



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



**ANÁLISIS DEL USO DEL COAGULANTE NATURAL *Moringa oleífera* COMO
REEMPLAZO DE COAGULANTES QUÍMICOS A PARTIR DE INVESTIGACIONES
REALIZADAS EN COLOMBIA**

AUTOR (ES):

ANGIE LORENA VILLERO MANJARREZ

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR - CESAR
2022**

**www.unicesar.edu.co
Campus Universitario Sabanas, Of. 105 D. PBX (57) (5) 5848217 EXT. 1129
Línea de atención al ciudadano 01 8000 400380
Valledupar Cesar Colombia**



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



**ANÁLISIS DEL USO DEL COAGULANTE NATURAL *Moringa oleífera* COMO
REEMPLAZO DE COAGULANTES QUIMICOS A PARTIR DE INVESTIGACIONES
REALIZADAS EN COLOMBIA**

AUTOR (ES):

ANGIE LORENA VILLERO MANJARREZ

DIRECTOR / ASESOR:

LORENA SIERRA

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR - CESAR
2022**



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



DEDICATORIA

Dedico este proyecto de grado primeramente a Dios quien es el dador de mi vida, él que me permitió haber llegado hasta este momento y ayudarme a sacar adelante mi carrera.

A mi mamá Yomaira Manjarrez y a mi abuela Edilma Gutiérrez quien con esfuerzos y sacrificios fueron un pilar fundamental e importante durante estos años de lucha. Gracias a la vida por ellas, sin duda alguna son las mejores.

A mi hermanita, por ser una de mis motivaciones para esforzarme mucho más en mis objetivos.

A mi papá y demás familiares que de una u otra manera me acompañaron durante este proceso.





**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



AGRADECIMIENTOS

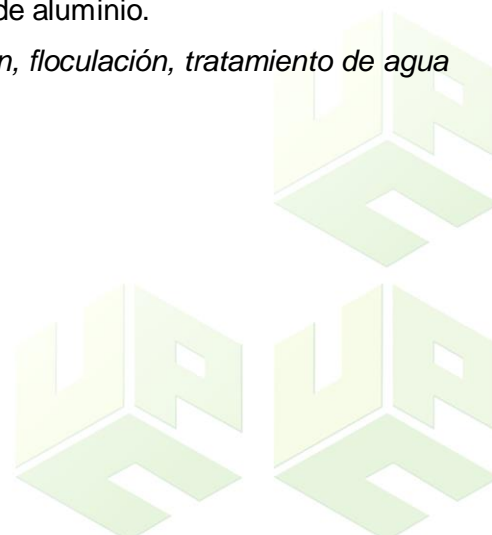
Agradezco a mi directora de proyecto por haberme abierto las puertas de sus conocimientos durante este proceso, a Laura Gómez por su paciencia, por haberme acompañado en todo este tiempo y realizar con éxito este proyecto.



RESUMEN

Los coagulantes naturales han llegado a convertirse en gran interés, debido a que son compuestos que no generan efectos altamente nocivos al medio ambiente y la salud humana, dada su naturaleza orgánica además de obtenerlos a un bajo costo (Renault et al., 2009, Yin, 2010, Antov et al., 2012, Fatombi et al., 2013). La investigación tenía por objeto analizar a partir de investigaciones realizadas en Colombia, el aporte del coagulante natural *moringa oleífera* como reemplazo de coagulantes químicos. Se realizó por medio de tres fases. La primera, consistió en diagnosticar por medio de artículos colombianos del año 2011 al año 2021, el contexto relacionado con el uso de la *moringa oleífera* como coagulante natural en el tratamiento de agua potable, la segunda fase en identificar por medio de los artículos revisados la eficiencia de remoción de los parámetros fisicoquímicos (principalmente turbidez y color) y microbiológicos por medio del coagulante natural *moringa oleífera*, y por último, valorar el desempeño del coagulante natural *moringa oleífera*. Los análisis de las investigaciones consideradas en la revisión evidenciaron que las semillas de *Moringa oleífera* tienen un porcentaje de remoción de turbidez entre el 75-90 %, cuando la turbidez inicial es alta, aproximadamente 200 UNT. Por el contrario, si la turbidez es baja, 40 UNT, el porcentaje de remoción alcanza el 50 %. El coagulante químico Sulfato de Aluminio, es mucho más efectivo que el coagulante natural empleado para reducir la turbidez del agua. Sin embargo, las semillas de *Moringa oleífera*, por su baja toxicidad, son una alternativa para reemplazar parcialmente al sulfato de aluminio.

Palabras claves: Coagulante natural, coagulación, floculación, tratamiento de agua potable.





**Universidad
Popular del Cesar**

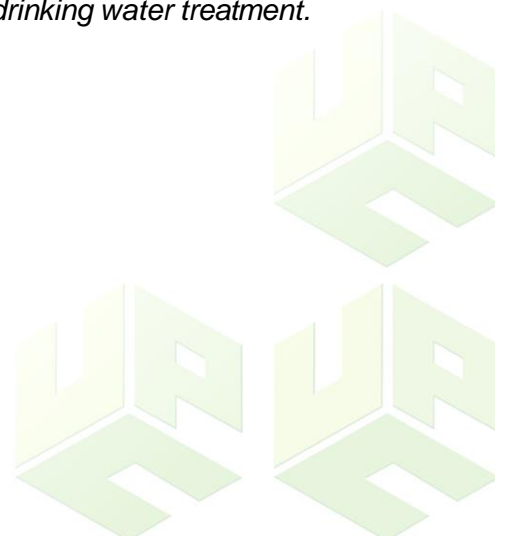
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



ABSTRACT

Natural coagulants have become of great interest because they are compounds that do not generate highly harmful effects on the environment and human health, given their organic nature, in addition to obtaining them at a low cost (Renault et al., 2009, Yin, 2010, Antov et al., 2012, Fatombi et al., 2013). The purpose of the research was to analyze, based on research carried out in Colombia, the contribution of the natural coagulant *Moringa oleifera* as a replacement for chemical coagulants. It was carried out through three phases. The first consisted in diagnosing, through Colombian articles from 2011 to 2021, the context related to the use of *moringa oleifera* as a natural coagulant in the treatment of drinking water, the second phase in identifying through the articles reviewed the removal efficiency of the physicochemical (mainly turbidity and color) and microbiological parameters by means of the natural coagulant *Moringa oleifera*, and finally, to assess the performance of the natural coagulant *Moringa oleifera*. The results showed that *Moringa oleifera* seeds have a percentage of turbidity removal between 75-90%, when the initial turbidity is high, approximately 200 NTU. On the contrary, if the turbidity is low, 40 NTU, the removal percentage reaches 50%. The chemical coagulant Aluminum Sulfate is much more effective than the natural coagulant used to reduce the turbidity of water. However, the seeds of *Moringa oleifera*, due to their low toxicity, are an alternative to partially replace aluminum sulfate.

Keywords: Natural coagulant, coagulation, flocculation, drinking water treatment.





Contenido

RESUMEN.....	5
INTRODUCCIÓN	11
1. Planteamiento Del Problema	13
2. Justificación.....	15
3. Objetivos	17
3.1 Objetivo General	17
3.2 Objetivos Específicos	17
4. Marco Referencial	18
4.1 Antecedentes	18
4.2 Marco Teórico	21
4.3 Marco Contextual	27
4.4. Marco Contextual.....	29
4.4 Marco Legal	30
5. Desarrollo Metodológico.....	33
5.1. Línea Y Sublínea De Investigación	33
5.2 Tipo De Investigación	33
5.3 Nivel De Investigación	33
5.4 Población De Estudio	33
5.5 Muestra Poblacional	33
6. Resultados y análisis	38
6.1 Diagnostico por medio de artículos colombianos del año 2011 al año 2021, el contexto relacionado con el uso de la <i>moringa oleífera</i> como coagulante natural en el tratamiento de agua potable.....	38



6.2 Identificación Por Medio De Los Artículos Revisados La Eficiencia De Remoción De Los Parámetros Físicoquímicos (principalmente turbidez y color) Y Microbiológicos Por Medio Del Coagulante Natural Moringa Oleífera.	57
6.3 Valoración del Desempeño Del Coagulante Natural <i>Moringa Oleífera</i>, Con Soluciones De Sulfato De Aluminio Por Medio De Los Artículos Seleccionados.....	65
7. CONCLUSIONES.....	70
8. RECOMENDACIONES.....	73
9. BIBLIOGRAFIA.....	74





LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Normatividad que aplica en la investigación	30
Tabla 2 Base de datos de información recopilada	39
Tabla 3 Artículos caracterizados.....	45
Tabla 4 Clasificación taxonomica	52
Tabla 5 Matriz de artículos	56
Tabla 6 Resultados coagulante Sulfato de Aluminio.....	64
Tabla 7 ANOVA.....	65
Tabla 8 Resultados coagulante Moringa.....	67
Tabla 9 ANOVA.....	68





**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Esquema de coagulación y floculación	23
Figura 2 Hojas del árbol de la moringa oleífera.....	26
Figura 3 Mapa de Colombia.....	29





INTRODUCCIÓN

El agua puede contener una variedad de impurezas, solubles e insolubles; entre estas últimas destacan las partículas coloidales, las sustancias húmicas y los microorganismos en general. Tales impurezas coloidales presentan una carga superficial negativa, que impide que las partículas se aproximen unas a otras y que las lleva a permanecer en un medio que favorece su estabilidad. Para que estas impurezas puedan ser removidas, es preciso alterar algunas características del agua, a través de los procesos de coagulación, floculación, sedimentación (o flotación) y filtración (CEPIS, 2002).

La etapa de coagulación es un proceso esencial y eficaz en el tratamiento de las aguas potable. A partir de estos procesos físicos y químicos, se obtiene la eliminación de sólidos totales suspendidos, turbidez, color y metales pesados lo que conlleva a la reducción de la Demanda Química de oxígeno (DQO). Hasta la fecha, los tipos de coagulantes naturales que se han utilizado ampliamente como coagulantes naturales son Moringa oleífera (moringa), Strychnos potatorum (nimali), Opuntia ficus indica (cactus) y Jatropha curcas, usados en la disminución de contaminantes para los tratamientos de agua potable (Sánchez-Martin et al., 2010, Yin, 2010 y Abidin et al., 2013).

Los coagulantes naturales han llegado a convertirse en gran interés, debido a que son compuestos que no generan efectos altamente nocivos al medio ambiente y la salud humana, dada su naturaleza orgánica además de obtenerlos a un bajo costo (Renault et al., 2009, Yin, 2010, Antov et al., 2012, Fatombi et al., 2013). En los trabajos experimentales actuales, se ha encontrado variedad de materiales de plantas, las cuales son fuente de coagulantes naturales, una de las más estudiadas es Moringa oleífera cuya actividad coagulante se ha observado a través de la eliminación de la turbidez, demanda química de oxígeno y metales pesados (Ndabigengensere y Narasiah, 1998, Okuda et al., 2001 y Ghebremichael et al., 2006), así como propiedades antimicrobianas (Ghebremichael et al., 2005).

Con la finalidad de cumplir con los objetivos propuestos, se realizó una revisión bibliográfica al uso de la moringa oleífera como coagulante natural, resaltando sus características y beneficios divulgando las experiencias obtenidas en los procesos de



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



coagulación, posicionando los coagulantes naturales como reemplazo de los coagulantes químicos con la finalidad de tratar de encontrar procesos que generan menos gasto, y en algunos casos minimizar el impacto ambiental al utilizar residuos que generalmente son desechados.

La investigación se estructuró de la siguiente manera, en primer lugar, se encuentra el planteamiento del problema, seguido por la justificación del proyecto y los objetivos de esta. En el capítulo cuarto, se encuentra el marco referencial, el cual se divide en antecedentes, donde se mencionan cinco (5) estudios actualizados y relevantes relacionados con las variables de la investigación, que servirán como soporte teórico para el desarrollo de esta, el marco teórico, donde se describen diversas teorías acerca del estudio, el marco conceptual, el cual define términos con mayor relevancia en la investigación, el marco contextual, con la finalidad de poner en contexto el espacio temporal de la investigación, y el marco normativo con las leyes, decretos y resoluciones que rigen el proyecto.

En el capítulo quinto se encuentra la línea, sublínea, tipo, nivel, población y muestra correspondientes a la investigación, y el desarrollo metodológico que describe cada actividad que da cumplimiento a los objetivos específicos. El capítulo sexto menciona los resultados que se esperan obtener en la investigación, el capítulo séptimo, el cronograma de actividades, y el presupuesto en el capítulo octavo. Por último, se encuentra la bibliografía de la investigación.



1. Planteamiento Del Problema

El agua, el saneamiento y la higiene tienen consecuencias importantes sobre la salud y la enfermedad. Las enfermedades relacionadas con el uso de agua incluyen aquellas causadas por microorganismos y sustancias químicas presentes en el agua potable; enfermedades como la esquistosomiasis, que tiene parte de su ciclo de vida en el agua; la malaria, cuyos vectores están relacionados con el agua; el ahogamiento y otros daños, y enfermedades como la legionelosis transmitida por aerosoles que contienen microorganismos (Organización Mundial de la Salud, 2015).

Se calcula que casi un tercio de la carga mundial de morbilidad (para todas las edades) puede atribuirse a la contaminación del agua relacionados con los factores de riesgo ambientales. Más del 40% de esa carga recae en los niños menores de cinco años, que, sin embargo, sólo constituyen alrededor del 10% de la población del mundo (Organización Mundial de la Salud, 2015).

El proceso de tratamiento de aguas tanto potables como residuales se basa en un tratamiento químico inicial a base de coagulantes y floculantes para removerla mayoría de contaminantes (Vargas, 2008). En los países en desarrollo, los procesos de coagulación y floculación para el tratamiento de agua se realiza utilizando materias primas importadas generando altos costos en la compra de los productos necesarios para realizar el proceso (Romero, 2006).

Adicionalmente, según investigaciones realizadas por (Guzmán, et al., 2013), existe evidencia que demuestra como los coagulantes a base de aluminio principalmente, promueven el desarrollo de la enfermedad del Alzheimer en las personas que consumen el agua tratada, entre otros efectos.

Por otra parte, según investigaciones realizadas por Guzmán, et. Al., (2013), demuestran que, aunque los coagulantes naturales sean empleados con frecuencia de manera orgánica, aún existen falencias en la información, la cual debe ser ampliada para comprender con exactitud la eficiencia de este tipo de coagulante como reemplazo de los coagulantes de origen inorgánico.

De acuerdo con los antecedentes reportados en diversos estudios científicos, se puede evidenciar que los coagulantes y floculantes de origen natural para la eliminación de



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



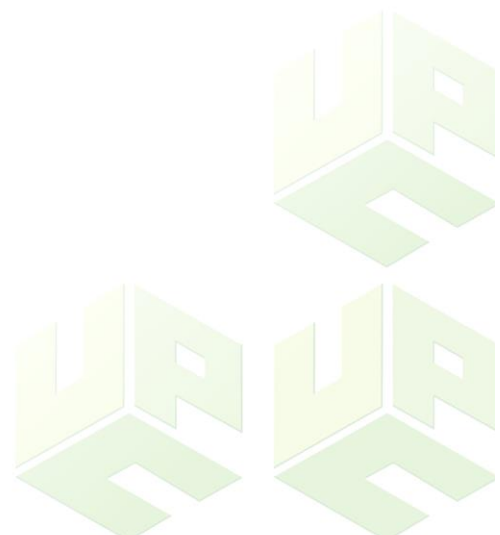
turbidez, color y parámetros fisicoquímicos presentes en aguas, han sido utilizados desde hace siglos (Asrafuzzaman et al. 2011); sin embargo, el análisis de la información obtenida no ha sido abordada desde una perspectiva que permita conocer el aporte de estos frente a los coagulantes químicos.

