manuel, Juana Pérez, José Gasco, Orlando Rodriguez, and Alicia Prieto. 2009. "Preliminary Biochemical Characterization of the Main Components from the Cardon." (May 2014):95–102.
- HIDROTEC. n.d. "Tipos de Aguas Residuales: Conoce Los Tipos y Sus Tratamientos." Retrieved August 16, 2020 (<https://www.hidrotec.com/blog/tipos-de-aguas-residuales/>).
- INEC. 2016. "Estadística de Información Ambiental Económica En Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales 2015 (Agua y Alcantarillado)." 2015:34.
- Jáuregui, Cecilia, Santiago Ramírez, Miguel A. Espinosa, Raúl Tovar, Beatriz Quintero, and Imelda Rodríguez. 2007. "Impacto de La Descarga de Aguas Residuales En La Calidad Del Río Mololoa (Nayarit, México) y Propuestas de Solución." *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 3(1):65–73.
- Lazcano, César Augusto. 2016. *Biotecnología Ambiental De Aguas Y Aguas Residuales-2da Ed-Fte*. Ecoe.
- Leal, María Teresa. n.d. *4 Tecnologías Convencionales de Tratamiento de Agua*



*y Sus Limitaciones.*

- Llano, Biviana A., Jhon F. Cardona, David Ocampo, and Luis A. Ríos. 2014. "Physical-Chemical Treatment of Wastewater from the Benefit Process of Clays and Alternative Uses of the Sludge Generated by the Process." *Información Tecnológica* 25(3):73–82.
- Llopis, Loreto Suay, and Ferran Ballester. 2002. "REVISIÓN DE LOS ESTUDIOS SOBRE EXPOSICIÓN AL ALUMINIO Y ENFERMEDAD DE ALZHEIMER."
- Londoño, Adela, Gloria Giraldo, and Ádamo Gutiérrez. 2010. "Métodos Analíticos Para La Evaluación de La Calidad Fisicoquímica Del Agua."
- López, Servando, Carlos Matias, Diana Pérez, and Iván García. 2017. "Vegetable Coagulants as Alternative for Treatment of Wastewater in Coagulantes Vegetales Como Alternativa Para El Tratamiento de Aguas Residuales." 2(12):687–94.
- Matías, Carlos, Servando López, Diana Matías, and Iván García. 2018. "El Aluminio Empleado En El Tratamiento de Aguas Residuales y Su Posible Relación Con Enfermedad de Alzheimer." *Journal of Negative and No Positive Results: JONNPR* 3(2):139–43.
- Mera, Carlos, Madeleine Gutiérrez, Consuelo Montes, and Juan Pablo Paz. 2016. "EFECTO DE LA Moringa Oleífera EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL CAUCA, COLOMBIA." *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial* 14(2):100.
- Muthuraman, G., and S. Sasikala. 2014. "Removal of Turbidity from Drinking Water Using Natural Coagulants." *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 20(4):1727–31.
- Ndabigengesere, Anselme., and K. Subba Narasiah. 1998. "Quality of Water Treated by Coagulation Using Moringa Oleifera Seeds." *Water Research* 32(3):781–91.
- Nieto, Nubia. 2011. *La Gestión Del Agua: Tensiones Globales y Latinoamericanas.*

