

**EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE *Moringa Oleífera* Y *Lemnaire-Oreus Griseus*  
COMO COAGULANTES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL  
MUNICIPIO SITIONUEVO, MAGDALENA**



**AUTORES:**

MARGARITA ROSA AGUDELO RICO

EULLER DE JESÚS DÍAZ RODRÍGUEZ

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA**

**VALLEDUPAR – CESAR**

**2023**

**EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE *Moringa Oleífera* Y *Lemaire-Oreus Griseus*  
COMO COAGULANTES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL  
MUNICIPIO SITIONUEVO, MAGDALENA**

**AUTORES:**

MARGARITA ROSA AGUDELO RICO

EULLER DE JESÚS DÍAZ RODRÍGUEZ

**DIRECTOR**

KARINA PAOLA TORRES CERVERA

MAGISTER EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA**

**VALLEDUPAR – CESAR**

**2023**

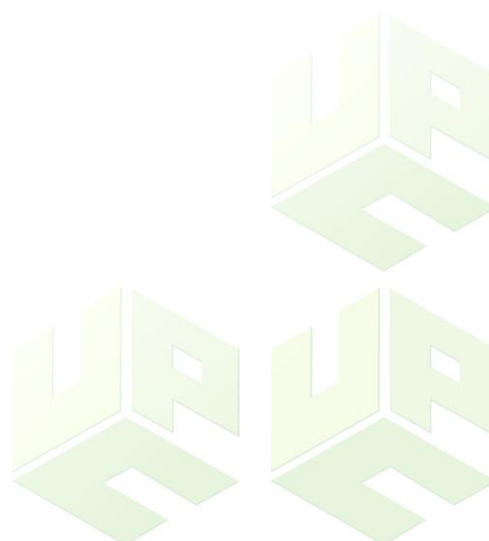
## DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada con profundo cariño a mi madre, Lesbia María Rico Ternera, cuyo amor y guía han sido mi inspiración constante. Agradezco su enseñanza de que la fe en Dios, la disciplina, la positividad y la bondad son la base para alcanzar lo inalcanzable. También, dedico este trabajo a mi padre, Luis Nolberto Agudelo Herrera, fuente de sabiduría y amor, quien me ha transmitido valiosos principios. Mis abuelos, paternos y maternos, merecen reconocimiento por su apoyo inquebrantable. Un reconocimiento especial va para mis tías, que han ejercido un rol maternal, y a toda mi familia, mi motor fundamental.

*Margarita Rosa Agudelo Rico.*

Con gratitud y amor, dedico esta tesis de grado a mi querida madre, Shirleydys Rodríguez Ortega, quien ha sido mi faro en la oscuridad, mi inspiración constante y mi mayor apoyo en cada paso de este viaje. Gracias a sus valores, amor incondicional y su ejemplo han forjado el camino que sigo con orgullo. A mis abuelos, Yadira Ortega, Consuelo Benítez, Oscar Rodríguez, Hernán Díaz, a mi padre Niver Díaz y hermanos, les dedico este logro también, por su cariño inquebrantable y su presencia constante en mi vida. Cada línea de esta tesis lleva un pedacito de su sabiduría y amor. Por último, le dedico esta tesis a mi padrastro José Bejarano quien, a través de sus acciones, han demostrado que la familia no está limitada por lazos de sangre.

*Euller De Jesús Díaz Rodríguez, 2023.*



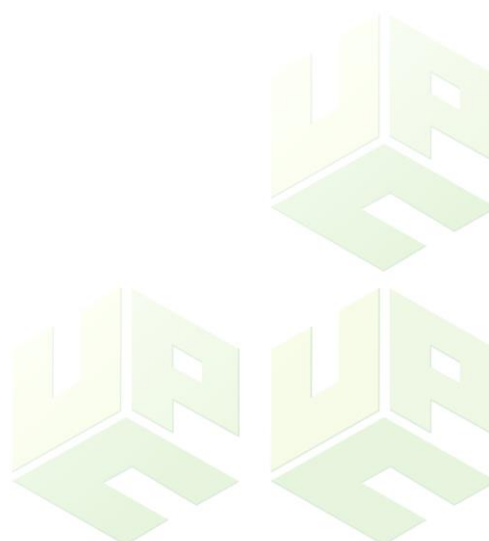
## AGRADECIMIENTOS

Con una profunda gratitud, elevo mi reconocimiento a Dios mi padre amado y Señor Todo Poderoso por haber permitido la culminación de este proyecto. Euller De Jesús Diaz Rodríguez como compañero de tesis no solo ha sido un privilegio, sino un lazo fraterno que ha sostenido los momentos cruciales. Mi gratitud se torna hacia mi madre, la encarnación de una bendición sublime que ha iluminado mi camino.

A mi familia y a mi querida prima María José Polania Agudelo, les debo el ingreso a esta hermosa carrera, un regalo invaluable. Agradezco, con un profundo respeto, a la directora de este proyecto, Karina Paola Torres Cervera, cuya guía ha sido fundamental y quien ha ganado un lugar en mi corazón.

Mis compañeros de trayectoria, Jarlis Campuzano Gámez, Oscar Raúl Serna Villareal, Edwar Daniel Cruz Lerma y mi gran amiga Janith Amira Alvarino Vargas, merecen un homenaje por su compañerismo inquebrantable en este viaje educativo. Cada uno ha enriquecido mi sendero con su apoyo constante.

*Margarita Rosa Agudelo Rico.*



## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, mi agradecimiento a Dios, quien me ha brindado el regalo más preciado: la vida. A través de cada experiencia, he sentido su guía y protección, permitiéndome avanzar con determinación. A mi amada madre, Shirleydys Rodríguez, le debo un agradecimiento que trasciende las palabras. sus sacrificios y amor incondicional han sido la base sobre la cual he construido mis sueños. su ejemplo y apoyo constante me han dado fuerzas para alcanzar cada meta. A mis queridos abuelos y hermanos, cuyo respaldo y fe en mí han sido un faro en mi camino. Su aliento y confianza me han dado la fortaleza necesaria para enfrentar los desafíos.

A mi tía Ana Rodríguez, cuyo amor y apoyo han sido un bálsamo en momentos difíciles, te agradezco de corazón. A mi padrastro, José Bejarano, mis palabras de gratitud son infinitas. su amor y cuidado han sido una inspiración constante. A pesar de no ser su hijo biológico, has demostrado ser un padre excepcional, y por eso te estoy profundamente agradecido.

Un agradecimiento especial a mi compañera de proyecto, Margarita Agudelo Rico. su apoyo incansable y nuestra amistad inquebrantable han sido la clave para sacar adelante esta tesis de grado. Juntos hemos demostrado que la colaboración y la amistad pueden mover montañas.

A los amigos más leales, Jarlis Campuzano, Ariana Otero, Karen Pitre, Oneider Viloría, María Muñoz e Isabel Gutiérrez, mi gratitud es sincera y profunda. Sin su amistad y apoyo, mi travesía universitaria habría sido mucho más difícil. Llevaré siempre en mi corazón la sinceridad de nuestra amistad. A mis otros amigos y compañeros de carrera, Maira Rojas, Hermes Acosta, Grey Dávila, Jorge Marchena y José Chávez, les agradezco por enriquecer mi experiencia universitaria con su compañía y alegría.

A mis apreciadas docentes, Karina Torres y Claudia Tovar, les agradezco por compartir su conocimiento y dedicación. Gracias por su influencia en mi crecimiento como estudiante y como individuo. Gracias ingeniería Karina por ser el apoyo en este proyecto.

A personas que han brindado su cariño y apoyo incondicional a pesar de no ser familia de sangre, Nelly Rodríguez, Abrahán Marchena, Rosa Páez y Jonny Reyes, les estoy agradecido por hacerme sentir parte de su círculo cercano.

*Euller De Jesús Diaz Rodríguez.*

## RESUMEN

Esta investigación se centró en evaluar la eficacia de dos coagulantes naturales en el tratamiento de agua potable para determinar cuál de ellos es más confiable. El enfoque de la investigación fue determinar la eficacia de la *Moringa Oleífera* y *Lemnaire-Oreus Griseus* el tratamiento de agua potable en el municipio de Sitionuevo, Magdalena. Inicialmente se recolectaron los coagulantes naturales, los cuales fueron procesados para obtener polvo coagulante. Para *Moringa Oleífera*, se llevó a cabo un proceso adicional de desengrasado. posteriormente, se realizaron pruebas de jarras utilizando diferentes concentraciones de los coagulantes (6% y 12% para *Moringa Oleífera* con y sin grasa, 6%, 12%, 1% y 0,5% para *Lemnaire-Oreus Griseus*). La eficiencia de los coagulantes naturales se evaluó comparándola con los estándares vigentes para agua potable y con el coagulante inorgánico policloruro de aluminio. Además, se calculó el porcentaje de remoción de turbidez para cada coagulante. Los resultados obtenidos revelaron que la *Moringa* con grasa logró una remoción de turbidez del 86,60%, la *Moringa* sin grasa de 93,30%, ambas en una concentración de 6%. Por su parte, el coagulante natural *Lemnaire-Oreus Griseus* logró una remoción de turbidez del 87,12% a 0,5% de concentración. La comparación entre los coagulantes naturales y el coagulante inorgánico Policloruro de Aluminio reveló que las alternativas naturales presentan una eficiencia similar en términos de remoción de turbidez. En conclusión, los resultados sugieren que los coagulantes naturales, especialmente la *Moringa Oleífera* sin grasa y *Lemnaire-Oreus Griseus*, pueden ser opciones sostenibles y seguras para el tratamiento de agua potable.

**Palabras claves:** Coagulantes naturales, *Moringa Oleífera*, *Lemnaire-Oreus Griseus*, eficacia, remoción de turbidez, pruebas de jarras.

## **ABSTRACT**

*This research focused on evaluating the efficacy of two natural coagulants in drinking water treatment to determine which one is more reliable. The focus of the research was to determine the effectiveness of Moringa Oleífera and Lemaire-Oreus Griseus in drinking water treatment in the municipality of Sitionuevo, Magdalena. Initially, the natural coagulants were collected, which were processed to obtain coagulant powder. For Moringa Oleífera, an additional defatting process was carried out. Subsequently, jar tests were performed using different concentrations of coagulants (6% and 12% for Moringa Oleífera with and without fat, 6%, 12%, 1% and 0.5% for Lemaire-Oreus Griseus). The efficiency of the natural coagulants was evaluated by comparing it with current standards for drinking water and with the inorganic coagulant aluminum polychloride. In addition, the percentage of turbidity removal for each coagulant was calculated. The results obtained revealed that the Moringa with fat achieved a turbidity removal of 86.60%, the Moringa without fat 93.30%, both in a concentration of 6%. For its part, the natural coagulant Lemaire-Oreus Griseus achieved a turbidity removal of 87.12% at 0.5% concentration. The comparison between the natural coagulants and the inorganic coagulant Aluminum Polychloride revealed that the natural alternatives present a similar efficiency in terms of turbidity removal. In conclusion, the results suggest that natural coagulants, especially non-fat Moringa Oleífera and lemaire-oreus griseus, may be safe and sustainable options for drinking water treatment.*

**Keywords:** *Natural coagulants, Moringa Oleífera, Lemaire-Oreus Griseus, efficacy, turbidity removal, jar tests.*

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN .....	13
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	14
1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	15
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....	16
3. OBJETIVOS .....	18
3.1. OBJETIVO GENERAL .....	18
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
4. MARCO REFERENCIAL .....	19
4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	19
4.2. MARCO TEÓRICO .....	22
4.2.1. Tratamiento De Agua Potable En Colombia .....	22
4.2.2. Tipos de coagulantes. ....	23
4.2.2.1. Los Coagulantes Naturales. ....	23
4.2.2.1.1. Ventajas De Los Coagulantes Naturales. ....	23
4.2.2.1.2. La Moringa Oleífera Y El Lemaire-Oreus Griseu Como Coagulante Natural. ....	23
4.2.2.2. Coagulantes Inorgánicos. ....	25
4.2.2.2.1 Desventajas. ....	25
4.2.3. Factores Que Influyen En El Proceso De Coagulación/Floculación.....	25
4.3. MARCO CONCEPTUAL .....	27
4.4. MARCO CONTEXTUAL .....	28
4.4.1. Caracterización y Descripción Geográfica .....	28
4.4.2. Aspectos de Contextualización Locativa .....	28
4.4.3. Representación Espacial y Geográfica .....	29

4.5. MARCO LEGAL .....	30
5. MARCO METODOLÓGICO.....	32
5.1. LÍNEA, SUBLÍNEA Y ÁREA TEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN .....	32
5.2. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	32
5.3. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN .....	32
5.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO.....	32
5.5. MUESTRA POBLACIONAL.....	32
5.6. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	33
5.7. ESTRATEGIA Y DESARROLLO METODOLÓGICO .....	33
6. RESULTADOS Y ANALISIS.....	39
6.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS DEL AGUA QUE INGRESA A LA PLANTA POTABILIZADORA EN PALERMO CORREGIMIENTO DE SITIONUEVO. ....	39
6.1.1. Realizar Muestreos De Agua.....	39
6.1.2. Traslado De La Muestra Colectadas A La Universidad Popular Del Cesar .....	40
6.1.3. Análisis De Los Parámetros Físico-Químicos De La Muestra De Agua. ....	41
6.1.3.1. pH. ....	41
6.1.3.2. Turbidez (NTU).....	42
6.1.3.3. Conductividad (U3).....	43
6.1.3.4. Alcalinidad. ....	44
6.1.3.5. Solidos Suspendidos Totales (SST).....	44
6.1.3.6. Solidos Suspendidos Volátiles (SSV). ....	45
6.2. ESTABLECIMIENTO DE LAS DOSIS OPTIMAS DE LOS COAGULANTES ORGÁNICOS DE <i>Moringa Oleifera</i> Y <i>Lemaire-Oreus Griseus</i> Y EL COAGULANTE INORGÁNICO POLICLORURO DE ALUMINIO MEDIANTE EL MÉTODO DE JARRAS. ....	47
6.2.1. Extracción De Los Coagulantes .....	47

6.2.1.1. Moringa Oleífera. ....	47
6.2.1.2. Lemaire-Oreus Griseus.....	50
6.2.2. Caracterización Del Coagulante.....	52
6.2.3. Método De Jarras.....	55
6.2.3.1. Coagulante Natural De <i>Moringa Oleífera</i> Con Grasa. ....	56
6.2.3.2. Coagulante Natural De <i>Moringa Oleífera</i> Sin Grasa. ....	59
6.2.3.3. Lemaire-Oreus Griseus.....	62
6.2.3.4. Coagulante Inorgánico.....	66
6.3. DETERMINAR LA EFICIENCIA DE LOS COAGULANTES EN EL POSTRATAMIENTO DEL AGUA POTABLE. ....	68
6.3.1. Eficiencia Del Coagulante (Actividad Coagulante).....	68
6.3.1.1. Moringa Con Grasa. ....	69
6.3.1.2. Moringa Sin Grasa.....	69
6.3.1.3. Lemaire-Oreus Griseus.....	71
6.3.1.4. Policloruro De Aluminio. ....	72
6.3.1.5. Análisis De Viabilidad Económica. ....	77
6.3.1.6. Coagulante De Moringa Oleífera Sin Grasa Vs El Coagulante De Policloruro De Aluminio ..... 78	
6.3.1.7. Coagulante De Moringa Oleífera Con Grasa Vs El Coagulante De Policloruro De Aluminio..... 80	
6.3.1.8. Coagulante Del Cactus Guajiro Vs El Coagulante De Policloruro De Aluminio. .... 81	
6.3.2. Comparación De Los Parámetros Del Agua Tratada Con Diferentes Coagulantes Y Su Porcentaje De Remoción En Conformidad Con La Normativa Ambiental Vigente .... 82	
6.3.2.1. Turbidez..... 83	
6.3.2.2. pH. .... 83	
6.3.2.3. Conductividad..... 84	

6.3.2.4. Alcalinidad.....	84
6.3.2.5. SST y SSV.....	85
7. CONCLUSIONES .....	88
8. RECOMENDACIONES .....	91
9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	93
9.1. WEBGRAFIA .....	97
ANEXOS .....	98

### LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Localización del municipio Sitionuevo, Magdalena .....	28
<b>Figura 2.</b> Localización General en la Zona de estudio .....	29
<b>Figura 3.</b> Localización de la planta de tratamiento de Sitionuevo.....	29
<b>Figura 4.</b> Georreferenciación de los puntos de toma de muestreo.....	40
<b>Figura 5.</b> Ubicación del sitio donde se recolecto la semilla en el Municipio de Valledupar.48	
<b>Figura 6.</b> Ubicación del sitio donde se recolecto la semilla en el Municipio del Banco Magdalena.....	49
<b>Figura 7.</b> Coordenadas geográficas de la primera recolección de la semilla de Moringa Oleífera .....	49
<b>Figura 8.</b> Ubicación del sitio donde se recolecto el cactus guajiro.....	51
<b>Figura 9.</b> Comportamiento de los parámetros en la caracterización de los coagulantes naturales .....	55
<b>Figura 10.</b> Comportamiento del pH y la turbiedad después de la prueba de jarras usando Moringa Oleífera sin desengrasar .....	58
<b>Figura 11.</b> Comportamiento del porcentaje de remoción de la Moringa Oleífera con grasa.59	
<b>Figura 12.</b> Comportamiento del pH y la turbiedad después de la prueba de jarras usando Moringa Oleífera sin grasa.....	61
<b>Figura 13.</b> Comportamiento del porcentaje de remoción de la Moringa Oleífera sin grasa..62	

<b>Figura 14.</b> Comportamiento del pH y la turbiedad después de la prueba de jarras usando el Cactus Guajiro .....	65
<b>Figura 15.</b> Comportamiento del porcentaje de remoción del Cactus Guajiro .....	65
<b>Figura 16.</b> Comportamiento del pH, la turbiedad y porcentaje de remoción después de la prueba de jarras usando el Policloruro de Aluminio.....	67
<b>Figura 17.</b> Agua tratada con Moringa sin grasa y con grasa.....	70
<b>Figura 18.</b> Test de Jarras – Coagulante de Cactus Guajiro .....	72

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Marco legal aplicable al proyecto .....	30
<b>Tabla 2.</b> Métodos aplicados para el análisis fisicoquímico de la muestra de agua .....	34
<b>Tabla 3.</b> Niveles permisibles y valores a monitorear .....	38
<b>Tabla 4.</b> Caracterización inicial del agua .....	41
<b>Tabla 5.</b> Caracterización de los coagulantes .....	52
<b>Tabla 6.</b> Comportamiento del porcentaje de remoción de turbiedad y valor de pH después de la aplicación del coagulante de Moringa oleífera con grasa .....	57
<b>Tabla 7.</b> Comportamiento del porcentaje de remoción de turbiedad y valor de pH después de la aplicación del coagulante de Moringa oleífera sin grasa .....	60
<b>Tabla 8.</b> Comportamiento del porcentaje de remoción de turbiedad y valor de pH después de la aplicación del coagulante de Cactus Guajiro .....	63
<b>Tabla 9.</b> Comportamiento del porcentaje de remoción de turbiedad y valor de pH después de la aplicación del coagulante inorgánico Policloruro de Aluminio.....	66
<b>Tabla 10.</b> Porcentaje de reducción de la turbidez para cada coagulante en comparación con la turbidez de la muestra inicial .....	68
<b>Tabla 11.</b> Cuadro comparativo de los coagulantes orgánicos e inorgánico .....	75
<b>Tabla 12.</b> Costos de los materiales usados por la elaboración de los coagulantes.....	77
<b>Tabla 13.</b> Parámetros de cada coagulante y los valores máximos permisibles por la normatividad vigente en Colombia.....	82

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación, tiene como tema implementar un método para la coagulación de agua potable mediante coagulantes naturales. Se puede afirmar, que los sistemas de tratamiento de agua potable constituyen una relevancia y una preocupación en cuanto a lo ambiental se refiere, es de vital importancia identificar los métodos y características que esto poseen para remediar un agua.

Como se conoce, existen coagulantes inorgánicos para el tratamiento del agua potable, estos clarifican el agua, pero traen desventajas que ayudan a que la sustancia destinada a la distribución, no cumpla con los estándares de calidad, una de estas desventajas es que se requiere un alto costo económico para aumentar la efectividad de los coagulantes, dado que estos tipos de coagulantes producen una gran cantidad de lodo por lo que es indispensable recurrir a otros procedimientos para la eliminación de ellos y esto trae mayores costos para el municipio donde se esté usando los coagulantes inorgánicos.

Entonces, encontrar alternativas, las cuales ayuden a depurar esta agua y que su impacto no sea significativo en el medio ambiente es de vital importancia para poder encaminarlo en cuanto lo que concierne un desarrollo sostenible. Por este motivo, se toma la decisión de hacer esta investigación la cual busca implementar una metodología para el proceso de coagulación en el agua potable y de esta manera brindarles a las personas una mejor calidad del agua.

La investigación consistió en usar dos clases de coagulantes naturales para el tratamiento de agua potable, las cuales son la semilla de la *Moringa oleífera* Y la pulpa del tallo de *Lemna-Oreus Griseus* en el municipio de Sitionuevo, Magdalena y de esta manera disminuir el uso de químicos en este proceso, los cuales pueden ser dañinos a largo plazo y traer repercusiones en las personas. Con esta investigación se busca brindar al municipio una alternativa costo-efectiva para el proceso de tratamiento de coagulación en agua potable usando este tipo de coagulantes naturales.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La potabilización del agua es un proceso fundamental que implica una serie de etapas relevantes, entre las cuales destacan la coagulación y floculación. Estas etapas consisten en la adición de aditivos químicos al recurso hídrico para favorecer la sedimentación de materia coloidal no sedimentable o aumentar la velocidad de sedimentación mediante la formación de flóculos (Cabrera, 2009). Sin la implementación efectiva de estas fases, la calidad del agua destinada para distribución y abastecimiento no sería apta para el consumo humano, lo que desencadenaría incertidumbre ambiental y riesgos para la salud de la población.

La coagulación suele implicar el uso de coagulantes inorgánicos, como el sulfato de aluminio y el sulfato de hierro, debido a su facilidad económica y rendimiento. Sin embargo, estos coagulantes tradicionales presentan desafíos significativos en cuanto a su impacto ambiental y en la salud. Al final del proceso, estos coagulantes inorgánicos se acumulan como lodos en la naturaleza, y su baja capacidad de biodegradación en suelo y agua representa una amenaza para la salud humana y el ecosistema (Bravo Gallardo, 2017).

Especialmente, el sulfato de aluminio es fácilmente asimilado por los organismos vivos y su ingestión prolongada ha sido asociada con efectos negativos en la salud, como deterioro de las células epiteliales intestinales, responsables de proteger el intestino de sustancias nocivas y filtrar componentes de la dieta diaria (M. Djouina, et al; 2016). Además, estudios han sugerido una correlación entre el consumo de este coagulante y enfermedades como el cáncer y afecciones en los huesos (V. Rondeau, et al; 2009).

En el contexto de Colombia, la normatividad desempeña un rol trascendental al establecer parámetros y directrices destinados a regular la calidad del agua potable. Ejemplares de esta normatividad, como el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), se encargan de definir los requisitos mínimos que deben ser cumplidos en el proceso de potabilización. Estas normas establecen criterios específicos de calidad y metodologías de tratamiento que deben ser rigurosamente observados para asegurar la idoneidad del agua con miras al consumo humano.

Paralelamente, el Decreto 1575 de 2007 asume la responsabilidad de regular el régimen de calidad del agua en Colombia, explorando aspectos vinculados al control y manejo del

recurso hídrico. Este decreto aborda en detalle el proceso de potabilización, así como la imperativa salvaguarda de la salud pública en relación con el suministro de agua. Y otro ejemplar es la Resolución 2115 de 2007 que aborda los parámetros y criterios de calidad del agua potable y los tratamientos a implementar en el proceso de potabilización.

Sin embargo, es evidente que en el país numerosos municipios no logran cumplir en su totalidad con los requisitos establecidos en la normatividad. Este desafío se hace especialmente patente en lugares como Sitionuevo, Magdalena, un municipio señalado por el Instituto Nacional de Salud como el epicentro de la crisis en cuanto a calidad de agua en el país (EL Tiempo, 2019). Aunque ha estado en operación por alrededor de no menos 4 años, la planta potabilizadora de Sitionuevo no ha logrado resolver de manera efectiva las dificultades que enfrenta la población para acceder a agua con condiciones sanitarias adecuadas.

La persistente turbidez presente en el agua suministrada demanda la aplicación de cloro para volverla apta para el consumo, un proceso que expone a la población a enfermedades e infecciones. Es notorio que esta problemática exige soluciones urgentes y sostenibles para mejorar el proceso de potabilización del agua. En particular, la búsqueda de alternativas más seguras y eficientes a los coagulantes químicos tradicionales es crucial para proteger la salud de la población y conservar el medio ambiente en Sitionuevo y otras comunidades en Colombia.

## **1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Basándonos en lo expuesto previamente, es imperativo investigar, desarrollar y evaluar métodos que prevengan los efectos adversos en la flora, fauna y sociedad derivados del uso de coagulantes químicos, los cuales actúan alterando la carga eléctrica de las partículas suspendidas en el agua. La pregunta central es:

¿Cuál sería la alternativa más viable para favorecer la sedimentación de partículas no sedimentables sin generar impactos negativos en el medio ambiente y la comunidad?