Por tal razón las investigaciones encaminadas a la búsqueda de nuevas alternativas en el tratamiento de potabilización del agua, con la aplicación de coagulantes naturales como una opción que no implica efectos en la salud de los consumidores, viene presentado un auge significativo.

Conforme a lo anterior, el presente trabajo recopiló información de diferentes publicaciones científicas, con el fin de dar a conocer el aporte de la *Moringa oleífera* en el proceso de tratamiento de agua potable.

Pregunta Problema

¿Cuál es el aporte del coagulante natural *moringa oleífera* en las investigaciones realizadas en orden nacional con la finalidad de reducir los impactos asociados al uso de coagulantes químicos convencionales?



2. Justificación

El agua es fundamental para la vida y la salud. La realización del derecho humano a disponer de agua es imprescindible para llevar una vida saludable, que respete la dignidad humana. Es un requisito para la realización de todos los demás derechos humanos (Organización Mundial de la Salud, 2017).

Las prácticas de coagulación y floculación son tratamientos previos esenciales para muchos sistemas de purificación de agua, ya que a partir de ellos se pretende eliminar las partículas coloidales que afectan la calidad de esta (Vargas, 2006). En un intento de eludir los problemas asociados con los métodos de purificación convencionales, los coagulantes -floculantes de origen vegetal son una alternativa en la remoción de contaminantes en el agua (Romero, 2006).

En años recientes ha existido un aumento en el interés por coagulantes naturales alternativos, como el que se puede extraer de las semillas de Moringa oleífera, pues la utilización de productos de origen natural es segura y barata, reduciendo el impacto ambiental negativo dejado por compuestos como el sulfato de aluminio. (Echeverría, 2017).

El análisis bibliográfico del uso del coagulante natural moringa oleífera en la remoción de parámetros fisicoquímicos (principalmente turbidez y color), y microbiológicos, permitirá conocer a partir de investigaciones ya realizadas su efectividad y potencial reemplazo de coagulantes convencionales. Por lo anterior, este estudio es relevante y significativo ya que, a partir de la información obtenida, países en vía de desarrollo como Colombia, podrían empezar a implementar alternativas tecnológicas sostenibles de agentes coagulantes para el tratamiento de agua potable, además de darle un tratamiento a los residuos generados por la moringa oleífera, reduciendo costos y efectos secundarios del uso de agentes químicos.

Por otra parte, el análisis de la información literaria revisada en la investigación acerca del uso de la moringa oleífera como coagulante natural sirvió como base teórica para posibles investigaciones futuras, siendo fuente de identificación de ventajas al usar esta alternativa con gran potencial no experimentado ampliamente, por ejemplo, que no producen efectos nocivos en el medio ambiente o salud humana por su origen orgánico, y



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



posibles soluciones como el acceso de agua potable principalmente en regiones o comunidades de zonas rurales y escasos recursos económicos.

La investigación realizó una revisión bibliográfica al uso de la moringa oleífera como coagulante natural, resaltando sus características y beneficios divulgando las experiencias obtenidas en los procesos de coagulación, posicionando los coagulantes naturales como reemplazo de los coagulantes químicos con la finalidad de tratar de encontrar procesos que generan menos gasto, y en algunos casos minimizar el impacto ambiental al utilizar residuos que generalmente son desechados.

Este trabajo se hizo en la modalidad de revisión documental ya que en el programa de ingeniería ambiental y sanitaria son escasos los trabajos de grado de este tipo (revisión bibliográfica) así mismo surge la necesidad de formular otro tipo de investigaciones a raíz de las limitaciones ocasionadas por la pandemia en cuanto a ingresos a laboratorios, visitas de campo, entre otras actividades que constituyen los trabajos de grados convencionales.





3. Objetivos

3.1 Objetivo General

Analizar a partir de investigaciones realizadas en Colombia, el aporte del coagulante natural *moringa oleífera* como reemplazo de coagulantes químicos.

3.2 Objetivos Específicos

- Diagnosticar por medio de artículos colombianos del año 2011 al año 2021, el contexto relacionado con el uso de la *moringa oleífera* como coagulante natural en el tratamiento de agua potable.
- Identificar por medio de los artículos revisados la eficiencia de remoción de los parámetros fisicoquímicos (principalmente turbidez y color) y microbiológicos por medio del coagulante natural *moringa oleífera*
- Valorar el desempeño del coagulante natural *moringa oleífera* por medio de los artículos seleccionados.



4. Marco Referencial

4.1 Antecedentes

A continuación, se mencionan cinco (5) estudios actualizados y relevantes relacionados con las variables de la investigación, que servirán como soporte teórico para el desarrollo de esta y permitirá contextualizar diferentes enfoques, métodos empleados, y conclusiones a que llegaron los autores y otros elementos de importancia.

Acevedo, E., (2019), desarrolló la investigación titulada: uso de semillas de moringa (*moringa oleífera*) como coagulante natural para la purificación de aguas crudas de río negro, río de oro y quebrada Floridablanca, Santander, para optar por el título de microbiólogo industrial en la universidad de Santander. La investigación tenía por finalidad proponer el tratamiento primario para la potabilización de agua con las semillas de *Moringa oleífera* como floculante, reemplazando así el sulfato de aluminio que se usa actualmente para tal fin. Se desarrolló a partir de 2 etapas. La primera etapa, se recolectaron muestras de agua en Río de Oro, Río Negro y quebrada Floridablanca, acuíferos superficiales ubicados en el departamento de Santander, a las cuales se les realizó una caracterización de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. La segunda etapa se evaluó el porcentaje de efectividad del coagulante natural, realizando los mismos análisis iniciales una vez concluido el tratamiento. Los resultados de la investigación mostraron que las proteínas catiónicas presentes en la harina de moringa, responsables de la coagulación, pueden ser utilizadas en conjunto con el sulfato, con el fin de llegar a reemplazarlo en un futuro. La investigación da aportes científicos que permiten usarse como guías teóricas y metodológicas sobre la reducción de la turbidez del agua cuando se usa la *moringa oleífera* como coagulante natural, lo que ayuda a identificar la relevancia del coagulante natural sobre el resto, y así poder realizar un respectivo análisis investigativo.

González, J. (2018), desarrolló la investigación titulada: Evaluación de la semilla de moringa como coagulante en aguas residuales de curtiembre, para optar por el título de ingeniero ambiental en la Universidad de la Salle, Colombia. La investigación pretendía la evaluación de un elemento natural como las semillas de moringa para la remoción de contaminantes en aguas provenientes de una curtiembre. Se realizó por dos etapas. La primera etapa con el fin de analizar la eficiencia como coagulante de las semillas, se realizó

un proceso de separación, secado y triturado de éstas. La segunda etapa consistió en el mezclado con hidróxido de sodio para la obtención de una solución patrón de la cual se variaron las dosificaciones. Los resultados evidenciaron que con una dosificación de 50 ml de solución patrón de moringa se obtienen los mejores resultados de remoción de cromo, mientras que la DQO y los SST no presentan mayores eficiencias bajo ninguno de los tratamientos realizados. La investigación nos permite obtener una guía que muestra la eficiencia de la moringa como coagulante natural en aguas residuales, lo que corrobora el uso de este coagulante natural en el tratamiento de agua, su importancia, etc. Esto permitirá obtener información para la realización del análisis investigativo que se llevará a cabo.

Bravo, M., (2017), desarrolló la investigación titulada: coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales, para optar por el título de licenciada química en la universidad Distrital Francisco José de Caldas. La investigación tenía por objeto recopilar de información sobre la capacidad de coagulación y floculación de metales pesados, sólidos en suspensión, turbidez, colorantes y demanda química de oxígeno presentes en aguas residuales mediante la aplicación de extractos derivados de fuentes naturales. Se dividió en dos etapas. La primera etapa se recolectó y caracterizó información bibliográfica de quince especies de plantas y dos extraídos de animales, los cuales se encuentran reportados en la literatura científica con actividad coagulante y floculante y los convierten en sustituyentes de productos químicos como el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y el cloruro férrico ($FeCl_3$) conocidos por ser los coagulantes químicos más utilizados en el proceso de potabilización del agua. La segunda etapa fue el análisis de la información. En los resultados se evidencia que el uso de los biopolímeros revisados en las diferentes bases de datos ha demostrado ser eficientes con altos valores de remoción de contaminantes, sin embargo, hay necesidad de explorar y ampliar el estudio a escala industrial. La investigación es relevante y ofrece una base de datos de los principales coagulantes usados y su eficiencia de remoción. En esta investigación se evidencian distintos coagulantes naturales por lo que permite realizar la comparación de las propiedades y eficiencia de cada uno, resaltando las características de la moringa en el tratamiento de agua y porque esta es ampliamente usada, información importante para el objeto de estudio.

Turcios E (2017), desarrolló la investigación titulada: uso de semilla de *moringa oleífera* como coagulante orgánico en el tratamiento de agua para consumo humano para optar por el título de ingeniero ambiental en la Universidad de San Carlos de Guatemala. La investigación tenía por objeto evaluar la eficiencia y factibilidad del uso de polvo de semilla de moringa como coagulante orgánico, para remover la turbiedad del agua destinada para consumo humano. Se realizó por medio de 3 etapas: en la primera etapa se indujo artificialmente la turbiedad por medio de arcilla caolín, obteniendo diferentes turbiedades en un rango de 0 a 500 UNT, así mismo se determinó la dosis óptima del sulfato de aluminio y de la semilla de moringa, por medio de 15 pruebas de jarras. En la segunda etapa se realizaron 25 pruebas de jarras a diferentes turbiedades aplicando las dosis óptimas identificadas, manteniendo una muestra control en cada ensayo realizado, determinando el porcentaje de remoción a 15, 30 y 60 minutos de sedimentación, los resultados se evidencia un porcentaje de remoción real promedio de turbiedad de 23% con un tiempo de sedimentación de 15 minutos. De acuerdo con los resultados obtenidos, se concluye que técnicamente no es factible utilizar polvo de semilla de moringa como coagulante orgánico a nivel domiciliario, y como alternativa para sustituir el sulfato de aluminio de acuerdo con la metodología empleada. La investigación nos permite tener una visión del uso del coagulante natural como alternativa de reemplazo y uso sobre el sulfato de aluminio, coagulante químico que se usa con frecuencia, lo que prueba su eficiencia de remoción y evidencia las características de este en el tratamiento de agua, por lo que la información ayuda a realizar el análisis del uso de la moringa como coagulante natural y su potencial uso como reemplazo de los coagulantes químicos.

Cerón I, Garzón E., (2015), desarrollaron la investigación titulada: evaluación de la semilla de *moringa oleífera* como coadyuvante en el proceso de coagulación para el tratamiento de aguas naturales del río Bogotá en su paso por el municipio de Villapinzón, Cundinamarca, para optar por el título de ingeniero ambiental en la universidad Libre. El objeto de la investigación fue: evaluar la semilla de Moringa Oleífera como coadyuvante en el proceso de coagulación para el tratamiento de aguas naturales del Río Bogotá en su paso por el municipio de Villapinzón, Cundinamarca. Se realizó por medio de 3 fases. La primera fue determinar los parámetros físicos, químicos relevantes a la calidad del agua, la

segunda etapa determinar la dosis y pH adecuados, y, por último, comparar el desempeño del coagulante natural obtenido, con soluciones de sulfato de aluminio. Los resultados evidencian que la muestra de agua cruda no cumple con las características para ser un agua potable debido a que la turbiedad está por encima del límite permisible por la normatividad nacional (2 NTU), al igual que el valor del pH se encuentra por debajo de lo permitido. La investigación es relevante porque evidencia el porcentaje de remoción con el coagulante natural para el tratamiento del agua de ríos, lagos, etc. Además, evidencia la postura del coagulante frente a otros de origen químico, lo que permite obtener información para realizar el análisis objeto de investigación.

4.2 Marco Teórico

A continuación, se mencionan un conjunto de teorías existentes relacionadas con las variables de la investigación que pondrán en contexto el estudio presente y precisa la corriente de pensamiento en la que se inscribe esta. Se describirá detalladamente los procesos de coagulación y el uso de la *Moringa oleífera* en el tratamiento de agua potable.

4.2.1 Coagulación

La coagulación puede entenderse como la desestabilización eléctrica de algunas partículas medias te la adición de sustancia químicas que son los coagulantes. Esta operación se efectúa en unidades y tanques de mezcla rápida, en los cuales el agua se somete a agitación muy intensa para formar una solución homogénea de los coagulantes con el agua en el menor tiempo posible (Rodríguez, 2010).

Este proceso se usa para (Rodríguez, 2010):

- Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no se puede sedimentar rápidamente.
- Remoción de color verdadero y aparente.
- Eliminación de bacteria, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación.
- Destrucción de algas y plancton en general.
- Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor, en algunos casos de precipitados químicos suspendidos en otros.



El uso de cualquier otro proceso para la remoción de partículas muy finas, como la sedimentación simple, resulta muy poco económico y en ocasiones imposible, debido al alto tiempo requerido (Arboleda, 2000).

Para la evaluación de este proceso es necesario tener en cuenta las características físicas y químicas del agua, la dosis del coagulante, la concentración del coagulante, el punto de aplicación del coagulante, la intensidad y el tiempo de mezcla y el tipo de dispositivo de mezcla (Arboleda, 2000).

El proceso de coagulación consiste en la formación de pequeñas partículas mediante la adición de un coagulante al agua y la aplicación de energía de mezclado, que desestabiliza las partículas suspendidas por neutralización de las cargas de coloides cargados negativamente en donde se utiliza frecuentemente coagulantes inorgánicos, que en su mayoría alteran las propiedades fisicoquímicas del agua. Una de las opciones consideradas para poder alcanzar altos niveles de calidad del agua tratada y desempeño del proceso es el uso de los coagulantes alternativos que han surgido en las últimas décadas (Arboleda, 2000).

4.2.1 Teoría De La Coagulación

Las partículas que forman la turbiedad y el color de las aguas naturales poseen cargas eléctricas que normalmente son negativas, pero como también existen cargas eléctricas positivas, se puede afirmar que el agua y las soluciones son eléctricamente neutras. Las cargas eléctricas de las partículas generan fuerzas de repulsión entre ellas, por lo cual se mantienen suspendidas y separadas en el agua. Es por esto por lo que dichas partículas no se sedimentan (Arboleda, 2000).