- Olson, Mark E., and Jed W. Fahey. 2011. "Moringa Oleifera: Un Árbol Multiusos Para Las Zonas Tropicales Secas." *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82(4):1071–82.
- PNUMA. 2015. *Informe de 2015 Sobre La Disparidad En Las Emisiones Informe de Síntesis Del PNUMA Informe*.
- PNUMA, grupo interdivisional del agua. 2017. "Estrategia Sobre El Agua Dulce 2017-2021." *Publicado Por PNUMA* 1–28.
- Prakash, N. B., Vimala Sockan, and P. Jayakaran. 2014. "Waste Water Treatment by Coagulation and Flocculation." *Certified International Journal of Engineering Science and Innovative Technology* 9001(2):2319–5967.
- Pritchard, M., T. Craven, T. Mkandawire, A. S. Edmondson, and J. G. O'Neill. 2010. "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* 35(13–14):798–805.
- Ramírez, Hildebrando, and Jhoan Jaramillo. 2016. "Agentes Naturales Como Alternativa Para El Tratamiento Del Agua." *Revista Facultad de Ciencias Básicas* 11(2):136.
- Ramos, Francisco. 2006. "Análisis de La Calidad Del Agua Para Consumo Humano En El Área Urbana Del Puerto de San José Departamento de Escuintla."
- Remtavares. 2016. "Tecnologías Para El Tratamiento de Aguas Residuales En Áreas Rurales Descentralizadas | El Agua." *Madrid*. Retrieved August 16, 2020 (<https://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2016/07/05/132747>).
- Robles, A., A. Seco, and A. Robles. 2018. *Tratamiento s Biológicos de Aguas Residuales (3a.Ed)*.
- Rodriguez, Antonio, Pedro Letón García, Roberto Rosal García, Miriam Dorado Valiño, Susana Villar Fernández, and Juana M. Sanz García. 2006. "Tratamientos Avanzados De Aguas Residuales Industriales." *Citme* 6,8. 13,

30, 34.

- Saag, Lothar Mindt Karl, George R. Sanderson, Patrick Moyna, and Gerardo Ramos. 1975. "Cactaceae Mucilage Composition." *Journal of the Science of Food and Agriculture* 26(7):993–1000.
- Sagüí, Nestor, Roger Madrigal, and Silvia Estigarribia. 2017. "ADAPTÁNDOSE A LA ESCASEZ DE AGUA EN COMUNIDADES RURALES DEL CORREDOR SECO CENTRoAMERICANO : AnÁLisis DE CosTo-BEnEFiCio PARA MEjORAR LA PRoVisión DE AGuA POTABLE EN LA COMUNIDAD DE MARAXCO , CHIQUIMULA , GUATEMALA COPING WITH WATER SUPPLY SCARCITY IN RURA." 9:85–101.
- Shak, Katrina Pui Yee, and Ta Yeong Wu. 2015. "Optimized Use of Alum Together with Unmodified Cassia Obtusifolia Seed Gum as a Coagulant Aid in Treatment of Palm Oil Mill Effluent under Natural PH of Wastewater." *Industrial Crops and Products* 76:1169–78.
- Tarón, Arnulfo, Luis Guzmán, and Israel Barros. 2017. "Evaluación de La Cassia Fistula Como Coagulante Natural En El Tratamiento Primario de Aguas Residuales." *Orinoquia* 21(1):73.
- UNESCO. 2019. *Informe Mundial de Las Naciones Unidas Sobre El Desarrollo de Los Recursos Hídricos 2019. No Dejar a Nadie Atrás.*
- Vargas & Romero, Luis. 2006. "Aprovechamiento de Algunos Materiales En El Desarrollo de Coagulantes y Floculantes Para El Tratamiento de Aguas En Costa Rica." *Tecnología En Marcha* 19(4):37–41.
- Vega, Rolando, José Zamorano, Francisco Encina, and Alfonso Mardones. 2015. "Efecto Del Calcio Sobre La Toxicidad Aguda de Aluminio En Alevines de Trucha Arcoiris (Oncorhynchus Mykiss) Expuestos En Aguas de Diferente PH." *Latin American Journal of Aquatic Research* 43(2):337–43.
- Verma, Akshaya Kumar, Rajesh Roshan Dash, and Puspendu Bhunia. 2012. "A Review on Chemical Coagulation/Flocculation Technologies for Removal of Colour from Textile Wastewaters." *Journal of Environmental Management*

93(1):154–68.

Wiki. 2007. *Ingeniería de Aguas Residuales*. edited by Wiki.

WWAP, (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 2017. Aguas Residuales: El Recurso Desaprovechado.” *Organización de Las Naciones Unidas Para La Educación, La Ciencia y La Cultura* 202.

Yin, Chun Yang. 2010. “Emerging Usage of Plant-Based Coagulants for Water and Wastewater Treatment.” *Process Biochemistry* 45(9):1437–44.