## 2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El agua, cubriendo aproximadamente el 75% de la superficie terrestre, es un recurso esencial para los procesos ambientales, sociales y el desarrollo de la vida misma. Sin embargo, es preocupante que solo el 2.5% del agua en la Tierra sea dulce, y de este porcentaje, únicamente el 0.26% sea directamente utilizable por la especie humana (Mariza Mazari, 2007). Esta escasez de agua dulce se agrava aún más en regiones con altos índices de contaminación, como Colombia, donde el acceso a agua potable de calidad es un desafío constante en varios municipios.

En Sitionuevo, Magdalena, la situación del agua es crítica, especialmente en el corregimiento de Palermo, que se encuentra bajo escrutinio en esta investigación. A pesar de contar con un sistema de potabilización en funcionamiento, la persistente presencia de turbidez en el agua suministrada a los hogares es un claro indicativo de que el tratamiento del agua puede no estar siendo adecuado como ya se mencionó en el planteamiento del problema. Esta turbidez puede albergar contaminantes y microorganismos patógenos, representando un riesgo directo para la salud de la población, que se ve expuesta a infecciones y enfermedades por la ingesta continuada de agua contaminada.

En este marco, la utilización de aditivos químicos para la coagulación del agua es una práctica común en muchos sistemas de potabilización. Sin embargo, esta práctica conlleva incertidumbre y preocupaciones, ya que los sedimentos generados durante el proceso de coagulación pueden afectar negativamente los cuerpos de agua y los suelos circundantes. Estos sedimentos pueden contener productos químicos residuales que, si no son adecuadamente gestionados, pueden causar complicaciones en la salud de los seres vivos y perjudicar la calidad del agua en el largo plazo (Carlos Banchón et al., 2016).

Es indiscutible que se requiere abordar esta problemática y buscar alternativas más seguras, sostenibles y eficientes para la potabilización del agua en Sitionuevo y en otras regiones de Colombia. En este sentido, se ha explorado el uso de coagulantes naturales de origen animal y vegetal, como semillas de mango, almidón, raíces y cactus, como una alternativa prometedora. Estos coagulantes naturales han demostrado su efectividad en la

remoción de contaminantes, incluida la turbidez y el color del agua, sin generar la misma incertidumbre y los riesgos asociados a los aditivos químicos.

Para avanzar en este campo, se llevó a cabo una evaluación detallada de las propiedades de los coagulantes naturales y se determina su eficacia en la remoción de materiales sólidos en muestras de agua. En el presente proyecto de investigación, se pone especial énfasis en dos especies con gran capacidad coagulante, la *Moringa Oleífera* y el cardón guajiro *Lemnaire-Oreus Griseus*, que han demostrado plasticidad ecológica y éxito en estudios previos (Dearmas y Ramírez, 2015). Al identificar la mejor opción para la potabilización del agua en Sitionuevo, se contribuirá en cierta proporción a preservar el medio ambiente para las generaciones futuras.



### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficacia de *Moringa Oleífera* Y *Lemnaire-Oreus Griseus* como coagulantes para el tratamiento de agua potable del municipio Sitionuevo, Magdalena.

#### 3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los parámetros fisicoquímicos (pH, Alcalinidad, Turbiedad, Solidos suspendidos totales y volátiles “SST y SSV” y Conductividad) del agua que ingresa a la planta potabilizadora de agua de Sitionuevo, Magdalena.
- Establecer la dosis optimas de los coagulantes orgánicos de *Moringa oleífera* y *Lemnaire-Oreus Griseus* y el coagulante inorgánico policloruro de Aluminio mediante el método de jarras y la medición del pH y % de turbiedad en cada jarra después del tratamiento.
- Determinar la eficiencia de los coagulantes naturales en el tratamiento del agua potable mediante el porcentaje de remoción, la normatividad vigente y la comparación con el coagulante inorgánico Policloruro de Aluminio.



## 4. MARCO REFERENCIAL

A continuación, presentaremos las investigaciones más actualizadas, las cuales tuvieron un aporte significativo a este proyecto, también se muestran las consideraciones teóricas, la definición de aquellas palabras expuestas con más constancia en el documento, la contextualización compuesta por la localización de la zona seleccionada para el progreso de esta investigación, descripción de la misma, y luego un marco legal que sustentan el área de estudio de desarrollo de esta labor.

### 4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Carrizales y Enríquez (2020) desarrollaron una investigación el cual llevó por nombre determinación de la dosis y concentración óptima del coagulante de *Moringa Oleífera* en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica. El presente estudio se realizó con el propósito determinar la dosis y concentración óptima del coagulante de *Moringa oleífera* en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica; durante el procedimiento se realizó la toma de 10 muestras de agua para determinar la turbidez en cada una de ellas; con el instrumento de la Prueba de Jarras se hizo la simulación de la mezcla rápida, coagulación, floculación y sedimentación de una planta de tratamiento de agua potable convencional, para ello se utilizó diversas dosis y concentraciones, llegando a obtener los óptimos para cada muestra. El resultado de la dosis óptima se encuentra en dos rangos, menores a 50 UNT (Unidad Nefelométrica de Turbidez) de 10 mg/l a 50 mg/l; para turbiedades mayores a 50 UNT y menores de 150 UNT de 30 mg/l a 100 mg/l; y la concentración óptima para turbiedades menores a 150 UNT, se encuentran en un rango de 2% a 3%. El aporte de esta investigación a nuestro proyecto fue una guía para determinar las dosis óptimas de los coagulantes y posteriormente evaluarlos de forma efectiva.

Castillo Vergara et al., (2018). Investigaron sobre el efecto del coagulante-floculante obtenido del cactus de Nopal en la turbidez, DBO y sólidos totales del efluente de la empresa casa grande S.A. con la finalidad de determinar la influencia del nopal (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante-floculante natural. Este proyecto se desarrolló en 4 etapas principales, ETAPA 1: Toma de muestras de agua. ETAPA 2: Caracterización del efluente. ETAPA 3: preparación del coagulante- floculante, el cual se obtuvo mediante la maceración de mucílago de nopal. ETAPA 4: tratamiento por coagulación – floculación, en donde utilizaron el sistema

de prueba de jarras para simular los procesos. En este trabajo los investigadores lograron un porcentaje de remoción en sólidos totales de 57.06 % con el tratamiento de coagulante-floculante al 80%. Para el parámetro de turbidez la remoción de 82.45 % con el tratamiento de coagulante-floculante al 80%. Este trabajo es pertinente con la investigación aquí planteada puesto que con este último porcentaje de remoción da a conocer que la utilización de coagulantes orgánicos si es factible y los experimentos a diferentes velocidades de agitaciones da la posibilidad de ver ese proceso químico cuando hay diferentes concentraciones.

Zeas (2018), Desarrolló la investigación titulada como Estudio técnico económico del uso de la moringa como coagulante-floculante en aguas superficiales. Este proyecto tuvo como objetivo comparar los parámetros técnicos y económicos de la semilla de moringa como coagulante-floculante natural en aguas superficiales con respecto a coagulantes químicos tradicionales. Para la ejecución de este trabajo generalmente se realizaron las 4 etapas desarrolladas por el autor anterior. Como resultado de esta labor, el investigador obtuvo que las muestras de agua del río Guayas, la semilla de moringa superó en todas las pruebas el 98% de remoción de turbidez, siendo uno de los mejores rendimientos entre los cuatro coagulantes de estudio. Este proyecto es relevante en la investigación, dado que da a conocer que es una planta con excelente capacidad de remoción de turbidez, lo cual motiva y rectifica la eficiencia de las semillas de Moringa.

Duarte y Ramírez (2015) desarrollaron un proyecto titulado Remoción de nutrientes mediante coagulantes naturales y químicos en planta de tratamiento de aguas residuales, Valledupar Colombia. Con la finalidad de evaluar el desempeño y eficiencia de dos coagulantes químicos: sulfato de aluminio y policloruro de aluminio, y dos naturales: moringa y cardón guajiro en la remoción de nutrientes y sedimentos del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales. Misma metodología al autor anterior para la evaluación de los coagulantes. En el que se tuvo que él sulfato de aluminio pese a no alcanzar la turbidez exigida por la normatividad colombiana es un coagulante que remueve más del 80% de los parámetros de DQO, DBO y algas. El policloruro de aluminio es adecuado para disminuir significativamente la turbidez y los SST en un 92%, y para la disminución de fósforo total resultaron efectivos los tratamientos con coagulantes naturales moringa y cardón, los cuales presentaron una remoción de 90.35%. Se concluye que los coagulantes evaluados presentan un potencial de remoción de los parámetros analizados. Esta investigación 2015 tiene un aporte significativo en nuestro

proyecto, dado que nos muestra una excelente metodología a tener en cuenta al momento de evaluar los coagulantes naturales.

Feria et al (2014), investigaron sobre la Eficiencia de la semilla Moringa Oleífera como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú, con el propósito de evaluar la eficiencia de la semilla de M. Oleífera como coagulante y sus efectos sobre el pH y la alcalinidad. Teniendo en cuenta la metodología de las 4 etapas, se generó un modelo cúbico de superficie de respuesta para evaluar la eficiencia de remoción de turbidez. Al final, se obtuvieron altas eficiencias de remoción de turbidez (>90 %) se lograron con dosis entre 4,5 mg/L y 17,5 mg/L de coagulante natural para turbiedades iniciales mayores a 90,0 UNT. Y como conclusión se llegó a que La M. Oleífera es un coagulante eficaz, seguro y económico para la remoción de turbidez del agua cruda del río Sinú. Este trabajo se relaciona con la investigación expuesta, a causa de que nos ayuda realmente con la fase de preparación del coagulante a partir de Moringa Oleífera y es un buen ilustrar al momento del cálculo de las dosis de coagulante.

Arreola y Canepa (2013) realizaron una investigación titulada Moringa oleífera una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales, esta tiene como objetivo comparar la eficiencia de remoción de turbidez y color del coagulante obtenido de las semillas de Moringa Oleífera en tres tipos de soluciones versus el sulfato de aluminio comercial mediante prueba de jarras. La metodología consistió particularmente en tomar las muestras, preparar las soluciones de extracto crudo a partir de semillas de Moringa, preparar la solución de sulfato de aluminio, Obtención de la dosis óptima de coagulación con el sulfato de aluminio, realización de una prueba de comparación del poder coagulante de la Moringa y por último análisis estadístico. Se obtuvo al final que La eficiencia de remoción utilizando Moringa Oleífera constituye un método de tratamiento competitivo con las sales metálicas de sulfato de aluminio. Este estudio demostró la pertinencia de incorporar un buen análisis para que al terminar se logre saber con toda claridad que tan eficaces fueron los coagulantes naturales y de esta forma cumplir satisfactoriamente con los objetivos planteados.

## **4.2. MARCO TEÓRICO**

A continuación, se presenta las consideraciones teóricas, enfoques y modelos en la que se sustenta este proyecto de investigación.

### **4.2.1. Tratamiento De Agua Potable En Colombia**

El agua potable es aquella que, por reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos, en las condiciones señaladas en el Decreto 1575 y Resolución 2115 del 2007, puede ser consumida por la población humana sin producir efectos adversos a la salud (Martínez y Arias, 2018).

Para la potabilización del agua, esta es conducida a las plantas de tratamiento, lugar en donde pasa por varias secciones hasta convertirse en aquel líquido apto para el consumo humano y acorde con los estándares de calidad. El proceso consiste en: captación donde se hace la toma agua del río, luego se continua con el proceso de conducción donde se lleva el agua por medio de canales abiertos, después inicia el proceso de desarenación, se procede con la coagulación; aquí se adiciona sulfato de aluminio líquido o granulado y policloruro de aluminio, esto con el fin de eliminar las sustancias coloidales para ser sedimentadas fácilmente y el pH se corrige con la aplicación de cal o hidróxido de sodio, continua el proceso de floculación aquí con el lento movimiento del agua las partículas coloidales se hacen de mayor tamaño gracias al coagulante aplicado anteriormente, después de pasar por estos dos procesos se eliminan las bacterias, virus, color, turbiedad y algunas sustancias que puedan generar olor y sabor (Yepes y Rojas, 2017).

Luego ocurre la sedimentación la cual es un proceso donde las partículas superiores a 0.2mm se sedimentan por efecto de la gravedad donde caen de forma variable según su tamaño, luego en la filtración se remueven los sólidos que tienen densidad semejante a la del agua, en este proceso hay 2 tipos de filtros, el filtro lento el cual contiene agua cruda que nada sobre el material poroso y el filtro rápido en el cual se usa arena y finalmente esta la desinfección donde se eliminan patógenos, para ello se aplica cloro si el volumen de agua es muy alto o hipoclorito de sodio si el volumen es más reducido. Luego de todos estos procesos llega a los reservorios donde se acumula el agua para abastecer el servicio (Yepes y Rojas, 2017).

#### **4.2.2. Tipos de coagulantes.**

Se presenta los diferentes tipos de coagulantes que existen para el tratamiento del agua potable

##### **4.2.2.1. Los Coagulantes Naturales.**

Se consideran una fuente alternativa con un gran potencial, debido a que son biodegradables y no generan daños al medio ambiente en comparación con coagulantes inorgánicos y polímeros sintéticos. En su mayoría son de origen vegetal, con presencia de agentes coagulantes activos como carbohidratos, taninos y proteínas. El material que ha recibido mayor grado de atención son las semillas de *Moringa oleífera* gracias a sus componentes activos, los cuales son proteínas catiónicas de diferentes pesos moleculares, además de poseer capacidad antimicrobiana (Bravo, 2017).

##### **4.2.2.1.1. Ventajas De Los Coagulantes Naturales.**

- Los coagulantes naturales tienen una mayor eficiencia frente a coagulantes inorgánicos tradicionales.
- No aportan sales, por lo que no se incrementa la conductividad del efluente. Favoreciendo la reutilización del agua.
- Son productos 100% eficaces en un rango de pH 4-10.
- Son rentables por disminuir el coste del tratamiento: evitan la utilización de sosa o cal, disminuyen o eliminan el uso de floculantes, mejoran la calidad, reduciendo costes de gestión de residuos.
- No aportan metales ni al agua ni al fango, favoreciendo la valorización del fango para uso agrícola.
- Son respetuosos con el medioambiente, ya que están compuestos de compuestos naturales y sostenibles en todo su ciclo de vida.

##### **4.2.2.1.2. La *Moringa Oleífera* Y El *Lemnaire-Oreus Griseus* Como Coagulante Natural.**

La *Moringa oleífera* es un árbol pequeño y de crecimiento acelerado que usualmente alcanza de 10-12 metros de altura, es originario de los Himalaya, crece con rapidez en lugares favorables incrementando de 1 a 2 m por año en altura durante los primeros 3 a 4 años. (Sánchez al et; 2013).

La Moringa Oleífera, es una especie de gran plasticidad ecológica, ya que se encuentra localizada en diferentes condiciones de suelo, precipitación y temperatura. las flores son bisexuales, con pétalos blancos y estambres amarillos. En algunas regiones florece una sola vez al año, pero puede florecer dos veces al año; las flores son polinizadas por abejas, otros insectos y algunas aves (Pérez et al; 2010).

Respecto a la planta *Lemaire-Oreus Griseus* se origina en India, pero se ha expandido a América y le han otorgado distintos nombres, tal es el caso de Brasil que la conocen como quiabo de quina o Lirio testigo y en Colombia la llaman Cardón, es un cactus que puede alcanzar aproximadamente 11 m de altura. se utiliza habitualmente para la construcción de viviendas y cercas para encerrar a sus animales domésticos (Hurtado & del Rosario, 2019).

Una de las aplicaciones industriales más importantes es el uso de semillas de Moringa oleífera para fines de limpieza del agua. En 1998, Ndabigengesere y Narasiah realizaron un modelo de agua turbia que fue tratado por coagulación-floculación y sedimentación con semillas de Moringa oleífera como un coagulante, usando ensayos de jarras. La calidad del agua tratada se analizó y se comparó con la del agua tratada con alumbre. Las mediciones de pH, conductividad, alcalinidad, catión y concentraciones de aniones mostraron que la coagulación con semillas de Moringa oleífera no afectó significativamente la calidad del agua tratada. Sin embargo, la concentración de materia orgánica en el agua tratada aumentó considerablemente con la dosificación de solución de Moringa. Se sugiere que las semillas de Moringa oleífera puedan utilizarse como coagulante en agua y tratamiento de aguas residuales, solo después de una purificación adecuada de las proteínas activas.

En 2009, Léo, Lima, Paulo y Duarte realizaron un estudio comparativo de sulfato de aluminio y semillas de moringa para la depuración de aguas con baja turbiedad y encontraron que para las semillas de Moringa oleífera se verificó que la eficiencia de remoción de turbiedad era ligeramente inferior a la observada con sulfato de aluminio. El uso de la primera puede justificarse por el hecho de representar una tecnología ambientalmente correcta. Este trabajo indicó que la utilización del Moringa oleífera es comparable al sulfato de aluminio, y podría ser utilizada como coagulante eficaz para la depuración de agua con baja turbiedad.

#### **4.2.2.2. Coagulantes Inorgánicos.**

Los Coagulantes Inorgánicos son rentables y aplicables para una amplia variedad de agua y aguas residuales. Los Coagulantes Inorgánicos son particularmente eficaces en aguas brutas con baja turbidez y suelen tratar este tipo de agua cuando los coagulantes orgánicos no pueden. Una vez añadidos al agua, los Coagulantes Inorgánicos reaccionan con la alcalinidad y se hidratan para formar precipitados de hidróxido de metal, que actúan en un mecanismo de tipo "sweep-floc". Muchas suspensiones coloidales difíciles de tratar pueden ser tratadas eficazmente con Coagulantes Inorgánicos. (Ingeniería Liquid Technologies de Monterrey, S.A. de C.V.).

Los productos químicos más usados como coagulantes en el tratamiento de las aguas son:

Sulfato de aluminio que puede estar en forma sólida o líquida. La sólida se presenta en placas compactas, gránulos de diverso tamaño y polvo. El sulfato de aluminio es una sal derivada de una base débil (hidróxido de aluminio) y de un ácido fuerte (ácido sulfúrico), por lo que sus soluciones acuosas son muy ácidas. Cloruro férrico  $FeCl_3$  Se presenta en forma sólida o líquida; esta última es la más utilizada en el tratamiento del agua. Por último, está el Sulfato ferroso usado en el tratamiento de agua es un polvo de color verde muy soluble. Por su naturaleza ácida, el pH de una solución al 10% es de 2,8 aproximadamente. Por esta razón, para su almacenamiento y preparación se usa material plástico. (Barrenechea, 2016).

##### **4.2.2.2.1 Desventajas.**

- ✓ Alteración del pH del agua.
- ✓ Incremento del consumo de cal para estabilizar pH.
- ✓ Dependencia de las características fisicoquímicas del agua.
- ✓ Dosis mayor.
- ✓ Depende de la velocidad de agitación del agua.
- ✓ Requiere personal para recolección.

#### **4.2.3. Factores Que Influyen En El Proceso De Coagulación/Floculación**

la dosificación del coagulante condiciona el funcionamiento del proceso de coagulación/floculación y es uno de los principales aspectos a tener en cuenta en las plantas de

tratamiento de agua, pero los siguientes factores también juegan un papel importante en este proceso (Murillo et al; 2020):

- El pH: Es el factor más importante, porque para cada pH del agua, existe una concentración adecuada de coagulante. Si el proceso se realiza fuera del rango óptimo, es necesario la adición de más coagulante, aspecto que aumenta los costos y el uso de correctores de pH para eliminar el exceso de sales.
- Temperatura del agua: Cuando las aguas tienen una temperatura alta ( $> 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) o muy bajas ( $< 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) el proceso de coagulación es más lento, esto debido a que afecta la energía cinética de la reacción, y cuando logran formarse los flóculos y/o flocs, se presentan problemas en sedimentación.
- Las sales disueltas: El uso excesivo de coagulante aumenta la presencia de sales disueltas de hierro y aluminio. Cuando esto ocurre, se presentan problemas como modificación del pH del agua y alteración del tiempo de formación de los flocs. A su vez, se requiere la adición de estabilizadores del pH que aumentan el costo del sistema de tratamiento.
- Influencia de la mezcla o gradiente: El grado de agitación en la masa de agua debe ser igual, para que el coagulante se mezcle de manera adecuada. Inicialmente, debe realizarse una mezcla rápida y por un tiempo de 60 segundos. Luego se realiza una mezcla lenta que tiene por objeto el desarrollo de los flocs y es un importante paso del test o prueba de jarras, en el cual se determina las cantidades y concentraciones adecuadas del coagulante/floculante que se desea emplear. Posteriormente, se deja de agitar la mezcla, permitiendo la precipitación de los flóculos que se formaron.
- Influencia de la turbiedad: La turbiedad es un indicador de la cantidad de sólidos disueltos en el agua. Mientras más alta, menor es la cantidad de coagulante que se debe emplear, debido a que las colisiones de las partículas son más altas. Lo contrario sucede cuando la turbiedad es baja, aumentando la dosificación del coagulante (Cárdenas, 2000).
- Aplicación del coagulante: El proceso de coagulación en el agua es rápido, por ende, la dosis del coagulante que entra a la columna de agua debe ser constante y uniforme, de tal manera que sea homogénea. Para lograrlo, se emplean sistemas de dosificación calibrados y revisados periódicamente.

### 4.3. MARCO CONCEPTUAL

A continuación, se estarán plasmando los conceptos, ideas y argumentos teóricos centrales respecto al tema de investigación que se está tratando en este anteproyecto.

**Agua potable:** es aquella utilizada para el consumo humano sin que exista peligro en su organismo. Está libre de sustancias o microorganismos que puedan provocar enfermedades o perjudicar la salud del ser humano. (Valdivielso, 2020)

**Alcalinidad:** es una medida de sustancias alcalinas disueltas en agua (pH superior a 7.0). nos dice la capacidad del agua para neutralizar el ácido. (Knight, s. f.)

**Clarificación:** Es aquella que tiene como objeto retirar los sólidos suspendidos, sólidos finamente divididos y materiales coloidales, convirtiéndolos en partículas más grandes que se pueden remover con mayor facilidad. (Cogollo Flórez, 2009)

**Coagulante natural:** Son aquellos coagulantes que están compuestos principalmente en polímeros de origen natural extraídos de plantas, algas o animales. Entre estos encontramos polisacáridos y sustancias solubles en agua que actúan como agentes de coagulación y/o floculación. (Coagulantes de origen natural, s. f.)

**Flóculos:** Hace referencia a la aglomeración de partículas desestabilizadas en microfloculos y después en flóculos más grandes que tienden a depositarse en el fondo de los recipientes construidos para este fin, denominados sedimentadores. (Mazille Y Spuhler, 2016)

**PH:** Es una medida de acidez o alcalinidad que indica la cantidad de iones de hidrógeno presentes en una solución o sustancias. (¿Qué es el pH? | HANNA Instruments Colombia, s. f.)

**Planta de tratamiento:** son instalaciones intermedias construidas entre una industria o una ciudad (con sus aguas servidas domiciliarias) y un ambiente acuático receptor. (Wais, s. f.)

**Turbidez:** Corresponde a una propiedad óptica que provoca que la luz se disperse y absorba, en lugar de ser transmitida. La dispersión de la luz que atraviesa un líquido es provocada principalmente por los sólidos suspendidos. A mayor turbidez, mayor será la luz dispersa. (Instruments, 2019).

#### **4.4. MARCO CONTEXTUAL**

Se presenta la localización donde se desarrolló el presente proyecto de investigación.

##### **4.4.1. Caracterización y Descripción Geográfica**

El Municipio Sitionuevo se localiza en la parte Noroccidental del departamento del Magdalena. Sus límites son: Entre los 10° 47' Longitud norte y los 74° 52' de Longitud oeste de Greenwich. Comprende una extensión de 967 Km<sup>2</sup>, su altura sobre el nivel del mar es de 5 m, dista 126 Km. con la ciudad de Santa Marta y a 24.5 Km. del distrito de Barranquilla. El territorio municipal limita al norte con el Mar Caribe, por el sur con el municipio de Remolino, al Oriente con Pueblo Viejo y Occidente con el Rio Magdalena Extensión total: 967 Km<sup>2</sup> (García, 2021).

#### **Figura 1.**

*Localización del municipio Sitionuevo, Magdalena*



*Nota.* La figura representa donde se encuentra el municipio Sitionuevo respecto al departamento del Magdalena. Tomado de Wikipedia, 2021

##### **4.4.2. Aspectos de Contextualización Locativa**

El municipio tiene una temperatura de 30 °C, Una altura sobre nivel del mar de 5 msnm. Bordea la margen derecha del río Magdalena Relieve. El territorio es bajo, plano y cenagoso bañado por el río Magdalena y el Mar Caribe. En su territorio se localiza parte de la Ciénaga Grande de Santa Marta y otras ciénagas. Tiene una población de 33.130. (García, 2021).

En Sitionuevo Magdalena, según datos oficiales del DANE y el DNP, el mayor índice de ingresos (31.45%) para sus habitantes, deriva de las actividades de prestación de servicios sociales y personales, es un municipio de suelos fértiles que favorecen el desarrollo de la

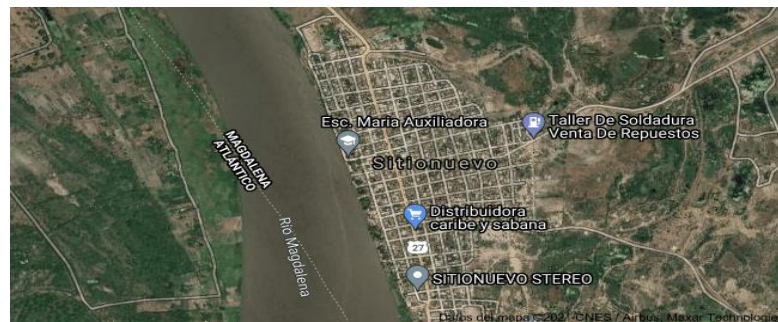
agricultura, el porcentaje de ingresos por esta actividad, junto a la ganadería, la caza, la silvicultura y la pesca es de un 9.53%; la actividad comercial y los servicios de establecimientos financieros, seguros y similares generan en su conjunto un 28.45% de los ingresos a la población; a la fecha, la ubicación del puerto alterno ubicado en el corregimiento de Palermo a orillas del río Magdalena, proveen el 19,21% de ingresos; y el otro 11.36% de los ingresos lo generan las actividades de construcción, ladrilleras, manufactura y otros (García, 2021).