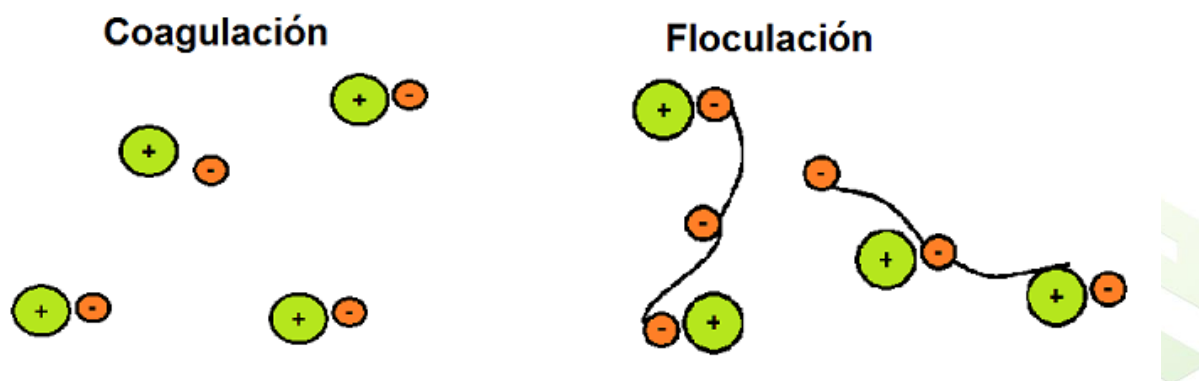
El conjunto formado por estas partículas constituye un sistema coloidal, formado por una doble capa de iones, el cual es sometido a un potencial en la superficie inferior del doble lecho, denominado potencial Z. Este potencial tiene un valor crítico, por encima del cual los coloides son estables, y por debajo de él, la repulsión en las partículas se reduce a un grado tal que chocando con cierta velocidad pueden unirse y flocular. El problema en la coagulación consiste en disminuir el potencial Z por uno de los siguientes métodos (Aguirre, 2012):

- Coagulación por neutralización de la carga: Esta se realiza cuando coloides de diferente signo se mezclan en el agua. Esto es lo que sucede cuando se agrega alumbre o sales de hierro al agua (Aguirre, 2012).
- Coagulación por disminución del espesor de la doble capa (distancia d). Al incrementarse la concentración de iones en el agua la “distancia d ” disminuye, hasta hacer el valor del potencial Z inferior al punto crítico (Aguirre, 2012).

El fenómeno de la desestabilización se efectúa mediante una serie de reacciones químicas bastante complejas, de las cuales algunas no se han podido entender lo suficiente. Dentro de esas reacciones se encuentran las que se efectúan con las diversas formas de alcalinidad, por lo cual su contenido disminuye. Además, algunas de estas reacciones producen CO_2 , cuyo efecto consiste fundamentalmente en el incremento de la acidez del agua y por consiguiente la disminución del pH (Caicedo, 2015).

Figura 1

Esquema de coagulación y floculación



Fuente: Bechara, 2016

4.2.1.2 Factores Que Influyen En La Coagulación

- Influencia de la concentración de coagulante: Existe mucha especulación respecto a la influencia de la concentración de solución de coagulante en la eficiencia del proceso de tratamiento; incluso se ha sugerido limitar la concentración mínima a valores del orden de 0,5% en las estaciones de



tratamiento. Pero tal sugerencia contradice el procedimiento usual en la realización de ensayos de laboratorio, que generalmente usan la solución de coagulante con una concentración de 0,1 y 0,2%, dependiendo del volumen de los frascos de los equipamientos de floculación (1 ó 2 litros) y de las dosis previstas para los ensayos (Cepis, 2000).

- Capacidad de cambio: Es una medida de la tendencia a remplazar cationes de baja valencia por otros de mayor valencia, provocando la desestabilización y aglomeración de partículas en forma muy rápida (Aguirre, 2002).
- Tamaño de las partículas: Las partículas deben poseer el diámetro inferior a una micra. Las partículas con diámetro entre una y cinco micras, sirven como núcleos de floc, en cambio de diámetro superior a cinco micras, son demasiado grandes para ser incorporadas en el floc (Aguirre, 2002).
- Temperatura: La temperatura cambia el tiempo de formación del floc, entre más fría el agua, la reacción es más lenta y el tiempo de formación del floc es mayor (Aguirre, 2002).
- Concentración de iones H⁺ o pH: Para cada coagulante hay por lo menos una zona de pH óptima, en la cual una buena floculación ocurre en el tiempo más corto y con la misma dosis de coagulante (Aguirre, 2002).
- Relación cantidad-tiempo: La cantidad de coagulante es inversamente proporcional al tiempo de formación del floc (Aguirre, 2002).
- Alcalinidad: La alcalinidad guarda la relación con el pH y por lo tanto el contenido de alcalinidad del agua es uno de los factores por considerar en la coagulación (Aguirre, 2002).

4.2.1.3 Clases De Coagulantes

Los coagulantes que se utilizan en la práctica para agua potable son los siguientes (Bechara, 2006):

- Sales de Aluminio: Forman un floc ligeramente pesado. Las más conocidas son: El Sulfato de Aluminio, $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$, que en la práctica se le denomina Alumbre; el Sulfato de Aluminio, Amoniaco y el Aluminato Sódico. El primero es el que se usa

con mayor frecuencia dado su bajo costo y manejo relativamente sencillo (Bechara, 2006).

- Sales de Hierro: Se utiliza el Cloruro Férrico, $FeCl_3$, y los Sulfatos de Hierro Férrico y Ferroso, $Fe(SO_4)_3$ y $FeSO_4$. Forman un floc más pesado y de mayor velocidad de asentamiento que las sales de aluminio (Bechara, 2006).
- Polímeros o polielectrolitos: Son compuestos complejos de alto peso molecular que se utilizan no propiamente como coagulantes sino como ayudantes de coagulación. La dosificación de estas sustancias se lleva a cabo en concentraciones muy bajas, lo cual es una gran ventaja y compensa el costo del polímero. Están siendo ampliamente empleados en el tratamiento de aguas potables ya que se produce una menor cantidad de lodos, adicionalmente el lodo producido es más fácilmente tratable (Bechara, 2006).

4.2.2 Uso De La Moringa Oleífera Como Coagulante Natural

La *M. Oleífera* es un árbol tropical perteneciente a la familia Moringaceae. Es originario del noroeste de la India, y es conocido en Brasil como Quiabo de quina y Lirio blanco (Lopes y Silva, 2004). Este árbol es resistente a la sequedad y crece en zonas áridas y semiáridas, por lo que se le llama el árbol milagroso (Ghebremichael *et al.*, 2005; Ali *et al.*, 2004). Se ha encontrado que el componente activo de la semilla de *M. oleífera* que causa la coagulación del agua cruda turbia es una proteína soluble que actúa en el proceso como un polielectrolito catiónico natural (Barth *et al.*, 1982; Jahn, 1989).

La capacidad de coagulación de las proteínas se ve incrementada cuando se emplean sales inorgánicas en su extracto (Okuda *et al.*, 2001). La extracción y purificación de los componentes activos del coagulante de *M. oleífera* obtenido con solución salina no aumenta la concentración orgánica residual del agua después de la coagulación (Okuda *et al.*, 2001). El empleo de *M. Oleífera* no induce a cambios significativos de los valores de pH y conductividad del agua después de su tratamiento (Ndabigengesere y Narasiah, 1998).

Los coagulantes naturales de origen vegetal son biodegradables y económicos en países en desarrollo, ya que pueden ser cultivados localmente y tienen una gama amplia y eficaz de dosificación para la floculación de diversas suspensiones coloidales (Sanghi *et al.*, 2006). Adicionalmente, varios investigadores verificaron también la presencia de propiedades bactericidas en las semillas de *M. Oleífera* (Huda *et al.*, 2012, Ghebremichael *et al.*, 2005; Jahn, 1986) y una correlación positiva entre la reducción de la turbidez y la reducción de huevos de helmintos en agua tratada para riego, sugiriendo que se adhieren a las partículas y/o a los flóculos formados en la coagulación del agua cruda a partir de la *M. Oleífera* y se sedimentan simultáneamente (Mita *et al.*, 2012).

Figura 2

Hojas del árbol de la moringa oleífera



Fuente: Atlas botánico, 2010.

Investigaciones realizadas para agua cruda de los ríos Kadahokwa y Rwamamba, localizados en el sector Tumba, distrito de Huye, provincia del sur de Ruanda, reportaron reducciones del 95 %, 99 %, y 99,8 % para turbiedades de 50, 250 y 450 NTU, respectivamente. También se encontraron reducciones de color por encima del 90 % para las muestras tomadas (Nkurunziza *et al.*, 2009). Resultados similares fueron hallados para agua cruda de un arroyo turbio, en Malasia, en una planta a escala piloto, utilizando la *M. Oleífera* como coagulante, y se lograron reducciones de turbiedades entre 21 y 202 UNT a valores entre 1,9 y 4,3 UNT (Muyibi y Alfugara, 2003).



4.2.2.1 Preparación De La Semilla De Moringa Oleífera

- **Desengrasado De La Semilla:** Se extraen 40,0 gramos de polvo de semilla de *M. Oleífera*, durante 24 horas con n-hexano en un extractor tipo Soxhlet (Bathia *et al.*, 2007). El marco resultante se secó en el horno a 105 °C durante 24 horas y se almacenó en un desecador durante todo el período de estudio, a una temperatura promedio de 25 ± 2 ° C.
- **Extracción Del Coagulante:** Se disuelve en 10,0 mL de solución salina de NaCl, al 1,0%, 10 gramos de polvo de semilla desengrasada para obtener una concentración de 10.000 mg/L. La solución resultante se centrifugó durante 10 minutos a 6000 rpm en una centrifugadora tipo Hermile-Mod Z-20 (Ali *et al.*, 2010). El líquido sobrenadante se filtró a presión reducida en un equipo de vacío marca GAST-Mod-DUApI04-AA. El filtrado se preservó y se utilizó como coagulante natural en los ensayos de Jarras. El mismo procedimiento se usó para 0,10 gramos de polvo de semilla sin desengrasar.

4.3 Marco Contextual

A continuación, se mencionan un conjunto de términos técnicos previamente seleccionados que se manejarán con mayor frecuencia en el desarrollo del estudio de investigación, con la finalidad de contextualizar y hacer de forma más fácil y comprensible el trabajo de los interesados en la investigación.

- **Agitación:** se refiere a forzar un fluido por medios mecánicos para que adquiera un movimiento circulatorio en el interior de un recipiente (Kursun, 2010).
- **Agua Potable:** Llamamos agua potable al agua que podemos consumir o beber sin que exista peligro para nuestra salud. El agua potable no debe contener sustancias o microorganismos que puedan provocar enfermedades o perjudicar nuestra salud (IDEAM, 2015).
- **Arcillas:** es una roca sedimentaria descompuesta constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados procedentes de la descomposición de rocas que contienen feldespato, como el granito. Presenta diversas coloraciones según las



impurezas que contiene, desde el rojo anaranjado hasta el blanco cuando es pura (Melo, 2012).

- **Coagulante:** En química de aguas, un coagulante es sales metálicas que reaccionan con la alcalinidad del agua, para producir un floculo de hidróxido del metal, insoluble en agua, que incorpore a las partículas coloidales (Bolto, 2007).
- **Floc:** el floculo; en ingeniería de tratamiento de aguas, un grumo de materia orgánica formado por agregación de sólidos en suspensión (Bolto, 2007).
- **Floculación:** La floculación es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado (Kursun, 2010).
- **Gradiente De Velocidad:** El gradiente de velocidad es el índice de cambio de la velocidad con la distancia de las placas (Kursun, 2010).
- **Índice De Calidad De Agua, (ICA):** es un número (entre 0 y 1) que señala el grado de calidad de un cuerpo de agua, en términos del bienestar humano independiente de su uso. Este número es una agregación de las condiciones físicas, químicas y en algunos casos microbiológicas del cuerpo de agua, el cual da indicios de los problemas de contaminación (IDEAM, 2015).
- **Partículas Coloidales:** Los coloides son las partículas de muy bajo diámetro que son responsables de la turbidez o del color del agua superficial. Debido a su muy baja sedimentación la mejor manera de eliminarlos es por los procesos de coagulación-floculación (Bolto, 2007).
- **Prueba De Jarras:** es un ensayo de laboratorio que permite simular las etapas de coagulación – floculación para realizar dicha selección de los químicos adecuados y obtener una determinada calidad de agua final (Bolto, 2007).
- **Tratamiento Primario:** Los tratamientos primarios son aquellos que eliminan los sólidos en suspensión presentes en el agua residual. Los principales procesos fisicoquímicos que pueden ser incluidos en el tratamiento primario son los

siguientes: sedimentación, flotación, coagulación – floculación y filtración (Melo, 2012).

- **Tratamiento Secundario:** El tratamiento secundario es utilizado para eliminar los contaminantes que, con la sedimentación primario, no son posibles removerlos; generalmente, dentro de este tipo de contaminantes, se encuentran parte de los coloides, y principalmente toda aquella materia disuelta (Melo, 2012).
- **Turbidez:** Se entiende por turbidez o turbiedad a la medida del grado de transparencia que pierde el agua o algún otro líquido incoloro por la presencia de partículas en suspensión. Cuanto mayor sea la cantidad de sólidos suspendidos en el líquido, mayor será el grado de turbidez (Bolto, 2007).

4.4. Marco Contextual

A continuación, se describe el contexto o espacio temporal en el que se enmarca la investigación con la finalidad de contextualizar esta. Para el estudio se tiene en cuenta el espacio temporal o lapso donde se desarrollará la investigación, en este caso serán investigaciones de orden nacional conforme a un periodo de publicación determinado.

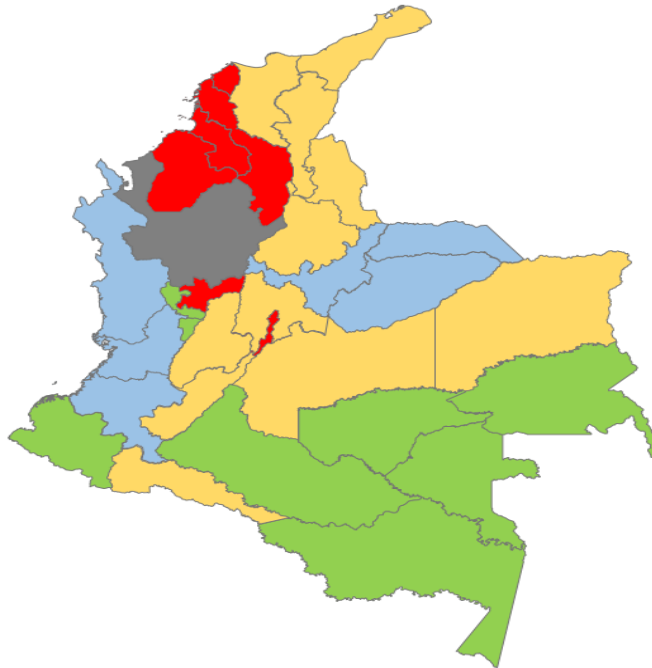
4.4.1 Espacio Temporal

Las investigaciones que se tendrán en cuenta corresponden a artículos científicos colombianos (de orden nacional) que no superen los 10 años de anterioridad, es decir artículos del año 2011 hasta el año 2021 relacionado con el uso de la *moringa oleífera* como coagulante natural en el tratamiento de agua potable.

Figura 3

Mapa de Colombia





Fuente: Archivos Google maps, 2021

4.4 Marco Legal

A continuación, se menciona el soporte o articulado jurídico el cual respalda el desarrollo del tema de estudio en la investigación. El marco jurídico está establecido de acuerdo con las leyes fundamentales del estado Colombiano y menciona en primer lugar las normativas generales relacionadas con el medio ambiente y posteriormente, las normativas específicas de la investigación.

Tabla 1

Normatividad que aplica en la investigación

LEY/DECRETO/RESOLUCIÓN	DESCRIPCIÓN
Constitución Política De Colombia	ART. 79: Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo.

	ART. 80: El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución
Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.
Ley 9 de 1979	Dicta medidas sanitarias, tendientes a la protección del medio ambiente, suministro de agua, salud ocupacional, saneamiento de edificaciones, alimentos, drogas, medicamentos, cosméticos y similares, vigilancia y control epidemiológico, desastres, defunciones, traslado de cadáveres.
<u>Decreto 155 de 2004- art.1</u>	Por el cual se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas y se adoptan otras disposiciones.
<u>Decreto 4742 de 2005-art. 43</u>	Por el cual se modifica el artículo 12 del decreto 155 de 2004 mediante la cual se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre las tasas por utilización de agua
<u>Decreto 1324 de 2007-art. 1</u>	Por el cual se crea el registro de usuarios del recurso hídrico y se dictan otras disposiciones
<u>Decreto 1323 de 2007-art. 9</u>	Por el cual se crea el sistema de información del recurso hídrico SIRH.
Decreto 1076 de 2015	Se expide el Decreto Único Reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible



Decreto 2811 de 1974	Se dicta el código nacional de recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente. Estipula en su título II, de la parte III las disposiciones relacionadas con la Educación Ambiental en el sector formal.
Resolución 2115 de 2007-art. 2 al art. 19	Características, instrumentos básicos para la caracterización y control de la calidad del agua
Resolución 1575 de 2007-art. 3	El objeto del presente decreto es establecer el sistema para la protección y control de la calidad del agua, con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por su consumo, exceptuando el agua envasada.
Resolución 0811 de 2008-art. 8	Establece puntos de muestreo para el control de la calidad del agua en la red de distribución
Resolución 1096 del 2000-art. 1	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS.
Resolución 0330 de 2017	“Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009”

Fuente: Constitución Política de Colombia, 1991



5. Desarrollo Metodológico

5.1. Línea Y Sublínea De Investigación

La investigación tiene como línea correspondiente SOSTENIBILIDAD Y GESTIÓN AMBIENTAL y como sublínea GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HIDRICO

5.2 Tipo De Investigación

La investigación fue tipo descriptivo. Las investigaciones descriptivas buscan especificar propiedades, características y los rasgos importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que se someta a análisis (Arias, 2012).

5.3 Nivel De Investigación

El nivel de la investigación fue descriptivo, este, no es causal y su tipo de análisis es predominante cualitativo, en base a fuentes documentales.

5.4 Población De Estudio

La población estudio correspondió a las investigaciones colombianas que no superen los 10 años de anterioridad con el uso específico de la *moringa oleífera* como coagulante natural, es decir investigaciones del año 2011 al año 2021. Para la población se utilizó un total de 30 artículos, tesis y documentos recopilados en diferentes fuentes de información como lo fueron: Google académico, Scielo, Science Direct, entre otros.

5.5 Muestra Poblacional

La muestra poblacional correspondió a las investigaciones donde el porcentaje de remoción de la turbidez y el color sean mayores al 85% por el coagulante natural *moringa oleífera*.

5.6 Desarrollo Metodológico

5.6.1 Fase 1: Diagnostico por medio de artículos colombianos del año 2011 al año 2021, el contexto relacionado con el uso de la *moringa oleífera* como coagulante natural en el tratamiento de agua potable.

Actividad 1.1 Revisión Bibliográfica De Artículos Colombianos

Descripción: Se realizó una recopilación de información provenientes de artículos científicos de páginas web: Scielo, Science direct, Dianelt, World Wide Science, etc. sobre el uso de la moringa oleífera como coagulante natural, pero estos artículos no superaron los 10 años de anterioridad, es decir, solo se analizó y se tuvo en cuenta los artículos publicados del 2011 al 2021 y de orden nacional.

Para el procesamiento de datos se tuvo en cuenta los siguientes pasos propuestos por la Universidad Pontificia Javeriana (2017), en su guía: Técnicas de procesamiento y estructuración de la información:

1. Etapas Del Procesamiento De Datos

1.1 Recopilación de datos

Se recopiló información correspondiente a las investigaciones colombianas que no superen los 10 años de anterioridad con el uso específico de la *moringa oleífera* como coagulante natural, es decir investigaciones del año 2011 al año 2021. Entre estas se tuvo en cuenta tesis, artículos, investigaciones, etc. recopilados en diferentes fuentes de información como lo fueron: Google académico, Scielo, Science Direct, entre otros. En cuanto a la ruta de búsqueda en las diferentes fuentes se ha tomado en cuenta:

- Limitante: Texto completo y resumen
- Tipo de herramienta: Artículos científicos, tesis
- Tiempo: Del 2011 al 2021.
- Idiomas: español
- Orden: Nacional
- Palabras claves: Moringa, coagulante natural, coagulante químico

En cuanto a los criterios de inclusión y exclusión para la recopilación de datos se tuvo lo siguiente:

- Criterios de inclusión



Se ha considerado los criterios de inclusión; de acuerdo con los años de publicación, desde el año 2010 – 2021, asimismo se tuvo en cuenta el idioma español y los documentos que contienen carácter de artículo científico, tesis, entre otros.

Criterios de exclusión

- Artículos de antes de 2011 y después del 2021
- Están sujetos a exclusión los artículos de Google
- Fueron excluidos aquellas fuentes periodísticas
- Fueron excluidos artículos que no demuestran autenticidad
- Fueron excluidos artículos que no guardan relación con el contenido temático

Fueron excluidos artículos internacionales

1.2 Tabulación De Datos

La tabulación de datos se realizó por medio de una matriz diseñada para su análisis. Esta estuvo compuesta por los nombres de los autores de la investigación, el año de publicación, el título del documento, una breve descripción de esta y el enlace de acceso a este documento.

Actividad 1.2 Caracterización de Los Artículos Más Significativos En El Uso De La *Moringa Oleífera* Como Coagulante Natural En El Tratamiento De Agua Potable.

Descripción: Con la base de datos ya obtenida en las actividades anteriores, se realizó la selección de los artículos con las características anteriores, pero, que presenten porcentajes de remoción de turbidez y color superior al 85%, clasificándolos y caracterizándolos de los demás escogidos, de esta forma, se limitó la investigación a artículos que hayan demostrado superioridad en cuanto a la remoción por medio del coagulante moringa oleífera. Así mismo, se identificaron los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en los artículos seleccionados, los cuales representaron un aporte significativo en la efectividad del coagulante.

Actividad 1.3 Diagnosticar El Contexto Del Uso De La Moringa Como Coagulante Natural.

Descripción: por medio de la revisión bibliográfica anterior, se diagnosticó el uso de moringa como coagulante natural, cuáles fueron las condiciones de coagulación, las dosis optimas, tiempos de agitación, etc. Es decir, los parámetros operacionales para llevar a cabo el proceso de coagulación a partir de la semilla de moringa oleífera.

5.6.2 FASE 2: Identificación Por Medio De Los Artículos Revisados La Eficiencia De Remoción De Los Parámetros Fisicoquímicos (principalmente turbidez y color) Y Microbiológicos Por Medio Del Coagulante Natural Moringa Oleífera.

Actividad 2.1 Realizar Matriz Con Artículos Seleccionados

Descripción: Los artículos que fueron caracterizados se agruparon en una matriz para su fácil interpretación y análisis, donde se destacó el porcentaje de remoción de los parámetros fisicoquímicos principalmente de turbidez y color y microbiológicos por medio del coagulante moringa oleífera en el tratamiento de agua potable.

Actividad 2.2 Análisis del Porcentaje De Remoción De Turbidez Y Color De Los Artículos.

Descripción: una vez elaborada la matriz, se procedió a realizar un análisis del porcentaje de remoción de los parámetros mencionados, destacando la eficiencia del coagulante natural para el proceso de coagulación, así mimos, se hicieron comparaciones con los coagulantes químicos empleados convencionalmente.

5.6.3 FASE 3 Valoración del Desempeño Del Coagulante Natural *Moringa Oleífera*, Con Soluciones De Sulfato De Aluminio Por Medio De Los Artículos Seleccionados.

Actividad 3.1 Comparación del Desempeño Del Coagulante Natural *Moringa Oleífera* Con Soluciones De Sulfato De Aluminio

Descripción: por medio de la revisión bibliográfica se estableció una comparación entre el uso de la *moringa oleífera* como coagulante natural y el uso de soluciones de sulfato de aluminio, identificando las ventajas y desventajas de cada coagulante, así como los

porcentajes de remoción de los parámetros más significativos donde se destacó la importancia del coagulante en el tratamiento en agua en Colombia y las ventajas de su aplicación en comparación con los coagulantes químicos.



6. Resultados y análisis

6.1 Diagnóstico por medio de artículos colombianos del año 2011 al año 2021, el contexto relacionado con el uso de la *moringa oleífera* como coagulante natural en el tratamiento de agua potable.

6.1.1 Revisión Bibliográfica De Artículos Colombianos

Se realizó una recopilación de información provenientes de artículos científicos de páginas web: Scielo, Science direct, Dialnet, World Wide Science, etc. sobre el uso de la *moringa oleífera* como coagulante natural.

Teniendo en cuenta los criterios de inclusión y exclusión, se procedió a recopilar los documentos encontrados por buscador, en la siguiente tabla:

Tabla 2

Documentos recopilados por buscador

Base de datos	Ecuación de búsqueda	Total, de artículos	Total, de artículos al aplicar criterios de inclusión y exclusión.
Dialnet	Coagulante natural	16	3
	Moringa oleífera	13	2
	Efectividad de la Moringa oleífera	1	0
	Coagulantes químicos	38	2
Scielo	Coagulante natural	10	1
	Moringa oleífera	3	0
	Efectividad de la Moringa oleífera	11	2
	Coagulantes químicos	54	1
	Coagulante natural	20	1



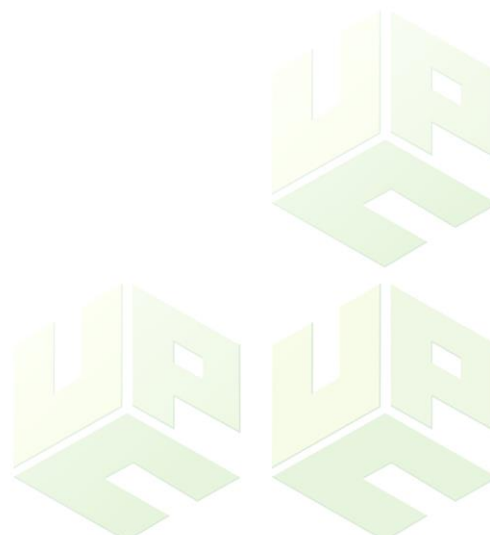
Science Direct	Moringa oleífera	9	1
	Efectividad de la Moringa oleífera	5	2
	Coagulantes químicos	28	1
Google académico	Coagulante natural	19	2
	Moringa oleífera	5	2
	Efectividad de la Moringa oleífera	4	1
	Coagulantes químicos	39	1
TOTAL		275	25

Fuente: Autor, 2022

Como se observa se encontraron un total de 275 artículos, documentos, tesis de las diferentes fuentes de búsqueda, sin embargo, al aplicar los criterios de inclusión y exclusión, solo se obtuvo un total de 19 artículos para analizar. Posteriormente, estos artículos, tesis, informes y documentos fueron recopilados y procesados en una matriz donde se identificaron aspectos como título, autores, año de publicación, enlace de acceso y una breve descripción de este. La tabla a continuación permite observar la base de datos elaborada.

Tabla 3

Base de datos de información recopilada



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AUTORES	TITULO DE INVESTIGACION	AÑO DE PUBLICACION	DESCRIPCION	ENLACE
Feria, J., Bermúdez, S., Estrada, A.	Eficiencia De La Semilla Moringa Oleífera Como Coagulante Natural Para La Remoción De La Turbidez Del Río Sinú*	2014	Este articulo tuvo como finalidad Evaluar la eficiencia de la semilla de M. Oleífera como coagulante y sus efectos sobre el pH y la alcalinidad, mediante muestreo simple en el río Sinú.	articulo 1.pdf
Arango, S., Ortega, W., Álvarez, A., Medina J.	Evaluación Del Extracto De Semillas De Moringa Oleífera Como Agente Coagulante En El Tratamiento De Aguas Residuales De Una Industria Textil	2017	Esta tesis de pregrado presenta los resultados obtenidos de la evaluación de extractos de semilla de Moringa oleífera como coagulante en el tratamiento de aguas residuales de la industria textil.	https://repository.afil.edu.co/handle/10784/12230
Ahumada, N.,	Implementación De Un Tratamiento	2018	En este proyecto de grado se planteó un método de tratamiento alternativo para eliminar nitratos y fosfatos de aguas residuales utilizando adsorbentes	https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/4663

Severiche , J.	Alternativo Para La Remoción De Fósforo Y Nitrógeno En Aguas Residuales Mediante Absorbentes A Base De Semillas Y Tallos De Moringa Oleífera Lam		elaborados a partir de semillas y tallos de Moringa Oleífera Lam, aprovechando que esta planta tiene propiedades de coagulación en agua. esclarecido según diferentes investigaciones.	
Baldion, J., Perea, H.	Evaluación Del Efecto De La Harina De Semilla De Moringa Como Coadyudante En El Proceso De Coagulación Para El Tratamiento De Aguas Residuales Provenientes Del Proceso De Pelambre De Una Curtiembre En Bogotá	2019	En este estudio se evaluará el efecto del polvo de semilla de Moringa Oleífera como coagulante natural en el proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales, la evaluación se realizará en las aguas residuales del proceso de pelambre de una curtiembre ubicada en la ciudad de Bogotá, en la zona de San Benito.	https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2128&context=ingenieria_ambiental_sanitaria
Guzman, L., Villabona,	Reducción De La Turbidez Del Agua	2013	El presente trabajo tiene como finalidad realizar una revisión bibliográfica sobre el uso de los coagulantes naturales de origen	http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-

**A.,
Tejada,** Usando Coagulantes
**C.,
García, R.** Naturales

vegetal, que se utilizan para eliminar la turbidez en los procesos de tratamiento de aguas, y conocer los demás aspectos importantes, como su clasificación, eficacia y mecanismos de coagulación. utilizados por cada material natural son estudiados.

[42262043000100029&script=sci_abstract&lng=es](https://repositorio.unicesar.edu.co/bitstream/handle/10001/10001/1/42262043000100029&script=sci_abstract&lng=es)

Uso De Semillas De Moringa (Moringa Oleífera) Como Floculante Natural Para La Purificación De Aguas Crudas De Rio Negro, Rio De Oro Y Quebrada

Acevedo, Floridablanca,
E. Santander. 2019

Este trabajo propone el principal método de tratamiento para la potabilización del agua con semillas de Moringa oleífera como floculante, reemplazando así al sulfato de aluminio utilizado actualmente para este fin.