#### 4.4.3. Representación Espacial y Geográfica

Se presenta la localización general en la zona de estudio y la ubicación de la planta de tratamiento de agua potable en el municipio Sitionuevo, Magdalena.

#### Figura 2.

Localización General en la Zona de estudio



*Nota.* La figura representa la localización general donde se hará la investigación del presente proyecto. Tomado de Google Earth por autores, 2021.

#### Figura 3.

Localización de la planta de tratamiento de Sitionuevo



*Nota:* La planta de tratamiento de agua potable de Sitionuevo se encuentra ubicada en la carrera 2, Palermo y sus coordenadas son 10.957858, -74. 750179. Tomado de Google Earth por autores, 2021

#### 4.5. MARCO LEGAL

A continuación, se presenta la normatividad que aplica a este proyecto de investigación:

**Tabla 1.**

*Marco legal aplicable al proyecto*

NORMATIVA	CONTENIDO	APLICACIÓN
Constitución Política de Colombia de 1991	<b>Artículo 79.</b> 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.	Por medio del presente proyecto de investigación se buscó mejorar la calidad de agua potable en Sitionuevo y así contribuir a la comunidad para que tengan un ambiente más sano como así lo menciona el artículo.
	<b>Artículo 81.</b> Queda prohibida la fabricación, importación, posesión y uso de armas químicas, biológicas y nucleares, así como la introducción al territorio nacional de residuos nucleares y desechos tóxicos.	A partir de este artículo se permitirá conocer que materiales, procedimientos no utilizar a la hora de realizar el proyecto.
Ley 142 de 1994	Se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones”. Esta ley señala que el servicio público de acueducto tiene como indicadores la calidad, continuidad y presión.	Con este artículo se buscará tener en cuenta los indicadores de calidad para el consumo de agua potable, por lo que en el proyecto se buscará cumplir con estos índices.
Decreto 2811 del 74	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.	Este decreto es relevante en la investigación para la protección del recurso hídrico
Decreto 1594 del 84	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.	Esta norma es importante en la investigación porque permite establecer si el agua tratada en el proyecto es apta para el consumo humano
Decreto 1575 de 2007 mayo 9	Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.	Este decreto aportará a la investigación como hacer el control pertinente para obtener el agua en las mejores condiciones para el consumo humano

Decreto 3930 de 2010	Establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el Ordenamiento del Recurso Hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados.	Permitirá conocer el uso que se le dará al agua luego de ser tratada en el presente proyecto
Decreto 1076 de 2015	Tiene como objetivo regular el ordenamiento ambiental del territorio de definir las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.	Aporta al proyecto la regulación que se debe tener en cuenta para el tratamiento del agua potable
Decreto 1898 de 2016	Reglamenta parcialmente el artículo 18 de la Ley 1753 de 2015, en lo referente a esquemas diferenciales para la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo en zonas rurales.	Esta norma permite que se brinde un mejor servicio de agua potable a la comunidad al momento de desarrollar el presente proyecto
Decreto 1272 de 2017	Referente a esquemas diferenciales para la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo en zonas de difícil acceso, áreas de difícil gestión y áreas de prestación, en las cuales por condiciones particulares no puedan alcanzarse los estándares de eficiencia, cobertura y calidad establecidos en la ley.	El presente decreto tiene un aporte significativo a este proyecto a la hora de brindarle una mejor calidad de agua potable a la comunidad de Sitionuevo, Magdalena
Resolución 2314 de 1986	Por la cual se reglamenta el uso de productos químicos destinados al tratamiento de agua para consumo humano.	Por medio de la resolución se podrá definir los productos químicos para utilizarlos en el proyecto
Resolución 2115 del 22 junio 2007	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.	Esta resolución es muy importante para este proyecto porque establece cuales son las características e instrumentos que se pueden utilizar para el desarrollo del proyecto.
Resolución 811 de 2008	se definen los lineamientos a partir de los cuales la autoridad sanitaria y las personas prestadoras, concertadamente definirán en su área de influencia los lugares y puntos de muestreo para el control y la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano.	La norma permitirá establecer los puntos de nuestros para el tratamiento del agua potable, así como la vigilancia de las muestras para controlar sus características.

*Nota:* Se muestra la normativa que se aplica al proyecto, las cuales hay que tener en cuenta a la hora de desarrollarlo. Tomado de Diagnóstico nacional, 2017

## **5. MARCO METODOLÓGICO**

### **5.1. LÍNEA, SUBLÍNEA Y ÁREA TEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN**

La línea de investigación que apoya a este proyecto es sostenibilidad y gestión Ambiental, la cual está adscrita en el programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Facultad de Ingenierías y Tecnológicas de la Universidad Popular del Cesar. El presente proyecto se encuentra dentro de la sub-línea de gestión integral del recurso hídrico y el área temática según la sub-línea de investigación en procesos de tratamiento de agua potable y tratamiento de aguas residuales.

### **5.2. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN**

El enfoque de esta investigación es cuantitativo porque se busca obtener información a través de investigaciones y darle una solución a una problemática por medio de varios procedimientos.

### **5.3. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN**

Esta investigación tiene un alcance correlacional, porque se evalúa la relación entre distintas variables, y en este caso se estudian parámetros físico-químicos como son valores de turbidez, PH, color y alcalinidad, además se observará el comportamiento de los coagulantes en diferentes condiciones del agua.

### **5.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO**

La población de estudio corresponde a los metros cúbicos de agua de la zona alta del Rio Magdalena que entra a la planta de tratamiento de agua potable en Palermo corregimiento del Municipio Sitionuevo, carrera 2. Esta agua se caracteriza por tener altos niveles de suciedad en épocas de invierno.

### **5.5. MUESTRA POBLACIONAL**

La muestra poblacional es no probabilística y consiste en la toma de una muestra que se obtendrá en el lugar de captación del agua de la planta de tratamiento. Esto permite obtener información del líquido antes de que entre a la planta, La muestra tendrá diferentes condiciones dependiendo de cómo se encuentre el clima en la zona al momento de coleccionarlas, pues el rio ante el verano, genera unas bajas sensibles en los niveles de agua causando sedimentación y en

tiempos de invierno, el nivel de caudal aumenta y el agua presenta altos niveles de turbiedad y mayor contaminación.

## **5.6. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

Los datos se tomarán directamente del agua del río Magdalena en Palermo corregimiento del Municipio Sitionuevo y de las diferentes pruebas realizadas en los laboratorios de la Universidad Popular del Cesar.

## **5.7. ESTRATEGIA Y DESARROLLO METODOLÓGICO**

Para darle cumplimiento a este proyecto, se presentan las siguientes etapas de acuerdo al orden y lo establecido en los objetivos:

### **ETAPA I. IDENTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL AGUA QUE INGRESA A LA PLANTA POTABILIZADORA EN PALERMO CORREGIMIENTO DE SITIONUEVO.**

#### **Actividad 1.1: Realizar Muestreos De Agua.**

**Descripción:** primeramente, se colectó una muestra de agua que ingresa a la planta potabilizadora en el municipio Sitionuevo. Antes de entrar a la planta se tuvieron todos los implementos de bioseguridad para evitar percances y los equipos utilizados fueron un frasco de vidrio con buen cierre y nuevo, verificando que estuviera completamente limpio. Para esto se siguieron los siguientes pasos: Se rotuló el envase o se verificó que el rótulo del mismo fuera el correcto; se enjuagó tres veces el envase con el agua que se iba a muestrear, desechando el agua de enjuague; se recogió la muestra sin dejar cámara de aire, o a lo sumo dejando un espacio del 1% de la capacidad del envase para permitir la variación de volumen debida a diferencia térmica; se cerró el envase asegurando su correcto cierre y, por último, se guardó la muestra en lugar fresco (no expuesta al sol y si fue necesario, en una conservadora).

#### **Actividad 1.2: Trasladar La Muestra Colectadas A La Universidad Popular Del Cesar.**

**Descripción:** El agua colectada fue llevada a los laboratorios de la Universidad Popular del Cesar para estudiar los parámetros físico-químicos. Para ello, se aseguró de tener las muestras en buen acondicionamiento, ya que el objetivo del muestreo dependía de ello. En nuestro caso, dado que se trataba de un análisis físicoquímico, era necesario mantener la

muestra a bajas temperaturas y resguardarla de la luz. Por lo tanto, se consideró relevante disponer de una nevera de transporte, dado que algunas especies químicas podrían sufrir transformaciones debido a la acción microbiana. Las muestras se enviaron lo más rápido posible a los laboratorios para su análisis.

### Actividad 1.3: Analizar Los Parámetros. Físico-Químicos De La Muestra De Agua.

**Descripción:** A través de análisis realizados en el laboratorio de la Universidad Popular del Cesar, se evaluaron los parámetros de la muestra de agua, incluyendo los valores de turbidez, color, alcalinidad y pH. A continuación, se presenta una tabla con los métodos utilizados en cada análisis de los parámetros.

**Tabla 2.**

*Métodos aplicados para el análisis fisicoquímico de la muestra de agua*

PROPIEDADES	PARAMETROS	METODOS
Físicas	Valores de turbidez	<b>Turbidimetría:</b> por medio del turbidímetro se midió la turbidez del agua
	Conductividad	<b>Conductimetría:</b> por medio del conductímetro se midió dicho parámetro de la muestra de agua
	pH	<b>pHmetría:</b> consiste en la utilización de un pHmetro, el cual es un medidor de pH, siendo esta su función principal. El pH es el potencial de hidrógeno que indica los niveles de acidez o alcalinidad de una sustancia y todas poseen niveles de pH , el cual se mide en una escala del 0 al 14.
Químicas	Alcalinidad	<b>Titulación:</b> La alcalinidad presente en el agua se mide por titulación con una solución valorada y depende de la concentración de los iones hidroxilo (OH <sup>-</sup> ), carbonato (CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) y bicarbonato (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) (¿Por qué medir la alcalinidad en el agua potable? », 2022).

*Nota:* Tabla realizada por autores, 2021

## **ETAPA II. ESTABLECIMIENTO DE LA DOSIS OPTIMAS DE LOS COAGULANTES ORGÁNICOS DE *MORINGA OLEIFERA* Y *LEMAIRE-OREUS GRISEUS* Y EL COAGULANTE INORGÁNICO POLICLORURO DE ALUMINIO MEDIANTE EL MÉTODO DE JARRAS.**

### **Actividad 2.1: Extracción De Los Coagulantes**

**Descripción:** Para llevar a cabo este proceso, se recolectaron las semillas de *Moringa Oleífera* en el municipio de Valledupar-Cesar y otra parte en el Banco-Magdalena, mientras que las plantas de *Lemaire-Oreus Griseus* fueron recolectadas en Barrancas, La Guajira, donde se producen en abundancia. Para obtener el componente activo de las semillas de Moringa oleífera responsable de la coagulación, se siguieron los siguientes pasos: primero, se llevaron a cabo el secado, la trituration y el tamizado de las semillas; luego, se procedió a desengrasar la semilla.

En la etapa de secado, las semillas se colocaron en un horno de convección a una temperatura de 60°C durante 24 horas. Esto se hizo con el propósito de facilitar la remoción manual de la cáscara de la semilla. Para llevar a cabo la trituration, las semillas sin cáscara se introdujeron en una licuadora y luego se trasladaron a un mortero de cerámica para obtener partículas de menor tamaño. Posteriormente, el polvo resultante se pasó a través de tamices para asegurar la uniformidad de las partículas. Posteriormente, se realizó la separación de grasas y aceites, primeramente, se disolvieron 20 gr de moringa por cada 200ml de etanol, es decir una relación 1:4 del coagulante/solvente, luego se agitó esta solución en un vortex a 1.300 rpm durante 2 minutos después, se puso un papel filtro en un embudo el cual estaba posicionado en un matraz y por último se vertió la solución en el embudo permitiendo que la parte coagulante libre de grasas quedara atrapada en el papel filtro, mientras que los aceites se acumularon en el matraz.

La obtención del componente activo del cardón guajiro se realizó a partir de la parte aprovechable del cardón, que es la pulpa del tallo. Esta pulpa se encuentra en la sección entre la corteza y la médula tubular leñosa. Para obtener el componente activo, se llevó a cabo un proceso de separación de la pulpa de las espinas, la corteza y la médula tubular leñosa. Luego, la pulpa obtenida se llevó a un horno durante 24 horas y posteriormente se sometió a trituration mediante el uso de un mortero. Este proceso de trituration se realizó hasta lograr obtener el

producto coagulante deseado. La etapa final consistió en filtrar la pulpa triturada para obtener el componente activo coagulante, siguiendo el método descrito por Duarte y Hernández en 2015.

## Actividad 2.2: Caracterización Del Coagulante Natural

**Descripción:** Para realizar la caracterización del coagulante se determinaron las siguientes propiedades:

- **pH (solubilizado en agua destilada):** Para medir el pH, se utilizó un pHmetro digital. El coagulante natural se disolvió en agua destilada y luego se introdujo el pHmetro en la solución durante aproximadamente un minuto, asegurándose de que la lectura se estabilizara. La medida registrada en el pHmetro se tomó como resultado.
- **Propiedades organolépticas:** Las propiedades organolépticas, como el color y la textura, se evaluaron utilizando el sentido de la vista y el olfato.
- **Densidad a granel:** Se tomó una cantidad específica del coagulante en polvo y se colocó en un recipiente de masa conocida y volumen aforado. Luego, se pesó el conjunto completo. A partir de estos datos, se realizaron los cálculos necesarios para determinar el valor correspondiente de la densidad
- **Porcentaje de humedad:** Se tomó una pequeña cantidad de cada coagulante y se pesó teniendo en cuenta que primero se determinó el peso del recipiente vacío y luego el recipiente con el coagulante, luego se llevó al horno a 110°C durante 30 minutos, previamente llevado al desecador por otros 30 minutos se volvió a pesar y se procedió a calcular el porcentaje de humedad de cada coagulante mediante la siguiente fórmula:

$$\%h = \frac{(b-a)(c-a)}{(b-a)} \times 100 \text{ en donde;}$$

a= peso del recipiente vacío, b= peso del recipiente con el coagulante y c= peso del recipiente y coagulante después de llevarlo al horno

### Actividad 2.3: Método De Jarras

**Descripción:** A través del método de jarras se definió la dosis óptima de coagulante natural e inorgánico. Para la evaluación se tuvieron en cuenta estos pasos:

- Se determinó el rango óptimo del pH para la aplicación de los coagulantes naturales y se ajustó el pH de toda la muestra si no cumplía con el rango óptimo, utilizando soda cáustica o ácido clorhídrico según fuera necesario.
- Se tomaron 6 vasos de precipitados de 2000 ml cada uno y se agregó 1 litro de la muestra a cada uno, luego se adicionó los coagulantes en donde 3 vasos tenían una concentración en diferentes dosis y los otros 3 con una concentración diferente. Este procedimiento se hizo para cada coagulante
- Se programó el aparato de prueba de jarras a una velocidad de 140 rpm durante 1 minuto y luego se redujo la velocidad a 45 rpm durante 30 minutos. Luego se detuvo la agitación y se permitió que la muestra sedimentara durante 30 minutos.
- Se extrajo una muestra de agua clarificada utilizando jeringa teniendo mucho cuidado.
- Se midió la turbidez de los vasos utilizando el turbidímetro, previamente calibrado. Del mismo modo, se midió el pH de cada muestra para determinar la dosis óptima de coagulante.

### ETAPA III. DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS COAGULANTES EN EL POSTRATAMIENTO DEL AGUA POTABLE.

#### Actividad 3.1: Eficiencia Del Coagulante (Actividad Coagulante)

**Descripción:** La eficiencia del proceso se determinó mediante la comparación de los coagulantes naturales vs el coagulante inorgánico y el porcentaje de remoción de turbidez de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{t_0 - t_f}{t_0}$$

$t_0$  = turbidez inicial

$t_f$  = turbidez final

### Actividad 3.2: Comparación Del Porcentaje De Remoción De Acuerdo Con La Normatividad Ambiental Vigente.

**Descripción:** Estas actividades se realizaron en base al protocolo de monitoreo de agua y guías del IDEAM sobre pH, turbidez, SST, SSV.

A partir de la tabulación de los análisis realizados en los laboratorios, se comparó la información con la normatividad que establece los valores máximos permitidos en relación al uso del recurso hídrico. Esta normativa está referenciada en el Decreto 3930 de 2010 y el Decreto 1594 de 1984 del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, así como en el Decreto 1076 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Dicha comparación se realizó con la tabla 3

**Tabla 3.**

*Niveles permisibles y valores a monitorear*

NIVELES PERMISIBLES Y VALORES A MONITOREAR		
Referencia	Expresado	Valor
pH	Unidades	5.0 – 9.0 unidades
Turbidez	UJT	10 unidades Jackson
SST	mg/L	230-360 mg/L.
SSV	mg/L	175-280mg/l

*Nota:* Elaborado por autores, 2023

## 6. RESULTADOS Y ANALISIS

De acuerdo a las etapas descritas en el apartado anterior, presentamos los resultados y análisis de cada uno de las actividades que conforman las etapas, centrada en la identificación de los parámetros fisicoquímicos del agua que ingresa a la planta potabilizadora en el corregimiento de Palermo, Sitionuevo. A través de la realización de muestreos de agua, hemos recolectado muestras de agua del rio Magdalena, asegurando un adecuado manejo y almacenamiento de las mismas. Estas muestras fueron trasladadas a los laboratorios de la Universidad Popular del Cesar, donde se llevó a cabo el análisis de los parámetros físico-químicos. Los resultados obtenidos ofrecen una visión detallada de la calidad del agua que entra a la Planta, lo cual permite avanzar hacia la siguiente etapa de nuestro proyecto que es el establecimiento de las dosis óptimas de coagulantes orgánicos de *Moringa Oleífera* y *Lemnaire-Oreus Griseus*, Para posteriormente llegar a la determinación de cual coagulante es más eficiente.

### 6.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL AGUA QUE INGRESA A LA PLANTA POTABILIZADORA EN PALERMO CORREGIMIENTO DE SITIONUEVO.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las actividades que permitieron el cumplimiento del primer objetivo específico propuesto en este proyecto de grado

#### 6.1.1. Realizar Muestreos De Agua

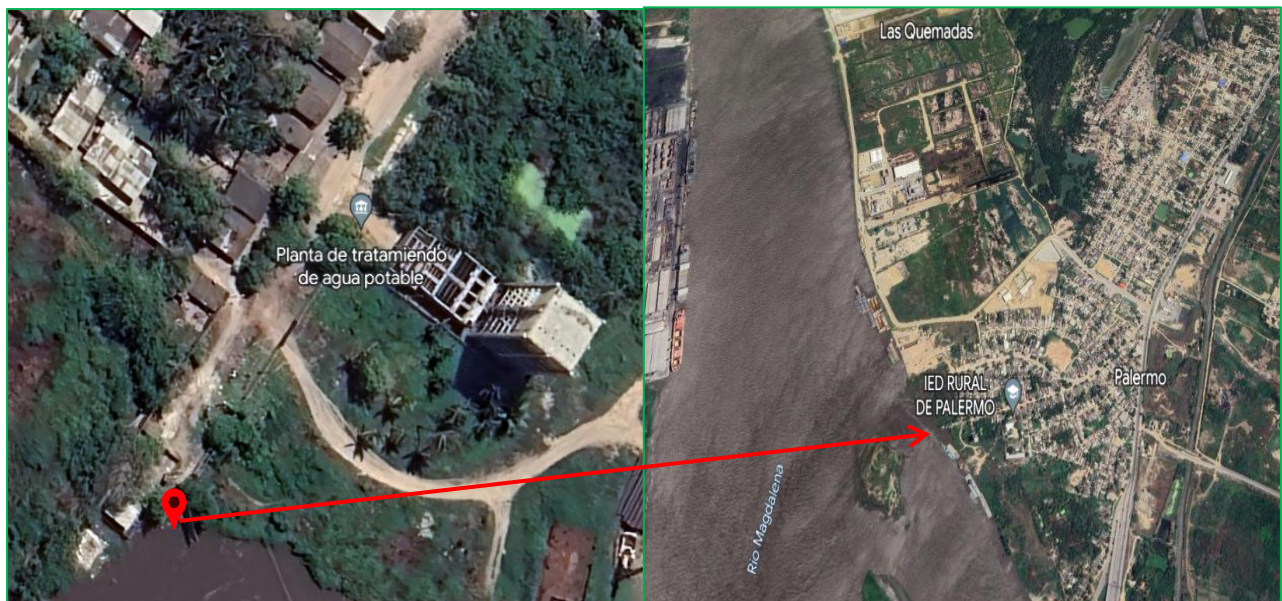
En la fecha en que se llevó a cabo la recolección de muestras de agua, el 7 de mayo de 2023, en el municipio de Palermo, se registró una temperatura ambiente promedio de 32°C. Este dato fue fundamental para evaluar la idoneidad de la temperatura en la cual se recolectaron las muestras de agua. Durante esta operación, se logró recolectar un total de 42 litros de agua, distribuidos de manera equitativa en 6 recipientes individuales, cada uno con una capacidad de 7 litros.

Para el proceso de muestreo, también se consideró cuidadosamente el efecto de la evaporación del agua. Se reconoció que, a temperaturas más altas, la tasa de evaporación se incrementa, lo que potencialmente podría conducir a una concentración de solutos en las muestras a medida que el agua se evaporaba de los recipientes de recolección. Por esta razón,

al recolectar las muestras de agua, se optó por esperar hasta que el municipio experimentara las temperaturas más bajas disponibles. En ese momento, la temperatura diurna promedio en el municipio era de 34°C. Por lo tanto, el muestreo se recolectó cuando la temperatura estuvo de 32°C, con el propósito de minimizar la posible concentración de solutos debido a la evaporación. A continuación, se presenta una figura con el punto de muestreo del agua a utilizar.

#### **Figura 4.**

*Georreferenciación de los puntos de toma de muestreo*



*Nota:* El punto de **Rojo** indica el lugar en específico del rio Magdalena en donde se tomaron los 42 litros de agua. Tomado de Google Earth, 2023

#### **6.1.2. Traslado De La Muestra Colectadas A La Universidad Popular Del Cesar**

El traslado de la muestra de agua se llevó a cabo de manera exitosa, sin ningún tipo de inconveniente que pudiera comprometer su integridad. La muestra llegó en buen estado a los laboratorios de la Universidad Popular del Cesar, lo que garantizó la confiabilidad y precisión de los análisis de los parámetros planificados.

Este resultado positivo en el traslado es de suma importancia, ya que asegura que los datos obtenidos a partir de la muestra sean representativos y fiables. La integridad de la muestra es esencial para realizar análisis precisos y obtener resultados significativos en la investigación. La correcta manipulación y preservación de la muestra durante el transporte demuestra un manejo cuidadoso y profesional por parte de los autores y transporte.

### 6.1.3. Análisis De Los Parámetros Físico-Químicos De La Muestra De Agua.

Mediante análisis en el laboratorio de la Universidad Popular del Cesar se llevó a cabo la caracterización inicial de la muestra de agua, donde se realizaron estudios de diversos parámetros para obtener una descripción completa. Estos parámetros incluyeron la medición de la turbidez, conductividad, alcalinidad, pH, así como la determinación de los sólidos suspendidos totales y los sólidos suspendidos volátiles. Los resultados de estas mediciones se registraron y se presentan en la tabla 4, lo cual permite su visualización y análisis detallado.

**Tabla 4.**

*Caracterización inicial del agua*

CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA					
PARAMETROS	RESULTADOS				Valores máximos permisibles de acuerdo a la Resolución 2115 de 2007.
	R1	R2	R3	PROMEDIO	
Turbidez (NTU)	43,7	43,4	43,9	43,7	2
PH	7,26	7,1	7,32	7,2	6,5 - 9
Conductividad (μS/cm)	93	92	93,2	92,7	1000
Alcalinidad (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	30	26	28	28	50 - 200
SST (Mg/L)	277	164	228	223	150
SSV (Mg/L)	170	60	100	110	50

Nota: Esta toma de muestra se realizó el 7 de mayo de 2023, para cada parámetro se hicieron 3 mediciones para el posterior promedio. Fuente: Los autores, 2023.

Partiendo de cada uno de los resultados y teniendo presente la tabla 3 de Niveles permisibles y valores a monitorear se tiene lo siguiente:

#### 6.1.3.1. pH.

El pH de la muestra de agua fue de 7.2 lo que indicó una condición prácticamente neutra, lo que se traduce en un equilibrio relativo entre la concentración de iones hidronio (H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>) y iones hidroxilo (OH<sup>-</sup>) en la solución acuosa (Enrique Romero, 2005). Este valor de pH se encuentra en consonancia con las directrices establecidas en la Resolución 2115 de 2007, emitida por las autoridades colombianas para regular la calidad del agua. Dicha resolución establece límites y estándares de calidad para diversas propiedades físicas y químicas del agua, con el objetivo de garantizar su aptitud para usos humanos y ambientales.