<https://repositorio.unicesar.edu.co/bitstream/handle/10001/1050/1/Uso%20de%20semilla%20de%20moringa%20ole%C3%ADfera%29%20como%20floculante%20natural%20para%20la%20purificaci%C3%B3n%20de%20aguas%20crudas%20de%20Rio%20Negro%2C%20Rio%20De%20Oro%20y>





Ceron, I., Garzón, N.	Evaluación De La Semilla De Moringa Oleifera Como Coadyudante En El Proceso De Coagulación Para El Tratamiento De Aguas Naturales Del Rio Bogotá En Su Paso Por El Municipio De Villapinzón, Cundinamarca	2015	El objetivo de este desarrollo grado fue evaluar las semillas de Moringa Oleífera como coadyuvante de la coagulación de las aguas naturales del río Bogotá, con base en un marco normativo nacional, y además proponer una alternativa más amigable con el medio ambiente. énfasis en el municipio de Villapinzón Cundinamarca.	https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/8109
Arias, A., Hernández J., Castro, A., Sánchez, N.	Tratamiento De Aguas Residuales De Una Central De Sacrificio: Uso Del Polvo De La Semilla De La M. Oleífera Como Coagulante Natural	2017	A través de este estudio se analizó la efectividad de las semillas de M. Oleífera como coagulante en el tratamiento de aguas residuales de una central de sacrificio. Para ello se realizaron pruebas de coagulación/floculación, en un jarra test, mediante la adición de dosis predeterminada del coagulante natural M. Oleífera.	http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-3561201700030004&script=sci_abstract&lng=es



Gómez, F., Salazar, L.	Evaluación De La Eficiencia De Semillas De (Moringa Oleífera Lam.) Como Coagulante Natural En La Ciudad De Pasto – Colombi	2016	Este estudio evaluó el efecto de la remoción de turbidez de semillas de Moringa oleífera lam, mediante el diseño univariado y factorial de los experimentos, determinando las variables óptimas de dosis y pH, y comparándolo con coagulantes como policloruro de aluminio y sulfato de aluminio	https://www.researchgate.net/publication/299483466_EVALUACION_DE_LA_EFICIENCIA_DE_SEMILLAS_DE_Moringa_Oleifera_Lam_COMO_COAGULANTE_NATURAL_EN_LA_CIUDAD_DE_PASTO_COLOMBIA
Dearmas, D., Ramírez, L.	Remoción De Nutrientes Mediante Coagulantes Naturales Y Químicos En Planta De Tratamiento De Aguas Residuales, Valledupar Colombi	2015	En este trabajo se evaluó la eficiencia y eficacia de dos coagulantes químicos: sulfato de aluminio y cloruro de polialuminio (PAC), y dos coagulantes naturales: moringa (Moringa oleífera) y cardón guajiro (Lemaireoreus griseus)) en la remoción de nutrientes y sedimentos. de aguas residuales de plantas de tratamiento aguas residuales conformadas por lagunas de estabilización El Salguero ubicadas en	https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5628793

<p>Melo, G., Turriago F.</p> <p>Evaluación De La Eficiencia De La Utilización De Semillas De Moringa Oleífera Como Una Alternativa De Biorremediación En La Purificación De Aguas Superficiales Del Caño Cola De Pato Ubicado En El Sector Rural Del Municipio De Acacias</p> <p>2012</p>	<p>el municipio de Valledupar, Cesar, Colombia.</p> <p>La investigación está emanada hacia opciones de tratamiento de aguas superficiales basadas en el uso de coagulantes naturales en procesos de filtración y limpieza, es necesaria en las condiciones socioeconómicas y políticas de nuestro país, actualmente no es posible satisfacer menos del 50% de la población del país.</p>	<p>https://repository.nad.edu.co/handle/10596/1428</p>
<p>Rodiño, J., Feria, J., Paternina R., Marrugo, J.</p> <p>Extractos Coagulantes Naturales De Hylocereus Triangularis, Guazuma Ulmifolia Y Moringa Oleífera Para El Tratamiento Del Agua Cruda Del Río Sinú</p> <p>2015</p>	<p>El objetivo principal de este estudio es proponer una alternativa al problema de escasez e inaccesibilidad de agua potable para los pueblos que obtienen agua cruda del río Sinú, especialmente los de la margin izquierda que se encuentran fuertemente afectados e incluye la preparación de agua natural extractos de coagulación de origen vegetal.</p>	<p>http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-62302015000300011&script=sci_abstract&tIng=es</p>

AMBIENTAL Y SANITARIA

Olivero, R., Flórez, A., Vega, L., Villegas G.
Evaluación De Una Mezcla Para Coagulantes Naturales, *Opuntia Ficus Y Moringa Oleífera* en Clarificación De Aguas¹ 2017

El objetivo principal del trabajo fue evaluar la entre mezclabilidad entre *Opuntia ficus* y *moringa oleífera*. Este trabajo tiene como objetivo promover el uso alternativo de agentes de limpieza de origen natural y eliminar la turbidez presente en el agua del río Magdalena.



Ingeniería
Ambiental y Sanitaria
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552017000200071

Cabrera, N., Simancas, E., Hernández, A.
Ensayo De Coagulantes Naturales Extraídos De *Ipomoea Incarnata Y Moringa Oleífera* En La Depuración De Aguas Residuales Industriales En Cartagena De Indias 2018

Como parte de este estudio, los coagulantes naturales de *Ipomoea incarnata* y *Moringa oleífera* fueron evaluados mediante extracción soxhlet, comparados con coagulantes convencionales en aguas residuales industriales de Sentinas y Curtiembre, arrojando consecuencias que afectan directamente a los cuerpos de agua que se vierten.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-82612018000200094

Sandoval, M., Laines, J.
Moringa Oleífera Una Alternativa Para Sustituir Coagulantes Metálicos En El Tratamiento De Aguas Superficiales 2013

Este estudio comparó la eficiencia de coagulación entre tres soluciones obtenidas a partir de semillas de *Moringa Oleífera* y sulfato de aluminio mediante prueba de jarras.

<https://www.revista.ingenieria.uady.mx/Vol%2017/moringa%20oleifera.pdf>

<p>Feria, J., Rodiño, J.</p>	<p>Tratamiento De Agua Cruda Con Extractos Coagulantes Naturales</p>	<p>2020</p>	<p>En este trabajo, cinco extractos coagulantes naturales en solución salina de tallos de <i>Hylocereus</i> cf. <i>trigonus</i> (Cactus), exudado gomoso de <i>Albizia saman</i> (Campano), corteza de <i>Guazuma ulmifolia</i> (Guácimo) y corteza y semilla de <i>Moringa oleífera</i> (Moringa), fueron evaluados tomando muestras de agua cruda en el río Sinú mediante la prueba de jarras para determinar la eficiencia de remoción de turbidez.</p>	<p>https://repository.usta.edu.co/handle/11634/30920</p>
<p>Aguirre, S., Piraneque, N., Cruz, R.</p>	<p>Sustancias Naturales: Alternativa Para El Tratamiento De Agua Del Río Magdalena En Palermo, Colombia.</p>	<p>2018</p>	<p>En este estudio determinaron la capacidad de sustancias naturales como Moringa, Cactus, Neem y Maíz para tratar el agua del río Magdalena que consumen las comunidades del corregimiento de Palermo, en Colombia. La dosis óptima de coagulante, el tiempo y la tasa de floculación se determinaron durante las pruebas de Jarras.</p>	<p>https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0718-07642018000300059&lng=es&nrm=iso</p>
<p>Castellanos, F.</p>	<p>Uso De Coagulantes Naturales</p>	<p>2017</p>	<p>En este trabajo realizaron una revisión de los coagulantes naturales utilizados para la</p>	<p>https://repository.unimilitar.edu.co/bits</p>



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**

En El Proceso De
Clarificación Del Agua En
Colombia



repositorio.unicesar.edu.co/handle/10654/17102/CastellanosPinzonFredyLeonardo2017.pdf?sequence=1

Uso de la Moringa
oleífera como coagulante
en la potabilización de las
aguas

remoción de turbidez y color en Colombia, mediante del método cualitativo y descriptivo, filtrando la información con respecto al año de publicación; del año 2000 en adelante; y la localización geográfica; Colombia

En este trabajo se evaluó la eficiencia de la Moringa oleífera como coagulante en la potabilización de aguas crudas sintéticas con valores de turbidez entre 7 y 49 NTU. Se estudiaron los parámetros turbidez, color, pH y alcalinidad. Los resultados indican que el extracto acuoso de Moringa utilizado en el proceso de coagulación a dosis entre 10 y 20 ppm remueve la turbidez de 49, 29, 20, 15, 11 y 7 NTU a valores iguales o por debajo de los establecidos por las Normas de Calidad del Agua en el proceso de sedimentación. Los valores de turbidez del agua filtrada oscilaron entre 0,5 y 1,5 NTU. El color disminuyó de 30, 25 y 15 UC a valores

<http://www.elaguapotable.com/Uso%20de%20la%20Moringa%20oleifera%20como%20coagulante.pdf>

**Mendoza,
I. et. Al,**

2016

			entre 5 y 10 UC. Se observó una variación mínima en el pH y la alcalinidad de las aguas tratadas con Moringa oleífera	
Hernández, et. Al.	Análisis Del Efecto Coagulante De La Semilla Moringa Oleífera para El Tratamiento De Aguas Residuales En El Hotel Ítaca.	2019	Se obtuvieron resultados favorables para el uso del biocoagulante en aguas residuales con condiciones de turbidez de 12,6 NTU, los análisis químicos y físicos demostraron una eficiencia en la remoción de partículas coloidales suspendidas del 50% para una dosis de 0,15 g de biocoagulante por litro de agua contaminada a tratar en los análisis de laboratorio cumpliendo con los parámetros estipulados en la Resolución 1207 de 2014.	https://revistas.udisrital.edu.co/index.php/bsa/article/view/15873/15474
González, J. et ,al.	Evaluación de la semilla de moringa como coagulante en aguas residuales de curtiembre residuales de curtiembre	2019	A través de un análisis ANOVA se definió que si existen diferencias significativas entre los resultados de los 9 ensayos y se seleccionaron las 2 muestras con mejores resultados de remoción de turbidez. Las muestras fueron enviadas al laboratorio donde se analizaron los parámetros de control mencionados. Se obtuvo que con	https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1736&context=ing_ambiental_sanitaria



			una dosificación de 50 ml de solución patrón de moringa se obtienen los mejores resultados de remoción de cromo, mientras que la DQO y los SST no presentan mayores eficiencias bajo ninguno de los tratamientos realizados.	
	Evaluación De La Semilla De Moringa Oleífera Como Coagulante Para El Tratamiento De Aguas Residuales De La PTAR El Salitre		se estudió el desempeño de un coagulante de semilla de moringa oleífera para el tratamiento de las aguas residuales de la PTAR El Salitre. Se evaluaron los resultados obtenidos en el agua tratada con el coagulante natural y con el coagulante químico usado por la PTAR (Cloruro Férrico). En esta evaluación se encontró que el coagulante natural presento mejores resultados en pruebas como pH, Turbiedad, DBO, DQO y SST, en esta última prueba se obtuvo el mejor desempeño con una variación promedio de 87%	https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.1183/9/8651/1/200233-2021-2-IQ.pdf
Hernández, et, al.		2021		
Flórez, E.	Uso de semilla de moringa oleífera como	2020	Para alcanzar el objetivo del estudio, se indujo artificialmente la turbiedad	file:///E:/Downloads/alexm,+Revista_A



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**

coagulante orgánico en el
tratamiento de agua para
consumo humano

por medio de arcilla caolín, obteniendo diferentes turbiedades en un rango de 0 a 500 UNT, así mismo se determinó la dosis óptima del sulfato de aluminio y de la semilla de moringa, por medio de 15 pruebas de jarras. Posteriormente, se realizaron 25 pruebas de jarras a diferentes turbiedades aplicando las dosis óptimas identificadas, manteniendo una muestra control en cada ensayo realizado, determinando el porcentaje de remoción a 15, 30 y 60 minutos de sedimentación. Al evaluar los resultados utilizando el coagulante a base de polvo de la semilla de moringa, se obtuvo un porcentaje de remoción real promedio de turbiedad de 23% con un tiempo de sedimentación de 15 minutos.

Fuente: Autores, 2022



GUA SANEAMIENTO Y AMBIENTE
[No 14-7-15.pdf](#)



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



Como se evidencia en la tabla la recopilación de artículos se realizó con documentos relacionados con los coagulantes naturales, estas investigaciones no solo se limitaron a revisiones bibliográficas, sino a estudios experimentales donde se comprobó el uso de diferentes coagulantes naturales entre estos, la moringa, su eficiencia y comportamiento referente a parámetros fisicoquímicos, como la turbidez, pH, color, etc. los cuales sirvieron como base de análisis. Sin embargo, la recopilación de documentos se hizo abiertamente, sin caracterizar de acuerdo con lo estipulado en el marco metodológico.



6.1.2 Caracterización de Los Artículos Más Significativos En El Uso De La Moringa Oleífera Como Coagulante Natural En El Tratamiento De Agua Potable.

Con la base de datos ya obtenida en las actividades anteriores, se realizó la selección de los artículos con las características anteriores, pero, que presenten porcentajes de remoción de turbidez al 85%, clasificándolos y caracterizándolos de los demás escogidos, de esta forma, se limitó la investigación a artículos que hayan demostrado superioridad en cuanto a la remoción por medio del coagulante moringa oleífera.

Tabla 4

Artículos caracterizados

Título De Investigación	Año De Publicación	País de origen	%Remoción de turbidez	Tipo de documento
Implementación de un Tratamiento Alternativo para la Remoción de Fósforo Y Nitrógeno en Aguas Residuales Mediante Absorbentes a Base de Semillas y Tallos de Moringa Oleífera Lam	2018	Colombia	88,71%, 90.97 y 98,81 %	Tesis de pregrado
Evaluación del efecto de la harina de semilla de moringa como coadyudante en el proceso de coagulación para el tratamiento de	2019	Colombia	94.07%	Tesis de pregrado



aguas residuales provenientes del proceso de pelambre de una curtiembre en Bogotá					
Eficiencia de la semilla Moringa Oleífera como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú*	2014	Colombia	93%	Artículo científico	
Uso de la Moringa oleífera como coagulante en la potabilización de las aguas	2016	Colombia	83%	Tesis de grado	
Uso de semillas de moringa (moringa oleífera) como floculante natural para la purificación de aguas crudas de río negro, río de oro y quebrada Floridablanca, Santander.	2019	Colombia	97,6%	Artículo científico	
Evaluación de la semilla de moringa oleífera como coadyudante en el proceso de coagulación para el tratamiento de	2015	Colombia	91,48%	Tesis de maestría	



aguas naturales del río Bogotá en su paso por el municipio de villa Pinzón, Cundinamarca				
Evaluación de la eficiencia de la utilización de semillas de moringa oleífera como una alternativa de biorremediación en la purificación de aguas superficiales del caño cola de pato ubicado en el sector rural del municipio de acacias	2012	Colombia	85,2%	Tesis de pregrado
Evaluación de una mezcla para coagulantes naturales, Opuntia ficus y Moringa oleífera en clarificación de aguas	2017	Colombia	89%	Artículo científico
Tratamiento de agua cruda con extractos coagulantes naturales	2020	Colombia	98%	Artículo científico
Evaluación de la semilla de moringa como coagulante en aguas residuales de curtiembre	2019	Colombia	86%	Artículo científico



Sustancias naturales: alternativa para el tratamiento de agua del río Magdalena en Palermo, Colombia	2018	Colombia	96,8%	Artículo científico
Uso de coagulantes naturales en el proceso de clarificación del agua en Colombia	2017	Colombia	90%	Artículo científico
Análisis Del Efecto Coagulante De La Semilla Moringa Oleífera para El Tratamiento De Aguas Residuales En El Hotel Ítaca.	2019	Colombia	87%	Artículo científico
Evaluación De La Semilla De Moringa Oleífera Como Coagulante Para El Tratamiento De Aguas Residuales De La PTAR El Salitre	2021	Colombia	87%	Tesis de grado
Uso de semilla de moringa oleífera como coagulante orgánico en el tratamiento de agua para consumo humano	2020	Colombia	71%	Tesis de grado

Fuente: Autores, 2022

La tabla anterior permite evidenciar los artículos caracterizados de acuerdo con las variables descritas en el marco metodológico, como lo son el año de publicación que no debe ser mayor al 2011, el porcentaje de remoción de turbidez mayor al 85%, y que estos documentos pertenezcan a Colombia como país de producción. Se recopilaron 10 artículos de investigación colombiana, y se clasificaron de acuerdo con el tipo de documento em tesis de grado, pregrado, maestría, artículo científico, etc. Con lo anterior, se realizó el diagnóstico del uso de la moringa como coagulante natural.