El hecho de que el pH se ubique en el rango de 7.2 señala que el agua es apta para una serie de aplicaciones, entre las cuales se incluye el consumo humano, dado que se encuentra en una zona cercana a la neutralidad. Esto es significativo porque aguas con pH extremadamente ácido o alcalino pueden ser corrosivas o inadecuadas para consumo humano.

La temperatura registrada durante el muestreo, que alcanzó un promedio de 32°C, también es un factor a considerar en la evaluación de la calidad del agua. Las temperaturas elevadas pueden influir en la solubilidad de compuestos químicos y en la velocidad de reacciones químicas y biológicas en el agua. No obstante, en este contexto, la temperatura no estuvo fuera de los límites habituales para aguas superficiales en climas cálidos y, por lo tanto, no indica una preocupación inmediata en términos de calidad del agua.

#### **6.1.3.2. Turbidez (NTU).**

Un valor de 43.7 NTU, indica una concentración significativa de partículas suspendidas en la muestra. Este valor excede ampliamente el límite máximo permitido establecido por la Resolución 2115 de 2007, que busca mantener la calidad del agua dentro de estándares aceptables. La turbidez del agua puede ser atribuida a varios factores, incluyendo la presencia de sedimentos, materia orgánica, contaminantes y erosión del suelo en el área de muestreo.

Existen diversas fuentes que contribuyen a la turbidez del río Magdalena, tales como: la escorrentía agrícola proveniente de campos cultivados puede arrastrar sedimentos y fertilizantes hacia el río durante los eventos de lluvia, siendo una fuente importante de turbidez debido a la actividad agrícola significativa en la región. Además, las actividades mineras también pueden ser una causa importante de turbidez. Durante las operaciones mineras, grandes cantidades de sedimentos son liberadas al río, aumentando la carga de partículas suspendidas. Esto es especialmente relevante dado que hay numerosas operaciones mineras en la zona cercana al río Magdalena. Es importante tener en cuenta que la fuerza y velocidad de las corrientes en el río Magdalena también pueden influir en la turbidez del agua. Corrientes más rápidas y turbulentas pueden suspender más partículas en el agua, aumentando así su turbidez (Antonio Paz, 2020).

En lo que respecta a la utilidad de este valor de turbidez, su elevado nivel plantea desafíos significativos. Para el consumo humano, una turbidez tan alta puede interferir con los procesos de tratamiento de agua potable, ya que las partículas suspendidas pueden obstruir los

sistemas de filtración y requerir un tratamiento adicional para la eliminación efectiva de contaminantes. Además, la alta turbidez puede indicar la presencia de otros contaminantes en el agua, lo que conlleva riesgos para la salud humana debido a la posible presencia de patógenos y productos químicos nocivos. En consecuencia, es esencial tomar precauciones a la hora de aplicar los coagulantes para que los tratamientos sean adecuados y así garantizar que el agua sea segura para el consumo humano y cumpla con los estándares de calidad del agua establecidos por las autoridades reguladoras.

### 6.1.3.3. Conductividad (U3).

El valor de conductividad inicial de 92.7  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en la muestra de agua del río Magdalena en la zona de Palermo refleja una medida que se encuentra significativamente por debajo del límite máximo permisible establecido por la Resolución 2115 de 2007 en Colombia, que establece un valor máximo permitido de 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para la conductividad. Este resultado indica que la conductividad del agua en la región de Palermo se encuentra dentro de los límites aceptables según esta normativa.

La conductividad eléctrica del agua es un parámetro que está influenciado por diversos factores, siendo la temperatura uno de los más relevantes. A medida que la temperatura del agua aumenta, su capacidad para disolver sales y otros compuestos también se incrementa, lo que podría potencialmente resultar en un aumento en la conductividad. Sin embargo, en este caso, a pesar de que se registró una temperatura media de 32°C, no se observa un impacto significativo en la conductividad del agua, ya que el valor medido se mantiene sustancialmente por debajo del límite máximo permitido por la normativa vigente.

Además de la temperatura, la conductividad del agua también puede estar relacionada con la geología y las características de la cuenca del río Magdalena en la zona de Palermo. La presencia de minerales y otras sustancias disueltas en el agua puede contribuir a su conductividad. Sin embargo, en este caso, el valor obtenido sugiere que la concentración de estos compuestos disueltos es baja y se encuentra dentro de los límites establecidos por la normativa.

En términos de utilidad y precauciones relacionadas con este valor de conductividad, su baja concentración indica que el agua es adecuada para diversos usos, incluido el consumo humano. Una conductividad baja generalmente sugiere una concentración relativamente baja

de sales disueltas en el agua, lo que es positivo para el consumo humano, ya que no se esperan impactos negativos significativos en la salud.

#### **6.1.3.4. Alcalinidad.**

La alcalinidad se presenta como una medida de la capacidad del agua para neutralizar ácidos, lo que tiene implicaciones cruciales en la estabilidad de su pH. La alcalinidad de 28 mg/l de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) de la muestra de agua se encuentra dentro del rango establecido por la Resolución 2115 de 2007 para el consumo humano (50-200 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ ), lo que indica que el agua no presenta características ácidas y, por lo tanto, se encuentra dentro de los parámetros adecuados para el consumo humano.

No obstante, la alcalinidad es un parámetro que se ve influenciado por múltiples factores, y su comprensión se vuelve aún más profunda al considerar la geología local. La presencia de depósitos de piedra caliza en la zona es un elemento crítico a este respecto, ya que la piedra caliza es una fuente significativa de iones de carbonato. Estos iones, liberados en el agua a través de procesos geológicos, contribuyen de manera directa a elevar la alcalinidad del agua. Por lo tanto, la geología local ejerce una influencia substancial en la composición química del agua subterránea y, en última instancia, en su alcalinidad.

Además, es crucial comprender la interconexión entre la alcalinidad y el pH del agua. La alcalinidad, al actuar como un amortiguador de pH, confiere a esta agua la capacidad de resistir cambios significativos en su acidez al neutralizar ácidos. El pH registrado de 7.2 es coherente con la alcalinidad observada de 28 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ , lo que sugiere que el agua tiene la capacidad de mantener su pH de manera relativamente estable. Esta relación entre la alcalinidad y el pH es fundamental, ya que un pH estable es esencial para asegurar la adecuación del agua para múltiples aplicaciones, incluyendo su uso como agua potable.

#### **6.1.3.5. Sólidos Suspendidos Totales (SST).**

La concentración de sólidos suspendidos totales (SST) en la muestra de agua, que alcanza los 223 mg/L, supera el valor máximo permisible de 150 mg/L establecido por la Resolución 2115 de 2007 en Colombia. Este resultado indica una preocupante desviación de los estándares de calidad del agua y sugiere que el agua no es apta para el consumo humano ni para su uso en procesos industriales.

La elevada concentración de SST en la muestra de agua se debió a múltiples factores, algunos de los cuales son propios de la actividad económica y geología de la zona. Las actividades agrícolas en la región de Sitionuevo, como se ha mencionado, son una fuente potencial de sólidos suspendidos. Partiendo de que el municipio Sitionuevo y sus corregimientos tienen una economía basada en la agricultura, pesca y ganadería de doble propósito (carne y leche), dichas actividades generan la mayor parte del empleo en el municipio y que, además, existe en una menor proporción la actividad ladrillera y el comercio en general (Melissa Jaramillo & Julio Hernández, 2015), estos contienen una variedad de sólidos en suspensión, incluidas partículas de suelo, estiércol y fertilizantes. Estos sólidos en suspensión pueden ser arrastrados al río, lo que da como resultado altas concentraciones de SST.

Además de las actividades humanas, las fuentes naturales, como la erosión del suelo y la descomposición de la vegetación, pueden contribuir a las altas concentraciones de SST en ríos y arroyos. El clima local, con una temperatura promedio de 32°C en Palermo al momento del muestreo, también pudo haber influido en el valor de SST. Las altas temperaturas pueden hacer que los sólidos en suspensión se sedimenten más lentamente, lo que puede resultar en una mayor concentración de SST en el agua (M. Félez Santafé, 2009).

En términos de utilidad y precauciones, un alto valor de SST indica que el agua no es adecuada para el consumo humano debido a la presencia de partículas sólidas que pueden albergar contaminantes y representar riesgos para la salud. Además, para usos industriales, la alta concentración de SST puede obstruir equipos y procesos de producción. Por lo tanto, es esencial tomar precauciones, implementar medidas de mitigación y reducir la contaminación en la cuenca del río para preservar la calidad del agua y evitar impactos negativos en la salud y la actividad económica de la región.

#### **6.1.3.6. Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV).**

La concentración de Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) con un valor de 110 mg/L, supera significativamente el límite máximo permisible de 50 mg/L establecido por la Resolución 2115 de 2007, revela una marcada contaminación por materia orgánica en el recurso hídrico y plantea una serie de desafíos y preocupaciones de índole ambiental y de calidad del agua de gran relevancia.

Los SSV son indicadores directos de la cantidad de materia orgánica en suspensión en una muestra de agua. La materia orgánica puede tener diversas fuentes, como escorrentías agrícolas, descargas de aguas residuales sin tratamiento adecuado, actividades industriales y otros desechos biodegradables (Espigares y Pérez, 2003). En este contexto, la alta concentración de SSV, sugiere que existe una importante carga de materia orgánica en el agua, lo que puede atribuirse a diversas fuentes contaminantes en la región.

La presencia de una concentración elevada de SSV en el agua puede tener implicaciones graves en varios aspectos. En primer lugar, la descomposición de la materia orgánica en el agua consume oxígeno disuelto, lo que puede llevar a niveles bajos de oxígeno disuelto en el agua. Esto puede crear condiciones hipóxicas o anóxicas, donde la vida acuática, incluyendo peces y otros organismos, enfrenta dificultades para respirar y, en última instancia, puede llevar a la mortalidad de la fauna acuática.

Además, la disminución de los niveles de oxígeno y la presencia de una alta concentración de materia orgánica pueden alterar el equilibrio ecológico de los ecosistemas acuáticos, amenazando la biodiversidad y provocando la desaparición de especies sensibles a las condiciones de baja calidad del agua.

La materia orgánica también puede actuar como nutriente para el crecimiento excesivo de algas y otros microorganismos, lo que puede llevar a problemas de eutrofización. El crecimiento desmedido de algas, algunas de las cuales pueden ser tóxicas, afecta la calidad del agua, limita la disponibilidad de oxígeno y perturba la cadena alimentaria acuática.

Finalmente, el agua con una alta concentración de SSV no es apta para el consumo humano sin tratamiento adecuado. La presencia de materia orgánica puede afectar el sabor, el olor y la claridad del agua, haciendo que sea inaceptable para beber. Además, los compuestos orgánicos pueden reaccionar con desinfectantes utilizados en el tratamiento del agua, como el cloro, para formar subproductos no deseados y potencialmente dañinos.

## **6.2. ESTABLECIMIENTO DE LAS DOSIS OPTIMAS DE LOS COAGULANTES ORGÁNICOS DE *Moringa Oleífera* Y *Lemnaire-Oreus Griseus* Y EL COAGULANTE INORGÁNICO POLICLORURO DE ALUMINIO MEDIANTE EL MÉTODO DE JARRAS.**

Se presentarán los resultados y análisis en esta etapa que dan cumplimiento al segundo objetivo de este proyecto, con el fin de mostrar cuales fueron las dosis optimas de cada coagulante a las que posteriormente se analizó su eficacia.

### **6.2.1. Extracción De Los Coagulantes**

En esta actividad, llevamos a cabo la extracción de los coagulantes naturales *Moringa Oleífera* y *Lemnaire-Oreus Griseus* con el objetivo de obtener el coagulante necesario para el tratamiento del agua potable. Mediante un proceso meticuloso, se obtuvo los componentes activos presentes en la parte coagulante de cada planta, conocidos por sus propiedades coagulantes, que pueden ser empleados en la purificación del agua potable de manera efectiva y sostenible.

#### **6.2.1.1. Moringa Oleífera.**

La semilla de *Moringa Oleífera* fue obtenida de diferentes lugares para el desarrollo del proyecto, Es importante resaltar que estas semillas se encontraban protegidas dentro de cápsulas o vainas. Una parte de las semillas se recolectó en el municipio de Valledupar, específicamente en el barrio San Vicente. Otra porción de semillas se obtuvo de un árbol cercano a la Universidad Popular del Cesar, sede Sabanas. Sin embargo, debido a que la cantidad de semillas recolectadas hasta ese momento no era suficiente para el proceso de extracción de coagulante, se tomó la decisión de obtener la parte faltante desde el municipio de El Banco, ubicado en el departamento del Magdalena. Las semillas se enviaron desde allí para completar la cantidad requerida y continuar con el proyecto de extracción de coagulante de *Moringa Oleífera*.

Una vez obtenidas las semillas de la planta se procedió a extraer el coagulante deseado para el tratamiento de agua potable. Inicialmente, se extrajo la semilla de moringa de la cápsula, y posteriormente se determinó que su peso era de 653,96 gramos. Luego de someterlas al proceso de secado en un horno a 60°C durante 24 horas, su peso disminuyó a 624,43 gramos. Esta reducción de peso se debe a la pérdida de humedad durante el secado. La *Moringa Oleífera*

contiene una cantidad significativa de agua en su estado natural, y al someter las semillas al calor del horno, el agua se evapora, lo que resulta en una disminución del peso total.

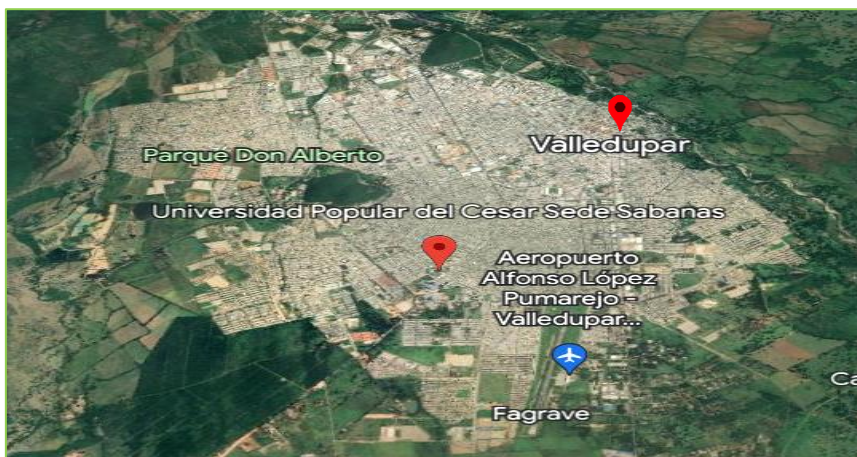
Al proceder a la etapa de trituración, se obtuvieron 600 gramos de polvo de Moringa. Sin embargo, es importante destacar que este peso es menor que el peso inicial después del secado (624,43 gramos). La disminución de peso en el polvo se debe al desperdicio generado durante el proceso de trituración. Durante esta etapa, es común que una pequeña cantidad de polvo se pierda o se adhiera a los utensilios utilizados, lo que da como resultado una disminución en el peso total del polvo obtenido. Es fundamental tener en cuenta esta pérdida al evaluar la cantidad real de coagulante obtenido.

Finalmente, después de tamizar el polvo resultante de la trituración, se obtuvieron 245 gramos de coagulante de la semilla de Moringa. Nuevamente, el peso obtenido al tamizar es inferior al peso del polvo original (600 gramos). Esta reducción de peso se debe al proceso de tamizado, que consiste en separar partículas más finas y otros materiales no deseados del coagulante deseado. Durante el tamizado, se descartan las partículas de tamaño inapropiado, lo que resulta en una disminución del peso total del coagulante obtenido.

A continuación, en las siguientes figuras se encuentra la ubicación en donde se obtuvieron las capsulas con las semillas de la Moringa Oleífera:

### Figura 5.

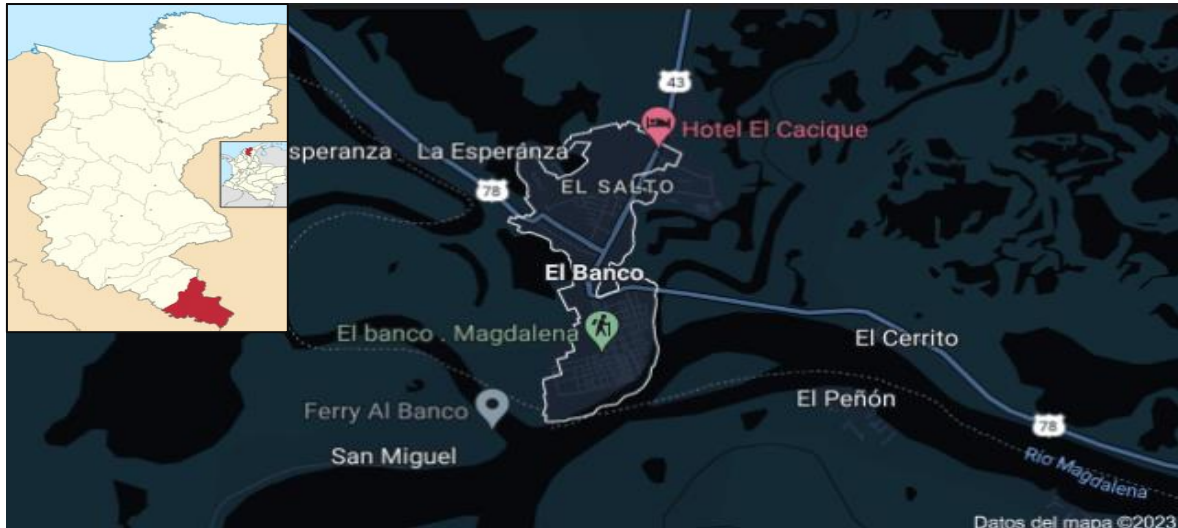
*Ubicación del sitio donde se recolecto la semilla en el Municipio de Valledupar*



*Nota:* El punto rojo superior es la ubicación donde se recolecto la semilla en el barrio San Vicente y el inferior en el barrio sabanas, cerca de la Universidad popular del cesar. Tomado de Google Earth, 2023

**Figura 6.**

*Ubicación del sitio donde se recolecto la semilla en el Municipio del Banco Magdalena*



*Nota:* la figura representa la ubicación del municipio del Banco Magdalena en donde se recolecto una parte de la semilla de moringa oleífera, la parte delimitada pertenece a este municipio. Tomado de Google Maps, 2023

**Figura 7.**

*Coordenadas geográficas de la primera recolección de la semilla de Moringa Oleífera*



*Nota:* la figura muestra la latitud, longitud y elevación en donde se tomó la primera colecta de moringa oleífera. la figura fue tomada por medio de la aplicación SW Maps, 2023

En este proyecto, también se evaluó el poder coagulante de la semilla de *Moringa Oleífera* sin grasa. La semilla de moringa naturalmente contiene aceite o grasa, y se considera beneficioso desengrasarla antes de utilizarla como coagulante. La presencia de grasa en la semilla puede afectar su capacidad de coagulación y producir resultados menos efectivos en el tratamiento del agua.

Para llevar a cabo el proceso de desengrasado, se utilizaron 100 gramos de moringa en polvo de los 245 gramos obtenidos anteriormente. Estos 100 gramos de polvo fueron sometidos a un proceso de desengrasado utilizando 400 ml de etanol. Durante este procedimiento, el etanol actúa como un solvente para extraer la grasa presente en el polvo de moringa. Una vez finalizado el desengrasado, se obtuvieron 300 ml de aceite junto con el etanol, los cuales fueron separados del polvo desengrasado. El aceite extraído es un subproducto del proceso de desengrasado y puede tener aplicaciones adicionales en otros campos.

Luego, el coagulante de moringa desengrasado se llevó al horno para evaporar el etanol que quedó en el polvo. De esta manera, se eliminó completamente el etanol residual que aún podía estar presente después del proceso de desengrasado.

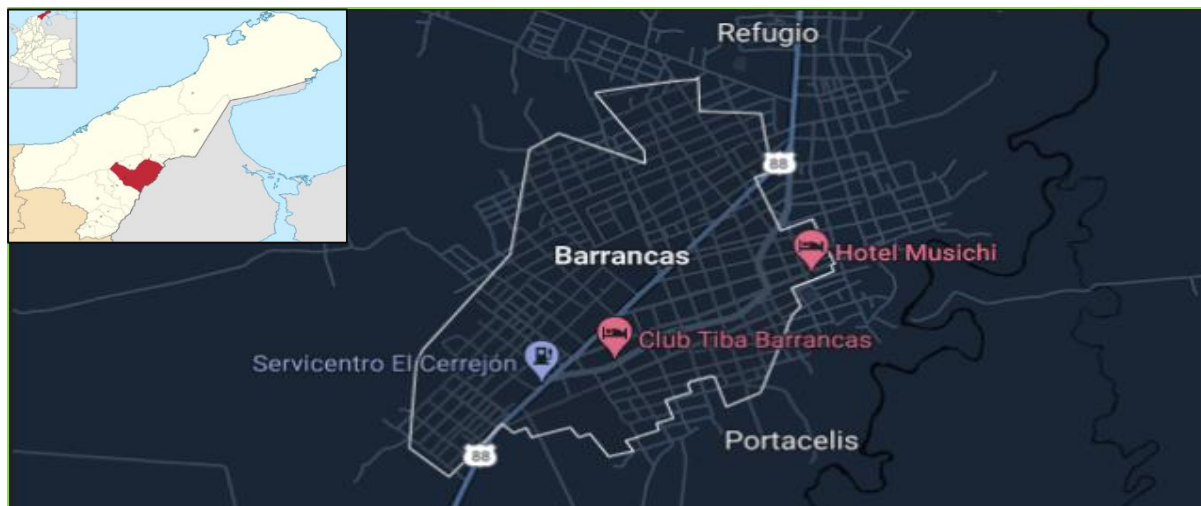
Finalmente, se obtuvo un total de 94.6 gramos de coagulante de *Moringa Oleífera* sin grasa. Esta cantidad representa la porción efectiva de coagulante obtenida después del proceso de desengrasado y es la que se utilizará para evaluar su poder coagulante en el tratamiento del agua. La obtención de la moringa desengrasada es esencial para garantizar la eficiencia y efectividad de este coagulante natural en el tratamiento del agua potable.

#### **6.2.1.2. Lemaire-Oreus Griseus.**

En el desarrollo del proyecto, se obtuvo el cactus guajiro (*Lemaire-Oreus Griseus*) del municipio de Barrancas, ubicado en La Guajira. Esta zona se caracteriza por tener una abundante cantidad de esta planta. La elección de Barrancas como lugar de obtención del cactus guajiro fue estratégica debido a la disponibilidad y accesibilidad de esta especie en la región. Para facilitar el transporte y manejo del cactus guajiro, se tomó la decisión de traerlo en partes pequeñas. La planta fue recolectada cuidadosamente y se separaron porciones de cactus para asegurar su conservación durante el traslado. En la siguiente imagen se encuentra la ubicación en donde fue obtenida.

**Figura 8.**

*Ubicación del sitio donde se recolecto el cactus guajiro*



*Nota:* la figura representa la ubicación del municipio del Barranca la guajira en donde se recolecto el Cactus Guajiro, la parte delimitada pertenece a este municipio. Tomado de Google Maps, 2023

En el proceso de extracción del coagulante de Lemaire-Oreus Griseus, en la etapa inicial, se extrajo la pulpa del tallo, la cual es la parte coagulante de interés, y se obtuvo un peso de 550 gramos. Posteriormente, se procedió a secar la pulpa en un horno, y al volver a pesarla, se registró un valor de 401,7 gramos. Esta reducción de peso se debe a la pérdida de humedad durante el proceso de secado. La pulpa de la planta contiene agua en su estado natural, y el calor del horno provoca la evaporación de esta humedad, resultando en una disminución del peso total. Luego de polvORIZAR la pulpa se obtuvo un total de 398,6 gramos de polvo. Sin embargo, este peso es menor que el peso después del secado. Esta disminución de peso se atribuye a posibles desperdicios generados durante el proceso de trituración. Durante la etapa de polvORIZACIÓN, es común que se pierdan pequeñas cantidades de polvo o que se adhieran a los utensilios utilizados, lo que conduce a una reducción en el peso total del polvo obtenido.

Finalmente, después de tamizar el polvo resultante de la trituración, se obtuvieron 312 gramos de coagulante. Nuevamente, este peso es inferior al peso del polvo original. La disminución de peso durante el tamizado se debe al proceso de separación de partículas más finas y otros materiales no deseados del coagulante puro. Durante el tamizado, se descartan las partículas que no cumplen con los criterios de tamaño deseados, lo que resulta en una disminución en el peso total del coagulante obtenido.

De forma general, en este proceso de extracción, se obtuvieron un total de 245 gramos de coagulante de Moringa Oleífera en donde se evaluaron 145 gramos de coagulante con grasa y 94,6 gramos sin grasa, los gramos restantes fueron desperdicio en el proceso de desengrasante. 312 gramos de coagulante del cactus guajiro se obtuvieron en todo el proceso de extracción. Estas cantidades representan los resultados finales de todo el procedimiento de obtención y procesamiento de los coagulantes naturales.

### 6.2.2. Caracterización Del Coagulante

Esta actividad consistió en la caracterización detallada de cada coagulante obtenido. Para ello, se emplearon diversos métodos, algunos de ellos implicaron análisis en el laboratorio de la Universidad Popular del Cesar, mientras que otros se realizaron mediante observaciones visuales a simple vista para evaluar la textura y el color de cada coagulante.