6.1.3 Diagnóstico Del Uso De La Moringa Como Coagulante Natural.

Con base a los artículos revisados según la caracterización efectuada, se realizó el diagnóstico del uso de la moringa como coagulante natural, el cual se presenta a continuación.

6.3.1.1 Descripción general

La coagulación es un proceso común en el tratamiento de aguas aplicado para la desestabilización de impurezas coloidales y disueltas, produciendo agregados de flóculos grandes que pueden ser removidos por subsiguientes procesos de filtración/clarificación (Gao et al. 2002). Este proceso se lleva a cabo agregando coagulantes, los cuales pueden ser clasificados como inorgánicos, polímeros orgánicos sintéticos y naturales (Okuda et al 2001).

Del amplio rango de coagulantes que pueden ser usados para el tratamiento de las aguas, los más comunes son: sulfato férrico, sulfato de aluminio y cloruro férrico (Jiang y Lloyd 2002). Sin embargo, se ha reportado que el aluminio residual presente en las aguas, como resultado del tratamiento con alumbre, está relacionado con el mal de Alzheimer (Stauber et al. 1999), producción de grandes volúmenes de lodo, reacción con la alcalinidad natural presente en el agua y la baja eficiencia en la coagulación de aguas frías.

Desventajas similares se han reportado para las sales de hierro y los polímeros sintéticos (Ndabigengesere et al. 1995). En función de lo señalado, se hace necesario evaluar coagulantes y floculantes más efectivos, menos perjudiciales y ambientalmente inocuos para remover la turbidez de las aguas, con la finalidad de sustituir total o Parcialmente las sales de hierro y aluminio y los polímeros orgánicos sintéticos. En este

sentido, los coagulantes naturales constituyen una alternativa viable porque son usualmente más seguros para la salud.

El árbol de Moringa oleífera pertenece a la familia moringaceae y es llamado como el árbol milagroso. De acuerdo con Singh (2013) la familia moringaceae posee un único género, Moringa, con un aproximado de 33 especies donde existen 13 especies documentadas. En la Tabla se muestra la clasificación taxonómica de la especie Moringa oleífera.

Tabla 5

Clasificación taxonómica

Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
Superdivisión	Magnoliophyta
División	Eudicots
Clase subclase	Rosids
Orden	Brassicales
Familia	Moringaceae
Genero	Moringa
Especie	Moringa oleifera

Fuente: Singh (2013)

El árbol de Moringa oleífera, nativo del norte de la india se cultiva en las regiones tropicales y subtropicales de alrededor del mundo (Leone et al., 2016). Requiere de una precipitación anual entre 250 mm y 2000 mm dependiendo de las condiciones del suelo crece mejor en suelos arenosos y tolera suelos pobres con pH entre 5 a 9 unidades (Azad et al., 2015). Este árbol es de rápido crecimiento, puede crecer hasta una altura de 4 metros y dar frutos en el primer año (Adegbe et al., 2016).

La familia Moringacea involucra un solo género de arbustos y Árboles cultivados en zonas tropicales. Se ha demostrado que las semillas de Moringa oleífera contienen cantidades importantes de aminoácidos polares, con carga neta positiva y negativa, que podrían interactuar con las partículas coloidales responsables de la turbidez y el color durante el proceso de clarificación de las aguas, contribuyendo a su eliminación (Campos

et al. 2003). También, se ha evaluado el poder coagulante de las cáscaras y el aceite de las semillas de *M. oleífera* (Muyibi et al. 2001). Muyibi y Evison (1999) reportaron sobre la formación y sedimentación del floculo cuando se trabaja con semillas de *M. oleífera*, mientras que Okuda et al. (2001), purificaron el componente activo de *M. oleífera* y evaluaron su efectividad en aguas de baja turbidez. Por otra parte, Muyibi et al. (2002) evaluaron el efecto del aceite extraído de las semillas de *M. oleífera* sobre la coagulación de aguas, con turbidez inicial entre 56 y 451 NTU, reportando valores de remoción superiores al 87%.

6.1.3.3 Uso de la Moringa Como Coagulante Natural.

La *M. oleífera* (Horseradish, Drumstick tree o Miracle tree) es una planta tropical no tóxica (a bajas concentraciones), que se encuentra a lo largo de la India, de Asia, de África sub-sariana y de América Latina (Sanghi et al. 2002), cuyas semillas contienen un aceite comestible y una sustancia soluble en agua (Ndabigengesere et al. 1995); es indiscutiblemente el coagulante natural más estudiado por la comunidad científica medioambiental. Se ha informado que las comunidades rurales en los países africanos utilizan los extractos de semilla crudos para aclarar el agua turbia.

Gassenschmidt et al. (1995) informan que el agente coagulante es una proteína con una masa molecular de 6,5kDa, mientras Ghebremichael et al. (2005) sugieren que es una proteína catiónica, con una masa molecular menor de 6,5kDa. Recíprocamente, para Okuda et al. (2001), el componente activo no es una proteína, polisacárido o lípido, sino un polielectrolito orgánico, con un peso molecular de aproximadamente 3,0kDa. Aunque algunos grupos de investigadores parecen estar de acuerdo que el agente activo es una proteína catiónica.

El primer escrito de Ndabigengesere et al. (1995) elucida, comprensivamente, los mecanismos de la coagulación básicos inherentes a la *M. oleífera*. Sugiere que sus agentes activos coagulantes son las proteínas catiónicas diméricas y su principal mecanismo de coagulación la adsorción y la neutralización de carga.

En muchos casos, las partículas de impurezas están cargadas negativamente y los polielectrolitos catiónicos son los coagulantes más eficaces, que predicen el uso de la Moringa, como agente de coagulación (Bolto & Gregory, 2007). Su capacidad coagulante,

se puede reforzar más allá por la adición de cationes. En un estudio dirigido por Okuda et al. (2001), se establece que los cationes bivalentes (por ejemplo Ca^{2+} y Mg^{2+}) refuerzan, significativamente, el efecto coagulante de los extractos, en la cual, los cationes pueden tener adsorbido los componentes activos para formar una red estructural insoluble para capturar las partículas suspendidas de caolín.

Santos et al. (2009) investigaron la actividad aglutinante de la lectina extraída de diferentes tejidos de la M. oleífera; las preparaciones de lectina (cMoL) mostraron actividad coagulante, similar al sulfato de aluminio. El ensayo de la actividad coagulante se basó en el método descrito por Ghebremichael et al. (2005). Para ello, prepararon soluciones con alta (250–300 NTU) y media (125–150 NTU) turbidez. Afirman, que las preparaciones de lectina tienen actividad coagulante en aguas con alta y con media turbidez.

6.1.3.4 Parámetros para preparar el coagulante natural de Moringa según investigaciones y datos recopilados según investigaciones

Según Meza (2018), la evaluación de la coagulación se debe llevar a cabo utilizando un aparato de Prueba de Jarro modelo JLT6; se agrega 1 L de agua cruda sintética, a cada uno de los vasos de 1.000 mL, tomando uno de estos como patrón. Posteriormente, se procede a agregar el coagulante, al iniciar el mezclado rápido (100 rpm, 1 min); las diferentes dosis de coagulante (30, 40, 50, 60 y 70 mL) en cada vaso usando una pipeta y se procede al mezclado lento (30 rpm, 20 min), para finalizar con la fase de sedimentación (30 min).

Conforme a los resultados de las investigaciones se tiene que

6.1.3.4.1 Preparación del coagulante según investigaciones

Según Meza (2018), para realizar el proceso de preparación de la semilla, una vez se obtiene la semilla de moringa, se inicia un proceso de descascarado manual debido a que la cubierta de la semilla no es utilizada para este propósito; el autor menciona que se debe tener en cuenta diversos factores para una selección adecuada de la materia prima ya que solo son útiles aquellas semillas maduras, cuya cascara este totalmente seca y posea un color café oscuro, es de vital importancia que las semillas no presente reblandecimiento, desecación extrema o una coloración verdosa ya que estas no poseen una acción coagulante óptima. Así mismo menciona que se deben lavar las semillas con

agua destilada para remover las impurezas restantes del procedimiento anterior y finalmente se secan en una mufla, según referencia bibliográfica, a una temperatura aproximada de 104°C durante 1 hora⁶⁹, para evaporar el agua.

En cuanto se secan las semillas, según el autor, son trituradas con ayuda de un mortero hasta pulverizarlas y después se tamizan a 425 μm para obtener un polvo más fino. El propósito de disminuir el tamaño de partícula es mejorar la disolución entre el polvo de la moringa y la solución de NaCl 1M, solución que es utilizada a continuación para preparar el coagulante.

Debido a que la semilla de moringa oleífera cuenta con un aproximado de 35% - 40% de su peso en aceite, el autor sugiere hacer la extracción de la materia prima, puesto que se postula que, el porcentaje de aceite podría formar un recubrimiento de película e inhibir la formación de flóculos. En este proceso se extrae la mayor cantidad de aceite en el polvo obtenido teniendo en cuenta el uso de un equipo soxhlet, con agente extractor hexano (C₆H₁₄) en una relación 1:2, ya que se necesita una mayor cantidad del hexano para completar cada sifón por el exceso de aceite de la semilla.

Según Meza (2018), se debe agregar 22.5 g de polvo de moringa triturado y tamizado con 130 mL de agente extractor, en el cual el proceso conto con 15 sifones y posteriormente la torta residual fue llevada a una mufla tipo Nabertherm 30 -3000 a 99°C por una (1) hora aproximadamente, para lograr la evaporación total del agente extractor, este segundo proceso genera un peso en torta residual de 12 g Según Meza (2018).

Así las cosas, se puede evidenciar cada uno de los valores de turbidez final posteriores a las pruebas realizadas Según Meza (2018), con sus respectivas replicas, evaluando su eficiencia se aprecia que el mínimo valor de turbidez es de 10.4 NTU, con una dosis de coagulante de moringa de 40 mg/L (2 mL) y pH 7, estos valores determinan la dosificación y pH óptimo del coagulante extraído de la semilla de Moringa Oleífera, pero se tiene en cuenta que al aumentar la dosificación en el proceso, la turbidez final conlleva un aumento muy significativo en valores de pH 3 y 9, por lo cual el menor rendimiento se encontró a pH 3 con una dosis de 100 mg/L (5 mL) y un porcentaje de remoción d solo el 88,11%, que aunque determina un buen nivel de remoción no fue el más óptimo



considerando que la dosificación era la más alta, para un resultado de turbidez final de 22,7 NTU.

6.2 Identificación Por Medio De Los Artículos Revisados La Eficiencia De Remoción De Los Parámetros Físicoquímicos (principalmente turbidez y color) Y Microbiológicos Por Medio Del Coagulante Natural Moringa Oleífera.

6. 2.1 Matriz Con Artículos Seleccionados

Los artículos que fueron caracterizados se agruparon en una matriz para su fácil interpretación y análisis, donde se destacó el porcentaje de remoción de los parámetros físicoquímicos principalmente de turbidez y color y microbiológicos por medio del coagulante moringa oleífera en el tratamiento de agua potable.

Tabla 6

Matriz de artículos

TABLA DE CARACTERIZACION DE LOS ARTICULOS MAS SIGNIFICATIVOS

Título De Investigación	Año De Publicación	% Turbidez	%Color	%Otros Parámetros Físicoquímicos		
				SST	DQO	DBO
Implementación de un Tratamiento Alternativo para la Remoción de Fósforo Y Nitrógeno en Aguas Residuales Mediante Absorbentes a Base de Semillas y Tallos de Moringa Oleífera Lam	2018	88,71%, 90.97 y 98,81 %	-	-	-	-



Evaluación del efecto de la harina de semilla de moringa como coadyudante en el proceso de coagulación para el tratamiento de aguas residuales provenientes del proceso de pelambre de una curtiembre en Bogotá	2019	94,07%	90,8%	96,2%	74,3%	66,4%
Eficiencia de la semilla Moringa Oleífera como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú*	2014	93%	-	94%	73%	60%
Uso de semillas de moringa (moringa oleífera) como floculante natural para la purificación de aguas crudas de	2019	97,6%	-	92%	73%	64%



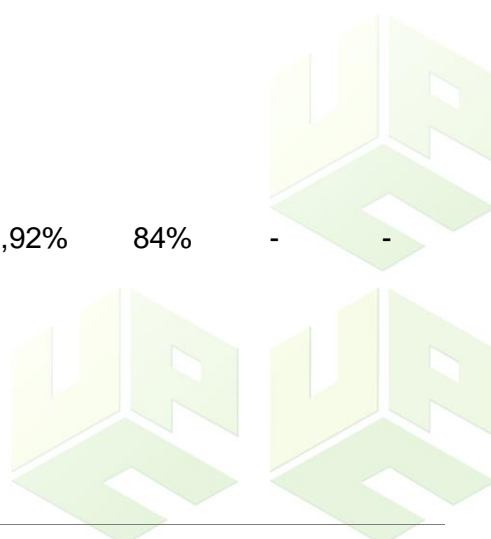
rio negro, rio de oro y quebrada Floridablanca, Santander.