El propósito fundamental de esta caracterización fue conocer en profundidad el estado de cada coagulante y determinar su idoneidad para ser evaluados en el tratamiento de agua potable. Se tuvieron en cuenta varios parámetros durante la caracterización, incluyendo la textura, el color, el pH, la densidad y el porcentaje de humedad. Los resultados obtenidos de estas mediciones se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 5.**

*Caracterización de los coagulantes*

PARAMETROS	COAGULANTES		
	Moringa sin grasa	Moringa con grasa	Cactus Guajiro
<b>COLOR</b>	Mostaza	Blanco amarillento	Café
<b>TEXTURA</b>	Suave	Suave	Dura y fibrosa
<b>DENSIDAD</b>	1.25	1,25 Mg/L	2,5 Mg/L
<b>pH</b>	6.05	6.03	4.53
<b>% de humedad</b>	4.2	4.37	27.8

*Nota:* en esta tabla se presentan los resultados obtenidos en la caracterización de cada coagulante

Partiendo de cada uno de los resultados y teniendo presente la tabla 5 se tiene lo siguiente:

En cuanto a color, El coagulante de Moringa sin grasa mostró un color mostaza, mientras que el de Moringa con grasa tuvo un tono blanco amarillento. Estas diferencias en el color pueden estar relacionadas con la presencia de pigmentos naturales en las semillas de Moringa, y son características visuales que pueden influir en la percepción y aceptación del coagulante en diferentes contextos. Por ejemplo, un color más atractivo y cercano al blanco podría ser preferible en ciertos sistemas de purificación de agua para evitar la percepción de impurezas. Por otro lado, el coagulante de Cactus Guajiro exhibió un color café, el cual fue una consideración relevante durante su aplicación en este proyecto. La apariencia visual del agua tratada es un aspecto importante a tener en cuenta, y en este caso, el color intenso del Cactus Guajiro puede afectar la visibilidad durante el proceso de coagulación. Por lo tanto, es conveniente utilizarlo en pequeñas concentraciones al momento de evaluarlo como coagulante el tratamiento de agua potable.

La textura es otra característica importante. Tanto el coagulante de Moringa sin grasa como el de Moringa con grasa mostraron una textura suave. Esta característica resultó favorable, ya que facilitaba la manipulación y disolución de los coagulantes en el agua. La textura suave de los coagulantes de Moringa permitía una rápida y homogénea mezcla con el agua tratada, contribuyendo a una distribución uniforme del coagulante en el sistema y mejorando su eficacia en la coagulación de partículas y sustancias no deseadas presentes en el agua. Por otro lado, el coagulante de Cactus Guajiro presentó una textura dura y fibrosa. Esta característica representó un desafío al momento de ser triturada.

En términos de densidad, Se observó que tanto el coagulante de Moringa sin grasa como el de Moringa con grasa tenían una densidad similar, alrededor de 1.25 g/ml. Esta similitud en la densidad indicó que ambos coagulantes tenían una concentración de masa similar en un volumen dado. Esta característica fue útil en el tratamiento de agua potable, ya que permitió una dosificación adecuada y consistente de los coagulantes durante el proceso de coagulación. El coagulante de Cactus Guajiro mostró una densidad más alta de 2.5 g/ml, esto indica que en un volumen específico de este coagulante había una mayor concentración de masa en comparación con los coagulantes de Moringa. La alta densidad del coagulante de Cactus

Guajiro implica que una menor cantidad de este coagulante puede ser suficiente para lograr el mismo efecto de coagulación en comparación con los coagulantes de Moringa.

En cuanto al pH, el coagulante de Moringa sin grasa tuvo un pH de 6.05, y el de Moringa con grasa tiene un pH ligeramente inferior de 6.03. Estos valores están cerca de la neutralidad, lo que indica que los coagulantes son adecuados para su uso en el tratamiento de agua potable sin afectar significativamente el pH del agua tratada. El coagulante de Cactus Guajiro muestra un pH más ácido de 4.53. Esto es una consideración importante para el tratamiento de aguas ya que requirió un cuidadoso monitoreo para evitar efectos no deseados.

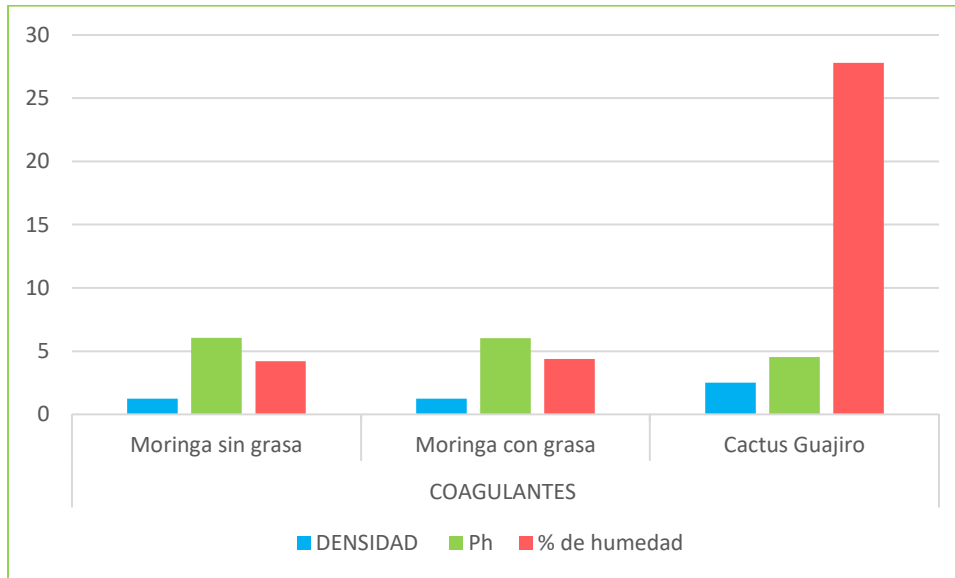
El coagulante de Moringa sin grasa presentó un porcentaje de humedad del 4.2%, mientras que el coagulante de Moringa con grasa mostró un porcentaje de humedad del 4.37%. Estos valores indican que ambos coagulantes de Moringa tenían una cantidad relativamente baja de agua en su composición. El bajo porcentaje de humedad es beneficioso para su uso en el tratamiento de agua potable, ya que permite una mayor concentración de los compuestos activos de la Moringa, lo que a su vez puede mejorar la eficacia en la coagulación de partículas y sustancias no deseadas presentes en el agua. Lo contrario, el coagulante de Cactus Guajiro mostró un porcentaje de humedad más elevado, con un valor del 27.8%. Esto indica que el cactus contenía una cantidad significativamente mayor de agua en comparación con los coagulantes de Moringa.

El alto contenido de humedad puede ser un factor a considerar en la aplicación del coagulante de Cactus Guajiro, ya que puede afectar la concentración y eficacia de los compuestos coagulantes presentes en el cactus, es por esto que fue conveniente llevarlo al horno para evaporar todo este porcentaje de humedad y así tener una mejor eficiencia al momento de ser evaluado.

En la siguiente tabla se muestra el comportamiento de los parámetros cuantificables de los coagulantes naturales:

**Figura 9.**

*Comportamiento de los parámetros en la caracterización de los coagulantes naturales*



Nota: realizado por autores, 2023

### 6.2.3. Método De Jarras

En esta actividad, se llevó a cabo el método de jarras con el objetivo de determinar las dosis óptimas de cada coagulante y evaluar su eficiencia en la remoción de impurezas presentes en el agua. En esta actividad, se buscó identificar el coagulante que lograra el mayor porcentaje de remoción de partículas y sustancias no deseadas.

Para llevar a cabo esta actividad, se prepararon concentraciones adecuadas de los coagulantes (Moringa sin grasa, Moringa con grasa y Cactus Guajiro) en diferentes dosis. Estas dosis variaron para encontrar el punto en el que cada coagulante alcanzaba su máxima eficiencia en la coagulación y clarificación del agua. Para establecer las concentraciones a evaluar en nuestro estudio, se llevó a cabo una rigurosa investigación bibliográfica con el propósito de determinar estas concentraciones mediante antecedentes previos. Para este propósito, la *Moringa Oleífera* se convirtió en un punto focal para la identificación de las concentraciones apropiadas.

Se llevaron a cabo comparaciones entre diversas investigaciones que evaluaron este coagulante en el tratamiento de agua potable, en busca de parámetros relevantes. Finalmente,

un manual técnico fundamental para la elaboración de coagulantes a partir de productos naturales, elaborado por Murillo, Galvis y Pacheco en 2020, se estableció como una fuente esencial. De esta referencia, se derivaron las concentraciones del 6% y el 12% que se utilizarían en nuestro estudio. Esta elección se basó en la semejanza de las características fisicoquímicas del agua bajo análisis con las condiciones presentes en la investigación mencionada, lo que proporcionó un enfoque más confiable y congruente en la determinación de las concentraciones a evaluar en nuestro estudio.

En cada una de las concentraciones evaluadas en el estudio, se preparó una solución madre utilizando agua destilada como medio de disolución para el coagulante. Esta elección se realizó para asegurar la pureza y la homogeneidad del coagulante en la mezcla, evitando la presencia de impurezas o contaminantes que pudieran afectar los resultados de las pruebas de coagulación. El agua destilada proporcionó un entorno libre de minerales y sustancias que podrían interferir con la acción coagulante del Moringa con grasa, lo que permitió obtener mediciones precisas y confiables. De esta manera, se garantizó que los resultados obtenidos reflejaran fielmente el comportamiento del coagulante en el tratamiento del agua potable, facilitando la identificación de las dosis óptimas para lograr una eficiente clarificación y remoción de impurezas.

A continuación, se presentan las concentraciones evaluadas en el método de jarras para cada coagulante, junto con el porcentaje de remoción correspondiente

### **6.2.3.1. Coagulante Natural De *Moringa Oleífera* Con Grasa.**

En la siguiente tabla se presentan los resultados detallados de las pruebas, incluyendo la dosis utilizada, la turbiedad del agua tratada, el pH obtenido y el porcentaje de remoción de turbidez para cada coagulante y concentración evaluados. Estos datos fueron de vital importancia para determinar las dosis óptimas del coagulante y lograr un tratamiento efectivo y seguro para el agua potable.

**Tabla 6.**

*Comportamiento del porcentaje de remoción de turbiedad y valor de pH después de la aplicación del coagulante de Moringa oleífera con grasa*

COAGULANTE MORINGA OLEÍFERA CON GRASA									
CONCENTRACION al 6% (15 gr/250 ml)					CONCENTRACION al 12% (30 gr/250 ml)				
Jarras	Dosis	Turbiedad	PH	%REMOCIÓN	Jarras	Dosis	Turbiedad	PH	%REMOCIÓN
Jarra 1	20 ml	6.73	6.98	84.60	Jarra 4	20 ml	20.4	6.81	53.32
Jarra 2	25 ml	11.1	6.76	74.60	Jarra 5	25 ml	22.6	6.72	48.28
Jarra 3	30 ml	13.4	6.83	69.34	Jarra 6	30 ml	24.8	6.68	43.25

*Nota:* la tabla muestra los resultados del valor de la turbiedad, el pH y el porcentaje de remoción respecto a la turbiedad luego de aplicar el método de jarras usando el coagulante de Moringa Oleífera en dos concentraciones. Realizado por autores, 2023

Observando la tabla anterior y los datos de porcentaje de remoción de turbiedad para las dos concentraciones del coagulante Moringa con grasa, se puede notar que la concentración al 6% (15 gramos por cada 250 ml de agua) obtuvo una mayor eficiencia en la remoción de impurezas en comparación con la concentración al 12% (30 gramos por cada 250 ml de agua).

En este sentido, las jarras con la concentración al 6% mostraron porcentajes de remoción de turbiedad que oscilaron entre el 69.34% y el 84.60%, mientras que las jarras con la concentración al 12% registraron porcentajes de remoción más bajos, entre el 43.25% y el 53.32%.

La razón detrás de estas diferencias radica en la influencia que ejerce la dosificación del coagulante en el proceso de coagulación. A menor concentración, el coagulante se dispersa en el agua de forma más homogénea, facilitando la interacción con las partículas y sustancias presentes en el agua, lo que resulta en una mayor aglutinación y remoción de impurezas (Guzmán, 2017). Por otro lado, a mayor concentración, el coagulante puede formar agregados más grandes, lo que dificulta su dispersión y el contacto efectivo con las partículas, reduciendo su capacidad de coagulación y, en consecuencia, la remoción de turbidez. En este caso, la concentración al 6% proporcionó la dosis óptima que permitió maximizar la eficiencia de coagulación, logrando una mayor clarificación del agua y una remoción más efectiva de impurezas.

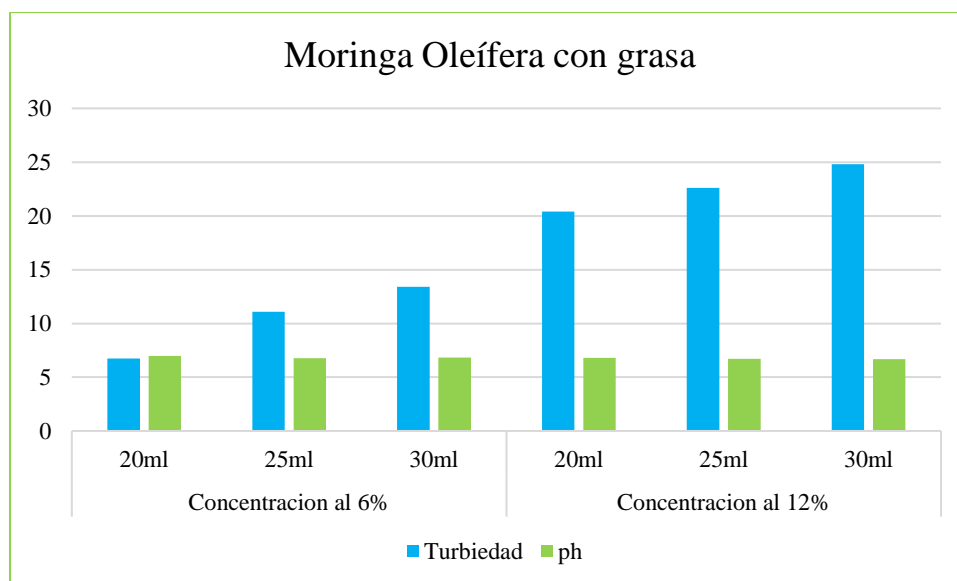
Al analizar los datos de pH para las dos concentraciones del coagulante Moringa con grasa, se observa que ambos presentan valores de pH dentro del rango aceptable para el tratamiento de agua potable. En el caso de la concentración al 6%, los valores de pH oscilan entre 6.98 y 6.83, mientras que para la concentración al 12%, los valores de pH se encuentran entre 6.81 y 6.68. Un pH óptimo para el proceso de coagulación generalmente se encuentra en el rango ligeramente ácido a neutro, alrededor de 6.5 a 7.5. Valores fuera de este rango pueden afectar negativamente la eficiencia del coagulante y, en última instancia, la clarificación del agua.

En este caso, los valores de pH registrados para ambas concentraciones se mantienen dentro del rango adecuado, lo que indica que las condiciones de acidez o alcalinidad del agua fueron adecuadas para el proceso de coagulación con Moringa con grasa. Esto es fundamental para asegurar una interacción efectiva entre el coagulante y las partículas presentes en el agua, facilitando la formación de flóculos y la posterior sedimentación de impurezas.

En la siguiente figura se muestra el comportamiento del pH y la turbiedad después de la prueba de jarras en cada una de las concentraciones y dosis:

**Figura 10.**

*Comportamiento del pH y la turbiedad después de la prueba de jarras usando Moringa Oleífera sin desengrasar*

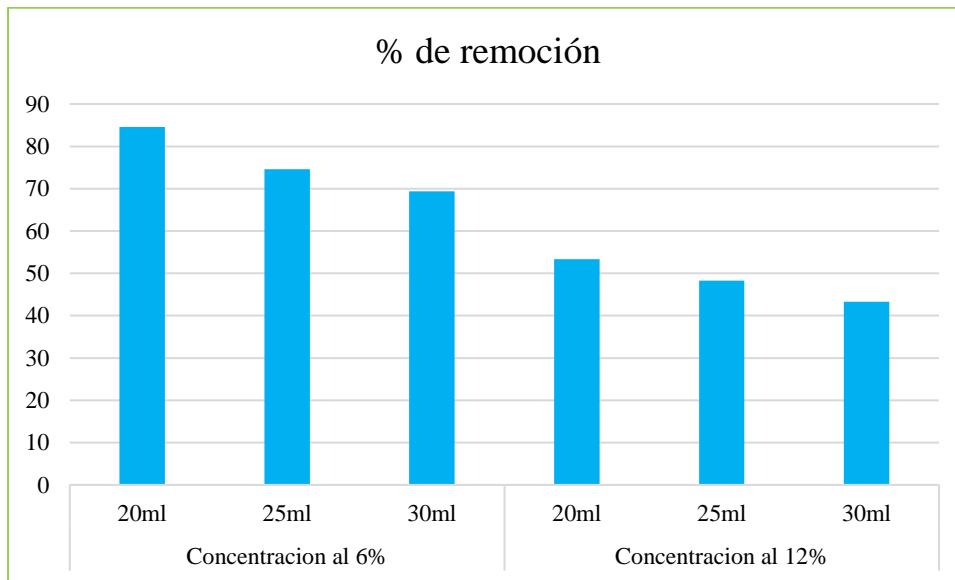


Nota: elaborado por autores, 2023

En la siguiente figura se muestra el comportamiento del % de remoción de la moringa oleífera en diferentes concentraciones luego de aplicar la prueba de jarras

**Figura 11.**

*Comportamiento del porcentaje de remoción de la Moringa Oleífera con grasa*



*Nota:* elaborado por autores, 2023

### 6.2.3.2. Coagulante Natural De *Moringa Oleífera Sin Grasa.*

Para encontrar la dosis óptima de este coagulante, se llevaron a cabo diferentes concentraciones y dosis, con el objetivo de evaluar su eficacia en el tratamiento de agua potable. Se prepararon dos concentraciones distintas: una al 6% (15 gramos por cada 250 ml de agua) y otra al 12% (30 gramos por cada 250 ml de agua). Cada concentración fue sometida a diversas dosificaciones y evaluada mediante el método de jarras para determinar su capacidad de remoción de turbidez y su comportamiento en términos de pH. Cabe destacar que las mismas dosis utilizadas en las pruebas del coagulante Moringa con grasa fueron empleadas en este caso para permitir una mejor comparación de los resultados entre ambos coagulantes. A continuación, se presentan los datos detallados de las pruebas para ambas concentraciones de Moringa sin grasa, incluyendo la dosis utilizada, la turbiedad del agua tratada, el pH obtenido y el porcentaje de remoción de turbidez.

**Tabla 7.**

*Comportamiento del porcentaje de remoción de turbiedad y valor de pH después de la aplicación del coagulante de Moringa oleífera sin grasa*

COAGULANTE MORINGA SIN_GRASA									
CONCENTRACION AL 6% ( 15 gr/250 ml)					CONCENTRACION AL 12% (30 gr/250 ml)				
Jarras	Dosis	Turbiedad	PH	%REMOCIÓN	Jarras	Dosis	Turbiedad	PH	%REMOCIÓN
Jarra 1	20 ml	2.93	7.18	93.30	Jarra 4	20 ml	36.7	7.09	16.02
Jarra 2	25 ml	3.48	7.06	92.04	Jarra 5	25 ml	40.5	7.07	7.32
Jarra 3	30 ml	4.98	7.05	88.60	Jarra 6	30 ml	32.1	7.03	26.54

*Nota:* la tabla muestra los resultados del valor de la turbiedad, el pH y el porcentaje de remoción respecto a la turbiedad luego de aplicar el método de jarras usando el coagulante de Moringa Oleífera sin grasa en dos concentraciones. Elaborada por autores, 2023

Al analizar los datos de la tabla anterior y comparar las dos concentraciones del coagulante Moringa sin grasa, se puede observar que la concentración al 6% (15 gramos por cada 250 ml de agua) obtuvo una mayor eficiencia en la remoción de turbidez en comparación con la concentración al 12% (30 gramos por cada 250 ml de agua). Las jarras con la concentración al 6% mostraron porcentajes de remoción de turbidez que oscilaron entre el 88.60% y el 93.30%, mientras que las jarras con la concentración al 12% registraron porcentajes de remoción más bajos, entre el 7.32% y el 26.54%.

La diferencia en la eficiencia de remoción entre las dos concentraciones se debe principalmente a la dosis del coagulante utilizada. A menor concentración (6%), se requiere una menor cantidad de coagulante para lograr la coagulación y aglutinación efectiva de las partículas presentes en el agua. Esta dosis más baja permite una dispersión más homogénea del coagulante en el agua, lo que facilita su interacción con las partículas y aumenta la probabilidad de que estas sean atrapadas y formen flóculos. En consecuencia, se logra una mayor remoción de turbidez.

Por otro lado, a mayor concentración (12%), se requiere una dosis más alta de coagulante para lograr el mismo efecto coagulante. Sin embargo, dosis muy altas pueden generar una sobresaturación del coagulante, lo que resulta en la formación de agregados más

grandes y dificulta su dispersión en el agua. Esto puede limitar su capacidad de interacción con las partículas y reducir la eficiencia en la remoción de turbidez.

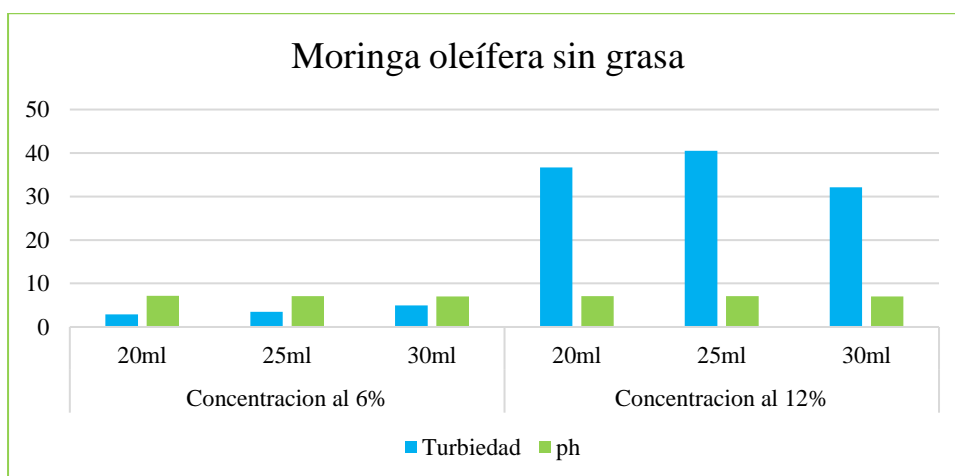
Al analizar los datos de pH para las dos concentraciones del coagulante Moringa sin grasa, se puede observar que ambos presentan valores de pH cercanos a la neutralidad, lo que indica que son adecuados para el proceso de coagulación y tratamiento de agua potable. En el caso de la concentración al 6% (15 gramos por cada 250 ml de agua), los valores de pH obtenidos en las jarras oscilan entre 7.18 y 7.05, mostrando una ligera alcalinidad. Por otro lado, en la concentración al 12% (30 gramos por cada 250 ml de agua), los valores de pH se encuentran entre 7.09 y 7.03, también cerca del punto neutro. Un pH óptimo para el proceso de coagulación generalmente se encuentra en el rango ligeramente ácido a neutro, alrededor de 6.5 a 7.5. Valores fuera de este rango pueden afectar negativamente la eficiencia del coagulante y, en última instancia, la clarificación del agua.

En este caso, los valores de pH registrados para ambas concentraciones se mantienen dentro del rango adecuado, lo que indica que las condiciones de acidez o alcalinidad del agua fueron apropiadas para el proceso de coagulación con Moringa sin grasa.

En la siguiente figura se muestra el comportamiento del pH y la turbiedad después de la prueba de jarras en cada una de las concentraciones y dosis:

**Figura 12.**

*Comportamiento del pH y la turbiedad después de la prueba de jarras usando Moringa Oleífera sin grasa*

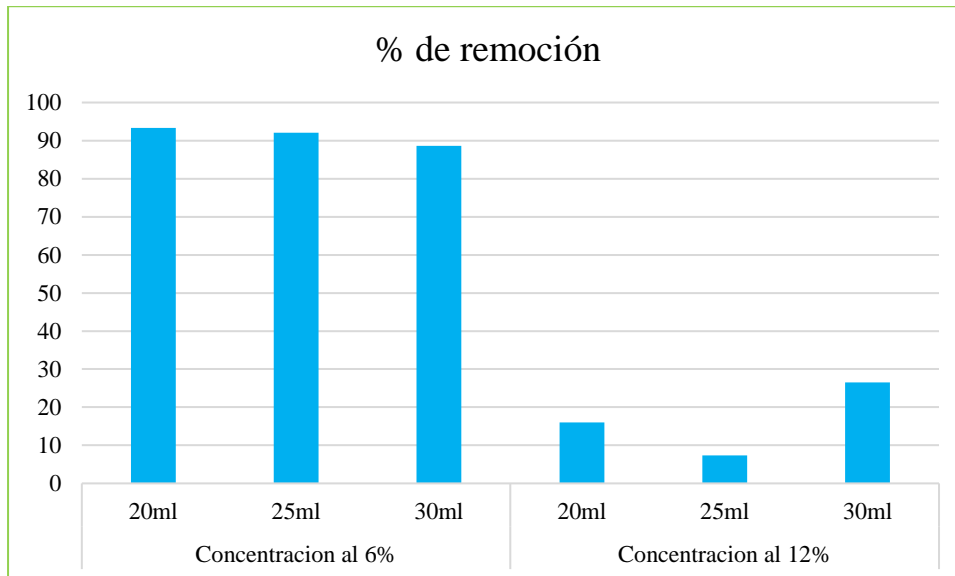


*Nota:* elaborado por autores, 2023

En la siguiente figura se muestra el comportamiento del % de remoción de la moringa oleífera en diferentes concentraciones luego de aplicar la prueba de jarras

**Figura 13.**

*Comportamiento del porcentaje de remoción de la Moringa Oleífera sin grasa*



*Nota:* elaborado por autores, 2023

### 6.2.3.3. Lemaire-Oreus Griseus.

En el proceso de evaluación de coagulantes, se llevaron a cabo pruebas exhaustivas utilizando diferentes concentraciones y dosificaciones para el coagulante Cactus Guajiro. Se establecieron cuatro concentraciones distintas, con especial énfasis en las dos primeras (6% y 12%), las cuales fueron tomadas en el mismo rango que las concentraciones evaluadas en la Moringa con Grasa, con el objetivo de lograr una comparación más precisa y significativa. Sin embargo, tras los análisis iniciales, se evidenció que las concentraciones más altas no ofrecían la eficacia de remoción esperada y, además, resultaban en un color del coagulante bastante intenso, lo que contribuía a valores más altos de turbidez en el agua tratada. Por lo tanto, se tomó la decisión de ajustar las concentraciones hacia niveles más bajos (1% y 0.5%) para lograr una mejora en la remoción de turbidez y evitar posibles efectos no deseados en el proceso.