Evaluación de la semilla de moringa oleífera como coadyudante en el proceso de coagulación para el tratamiento de aguas naturales del rio Bogotá en su paso por el municipio de villa Pinzón, Cundinamarca

2015	91,48%	90%	92%	78%	67%
------	--------	-----	-----	-----	-----

Evaluación de la eficiencia de la utilización de semillas de moringa oleífera como una alternativa de biorremediación en la purificación de aguas superficiales del

2012	85,2%	89,92%	84%	-	-
------	-------	--------	-----	---	---





caño cola de pato ubicado en el sector rural del municipio de acacias							
Evaluación de una mezcla para coagulantes naturales, Opuntia ficus y Moringa oleífera en clarificación de aguas	2017	89%	-	98%	80,1%	62,1%	
Tratamiento de agua cruda con extractos coagulantes naturales	2020	98%	92,4%	-	-	-	
Sustancias naturales: alternativa para el tratamiento de agua del río magdalena en Palermo, Colombia	2018	96,8%	97,8%	91%	75%	64%	
Uso de coagulantes	2017	90%	90%	92%	73%	67%	



naturales en el proceso de clarificación del agua en Colombia							
Uso de coagulantes naturales en el proceso de clarificación del agua en Colombia	2017	90%	70%	62%	88%	69%	
Análisis Del Efecto Coagulante De La Semilla Moringa Oleífera para El Tratamiento De Aguas Residuales En El Hotel Ítaca.	2019	87%	80%	66%	81%	65%	
Evaluación De La Semilla De Moringa Oleífera Como Coagulante Para El Tratamiento De Aguas Residuales De La PTAR El Salitre	2021	87%	-	65%	88%	71%	
Uso de semilla de moringa oleífera	2020	71%	70%	86%	71%	59%	

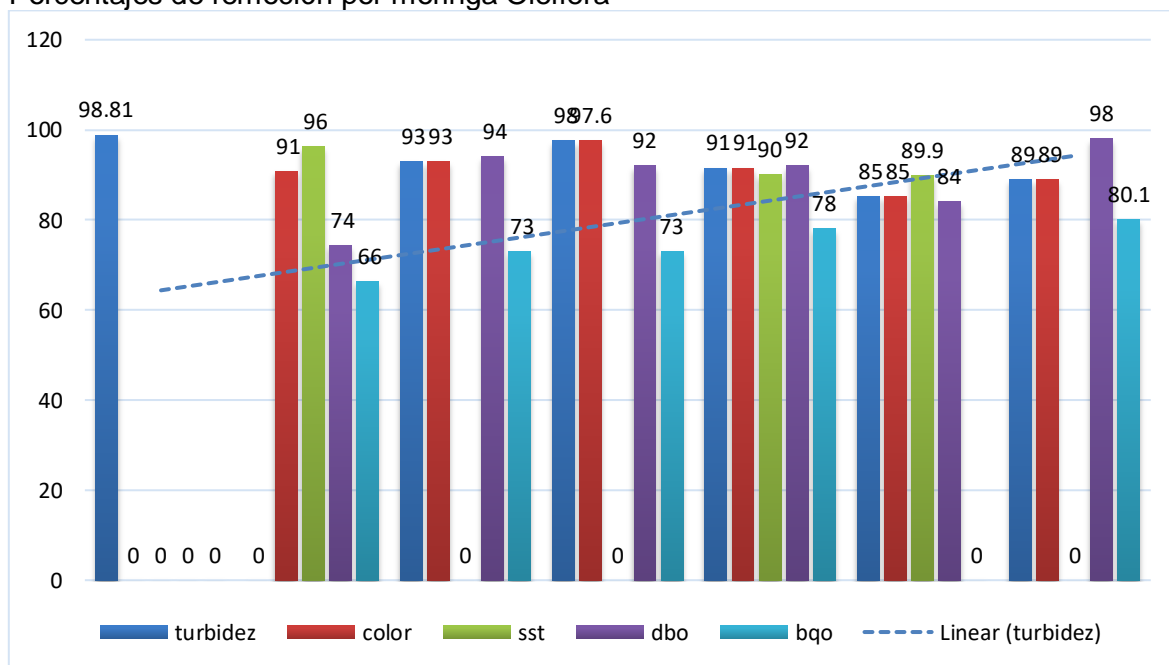
como coagulante orgánico en el tratamiento de agua para consumo humano

Fuente: Autores, 2022

Como se observa en la tabla de la revisión bibliográfica los artículos fueron clasificados por su porcentaje de remoción de turbidez y color mayor al 85%. La remoción de la turbidez varió entre el 85,2% al 98,91%, en el caso del color, este estuvo entre valores de 89,92% a 97,8%. Sin embargo, no todas las investigaciones recopiladas determinaron parámetros como el color, o bien, SST, DBO, o DQO, los cuales también fueron tenidos en cuenta. Los artículos recopilados sirvieron como base para realizar el diagnóstico Del Uso De La Moringa Como Coagulante Natural, y sus ventajas y desventajas en comparación con los demás coagulantes naturales.

Figura 4

Porcentajes de remoción por moringa Oleífera



Fuente: Autor, 2022



La concentración más baja del coagulante que remueve la mayor cantidad de turbidez, es decir donde se obtuvo el menor valor de turbidez residual, se consideró como la concentración óptima. Las concentraciones óptimas para valores de turbidez inicial de 75 y 150 NTU, corresponden a 500 y 400 ppm, respectivamente. A estas concentraciones se obtuvieron valores de turbidez residual mínimos (14,9 y 8,5 NTU). Se observa que al incrementarse la turbidez inicial, las concentraciones óptimas del coagulante y la turbidez residual disminuyen, indicando una mayor eficiencia del coagulante a mayores valores de turbidez inicial. Muyibi y Evison (1995) reportaron que a la concentración óptima de M. oleífera la turbidez residual disminuye cuando se incrementa la turbidez inicial, e indicaron que el incremento de las dosis del coagulante M. oleífera conduce a revertir las cargas, lo cual lleva a la reestabilización de las partículas desestabilizadas.

6.2.2 Análisis del Porcentaje De Remoción De Turbidez Y Color De Los Artículos.

Una vez elaborada la matriz, se procedió a realizar un análisis del porcentaje de remoción de los parámetros mencionados, destacando la eficiencia del coagulante natural para el proceso de coagulación, así mismo, se hicieron comparaciones con los coagulantes químicos empleados convencionalmente

6.2.2.1 Análisis del porcentaje de remoción

En diferentes investigaciones han utilizado el extracto acuoso con las semillas de M. oleífera, previamente secas y molidas para eliminar metales pesados, como el cobre, plomo, cadmio y cromo presentes en aguas residuales. La identificación de la actividad coagulante y floculante se llevó a cabo con dosis de 2 g / L de coagulante con concentraciones iniciales de 5 mg / L de cada uno de los iones metálicos, que de acuerdo con los resultados, los porcentajes de remoción fueron 95% de cobre, 93% de Plomo, 75 % de cadmio y 70% de cromo.

Teniendo en cuenta los resultados significativos de coagulación, la M. oleífera es una planta considerada como coagulante alternativa en el proceso de coagulación y floculación del agua residual. El mecanismo que produce la coagulación de metales pesados es a través de la adsorción y neutralización de las cargas positivas de los iones metálicos (Muyibi et al., 2004).



En otros estudios experimentales, la extracción de los componentes activos de la Moringa mediante la extracción del aceite de las semillas previamente secas y molidas, por medio de etanol para obtener residuo de semillas con solo el 50 % de aceite, debido a que la presencia de aceite en la semillas de M. Oleífera tienen un efecto en la actividad de coagulación de metales pesados, sin embargo un alto contenido de aceite en las semillas tendría un impacto negativo en el proceso de tratamiento de aguas residuales (García Fayos et al., 2010). Es necesario retirar un porcentaje de aceite de las semillas de Moringa para que las proteínas sean activadas y se combinen con los metales pesados que conduce a la formación de complejos, esto debido a que los componentes coagulantes se extraen después de la extracción de aceite porque no es soluble con el lípido (Sajidu et al., 2005, Meneghel et al. 2013).

En algunos estudios han buscado la eliminación de otros metales como Fe, Cu, Cd y Pb mediante el uso de las semillas del árbol Moringa oleífera, sus componentes activos son proteínas solubles en agua, con carga positiva que actúan como un coagulante eficaz para el tratamiento de aguas residuales. Las semillas de M. oleífera exhiben eficiencia tanto en la eliminación de turbidez, colorantes, demanda química de oxígeno DQO, demanda biológica de oxígeno DBO, como también presenta eficiencia en la coagulación de metales pesados tales como Fe, Cu, Cd y Pb presentes en muestras de agua preparadas y provenientes de ríos. La capacidad de coagulación y floculación de diferentes contaminantes, confirma el gran potencial de las semillas de M. oleífera en aplicaciones de tratamiento de aguas residuales (Ndibewu et al., 2011).

El proceso de coagulación y floculación se llevó a cabo en pruebas de jarra con diferentes concentraciones del polvo de las semillas (50, 100 y 150) mg, en suspensión en agua destilada para obtener 10.000, 20.000 y 30.000 mg / L (Alo et al., 2012). Estas dosis han sido utilizadas con altos niveles de metales pesados: Cu (1,401 mg / L), Cd (1,887 mg / L), Fe (1,414 mg / L) y Pb (1,854 mg / L). Los resultados de diferentes estudios, reportaron que el residuo de las semillas de Moringa presenta eficaz coagulación de metales pesados. Después del tratamiento se han obtenido porcentajes de eliminación de hasta el 90% de los iones metálicos Cu y Ni. La concentración del ion metálico de Fe es reducida hasta el 92% mediante las semillas de Moringa. En cuanto a los valores de

contaminación de Pb, la actividad de coagulación del Pb es del 89% (Sajidu et al., 2005, Subramaniam et al., 2011, Meneghel et al., 2013).

Algunos de los parámetros fisicoquímicos como el pH pueden alterar la capacidad de coagulación de los agentes coagulantes en el tratamiento del agua residual, sin embargo de acuerdo con los estudios experimentales no se presenta ningún cambio significativo en el valor del pH. Teniendo en cuenta que el pH para el agua normal debe ser 6,5-8,5 (OMS 2006). Por otra parte, el aumento de la concentración de las semillas de Moringa mostró una alta eficiencia en la eliminación de los metales pesados presentes en aguas residuales. Por lo tanto, los autores sugieren que el residuo de las semillas Moringa Oleífera podría ser la mejor opción para la industria de tratamiento de aguas residuales (Ndibewu et al., 2011).

Pritchard et al. (2010) adelantaron un proyecto de investigación, con el fin de observar la actuación de la M. oleífera comparada con el sulfato de aluminio y el sulfato férrico. Para ello, usaron un agua modelo sembrada con E. coli y una turbidez de 146 NTU, creada artificialmente con caolín; aguas crudas de diferentes fuentes, agua de río, con una turbidez <5 NTU; otra con turbidez de 45 NTU y agua híbrida, una mezcla de los dos tipos de agua. Los resultados mostraron que la M. oleífera removió el 84% de turbiedad y el 88% de E. coli, en el agua modelo; en el agua de río de baja turbidez (<5 NTU), los resultados mostraron una reducción de E. coli, del 82%, para la M. oleífera. En agua turbia de río de 45 NTU la remoción de turbidez fue de 76% y una reducción de E. coli del 93%, con M. oleífera.

Asrafuzzaman et al. (2011) estudiaron el uso de la M. oleífera, Cicer arietinum (garbanzo o chícharo) y Dolichos lablab (poroto o judía) como coagulantes naturales, para reducir la turbidez de agua sintética. En el caso específico de la M. oleífera, las dosis usadas fueron 50, 60, 70, 80, 90, 100mg/L; la turbidez del agua utilizada se tomó como agua de alta turbidez (100 NTU), media turbidez (48 NTU) y baja turbidez (25 NTU). La turbidez fue medida antes y después del tratamiento. Ellos concluyeron que la M. oleífera tiene un mejor desempeño en aguas de alta turbidez que en aguas con turbidez media o baja.

6.3 Valoración del Desempeño Del Coagulante Natural *Moringa Oleífera*, Con Soluciones De Sulfato De Aluminio Por Medio De Los Artículos Seleccionados.

6.3.1 Comparación del Desempeño Del Coagulante Natural *Moringa Oleífera* Con Soluciones De Sulfato De Aluminio

Por medio de la revisión bibliográfica se estableció una comparación entre el uso de la *moringa oleífera* como coagulante natural y el uso de soluciones de sulfato de aluminio, identificando las ventajas y desventajas de cada coagulante, así como los porcentajes de remoción de los parámetros más significativos donde se destacó la importancia del coagulante en el tratamiento en agua en Colombia y las ventajas de su aplicación en comparación con los coagulantes químicos.

Para facilitar el análisis se tomó como base la investigación realizada por Meza, et.al, 2018, titulada: Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de *Moringa oleífera* en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo, Atlántico, de la Universidad Industrial de Santander, en la cual se realizó el proceso de coagulación en aguas de la ciénaga. Los datos obtenidos por el autor permitieron evidenciar que: El agua cruda objeto de estudio presentó una turbidez de 56,5 UNT, a una temperatura de 24 °C y un pH de 7,27. Según la Resolución 2115 de 2007, se establece que el agua destinada para el consumo humano debe cumplir con parámetros fisicoquímicos específicos, tales como pH entre 6,5–9,0 y una turbidez de 2 UNT; por lo tanto, el agua recolectada de la ciénaga de Malambo no cumplió con los requisitos de turbidez para ser consumida por los seres humanos.

Adicionalmente se decidió realizar un diseño experimental con los datos obtenidos en la investigación anterior, con la finalidad de identificar la diferencia mínima significativa entre los resultados obtenidos por cada coagulante y de esta manera, establecer el coagulante mas eficiente para el tratamiento de agua potable. Los resultados obtenidos mediante el coagulante sulfato de aluminio se presentan a continuación:

Tabla 7

Resultados coagulante Sulfato de Aluminio

Dosis	Turbidez
-------	----------



750	23,1
770	1,8
790	0,1
810	0,1
830	0,1
850	0,1

Fuente: Adaptado por el autor, 2022

En la tabla, se presenta el análisis de varianza (Anova). Si el valor P es $< 0,05$ el factor analizado influye sobre la variable respuesta objeto de estudio, cuando el valor P es $> 0,05$ el factor no tiene ninguna incidencia.

Tabla 8

ANOVA

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	F	Valor P
Entre grupos	1288,35	5	257,67	3,89	0,0250
Intra grupos	794,24	12	66,19		
Total	2082,64	17			

Fuente: Adaptado por el autor, 2022

El valor $P = 0,0250$ de la tabla identifica que la dosis de coagulante, sulfato de aluminio incide sobre la turbidez del agua de la ciénaga de Malambo. Por lo tanto, se podrá emplear indistintamente las dosis de 20, 40, 60, 80 y 100 mg/l para obtener la menor turbidez. Al tratarse de una sustancia nociva para la salud humana, se debe emplear la menor cantidad posible, 20 mg/l de sulfato de aluminio, que disminuyó la turbidez del agua objeto de estudio a un valor de 1,8 UNT y se obtuvo una reducción del 96 %. Cumpliendo con la turbidez establecida por la Resolución 2115 de 2007 de agua potable.



Como han demostrado otros investigadores, en el año 2015, una dosis de 30 mg/l de sulfato de aluminio, disminuye la turbidez de un agua sintética en un 95 %, con lo que se obtiene una turbidez final de 0,8 UNT.

Para el agua del río Magdalena, con una turbidez de 276 UNT, se utiliza una dosis de 35 mg/l de sulfato de aluminio, con lo que se obtiene una turbidez final de 0,55 UNT. Este valor cumple con la normativa colombiana de agua para consumo humano. Bajo estas características, se remueve el 99,8 % de este parámetro. Finalizado el proceso con el coagulante químico, sulfato de aluminio, se simuló nuevamente la clarificación usando como coagulante las semillas de Moringa oleífera. El diseño factorial se realizó como se muestra en la tabla y los resultados de turbidez después del tratamiento se presentan posteriormente.

Tabla 9

Resultados con Moringa Oleífera

Dosis	Turbidez
750	20,6
770	21,6
790	20,7
810	20,6
830	20,9
850	20,6

Fuente: Adaptado por el autor, 2022

El análisis de varianza (Anova) se da a conocer en la tabla 8, donde el valor P = 0,3171 indica que no existe ninguna influencia del factor, dosis de coagulante, sobre la turbidez del agua de la ciénaga de Malambo.

Tabla 10

ANOVA

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	F	Valor P
--------	-------------------	----	----------------	---	---------



Entre grupos	2,20	5	0,44	1,33	0,3117
Intra grupos	3,99	12	0,33		
Total	6,19	17			

Fuente: Adaptado por el autor, 2022

Según la tabla anterior, no se presenta ninguna incidencia en la turbidez del agua objeto de estudio, según las dosis que se adicionen. Cualquiera de las 6 dosis de coagulante natural 750, 770, 790, 810, 830 y 850 mg/L pueden ser empleada en el tratamiento del agua de la ciénaga de Malambo y se obtendrá la menor turbidez posible al emplear este material vegetal. Sin embargo, con estos valores no se cumple con la legislación colombiana de agua para consumo humano.