En este contexto, la tabla siguiente presenta los resultados detallados de las pruebas de jarras realizadas para cada una de las cuatro concentraciones.

**Tabla 8.**

*Comportamiento del porcentaje de remoción de turbiedad y valor de pH después de la aplicación del coagulante de Cactus Guajiro*

COAGULANTE CACTUS GUAJIRO									
CONCENTRACION AL 6% (15 gr/250 ml)					CONCENTRACION AL 12 % (30 gr/250 ml)				
Jarras	Dosis	Turbiedad	pH	%Remoción	Jarras	Dosis	Turbiedad	pH	%Remoción
Jarra 1	20 ml	14	6.97	67.96	Jarra 4	20 ml	47.4	6.77	-8.47
Jarra 2	25 ml	16.4	6.95	62.47	Jarra 5	25 ml	55.7	6.59	-27.46
Jarra 3	30 ml	18.5	6.94	57.67	Jarra 6	30 ml	63.5	6.65	-45.31
CONCENTRACION 1%					CONCENTRACION AL 0.5%				
Jarras	Dosis	Turbiedad	pH	%Remoción	Jarras	Dosis	Turbiedad	pH	%Remoción
Jarra 1	20 ml	9.63	7.06	77.96	Jarra 4	20 ml	5.93	7.39	86.43
Jarra 2	25 ml	9.83	7.04	77.51	Jarra 5	25 ml	5.67	7.49	87.03
Jarra 3	30 ml	10.1	7.02	76.89	Jarra 6	30 ml	5.63	7.4	87.12

*Nota:* la tabla muestra los resultados del valor de la turbiedad, el pH y el porcentaje de remoción respecto a la turbiedad luego de aplicar el método de jarras usando el coagulante de *Lemaire-Oreus Griseus* en diferentes concentraciones. Elaborada por autores, 2023

En la tabla anterior, se puede observar una tendencia clara en términos de remoción de turbidez. A medida que la concentración disminuye, se obtiene un mayor porcentaje de remoción de turbidez. En las concentraciones más bajas (0.5% y 1%), se lograron los porcentajes de remoción más altos, con valores superiores al 75% en todas las dosis evaluadas. Esta observación se alinea con la teoría de coagulación, donde una concentración más baja de coagulante permite una mejor interacción y unión de partículas suspendidas en el agua, formando flóculos más grandes y pesados que sedimentan con mayor facilidad.

Por otro lado, en las concentraciones más altas (6% y 12%), se observa una disminución en el porcentaje de remoción de turbidez. Esto puede atribuirse al efecto contrario: una

concentración más alta de coagulante puede resultar en una saturación excesiva de partículas y la formación de flóculos más pequeños y menos efectivos para la remoción.

Estos resultados demuestran la importancia de la optimización de las concentraciones y dosificaciones del coagulante Cactus Guajiro en el proceso de tratamiento de agua potable. Concentraciones más bajas favorecen una mayor remoción de turbidez debido a una mejor formación y sedimentación de flóculos, mientras que concentraciones más altas pueden llevar a una saturación y formación de flóculos menos efectivos. La concentración al 0.5% y la dosis de 30 ml se destacan como las condiciones que ofrecieron la mayor eficiencia en la remoción de turbidez.

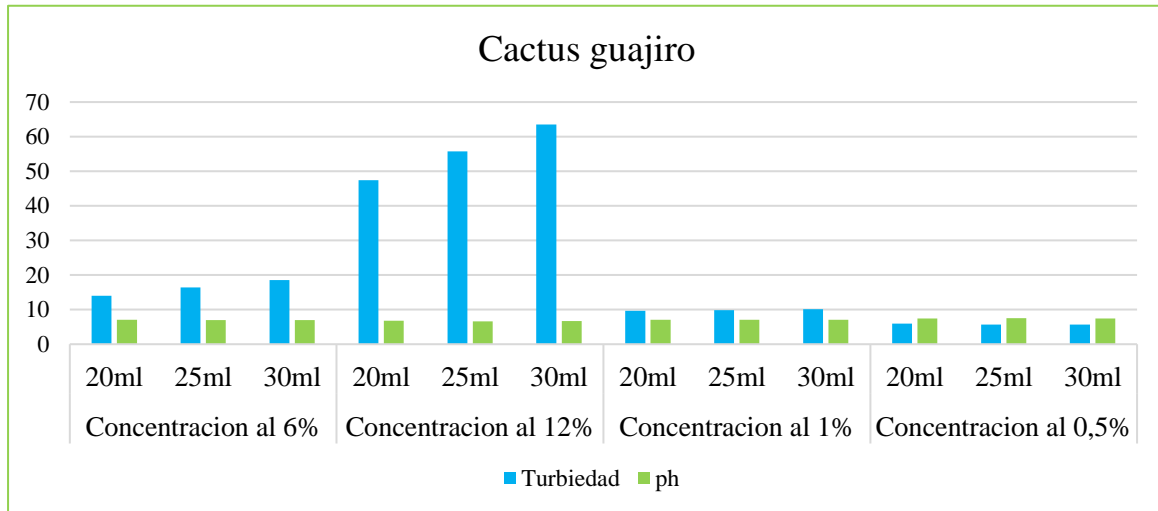
En cuanto al pH, se puede observar que a medida que la concentración del coagulante aumenta, el pH tiende a disminuir un poco. Esto es especialmente evidente en las concentraciones más altas (6% y 12%), donde se registran valores de pH por debajo de 7 en todas las dosis evaluadas. Por otro lado, en las concentraciones más bajas (0.5% y 1%), el pH tiende a mantenerse más cercano al rango neutro (alrededor de 7) en todas las dosis.

Esta variación en el pH puede estar relacionada con la composición química del coagulante Cactus Guajiro y cómo interactúa con el agua. A concentraciones más altas, es posible que la liberación de iones u otros compuestos del coagulante tenga un efecto ácido en el agua, lo que resulta en una disminución del pH. Por otro lado, en concentraciones más bajas, es probable que esta interacción sea menos pronunciada, lo que mantiene el pH en un rango más cercano al neutro.

Es importante destacar que el pH del agua juega un papel fundamental en los procesos de coagulación y floculación. Un pH adecuado puede influir en la carga superficial de las partículas suspendidas en el agua, afectando su capacidad de unirse y formar flóculos. En este sentido, los resultados sugieren que las concentraciones más bajas del coagulante Cactus Guajiro ofrecen un mejor control del pH en el proceso de coagulación, lo que a su vez pudo contribuir a una formación más eficiente de flóculos y, potencialmente, una mayor remoción de turbidez.

**Figura 14.**

*Comportamiento del pH y la turbiedad después de la prueba de jarras usando el Cactus Guajiro*

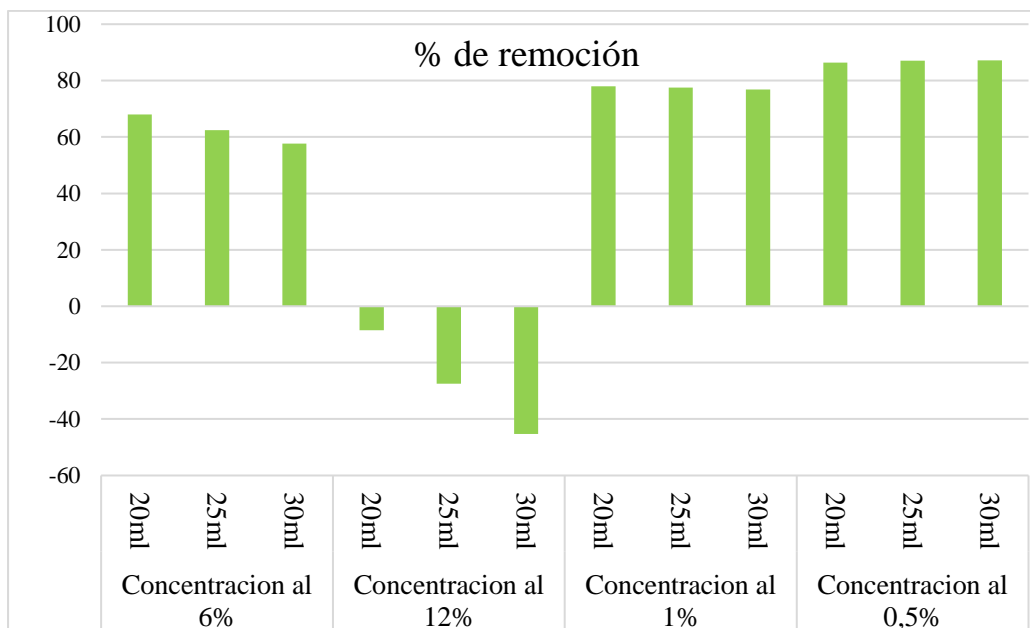


*Nota:* elaborado por autores, 2023

En la siguiente figura se muestra el comportamiento del % de remoción de la moringa oleífera en diferentes concentraciones luego de aplicar la prueba de jarras

**Figura 15.**

*Comportamiento del porcentaje de remoción del Cactus Guajiro*



*Nota:* Elaborado por autores, 2023

#### 6.2.3.4. Coagulante Inorgánico.

En este proyecto, se llevó a cabo una fase de evaluación adicional mediante la realización de pruebas de jarras utilizando el coagulante inorgánico conocido como Policloruro de Aluminio. Esta decisión se tomó con el propósito de ampliar la comparativa y lograr una evaluación más completa de la eficacia de los coagulantes naturales empleados. El Policloruro de Aluminio es uno de los coagulantes inorgánicos más ampliamente utilizados en el tratamiento de agua potable debido a su capacidad para desestabilizar partículas suspendidas y flocularlas eficientemente. Para determinar la concentración óptima de este coagulante inorgánico, se consultaron antecedentes en la investigación realizada por Correa, Mestre y Baldiris (2017), quienes establecieron que la concentración óptima es del 1.5 %.

Basándonos en estos resultados, esta concentración se adoptó como referencia en nuestras pruebas de jarras, permitiéndonos comparar de manera más efectiva la eficiencia de los coagulantes naturales con el coagulante inorgánico Policloruro de Aluminio. En la siguiente tabla se presenta. La siguiente tabla presenta los resultados obtenidos al utilizar el coagulante inorgánico Policloruro de Aluminio con una concentración del 1.5% en la prueba de jarras.

**Tabla 9.**

*Comportamiento del porcentaje de remoción de turbiedad y valor de pH después de la aplicación del coagulante inorgánico Policloruro de Aluminio*

POLICLORURO DE ALUMINIO				
CONCENTRACION 1,5 %				
Jarras	Dosis	Turbiedad	PH	%REMOCIÓN
<b>Jarra 1</b>	2 ml	0.979	6.32	97.76
<b>Jarra 2</b>	3 ml	0.818	6.26	98.13
<b>Jarra 3</b>	4 ml	4.16	5.94	90.48

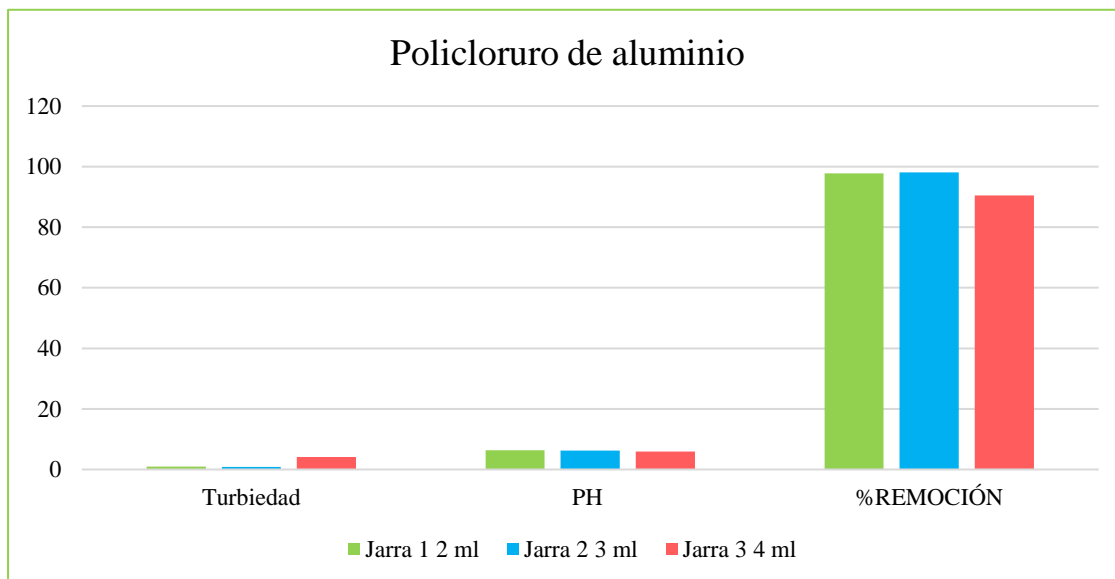
*Nota:* la tabla muestra los resultados del valor de la turbiedad, el pH y el porcentaje de remoción respecto a la turbiedad luego de aplicar el método de jarras usando el coagulante inorgánico policloruro de aluminio. Elaborada por autores, 2023

Al observar los resultados presentados en la tabla anterior, es evidente que el coagulante inorgánico Policloruro de Aluminio a una concentración del 1.5% ha demostrado una alta eficacia en la remoción de turbiedad en el proceso de tratamiento de agua. Las jarras tratadas con esta concentración exhibieron porcentajes de remoción significativamente altos, alcanzando un impresionante 97.76%, 98.13% y 90.48% en las jarras 1, 2 y 3 respectivamente. Esto refleja la capacidad del Policloruro de Aluminio para aglutinar y flocular las partículas suspendidas en el agua, resultando en una clarificación efectiva del agua tratada.

El pH, por otro lado, muestra una ligera disminución a medida que aumenta la dosis de Policloruro de Aluminio. Esto es coherente con la naturaleza ácida de este coagulante inorgánico, que puede influir en la disminución del pH del agua tratada.

**Figura 16.**

*Comportamiento del pH, la turbiedad y porcentaje de remoción después de la prueba de jarras usando el Policloruro de Aluminio*



*Nota:* elaborado por autores, 2023

Finalmente, tras realizar exhaustivas pruebas de jarras utilizando diferentes concentraciones y dosis de coagulantes naturales y el coagulante inorgánico Policloruro de Aluminio, se han identificado concentraciones óptimas que demuestran una destacada eficiencia en el proceso de tratamiento de agua. Para el coagulante Moringa Oleífera con grasa, se encontró que una concentración del 6% con una dosis de 20 ml proporcionó una remoción

de turbiedad del 92.04%. En el caso de la Moringa sin grasa, la concentración óptima fue del 6% con una dosis de 20 ml, logrando una remoción del 93,30%.

El coagulante Cactus Guajiro, a una concentración del 0.5% y una dosis de 30 ml, exhibió una remoción de turbiedad del 87.12% siendo esta la más óptima. Finalmente, el coagulante inorgánico Policloruro de Aluminio demostró su eficacia a una concentración del 1.5% con dosis de 3 ml logrando remociones de 98.13%. Estas concentraciones y dosis óptimas fueron las utilizadas para evaluar la eficacia de cada coagulante.

### 6.3. DETERMINAR LA EFICIENCIA DE LOS COAGULANTES EN EL POSTRATAMIENTO DEL AGUA POTABLE.

Esta fase se mostrará los resultados obtenidos en cada actividad para darle cumplimiento al último objetivo propuesto en este proyecto de investigación

#### 6.3.1. Eficiencia Del Coagulante (Actividad Coagulante)

Con base en el porcentaje de remoción exhibido por cada coagulante, junto con la determinación de las dosis óptimas y la concentración de cada coagulante, se facilita la identificación del coagulante más eficiente en el proceso de tratamiento del agua. Este procedimiento se realiza a través de una comparación con el coagulante inorgánico convencional, como el policloruro de aluminio. El enfoque comparativo con el coagulante inorgánico convencional proporciona una referencia válida para evaluar el desempeño relativo de cada coagulante. Esto ayuda a seleccionar la mejor opción para el tratamiento de agua.

#### Tabla 10.

*Porcentaje de reducción de la turbidez para cada coagulante en comparación con la turbidez de la muestra inicial*

% Remoción de turbidez por cada coagulante				
Turbiedad inicial: 43,7				
	Coagulantes Orgánicos			Coagulante inorgánico
	Moringa Con grasa	Moringa Sin grasa	Cactus Guajiro.	Policloruro de aluminio
Dosis optimas (ml)	20 ml	20 ml	30 ml	3 ml
Concentración (%)	6%	6%	0,5%	1,5%
Remoción (%)	84,60%	93,30%	87,12%	98,13%

Nota: Elaborado por autores, 2023.

### **6.3.1.1. Moringa Con Grasa.**

La moringa con grasa logró una remoción de turbidez del 86,60%. Aunque su eficiencia por poco es menor en comparación con los otros coagulantes, muestra capacidad para reducir la turbidez del agua. La moringa es reconocida en el ámbito del tratamiento de agua por sus propiedades coagulantes. De acuerdo a Edith Hernández y a Andrea Perilla resaltan en su artículo “Análisis del efecto coagulante de la semilla *Moringa oleífera* para el tratamiento de aguas residuales en el hotel Ítaca”, que estas propiedades se atribuyen a la presencia de proteínas catiónicas, como la *Moringa oleífera* cationic protein (MOCP), en las semillas de la planta. Estas proteínas tienen la capacidad de adsorber partículas cargadas negativamente presentes en el agua, lo que promueve su aglomeración y formación de flóculos.

La MOCP en la moringa se adhiere a las partículas suspendidas en el agua, facilitando su coagulación y posterior sedimentación. Esta capacidad de coagulación de la moringa se debe a las interacciones electrostáticas entre las proteínas catiónicas y las partículas cargadas negativamente. Al unirse, las partículas forman agregados más grandes y pesados, lo que facilita su separación del agua durante el proceso de sedimentación (José Legua, 2021).

Sin embargo, es importante destacar que la presencia de grasa en la moringa con grasa puede afectar su eficiencia coagulante. De acuerdo a La grasa puede interferir en las interacciones electrostáticas y reducir la capacidad de las proteínas catiónicas para adsorber y aglomerar las partículas suspendidas. Esto puede resultar en una menor eficiencia en la remoción de turbidez y una menor formación de flóculos estables. su eficiencia y capacidad para formar flóculos estables (Darío Coronel, 2018).

### **6.3.1.2. Moringa Sin Grasa.**

De acuerdo a la tabla 10 se puede ver que la moringa sin grasa exhibe una eficiencia notablemente mayor en la remoción de turbidez del agua, alcanzando una tasa de remoción del 93,30%. Esta eficacia supera significativamente la de la moringa con grasa, convirtiéndola en una alternativa más pura y libre de grasas para el tratamiento de aguas en comparación con su contraparte con contenido de grasa.

La eliminación de la grasa presente en las semillas de moringa es un paso crucial para obtener un coagulante más concentrado en sus componentes activos. Iván Mendoza y sus compañeros en su artículo “Uso de la *Moringa oleífera* como coagulante en la potabilización

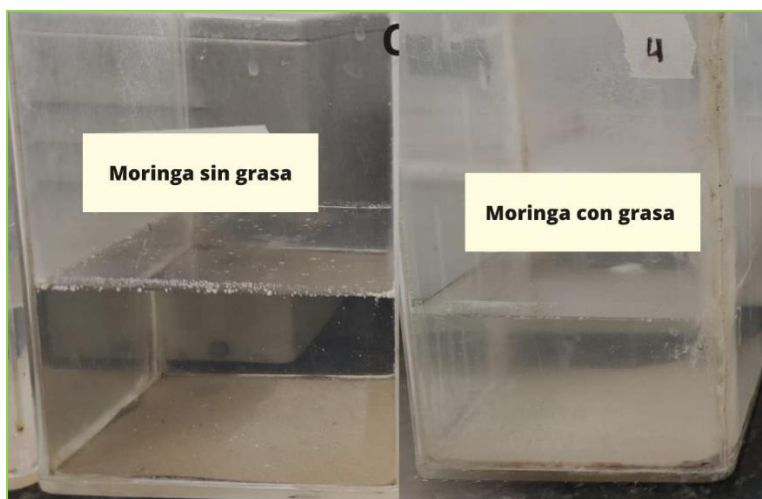
de las aguas”, corroboran que es importante hacerlo, pues se logra una mejora sustancial en su capacidad de coagulación y formación de flóculos estables.

El uso de la moringa sin grasa como coagulante natural para la purificación del agua presenta una serie de beneficios adicionales. Al eliminar la grasa de las semillas de moringa utilizadas como coagulante, se evita la posible liberación de ácidos grasos y otras impurezas en el agua tratada. Estos contaminantes podrían afectar negativamente la calidad y potabilidad del agua, lo que hace que la moringa sin grasa sea una opción más segura y confiable para su aplicación en el tratamiento de aguas (Fátima et al., 2016).

Durante los ensayos de laboratorio, se pudo observar una clara diferencia entre el agua tratada con el coagulante de moringa con grasa y el agua tratada con el coagulante de moringa sin grasa. Mientras que el agua tratada con el coagulante de moringa con grasa mostró la presencia de pequeñas partículas blancas, el agua tratada con moringa sin grasa lucía notablemente más limpia y clara (Ver la imagen 17). Este resultado respalda la superioridad de la moringa sin grasa en términos de eficiencia de coagulación y capacidad para remover la turbidez del agua.

**Figura 17.**

*Agua tratada con Moringa sin grasa y con grasa*



*Nota:* en la imagen se observa el agua tratada con moringa oleífera sin grasa en la derecha y a la izquierda con moringa oleífera con grasa. Tomada por autores, 2023

Por lo tanto, la moringa sin grasa representa una opción altamente beneficiosa para mejorar la calidad del agua, especialmente en regiones donde el acceso a tratamientos convencionales es limitado. Su uso no solo asegura una mayor eficiencia en la eliminación de impurezas, sino que también contribuye a mantener el agua libre de contaminantes indeseables, garantizando así un recurso vital más seguro y de mejor calidad para las comunidades que lo utilizan.

### **6.3.1.3. Lemaire-Oreus Griseus.**

El cactus guajiro, a pesar de ser menos común en comparación con la moringa, ha demostrado poseer propiedades coagulantes efectivas. Esto se evidencia en su capacidad para lograr una remoción de turbidez del 87,12% en las pruebas de jarras.

El cactus guajiro contiene polisacáridos y mucílagos, que actúan como agentes coagulantes naturales. Estos componentes tienen la capacidad de adsorber y neutralizar las partículas presentes en el agua, lo que facilita su aglomeración y precipitación. Los polisacáridos presentes en el cactus guajiro pueden interactuar con las partículas suspendidas, favoreciendo la formación de flóculos más grandes y pesados. Los mucílagos, por su parte, pueden ayudar a mejorar la viscosidad del agua y proporcionar una matriz adecuada para la agregación de partículas (Megy Silva, 2017).

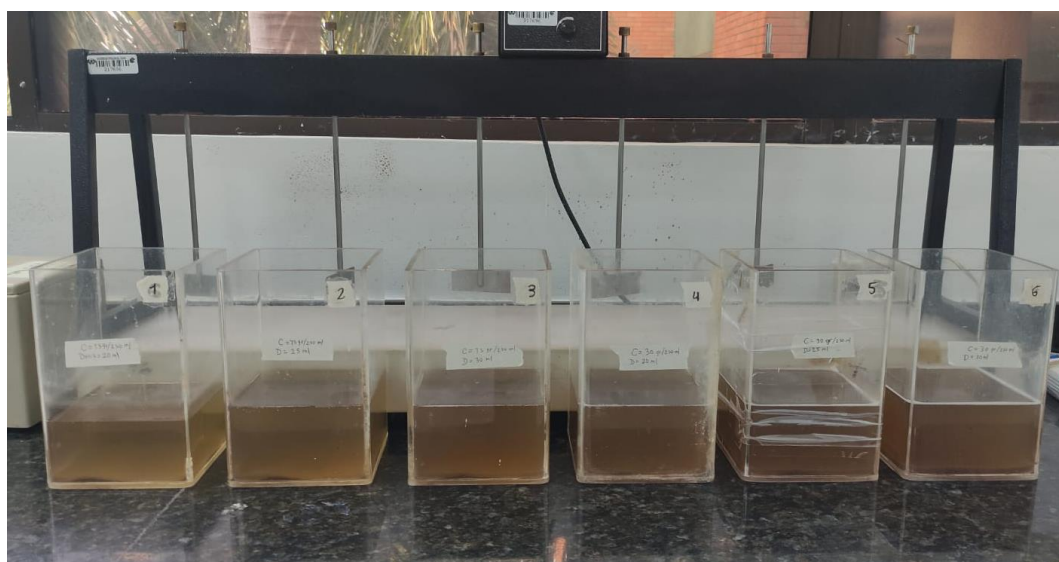
Los estudios realizados sobre la aplicación del cactus guajiro como coagulante han proporcionado resultados prometedores en cuanto a la remoción de turbidez y clarificación del agua. La capacidad del cactus guajiro para adsorber y aglomerar partículas lo posiciona como una opción viable y potencialmente sostenible en el tratamiento de agua, particularmente en áreas donde la disponibilidad de coagulantes como la moringa u otros no de abasto (Natalia Fuentes et al., 2016).

Sin embargo, se identificó un problema inicial al utilizar este coagulante natural, relacionado con su intensidad en términos de coloración. Durante las pruebas de jarras, al disolver el cactus guajiro en agua destilada para obtener la dosis óptima, se observó que el agua adquiriría una tonalidad más oscura en comparación con los otros coagulantes utilizados (Ver imagen 18). Para abordar esta cuestión, se redujo al mínimo la concentración de cactus guajiro (0,5%). Esto se realizó debido a que, al utilizar concentraciones equivalentes a las utilizadas con el coagulante de moringa, se obtuvieron valores de turbidez significativamente altos. En consecuencia, se considera que el cactus guajiro ocupa el segundo lugar en términos de

eficiencia dentro de la jerarquía de coagulantes naturales utilizados en el tratamiento de agua potable.

### Figura 18.

*Test de Jarras – Coagulante de Cactus Guajiro*



Nota: Tomada por los autores, 2023

#### 6.3.1.4. Policloruro De Aluminio.

La producción, transporte y dosificación del policloruro de aluminio en las plantas de tratamiento de agua requiere energía y recursos naturales. Esto puede tener un impacto ambiental significativo, especialmente si la producción de este coagulante se basa en fuentes no renovables o en procesos que generan emisiones de gases de efecto invernadero (Pérez Adelson, 2018).

El policloruro de aluminio es un coagulante inorgánico altamente eficiente en la remoción de turbidez, alcanzando una tasa alta del 98,13% en las pruebas de jarras. Sus características únicas lo han convertido en una opción ampliamente utilizada en el tratamiento de agua. De acuerdo al blog Corporativo Químico Global, una de las ventajas clave del policloruro de aluminio es su capacidad para formar flóculos densos y estables debido a su carga positiva alta como compuesto inorgánico. Esta característica facilita la neutralización de las partículas cargadas negativamente presentes en el agua, lo que resulta en la formación de flóculos más grandes y pesados. Estos flóculos sedimentan más fácilmente, permitiendo una remoción eficiente de turbidez y otras partículas suspendidas en el agua tratada.

Además de su eficiencia coagulante, el policloruro de aluminio exhibe propiedades de floculación, lo que significa que puede promover la agregación de partículas finamente dispersas en flóculos más grandes. Esta capacidad mejora aún más su eficiencia en la remoción de turbidez y otras impurezas, lo que garantiza un tratamiento de agua confiable y consistente. Estos flóculos formados por el policloruro de aluminio son altamente estables y no se descomponen fácilmente, lo que contribuye a mantener la calidad del agua tratada a lo largo del tiempo (Ivanna Sierra y Viviana Guatame, 2016).

No obstante, el uso del policloruro de aluminio como coagulante ha sido objeto de debate y controversia debido a las preocupaciones sobre sus posibles efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente. Una de las principales desventajas asociadas con este coagulante inorgánico es la liberación de iones de aluminio en el agua tratada.

El aluminio es un metal que se encuentra naturalmente en la corteza terrestre y es uno de los elementos más abundantes en la Tierra. En pequeñas cantidades, los iones de aluminio no son tóxicos y generalmente no presentan un riesgo para la salud. De hecho, muchas personas consumen pequeñas cantidades de aluminio a través de su dieta sin efectos negativos (Rosabel Torrellas, 2013). Sin embargo, el uso del policloruro de aluminio en el tratamiento de agua puede conducir a una mayor concentración de iones de aluminio en el agua tratada. Si esta concentración es significativamente mayor que los niveles naturales, podría plantear preocupaciones para la salud, especialmente si el agua tratada se consume a largo plazo. Algunos estudios han sugerido que la exposición prolongada a altos niveles de aluminio en el agua potable podría estar asociada con ciertos problemas de salud, como enfermedades neurológicas y renales (Rodolfo Trejo y Virginia Hernández, 2015).

Según lo indicado por Carbotecnia sobre el Aluminio, cuando el agua tratada que contiene iones de aluminio se vierte en cuerpos de agua receptores, puede alterar la química del agua y afectar la vida acuática. En algunos casos, el aluminio puede contribuir a la eutrofización de cuerpos de agua, lo que provoca un crecimiento excesivo de algas y la reducción del oxígeno disponible para los organismos acuáticos.

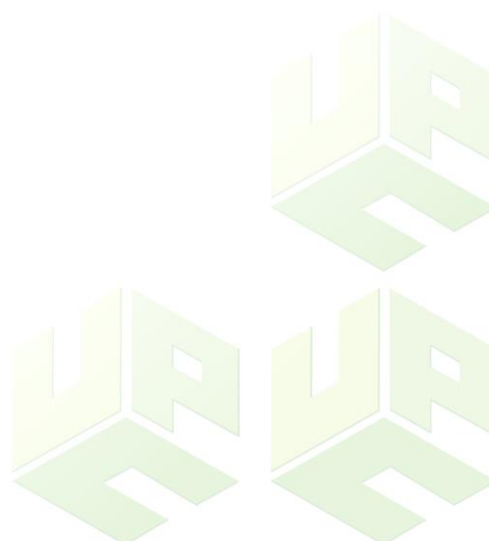
Es importante destacar que los efectos adversos del policloruro de aluminio pueden depender de factores como la concentración de aluminio en el agua tratada, el tiempo de exposición y las condiciones específicas del medio ambiente. Las regulaciones y pautas sobre la concentración de aluminio en el agua potable varían según el país y la agencia de salud.

Además, durante el proceso de coagulación-floculación con policloruro de aluminio, pueden formarse subproductos de desinfección como trihalometanos (THM) y ácidos haloacéticos (AHA). Estos subproductos son considerados contaminantes emergentes y potencialmente tóxicos para la salud humana y su presencia en el agua potable está regulada y es motivo de preocupación, especialmente en sistemas de abastecimiento que utilizan agua tratada con cloro como desinfectante (Mildred Lemus, 2017).

Asimismo, en correspondencia con el trabajo de Rebeca Poveda “Obtención de coagulantes / floculantes orgánicos a partir de extractos naturales y evaluación de su potencial como coadyuvante en el proceso de tratamiento de agua”, durante el proceso de coagulación-floculación con policloruro de aluminio, se pueden generar lodos de aluminio que deben ser tratados y eliminados adecuadamente. La disposición de estos lodos puede ser costosa y requerir medidas adicionales para evitar impactos ambientales.

Además, la producción, transporte y dosificación del policloruro de aluminio en las plantas de tratamiento de agua requieren energía y recursos naturales, lo que puede tener un impacto ambiental significativo, especialmente si la producción de este coagulante se basa en fuentes no renovables o en procesos que generan emisiones de gases de efecto invernadero. Por tanto, el uso del policloruro de aluminio como coagulante debe ser cuidadosamente evaluado y regulado para minimizar sus posibles impactos negativos en la salud humana y el medio ambiente (Pérez Adelson, 2018).

A continuación, se presenta un cuadro comparativo entre los coagulantes evaluados en este proyecto de investigación:



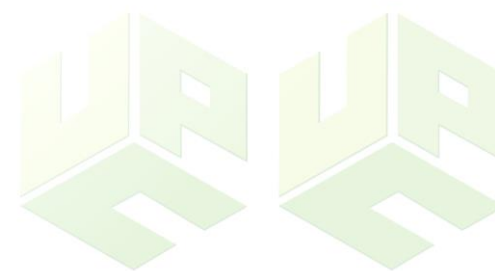
**Tabla 11.**

*Cuadro comparativo de los coagulantes orgánicos e inorgánico*

COAGULANTE	EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIDEZ	MECANISMO DE ACCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Moringa con grasa	84,60%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proteínas catiónicas adsorben partículas cargadas negativamente, promoviendo aglomeración y formación de flóculos.</li> <li>• Interacciones electrostáticas entre proteínas y partículas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Opción natural y renovable.</li> <li>• Alternativa viable por su porcentaje de eficiencia en la remoción de turbidez.</li> <li>• Reduce dependencia de coagulantes químicos, lo que disminuye la generación de subproductos químicos y sus potenciales impactos ambientales.</li> <li>• Contribuye a la clarificación del agua.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiencia ligeramente menor que los otros coagulantes estudiados.</li> </ul>
Moringa sin grasa	93,30%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interacciones electrostáticas entre proteínas y partículas.</li> <li>• Importante: Eliminación de grasa para la obtención de un coagulante más concentrado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor eficiencia en remoción de turbidez.</li> <li>• Coagulante más concentrado y estable.</li> <li>• Reduce liberación de impurezas en agua: Al eliminar la grasa de las semillas de moringa utilizadas como coagulante, se evita la posible liberación de ácidos grasos y otras impurezas en el agua tratada.</li> <li>• Disminuye dependencia de coagulantes químicos.</li> <li>• Segura y confiable para el tratamiento de aguas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necesidad de un pretratamiento para eliminar la grasa: el desengrasado requiere un proceso adicional, lo que requiere tiempo y recursos adicionales en comparación con otras opciones de coagulantes.</li> </ul>

COAGULANTE	EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIDEZ	MECANISMO DE ACCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Cactus Guajiro	87,12%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Polisacáridos y mucílagos adsorben y neutralizan partículas en el agua.</li> <li>• Polisacáridos favorecen formación de flóculos más grandes y pesados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Propiedad coagulante efectiva.</li> <li>• Potencialmente sostenible en áreas con recursos limitados.</li> <li>• Coagulante natural y sostenible.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intensidad de cloración del agua tratada puede ser problema.</li> <li>• Concentración óptima puede requerir ajustes previos.</li> </ul>
Policloruro de aluminio	98,13%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formación de flóculos densos y estables debido a su carga positiva.</li> <li>• Propiedades de floculación para mejorar remoción de impurezas finas.</li> <li>• Formación de flóculos sedimentables.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muy Alta eficiencia en la remoción de turbidez.</li> <li>• Formación de flóculos densos y estables.</li> <li>• Los flóculos formados por el policloruro de aluminio son altamente estables y no se descomponen fácilmente.</li> <li>• Estudiado y comprobado como coagulante efectivo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posibles efectos adversos en la salud humana.</li> <li>• Generación y disposición de lodos de aluminio</li> <li>• El vertido de agua tratada que contiene iones de aluminio en cuerpos de agua receptores puede alterar la química del agua y afectar la vida acuática.</li> <li>• Generación de subproductos de desinfección: considerados contaminantes emergentes y potencialmente tóxicos para la salud humana.</li> </ul>

Nota: Elaborado por autores, 20



### 6.3.1.5. Análisis De Viabilidad Económica.

El presente análisis tiene como objetivo evaluar la eficiencia económica de cada coagulante en términos de costo de los materiales, teniendo en cuenta aquellos que implican un desembolso económico y aquellos que se obtienen de manera gratuita. Además, se examinará cómo estos coagulantes se comparan entre sí en cuanto a su rendimiento económico, así como su potencial impacto ambiental. Para ello, se analizarán tanto los costos directos como los posibles beneficios asociados con la utilización de cada coagulante.

Es importante tener en cuenta que este análisis se enfocará principalmente en los aspectos económicos relacionados con los coagulantes, y se basará en la información proporcionada en el cuadro. Se espera que los resultados obtenidos puedan ofrecer una visión clara y fundamentada sobre cuál coagulante puede representar la opción más viable desde el punto de vista económico y ambiental en el tratamiento de agua.

**Tabla 12.**

*Costos de los materiales usados por la elaboración de los coagulantes*

Coagulante	Materiales	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Moringa con grasa	Polvo de <i>Moringa Oleífera</i>	45 gr	-	-
	Agua destilada	750 ml	Bolsa (500 ml) \$5000	\$5000
Moringa sin grasa	Polvo de <i>Moringa Oleífera</i>	60 gr	-	-
	Agua destilada	750 ml	Bolsa (500 ml) \$5000	\$7500
	Etanol	200 ml	\$12000 por litro	\$2400
	Filtros de fibras de vidrio (Para el desengrasado)	11	\$3000 C/U	\$33000
Cactus Guajiro	Polvo de cactus <i>Lemaire-Oreus Griseus</i>	56,25 gr	-	-

	Agua destilada	1250 ml	Bolsa (500 ml) \$5000	\$12500
Policloruro de aluminio	Policloruro de aluminio solido (polvo)	3 gr	1 kg sólido \$10,000	\$30
	Agua destilada	200 ml	Bolsa (500 ml) \$5000	\$2000
				TOTAL= \$62430

Nota: Algunos materiales, como el Polvo de *Moringa Oleífera* y el Polvo de cactus *Lemaire-Oreus Griseus*, fueron obtenidos directamente de fuentes naturales, por lo que no se refleja un costo monetario asociado a ellos. Elaborado por los autores, 2023.

### 6.3.1.6. Coagulante De Moringa Oleífera Sin Grasa Vs El Coagulante De Policloruro De Aluminio

La *Moringa Oleífera* es una planta ampliamente disponible en diversas áreas geográficas, lo que la convierte en una opción atractiva para el tratamiento de agua potable. Sin embargo, la obtención del coagulante a partir de esta planta requiere el uso de etanol para extraer la grasa del polvo de moringa, y para ello, se utiliza papel filtro, con un costo aproximado de \$1500 pesos colombianos por unidad. Por ejemplo, para obtener 50 gramos de polvo de moringa desengrasado, se necesitan 200 ml de etanol. Es importante destacar que el etanol tiene un costo significativo, oscilando entre \$8000 a \$12000 por litro, lo que equivale a aproximadamente \$2400 por los 200 ml requeridos.

Posteriormente, se mezclan los 50 gr de polvo desengrasado con 833 ml de agua destilada, utilizando una dosis óptima de 20 ml, lo que permite remover en total la turbiedad de aproximadamente 41.65 litros de agua. En contraste, el policloruro de aluminio es un coagulante químico que presenta una opción más económica. Por ejemplo, 1000 gramos de policloruro de aluminio sólido tienen un costo de \$10,000 pesos, y solo se requieren 3 ml (dosis óptima) de esta sustancia, con una concentración del 1.5%, para eliminar la turbiedad de aproximadamente 33.33 litros de agua. Cabe recordar que el polvo de policloruro de aluminio se mezcla con agua destilada para preparar el coagulante químico. Para alcanzar el mismo resultado en 41.65 litros de agua, se necesitarían aproximadamente 125 ml de coagulante químico, equivalentes a unos 1.87 gramos de policloruro de aluminio, con un costo de \$18.7 pesos.

Considerando únicamente lo previamente expuesto, el análisis arroja una conclusión clara: desde un punto de vista puramente económico, la utilización del coagulante químico conocido como policloruro de aluminio resulta más rentable en comparación con la alternativa derivada de la moringa. No obstante, es imperativo abordar las implicaciones ambientales que esto conlleva. Se ha señalado repetidamente que el coagulante químico podría generar efectos adversos en el entorno. En particular, el policloruro de aluminio podría liberar iones de aluminio en el agua tratada, lo cual podría alterar la química del agua y tener un impacto negativo en la vida acuática. Adicionalmente, durante el proceso de coagulación-floculación con policloruro de aluminio, podrían formarse subproductos de desinfección que resultan tóxicos para la salud humana, tal como indicó Rosabel Torrellas en 2013.

En cuanto al postratamiento de coagulación-floculación, es esencial resaltar un aspecto significativo: la generación de considerables volúmenes de lodos. Desde una perspectiva económica, la gestión y eliminación de estos lodos generan costos adicionales para las instalaciones de tratamiento de agua. La recolección, transporte y disposición apropiada de los lodos entrañan gastos considerables en términos de infraestructura, logística y mano de obra. Por otro lado, desde un punto de vista ambiental, la gestión de los lodos presenta desafíos en relación con su eliminación y su potencial impacto en el entorno circundante. Una eliminación incorrecta de los lodos podría dar origen a la contaminación del suelo y del agua circundante.

En contraparte, el uso de moringa como coagulante plantea una opción natural y sostenible. No obstante, es necesario tener en cuenta que su proceso de obtención involucra costos adicionales, como el empleo de etanol y papel filtro. Cabe destacar que el etanol juega un papel fundamental en la eficacia del coagulante derivado de la Moringa, al asegurar un sólido índice de eliminación. No obstante, este factor contribuye a un aumento en los costos, en contraste con la adquisición del policloruro de aluminio. Sin embargo, existe una alternativa viable para abordar esta cuestión.

El etanol, aunque efectivo, incide en los gastos debido a su mayor costo. En comparación, la opción de adquirir el policloruro de aluminio puede resultar más económica. No obstante, hay un enfoque práctico para lidiar con esta situación. De acuerdo a Jessica Gutiérrez y Angelica Zea en su investigación “*Moringa Oleífera* como coagulante para la disminución de la turbidez en la planta de tratamiento de agua potable Tundayme-Cantón El

Pangui, provincia de Zamora Chinchipe”, la separación de los componentes grasos del alcohol puede lograrse mediante un instrumento denominado rotavapor, también reconocido como evaporador rotativo. Esta sofisticada herramienta permite la evaporación del solvente, en este caso, el policloruro de aluminio, separándolo de la solución y dejando como resultado el aceite esencial de la Moringa Oleífera.

La reutilización del policloruro de aluminio es una estrategia que no solo contribuye a la reducción del consumo de este solvente, sino que además evita su acumulación en el entorno, donde podría generar consecuencias negativas para el medio ambiente. En resumen, esta práctica no solo permite optimizar los recursos, sino que también demuestra una postura proactiva en la preservación del ecosistema.

#### **6.3.1.7. Coagulante De Moringa Oleífera Con Grasa Vs El Coagulante De Policloruro De Aluminio.**

La elaboración del coagulante de Moringa con grasa presenta notables ventajas en términos de simplicidad y costos, ya que únicamente se requiere agua destilada para su preparación. Con una dosis óptima de 20 ml de este coagulante, el cual contiene una concentración del 6% (equivalente a 15 gramos de polvo de Moringa en 250 ml de agua destilada), se logra remover la turbiedad de aproximadamente 12,5 litros de agua. Esta concentración demostró alcanzar una remoción del 84,60%, considerando que los 250 ml de agua destilada tienen un costo de \$2500, el coagulante de Moringa con grasa se presenta como una opción altamente accesible en comparación con el coagulante de Moringa sin grasa.

Para hacer una comparación, si deseáramos remover la turbiedad de la misma cantidad de agua que elimina el coagulante de Moringa, utilizando el coagulante de policloruro de aluminio con una concentración del 1.5% y una dosis óptima de 3 ml, solo se necesitarían 0,56 gramos de policloruro de aluminio sólido y una menor cantidad de agua destilada debido a su menor dosis. Sin embargo, es crucial considerar las implicaciones ambientales negativas asociadas al policloruro de aluminio. Además de las desventajas mencionadas anteriormente, su uso excesivo puede provocar la acumulación de aluminio y otros productos químicos en el suelo y las aguas subterráneas, afectando negativamente la calidad del agua destinada para consumo humano y agricultura.

Por otro lado, el coagulante de Moringa con grasa, al ser de origen natural y sostenible, no presenta estos inconvenientes ambientales y ofrece una alternativa valiosa para el tratamiento de agua más que todo en comunidades sin infraestructuras de tratamiento convencionales. Aunque su eficiencia de remoción de turbiedad es ligeramente menor en comparación con la moringa sin grasa, sigue siendo una opción altamente efectiva y más económica que el policloruro de aluminio.

### **6.3.1.8. Coagulante Del Cactus Guajiro Vs El Coagulante De Policloruro De Aluminio.**

En el proceso de elaboración del coagulante de Cactus Guajiro, se utilizó una dosis de 30 ml con una concentración del 0.5%, lo que equivale a 250 ml de agua destilada con un costo de \$2500. Esta cantidad de coagulante resultó eficiente para remover la turbiedad de 1 litro de agua. Haciendo una comparación, esos 250 ml de coagulante permiten limpiar aproximadamente 8.33 litros de agua.

De forma paralela, si se deseara limpiar la misma cantidad de agua utilizando el coagulante de policloruro de aluminio, solo se necesitarían 0.37 gramos de policloruro, lo que representa un costo de \$3.7. Desde una perspectiva económica, el coagulante de policloruro de aluminio parece ser más accesible debido a su menor costo en comparación con el coagulante de Cactus Guajiro. Sin embargo, es esencial sopesar los costos a corto plazo con los beneficios a largo plazo en términos de sostenibilidad ambiental. Aunque el coagulante de Cactus Guajiro podría requerir una inversión inicial como todo coagulante, sus ventajas ambientales pueden contribuir a una gestión más responsable de los recursos hídricos y a la preservación del medio ambiente.

En contraste, el coagulante de Cactus Guajiro ofrece una alternativa más amigable con el medio ambiente al no generar los inconvenientes que viene generando los lodos que quedan del policloruro de aluminio. Aunque su eficiencia de remoción de turbiedad puede ser ligeramente menor en comparación con el policloruro de aluminio, sigue siendo una opción efectiva para mejorar la calidad del agua. Al utilizar el coagulante de Cactus Guajiro, las comunidades pueden reducir su impacto ambiental y contribuir a la protección de los ecosistemas acuáticos locales.

### 6.3.2. Comparación De Los Parámetros Del Agua Tratada Con Diferentes Coagulantes Y Su Porcentaje De Remoción En Conformidad Con La Normativa Ambiental Vigente

En esta actividad, se realizaron estudios detallados de los resultados obtenidos con cada coagulante, comparándolos con los límites establecidos por las regulaciones ambientales vigentes. De esta forma, se pudo determinar la capacidad de cada coagulante para satisfacer los estándares requeridos y garantizar la calidad y seguridad del recurso hídrico tratado. Los resultados de manera concluyente revelan que el coagulante orgánico (el foco principal de este proyecto) demuestra un desempeño óptimo y se posiciona como el más adecuado para cumplir con los criterios establecidos en la normativa ambiental actual.

**Tabla 13.**

*Parámetros de cada coagulante y los valores máximos permisibles por la normatividad vigente en Colombia*

Parámetros	Coagulantes orgánicos			Coagulante Inorgánico	Normatividad	
	De Moringa con grasa	De Moringa sin grasa	De Cactus Guajiro	Policloruro de aluminio	Decreto 1594 del 1984 y el Decreto 3930 de 2010	Resolución 2115 de 2007.
Turbidez (NTU)	4,96	3,18	6,65	1,54	10	2
pH	7,04	7,18	7,75	6,98	6,5-8,5	6,5-9
Conductividad	101	100	106	106,33	-	1000
Alcalinidad (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	122	94,33	102,67	64	-	50-200
SST (Mg/l)	17,5	35,5	20,5	11,5	-	150
SSV (Mg/l)	10,5	20,83	12	6,5	-	50

%Remoción	84,60%	93,30%	87,12%	98,13%		
-----------	--------	--------	--------	--------	--	--

*Nota:* Decreto 1594 del 1984, derogado, salvo los artículos 20 y 21, por el artículo 79 del Decreto 3930 de 2010. Elaborado por los autores, 2023

### 6.3.2.1. Turbidez.

- La turbidez del coagulante de Moringa con grasa es de 4,96 NTU, lo cual supera el límite establecido en Resolución 2115 de 2007 para la calidad del agua potable. Sin embargo, según el Decreto 1594 de 1984, está por debajo del valor máximo permisible, lo que significa que cumple con los criterios establecidos.
- El coagulante de Moringa sin grasa presenta una turbidez de 3,18 NTU, lo cual está cerca del límite establecido en el Decreto 1594 de 1984 y la Resolución 2115 de 2007, pero todavía dentro del rango aceptable.
- El coagulante de Cactus Guajiro tiene una turbidez de 6,65 NTU, superando el límite permitido en Resolución 2115 de 2007, lo que sugiere que este coagulante puede no ser adecuado para alcanzar los estándares de calidad requeridos para agua potable. Pero si cumple con lo establecido en el Decreto 1594 de 1984.
- El coagulante inorgánico Policloruro de aluminio muestra la turbidez más baja, con solo 1,54 NTU, lo que demuestra una mayor eficiencia en la clarificación del agua y una conformidad clara con la normatividad.

### 6.3.2.2. pH.

La proximidad de los valores de pH de todos los coagulantes al rango neutro, que es 7 en la escala de pH, es un indicador alentador. Esto sugiere que el proceso de coagulación no tiene un impacto significativo en la acidez o alcalinidad del agua tratada, lo cual es fundamental para garantizar la estabilidad química del proceso. Además, este pH cercano a la neutralidad es beneficioso desde una perspectiva de calidad del agua, ya que la mayoría de las personas prefieren agua con un sabor y una calidad organoléptica dentro de este rango.

También es relevante en términos de cumplimiento de regulaciones, ya que muchos estándares de tratamiento de agua potable establecen límites en los cambios de pH permitidos durante el proceso. En conjunto, estos hallazgos indican que los coagulantes utilizados son adecuados y contribuyen positivamente a la eficacia y seguridad del tratamiento de agua

potable, asegurando que el agua suministrada a la población sea de alta calidad y cumpla con las normativas establecidas.