Con una dosis de la menor cantidad de sustancia natural, 750 mg/L, se generó una reducción de la turbidez del agua del 64 %. Esta información coincide con ensayos preliminares elaborados en el año 2013, en la India, usando agua sintética, que establecen que para este tipo de semillas la dosis óptima oscila entre 250 y 1000 mg/L, y al emplear una dosis de 750 mg/L se remueve la turbidez en un 76,3 %.

Las semillas de Moringa oleífera tienen un porcentaje de remoción de turbidez entre el 75-90 %, cuando la turbidez inicial es alta, aproximadamente 200 UNT. Por el contrario, si la turbidez es baja, 40 UNT, el porcentaje de remoción alcanza el 50 %.

En el respectivo análisis el sulfato de aluminio removi6 96 % la turbidez del agua de la ciénaga de Malambo, mientras que el coagulante natural lo hizo en un 64 %. Al tratarse solo del proceso de clarificación (coagulación, floculación y sedimentación), las semillas de Moringa oleífera son una alternativa viable de bajo costo y sin efectos nocivos para el ser humano.

6.3.1.1 Conclusiones del aporte del coagulante natural

El coagulante natural de semillas de Moringa oleífera, tienen un poder coagulante que puede reducir a la mitad la turbidez inicial del agua.

El sulfato de aluminio comercial tipo B es un coagulante químico efectivo para llevar la turbidez a valores menores de una unidad.



El coagulante químico utilizado, es mucho más efectivo que el coagulante natural empleado para reducir la turbidez del agua. Sin embargo, las semillas de Moringa oleífera, por su baja toxicidad, son una alternativa para reemplazar parcialmente al sulfato de aluminio.

Las semillas de Moringa oleífera tienen un porcentaje de remoción de turbidez entre el 75-90 %, cuando la turbidez inicial es alta, aproximadamente 200 UNT. Por el contrario, si la turbidez es baja, 40 UNT, el porcentaje de remoción alcanza el 50 %.

-Ventajas del coagulante natural de las semillas de Moringa oleífera

El árbol de Moringa oleífera es un árbol de rápido crecimiento que puede ser plantado en las comunidades rurales de países en desarrollo de todo el mundo para proveer a las personas de un acceso seguro a agua potable (Okuda et al., 2018). Entre las ventajas de este coagulante se han encontrado las siguientes:

–La coagulación es efectiva para la remoción de turbiedad en aguas de alta turbiedad (Okuda et al., 2018).

–Los lodos generados por la utilización de la Moringa oleífera en la coagulación son seguros y pueden ser empleados como alimento animal fertilizante de plantas (Okuda et al., 2018). Estos lodos se generan en menor cantidad (Hoa et al., 2018).

–El pH y la temperatura no se consideran como factores importantes en la remoción de la turbiedad (Okuda et al., 2018).

–Puede reducir la dureza del agua causada por los iones de calcio y magnesio (Muyibi et al., 1995).

-Desventajas del coagulante natural de las semillas de Moringa oleífera

Entre las desventajas del uso del coagulante natural de las semillas de Moringa oleífera se han encontrado las siguientes:

–Incremento de materia orgánica en el agua tratada originada por la adición innecesaria de otros componentes en el coagulante natural (Okuda et al., 2018, Beltrán et al., 2012). Sin embargo, esta desventaja puede superarse mediante la purificación del coagulante (Beltrán et al., 2012).

De acuerdo con Okuda et al. (2018), la turbiedad residual de las muestras de agua aumenta con menores turbiedades iniciales. Es por ello por lo que en aguas de



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



baja turbiedad se observa una baja eficacia de la coagulación (Okuda et al., 2018)

–El tiempo de sedimentación es relativamente alto en comparación de los coagulantes químicos (Awad et al., 2013).

–La remoción de bacterias no es completa por tanto podría existir un riesgo de crecimiento secundario eventualmente si el agua se mantiene por más tiempo (Awad et al., 2013).





7. CONCLUSIONES

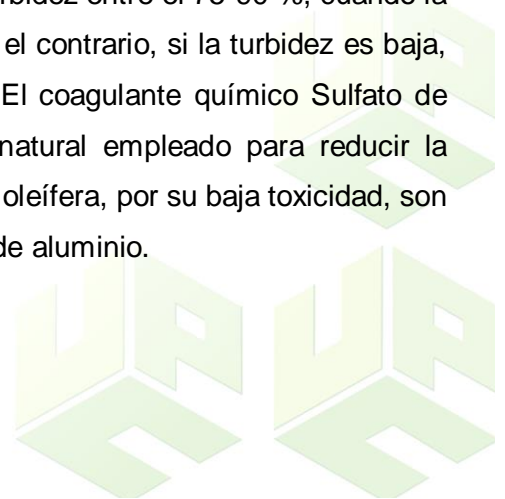
Conforme al primer objetivo, se realizó una recopilación de información provenientes de artículos científicos de páginas web: Scielo, Science direct, Dialnet, World Wide Science, etc. sobre el uso de la moringa oleífera como coagulante natural, pero estos artículos no superaron los 10 años de anterioridad, es decir, solo se analizó y se tuvo en cuenta los artículos publicados del 2011 al 2021 y de orden nacional, donde se comprobó el uso de diferentes coagulantes naturales entre estos, la moringa, su eficiencia y comportamiento referente a parámetros fisicoquímicos, como la turbidez, pH, color, etc. los cuales sirvieron como base de análisis. En el caso de la caracterización Se tuvo en cuenta el porcentaje de remoción de la turbidez del 85% en adelante. Se establecieron 10 artículos de investigación colombiana, y se clasificaron de acuerdo con el tipo de documento. Con base a los artículos revisados según la caracterización efectuada, se realizó el diagnóstico del uso de la moringa como coagulante natural. Se pudo establecer mediante el diagnóstico de las diversas investigaciones con el coagulante natural Moringa, que cada uno de los valores de turbidez final es de 10.4 NTU, con una dosis de coagulante de moringa de 40 mg/L (2 mL) y pH 7, estos valores determinan la dosificación y pH óptimo del coagulante extraído de la semilla de Moringa Oleífera, pero se tiene en cuenta que al aumentar la dosificación en el proceso, la turbidez final conlleva un aumento muy significativo en valores de pH 3 y 9, por lo cual el menor rendimiento se encontró a pH 3 con una dosis de 100 mg/L (5 mL) y un porcentaje de remoción de solo el 88,11%, que aunque determina un buen nivel de remoción no fue el más óptimo considerando que la dosificación era la más alta, para un resultado de turbidez final de 22,7 NTU.

En cuanto al segundo objetivo específico, los artículos fueron clasificados por su porcentaje de remoción de turbidez y color mayor al 85%, así como que estos debían ser de procedencia colombiana con años de anterioridad de mínimo el 2010 hasta la actualidad. Se recopilaron 10 artículos de investigación colombiana. La remoción de la turbidez varió entre el 85,2% al 98,91%, en el caso del color, este estuvo entre valores de 89,92% a 97,8%. Sin embargo, no todas las investigaciones recopiladas determinaron parámetros como el color, o bien, SST, DBO, o DQO, los cuales también fueron tenidos en cuenta. Los artículos recopilados sirvieron como base para realizar el diagnóstico Del Uso De La



Moringa Como Coagulante Natural, y sus ventajas y desventajas en comparación con los demás coagulantes naturales. Se determinó que la concentración más baja del coagulante que remueve la mayor cantidad de turbidez, es decir donde se obtuvo el menor valor de turbidez residual, se consideró como la concentración óptima. Las concentraciones óptimas para valores de turbidez inicial de 75 y 150 NTU, corresponden a 500 y 400 ppm, respectivamente. A estas concentraciones se obtuvieron valores de turbidez residual mínimos (14,9 y 8,5 NTU). Se observa que al incrementarse la turbidez inicial, las concentraciones óptimas del coagulante y la turbidez residual disminuyen, indicando una mayor eficiencia del coagulante a mayores valores de turbidez inicial. Muyibi y Evison (1995) reportaron que a la concentración óptima de M. oleífera la turbidez residual disminuye cuando se incrementa la turbidez inicial, e indicaron que el incremento de las dosis del coagulante M. oleífera conduce a revertir las cargas, lo cual lleva a la reestabilización de las partículas desestabilizadas.

Por último, por medio de la revisión bibliográfica se estableció una comparación entre el uso de la *moringa oleífera* como coagulante natural y el uso de soluciones de sulfato de aluminio, identificando las ventajas y desventajas de cada coagulante, así como los porcentajes de remoción de los parámetros más significativos donde se destacó la importancia del coagulante en el tratamiento en agua en Colombia y las ventajas de su aplicación en comparación con los coagulantes químicos. Se estableció que las semillas de Moringa oleífera tienen un porcentaje de remoción de turbidez entre el 75-90 %, cuando la turbidez inicial es alta, aproximadamente 200 UNT. Por el contrario, si la turbidez es baja, 40 UNT, el porcentaje de remoción alcanza el 50 %. El coagulante químico Sulfato de Aluminio, es mucho más efectivo que el coagulante natural empleado para reducir la turbidez del agua. Sin embargo, las semillas de Moringa oleífera, por su baja toxicidad, son una alternativa para reemplazar parcialmente al sulfato de aluminio.





8. RECOMENDACIONES

Se recomienda ampliar la investigación por medio de la revisión bibliográfica de documentos no solo de orden nacional, sino también internacional, de manera que pueda realizarse un análisis integro del uso del coagulante natural de la Moringa bajo ciertas condiciones diferentes en cuanto a grados de contaminación de las aguas, así como variables climáticas, entre otras. Así como ampliar a investigaciones de los últimos 15 años de publicación.

Se recomienda tener en cuenta parámetros como pH y alcalinidad entre el análisis de futuras investigaciones donde se usen coagulantes naturales en aguas contaminadas, ya que, estas variables influyen significativamente en la efectividad del coagulante ejercer procesos de remoción, así como analizar las características del agua una vez sometidas al tratamiento.

Se recomienda realizar comparaciones del coagulante natural de Moringa con otro tipo de coagulantes naturales, como el de cascara de frijol, plátano o banano, así mismo, con otro tipo de coagulantes químicos diferentes al sulfato de Aluminio, de esta manera se analiza su comportamiento y su efectividad en el tratamiento de agua potable y remoción de turbidez en agua. De esta manera, se podrá deducir que coagulante orgánico es el que mayor rendimiento presenta.

Por último, sería ideal llevar la investigación al campo experimental, donde se realicen los ensayos de la prueba de jarras con coagulantes como la moringa y el sulfato de aluminio, comprobando así lo obtenido en la revisión literaria.





9. BIBLIOGRAFIA

- Administración municipal de Cocorná (2000). Proyecto presentado al Comité Departamental de Cafeteros: Manejo integral de la microcuenca Guayabal, surtidora del acueducto urbano del municipio de Cocorná. Cocorná-Antioquia. P. 3-21.
- Aguirre, A; Zapata, L., Evaluación de la planta de San Antonio de Prado con énfasis en la mezcla rápida. Medellín, 1990, 161 p. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Facultad de Minas.
- Alba J. (2013). Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. En: SIMPOSIO DEL AGUA EN ANDALUCÍA (IV: 1996: Andalucía). Memorias del IV Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA). Almería: P. 203-213. Vol. II.
- American Public Health Association-American Water Works Association - Water Environment Federation. (2005). Standard methods for the examination of water and wastewater, 21.a Edición. Washington, DC: AWWA.
- AMERICAN WATER WORKS ASOCIATION (2000). Calidad y tratamiento del agua. Manual de suministros de agua comunitaria. 5ta edición. España: McGraw Hill. 1231 p.
- Arboleda, "Teoría de la coagulación del agua", en Teoría y práctica de la purificación del agua, 3 ed. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill, 2001, cap 2, pp. 21-84
- Arboleda, J. (2000). Teoría y práctica de la purificación del agua. Bogotá: Mc Graw Hill y ACODAL 362 p. Tomo I.
- Asociación de ingenieros sanitarios de Antioquia (2000). Operación y mantenimiento de plantas convencionales de agua potable. Medellín: P. 12-27.
- Bechara, S., (2006) Manejo adecuado de los plaguicidas, prevención de los posibles riesgos. En: Programa Integrado de Toxicología, Hospital Universitario San Vicente de Paul. Urgencias toxicológicas. Medellín: P. 75-83.
- Bolto, Gregory. (2007). Polielectrolitos orgánicos en el tratamiento de aguas. Agua Res., 41, pp. 2301-2324
- C. Barajas, A. León, "Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) en el proceso de coagulación - floculación para el tratamiento de agua potable por medio del uso de una red neuronal artificial", Tesis de grado



Ingeniería Ambiental, División de Ingenierías, Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia, 2015.

Caicedo, O.; Palacio, J. (2015) Los macroinvertebrados béticos y la contaminación orgánica en la quebrada la mosca (Guarne, Antioquia, Colombia). En: Actualidad Biológica. Vol. 20, No. 69; p. 61-73.

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, CEPIS/OPS. (2004). Tratamiento de agua para consumo humano, Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría – Tomo 1. Editorial CEPIS/OPS. Lima, Perú. 304 pp.

Jahn, S. A. (1989). Moringa Oleifera for food and water purification - selection of clones and growing of annual short stem. *Entwicklung + Landlicher Raum*, 23(4), 22-25

Kursun. (2010). Determination of flocculation and adsorption–desorption characteristics of Na-Feldspar concentrate in the presence of different polymers. *Physicochem. Probl. Miner. Process.*, 44, pp. 127–142.

Melo T (2010), “Evaluación de la eficiencia de la utilización de semillas de moringa oleífera como una alternativa de biorremediación en la purificación de aguas superficiales del caño Cola de pato ubicado en el sector rural del municipio de Acacias” director: Oscar Javier Olarte. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia Villavicencio, Colombia. pp. 51-60, 2012

Ministerio de la Protección Social. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). Resolución 2115. Bogotá: El Ministerio

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. TÍTULO B. Sistemas de acueducto. 2.a Edición. Bogotá: El Ministerio.

Olivero, R. E.; Mercado, I. D. & Gazabón, L. E. (2013). Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*. *Producción + Limpia*, 8(1), 19-27.

R. Olivero, I. Mercado, L. Montes, “Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*”, *Producción + Limpia*, vol. 8, no. 1, pp 19-21, Ene 2013.



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



Resolución por medio del cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias de sistema de control y vigilancia de la calidad del agua para consumo humano. Resolución 2115, 2007.

Rodríguez, C. (2012). Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua. Santafé de Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 115 p

Rodríguez, S.; Muñoz, R.; García, O. & Fernández, E. (2005). Empleo de un producto coagulante natural para clarificar agua. Revista CENIC Ciencias Químicas, 36, Número Especial.

Spellman, F. R. & Drinan, J. (2004). Manual de agua potable. Florida: CRC Press, 2000NW Corporate Blvd.

V. Rondeau, et al., "Aluminum and silica in drinking water and the risk of Alzheimer's disease or cognitive decline: findings from 15-year follow-up of the PAQUID cohort", American Journal Epidemiology, vol. 169, no. 4, pp 489-96. Feb 2009.