### **6.3.2.3. Conductividad.**

De acuerdo a la Resolución 2115 de 2007, cada valor de conductividad del agua que fue tratada por los coagulantes orgánicos e inorgánicos se encuentran por debajo del valor máximo permisible, lo que quiere decir que el proceso de coagulación ha sido efectivo y ha logrado reducir la cantidad de sales y minerales disueltos en el agua.

Esta característica es de suma importancia, de acuerdo al Folleto Informativo “conductividad eléctrica/salinidad”, una alta conductividad en el agua puede indicar la presencia de contaminantes disueltos, como sales de metales pesados o nutrientes en exceso, lo que podría afectar la calidad y la potabilidad del agua. Al mantener la conductividad por debajo del límite permitido, se garantiza que el agua tratada es segura para el consumo humano y cumple con los estándares de calidad establecidos.

### **6.3.2.4. Alcalinidad.**

Todos los coagulantes cumplen con el rango de alcalinidad establecido en la normativa, lo que indica que no existe un problema en cuanto a la capacidad del agua para neutralizar ácidos. Esto es positivo, ya que asegura que el agua tratada no será corrosiva y no causará problemas en las tuberías ni en los sistemas de distribución (Juan Charapaqui, 2019). Pero Si revisamos la tabla 4, se observa que la alcalinidad del agua aumenta después de tratarla con diferentes coagulantes. Hay algunas razones probables por las que esto podría estar ocurriendo:

**Formación de Hidróxidos Metálicos:** Algunos de los coagulantes como el policloruro de aluminio, contienen iones metálicos como el aluminio. Durante el proceso de coagulación, estos iones metálicos interactúan con las partículas suspendidas y disueltas en el agua, formando floculantes que se agregan y eliminan a través del proceso de sedimentación. Esta interacción puede llevar a la formación de hidróxidos metálicos, que son compuestos alcalinos y contribuir al aumento de la alcalinidad del agua tratada.

**Productos de Reacción:** Los coagulantes pueden reaccionar con otros componentes del agua, como iones de carbonato y bicarbonato, presentes debido a la dureza del agua. Estas

reacciones pueden resultar en la liberación de iones hidróxido (OH<sup>-</sup>) en el agua, lo que incrementa su alcalinidad.

**Impurezas en los Coagulantes:** Algunos coagulantes naturales, como la Moringa Oleífera, pueden contener compuestos orgánicos y minerales que, cuando se mezclan con el agua, pueden contribuir a un aumento en la alcalinidad (Ernesto Acevedo, 2019).

**Buffer en el Agua:** De acuerdo con Zoila Torres, el agua puede tener sistemas de amortiguación (buffers) que resisten cambios drásticos en el pH. Al agregar coagulantes y cambiar las condiciones en el agua, se pueden liberar especies químicas que estaban siendo amortiguadas, lo que lleva a cambios en la alcalinidad.

#### 6.3.2.5. SST y SSV.

Todos los coagulantes exhiben valores de SST y SSV bajos, lo que indica una eficiencia notable en la remoción de partículas en suspensión y materia orgánica, de acuerdo con los criterios establecidos en la Resolución 2115 de 2007. Aunque no es posible realizar comparaciones directas con el Decreto 1594 de 1984 debido a la ausencia de límites específicos, los resultados sugieren de manera contundente que tanto los coagulantes orgánicos como el coagulante inorgánico son altamente efectivos en la reducción de los sólidos suspendidos en el agua.

Esta eficacia en la eliminación de partículas y materia orgánica es esencial para el tratamiento adecuado del agua potable, ya que estos contaminantes pueden afectar negativamente la calidad del agua y potencialmente representar riesgos para la salud pública.

Ahora bien, es importante resaltar el alto porcentaje de remoción que muestran los coagulantes orgánicos en cuanto a sólidos suspendidos, lo que evidencia su destacada capacidad de clarificación del agua. Aunque no exista un estándar normativo específico para la comparación, es claro que estos coagulantes son altamente efectivos en la remoción de sólidos suspendidos.

Los resultados obtenidos con todos los coagulantes demuestran una eficiencia sobresaliente en la eliminación de sólidos suspendidos. Este logro implica que los coagulantes son capaces de aglutinar y separar las partículas presentes en el agua, mejorando significativamente su claridad y aspecto visual. La alta remoción de sólidos suspendidos

adquiere una especial relevancia en el tratamiento de agua potable, ya que contribuye a reducir sedimentos, materia orgánica y microorganismos, elementos que pueden impactar negativamente en la calidad y seguridad del agua.

En particular, de los tres coagulantes orgánicos, destaca el de Moringa sin grasa como el más prometedor en el tratamiento del agua. Su capacidad para cumplir con varios parámetros clave en la normativa, como el pH y la alcalinidad, lo convierte en una opción altamente viable y efectiva.

Tomando en cuenta las ventajas y desventajas de cada coagulante, así como su impacto ambiental y en la salud de la comunidad, además del costo económico necesario para su preparación, es evidente que existe un coagulante que destaca por su armonía en todos estos aspectos. Este coagulante es el de Moringa sin grasa por las siguientes razones:

**Eficiencia en la remoción de turbidez:** El coagulante de Moringa sin grasa ha demostrado una eficiencia notablemente alta en la remoción de turbidez, alcanzando una tasa del 93,30%. Esta eficacia supera a la de otros coagulantes naturales y es comparable con la del policloruro de aluminio, lo que garantiza una calidad de agua tratada satisfactoria.

**Sostenibilidad ambiental:** A diferencia del policloruro de aluminio, el coagulante de Moringa sin grasa es una opción natural y sostenible. La eliminación de la grasa de las semillas de moringa mejora su capacidad de coagulación y formación de flóculos estables. Además, al utilizar ingredientes naturales, se evita la liberación de ácidos grasos y otras impurezas en el agua tratada, contribuyendo a un tratamiento de agua más limpio y seguro para el consumo humano y el medio ambiente.

**Menor impacto económico a largo plazo:** Aunque el proceso de obtención del coagulante de Moringa sin grasa involucra costos adicionales por el uso de etanol, su eficacia y sus beneficios ambientales a largo plazo pueden superar esos costos. Al reducir la acumulación de contaminantes y minimizar los impactos ambientales, este enfoque puede resultar más económico en términos de gestión y eliminación de lodos.

El coagulante de Moringa sin grasa ofrece una solución efectiva para mejorar la calidad del agua en regiones donde el acceso a tratamientos convencionales es limitado. Su origen

natural y la capacidad de obtenerlo localmente pueden ser especialmente beneficiosos en áreas remotas o desfavorecidas.

**Menor riesgo de impactos adversos en la salud humana y el medio ambiente:** A diferencia del policloruro de aluminio, que plantea preocupaciones sobre la liberación de iones de aluminio y la generación de subproductos tóxicos, el coagulante de Moringa sin grasa presenta un perfil más seguro en términos de salud humana y protección del medio ambiente.



## 7. CONCLUSIONES

La meticulosa ejecución del proceso de muestreo, respaldada por el estricto seguimiento de directrices establecidas en el Manual de Instrucciones para Toma, Preservación y Transporte de Muestras de Agua de Consumo Humano para Análisis de laboratorio, garantizó la integridad de las muestras recolectadas. Este procedimiento aseguró que los resultados obtenidos sean consistentes y se ajusten a las regulaciones vigentes en cuanto a calidad de agua destinada al consumo humano.

Los resultados muestran que las condiciones climáticas, como la temperatura y la radiación solar en el momento del muestreo, pueden influir en los parámetros fisicoquímicos del agua. Específicamente, el pH se vio afectado por la radiación solar y la actividad biológica en el agua bajo condiciones soleadas. Esta observación recalca la necesidad de considerar las condiciones ambientales en el análisis de los datos y en la planificación de futuros muestreos.

Inicialmente, la presencia de valores altos de sólidos suspendidos totales y volátiles, así como de turbidez, sugiere una preocupante degradación de la calidad del agua en la zona de estudio. Estos valores exceden los límites permitidos para el consumo humano y señalan la posibilidad de efectos adversos en los ecosistemas acuáticos locales. Factores como la escorrentía agrícola, la actividad ladrillera y potencialmente la liberación de aguas residuales industriales pueden estar contribuyendo a la carga de partículas y materia orgánica en el agua, destacando la necesidad de abordar múltiples fuentes de contaminación. La elevada concentración de sólidos suspendidos puede agotar los niveles de oxígeno en el agua y promover el crecimiento excesivo de algas, lo que amenaza la sostenibilidad de los cuerpos de agua y la vida acuática.

La etapa de extracción de coagulantes naturales *Moringa Oleífera* y *Lemnaire-Oreus Griseus* resultó exitosa. Se logró obtener componentes activos con propiedades coagulantes a partir de las partes coagulantes de cada planta. La ejecución del proceso garantizó la disponibilidad de coagulantes efectivos y sostenibles para la purificación del agua potable.

La caracterización detallada de los coagulantes extraídos, incluyendo textura, color, pH, densidad y porcentaje de humedad, proporcionó una comprensión profunda de sus propiedades físicas y químicas. Esta información es esencial para determinar su idoneidad en el tratamiento del agua potable y sentó las bases para la siguiente fase de evaluación de su eficacia.

La variación en el color de los coagulantes naturales, como el coagulante de Moringa con grasa y el de Cactus Guajiro, influye en su aplicabilidad en diferentes sistemas de purificación de agua. Un color más atractivo, como el blanco amarillento en el caso del Moringa con grasa, podría ser preferible en ciertos contextos para evitar la percepción de impurezas. Sin embargo, el color intenso del coagulante de Cactus Guajiro puede afectar la visibilidad durante el proceso de coagulación, lo que sugiere su uso en concentraciones cuidadosamente ajustadas.

La textura suave de los coagulantes de Moringa, tanto con grasa como sin grasa, resultó beneficiosa al facilitar la mezcla y disolución en el agua tratada. Esta característica permitió una distribución uniforme y una interacción efectiva con partículas no deseadas. En contraste, la textura dura y fibrosa del coagulante de Cactus Guajiro presentó desafíos en su manipulación y trituración, lo que debe considerarse al determinar su aplicabilidad.

Los resultados de las pruebas de jarras destacaron la importancia de la dosificación en la eficacia de los coagulantes naturales. Concentraciones más bajas, como el 6% en el caso del coagulante de Moringa sin grasa y el 0.5% en el de Cactus Guajiro, mostraron una mayor eficiencia en la remoción de turbidez. Esto se atribuye a una mejor dispersión y aglutinación de partículas en concentraciones menos saturadas, lo que destaca la necesidad de optimizar la dosificación para obtener resultados óptimos.

La evaluación de los coagulantes naturales se realizó en función de los estándares establecidos en la normatividad vigente para agua potable. Los resultados indican que el coagulante de Moringa sin grasa cumple con los límites aceptables de turbidez establecidos por el Decreto 1594 de 1984 y la Resolución 2115 de 2007. Además, el coagulante del Cactus Guajiro también satisface los criterios de la normativa, aunque se detectó una superación de la turbidez en la Resolución 2115 de 2007. Estos hallazgos resaltan la posibilidad de emplear coagulantes naturales sin comprometer la calidad del agua tratada y en concordancia con las regulaciones vigentes.

La comparación entre los coagulantes naturales y el coagulante inorgánico Policloruro de Aluminio reveló que las alternativas naturales presentan eficiencia similar en términos de remoción de turbidez. Estos resultados sugieren que los coagulantes naturales pueden servir como alternativas sostenibles y seguras en el tratamiento de agua potable. Además de su capacidad para cumplir con los criterios normativos, los coagulantes naturales, como el derivado de Moringa sin grasa y el del Cactus Guajiro, ofrecen ventajas ambientales al evitar la liberación de productos químicos y contribuir a la protección de los ecosistemas acuáticos. Para terminar, considerando tanto los beneficios como las limitaciones de cada coagulante, así como su influencia en el medio ambiente y en la salud de la población, además del gasto económico requerido para su producción, se vuelve claro que, de los coagulantes evaluados, el que se distingue por su equilibrio en todas estas dimensiones es el derivado de Moringa sin contenido grasa por las razones mencionadas en la parte final del inciso 6.3.2.5.



## 8. RECOMENDACIONES

Para evaluar la viabilidad del *Lemaire-Oreus Griseus* como coagulante natural, es recomendable llevar a cabo investigaciones adicionales con el objetivo de determinar las concentraciones óptimas que posibilitem una coagulación eficiente. Es importante destacar que no se deben utilizar concentraciones elevadas de este coagulante, ya que esto podría ocasionar que la solución adquiera una consistencia gelatinosa. Esta característica podría limitar su aplicación en el proceso de prueba de jarras para el tratamiento de agua. Además, la alta concentración podría distorsionar los resultados de la remoción de turbidez, ya que podría agregar pigmentación al agua, oscureciéndola.

Una estrategia valiosa para evaluar el cactus guajiro, sería el secado preliminar de la parte aprovechable del cactus al sol antes de someterlo al proceso de calentamiento en el horno y trituración. El secado solar permitirá reducir la humedad de la materia prima, lo que a su vez facilitará la trituración y reducirá el tiempo necesario en el horno. El proceso de secado al sol debería considerar factores climáticos y de higiene para garantizar la calidad y seguridad del material.

Por otro lado, antes de llevar a cabo las pruebas de jarras y el análisis de muestras de agua en el proyecto, resulta fundamental realizar pruebas preliminares. Estas pruebas preliminares desempeñan un papel esencial al permitirnos anticipar posibles desafíos que podrían surgir durante el transcurso de la investigación completa.

Para lograr una evaluación completa de la eficacia y eficiencia de los coagulantes naturales, sería beneficioso comparar sus resultados con los coagulantes inorgánicos que se usan comúnmente en el tratamiento de agua potable. Esta comparación proporcionaría una base sólida para evaluar cómo los coagulantes naturales se desempeñan en relación con los estándares convencionales y permitiría una comprensión más profunda de sus ventajas y limitaciones.

Si se tiene la intención de emplear coagulantes naturales en forma de polvo, resulta de suma importancia llevar a cabo un proceso de tamizado minucioso. Esta etapa adquiere carácter fundamental para garantizar la distribución homogénea del polvo en el agua, evitando la formación de grumos. La creación de conglomerados podría comprometer la eficacia de la

coagulación y tener un impacto desfavorable en el proceso de clarificación del agua. Por lo tanto, se sugiere tamizar los coagulantes en polvo con la mayor fineza posible antes de proceder a su utilización.

Si se harán análisis en los laboratorios de la Universidad Popular Del Cesar, es imperativo que te asegures de que todos los equipos y reactivos necesarios estén disponibles y en buenas condiciones antes de comenzar las pruebas. La falta de equipo o reactivos podría tener un impacto significativo en el flujo de trabajo y la calidad de los resultados. Por lo tanto, se recomienda llevar a cabo una verificación completa de todos los elementos necesarios para evitar demoras y problemas durante el proceso de análisis.

Por último, es esencial priorizar la seguridad y salud de los seres humanos al seleccionar y utilizar coagulantes naturales en el tratamiento de agua. Para garantizar esto, se recomienda llevar a cabo una evaluación exhaustiva de los posibles efectos negativos en la salud humana asociados con el coagulante natural seleccionado. Esto implica investigar y analizar cómo los componentes del coagulante podrían afectar la calidad del agua tratada y, por lo tanto, la seguridad de su consumo.



## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Arantes, C. C., Ribeiro, T. A., & Paterniani, J. E. (2012). Processamento de sementes de Moringa oleifera utilizando-se diferentes equipamentos para obtenção de solução coagulante. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16, 661-666.
- Aldana Rivera, E. A. (2012). *Uso del extracto de la semilla de moringa oleifera como coagulante natural primario y ayudante de coagulación en el tratamiento de agua para consumo humano. (Trabajo de grado de pregrado)*.  
[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI\\_48a7eccef7714ba54a75dc23b8d30890](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_48a7eccef7714ba54a75dc23b8d30890)
- Arreola & Canepa, (2013). *Moringa Oleífera* una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales. *Ingeniería*, vol. (17), N. (2), (mayo-agosto, 2013), pp. 93-101. <https://www.redalyc.org/pdf/467/46730913001.pdf>
- Castillo Vergara et al., (2018). *Efecto del coagulante-floculante obtenido del cactus de nopal en la turbidez, dbo5 y sólidos totales del efluente de la empresa Casa Grande SA. (Trabajo de grado de pregrado)*. Universidad Nacional de Trujillo.  
<https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2695989>
- Carrizales, R., & Enríquez, N. (2019). *Determinación de la dosis y concentración óptima del coagulante de Moringa Oleífera en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica* [tesis para optar el título profesional de ingeniero ambiental y sanitario]. Universidad Nacional De Huancavelica.
- Cogollo Flórez, J. M. (2009, 11 agosto). Vista de Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxiclورو de aluminio | dyna. unaL.  
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25636/39133>
- Darío Coronel (2018). *Análisis de la efectividad de la semilla de Moringa oleífera como coagulante para tratamiento de agua potable* (Trabajo de grado de pregrado). Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.

<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/18246/1985167.pdf?sequence=1&i>

Dos Santos, T. R. T., Vieira, M. F., & Bergamasco, R. (2013). Uso de coagulante natural moringa oleifera lam no processo combinado de coagulação/floculação/adsorção para minimização da formação de trihalometanos. Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, 9(11).

Duarte & Ramírez, (2015). <file:///C:/Users/jarjo/Downloads/Dialnet-RemocionDeNutrientesMedianteCoagulantesNaturalesYQ-5628793.pdf>

Ernesto Acevedo (2019). *Uso de semillas de moringa (Moringa Oleífera) como floculante natural para la purificación de aguas crudas de rio Negro, rio de oro y quebrada Florida Blanca, Santander* (Trabajo de grado de pregrado). Universidad de Santander. <https://repositorio.udes.edu.co/server/api/core/bitstreams/28870e00-6a20-4171-8e0d-8bd9f692718f/content>

Feria Diaz et al (2014). Eficiencia de la semilla Moringa Oleífera como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú. *Producción+ limpia*, 2014, vol. 9, no 1, p. 9-22. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-04552014000100001&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-04552014000100001&script=sci_arttext)

Ivanna Sierra & Viviana Guateme (2016). *Análisis comparativo del policloruro de aluminio (PAC) y sulfato de aluminio líquido (sal) para la optimización del proceso coagulación en la planta de tratamiento de agua potable Francisco Wiesner* (Trabajo de grado de pregrado). Universidad Distrito Francisco José de Caldas. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/3471/SierraMolinaIvannaDaniela;jsessionid=3F829276F9D9B3A36BC21CD5A481492F?sequence=1>

Juan Charapaqui (2019). *Dosificación de los coagulantes y floculantes para para la remoción de sedimentos del agua en el embalse Cuchoquesera, Ayacucho* (Trabajo de grado de maestría). Universidad de Nacional Agraria La Molina. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4158/charapaqui-ancasi-juan.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Lo Monaco, P. A., Matos, A. T., Pereira, M. D. S., Eustáquio Júnior, V., Batista, A. P. D. S., & Baker, S. A. (2013). Efeito da adição de diferentes substâncias químicas no extrato de sementes de moringa utilizado como coagulante no tratamento de esgoto sanitário. *Engenharia Agrícola*, 33, 1038-1048.

María Victoria et al., (2011) *La caliza en Colombia, Geología Recursos, Calidad y Potencial* (Edición N 31). Imprenta Nacional de Colombia. <https://www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Cientificas/NoSeriadas/Documents/Caliza-en-Colombia-geologia.PDF>

M. Djouina, et al; (2016). Toxicological consequences of experimental exposure to aluminum in human intestinal epithelial cells”, *Food and Chemical Toxicology*, vol. 91, pp. 108, 116.

Megy Silva (2017). *Extracción del mucílago de la penca de tuna y su aplicación en el proceso de coagulación-floculación de aguas turbias* (Trabajo de grado de pregrado). Universidad Mayor de San Marcos. <https://core.ac.uk/download/pdf/323351458.pdf>

Mendoza, E. D. (2011, 25 mayo). *EL PROCESO DE DESARENADO*. slideshare. <https://es.slideshare.net/EmilyDanielaMendozaCarlos/el-proceso-de-desarenado>

Melissa Jaramillo & Julio Hernández, (2015). *Estudio de factibilidad para la creación de una planta pasteurizadora de leche en el corregimiento de Palermo, Magdalena* (Trabajo de grado de pregrado). Universidad de La Salle. <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1002&context=zootecnia>

M Félez Santafé (2009) Mario Averardo (2009). *El ladrillo*. <https://arquitectologicofau.files.wordpress.com/2012/02/el-ladrillo-2009.pdf>

Mildred Lemus (2017). *Reacción del cloro con sustancias exopoliméricas provenientes de biopelículas de agua potable: Subproductos de desinfección, características y toxicidad* (Trabajo de grado de pregrado). Universidad de los Andes. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/7738/u754144.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Murillo et al; (2020).

file:///C:/Users/Margarita/Downloads/MANUALCOAGULANTESFLOCULANTES  
AGOSTO2020.pdf

Natalia Fuentes et al., (2016). Estudio de la aplicación de coagulantes para la clarificación de las aguas como sustituto del sulfato de aluminio. *Ciencia e ingeniería*. Vol. (3) Núm. 2, ISSN 2389-9484 (julio-diciembre)<http://revistas.uniguajira.edu.co/rev/index.php/cei/article/view/57/52>

LEGUA (2021).

N. Fuentes Molina, E.J. Molina Rodríguez, C. P. Ariza, (2016). Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del  $Al_2(SO_4)_3$  para clarificación de aguas. *Producción + Limpia*, vol. 11, no. 2, pp 41-54.

Rebeca Poveda (2022). *Obtención de coagulantes/floculantes orgánicos a partir de extractos naturales y evaluación de su potencial como coagulante en el proceso de tratamiento de agua* (Trabajo de grado de pregrado). Universidad técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/34289/1/t1941mquim.pdf>

Rodolfo Trejo & Virginia Hernández (2015). Riesgos a la salud por presencia de aluminio en el agua potable. *Redalyc Sistema de información científica*. <https://www.redalyc.org/pdf/944/94402508.pdf>

Rosabel Torrellas (2013). *La exposición de aluminio y su relación con el ambiente y la salud*. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tecges/article/view/5646/7188>

Sánchez et al; (2013). [https://www.researchgate.net/profile/Jesus-Vazquez-Rodriguez/publication/277019696\\_Moringa\\_Oleifera\\_Importancia\\_Funcionalidad\\_y\\_Estudios\\_Involucrados\\_Sanchez-Pena\\_YA\\_Martinez-Avila\\_GCG\\_Sinagawa-Garcia\\_SR\\_VazquezRodriguez\\_JA\\_AQM\\_Acta\\_Quimica\\_Mexicana\\_Vol5\\_Pag25-](https://www.researchgate.net/profile/Jesus-Vazquez-Rodriguez/publication/277019696_Moringa_Oleifera_Importancia_Funcionalidad_y_Estudios_Involucrados_Sanchez-Pena_YA_Martinez-Avila_GCG_Sinagawa-Garcia_SR_VazquezRodriguez_JA_AQM_Acta_Quimica_Mexicana_Vol5_Pag25-)

V. Rondeau, et al; (2009). 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.

Zeas, (2018). <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/33224/1/401-1329%20-%20uso%20de%20la%20moringa%20como%20coagulante-floculante.pdf>

### 9.1. WEBGRAFIA

Block higieneambiental (2019). Disponible en: <https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/color-del-agua-parametro-indicador-de-calidad>

Boletin HANNA instrument (2019). Disponible en: <https://hannainst.com.mx/boletines/ques-es-la-turbidez/>

Carbotecnia (2023). *Aluminio*. <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/quimica-del-agua/el-aluminio-en-el-agua-y-sus-efectos-en-la-salud/>

Orenda Technologies (2022). *La alcalinidad total y el pH en la química del agua*. <https://blog.orendatech.com/es/alcalinidad-total-y-el-ph-en-la-qu%C3%ADmica-del-agua>

P. (2017, 19 diciembre). *Como medir el ph del agua. Métodos y empleo*. GUÍA DE PURIFICADORES DE AGUA. <http://www.guiapurificadoresdeagua.com/como-medir-el-ph-del-agua/#:%7E:text=Para%20medir%20el%20ph%20del,reactivo%20y%20el%20liquid-o%20reactivo>

Servyeco. Disponible en: <https://www.servyeco.com/coagulantes-naturales.html>

Carlos A. Lasso et al., (2017). Publicado por la revista Environmental Science & Technology (2017) "Agua Turbia en el Río Magdalena: Causas y Consecuencias"


Kelly, CA y Muir, DCG (2006). El papel de la fotosíntesis, la respiración y la descomposición de la materia orgánica en la acidificación de las aguas dulces. *Ciencias acuáticas*, 68(4), 397-413. doi:10.1007/s00027-006-0904-3

## ANEXOS

### ANEXO 1. Proceso para la obtención del coagulante de *Moringa Oleífera*

No	PROCESO	IMAGEN	No	PROCESO	IMAGEN
1	Extracción de la semilla contenido en la capsula		4	Triturado	
2	Descascaramiento de la semilla		5	Tamizaje	
3	Secado		6	Desengrasado	

**ANEXO 2.** Proceso para la obtención del coagulante de *Lemnaire-Oreus Griseus*

No	PROCESO	IMAGEN	No	PROCESO	IMAGEN
1	Obtención del Cardón Guajiro		4	Sacado del horno	
2	Sacando la parte aprovechable		5	Triturado	
3	Secado a luz solar		6	Tamizaje	



**ANEXO 3. Soluciones madre de los coagulantes naturales**



**ANEXO 4. Muestras de agua sin tratamiento**



**ANEXO 5. Aplicación de la Moringa con grasa al test de jarras**



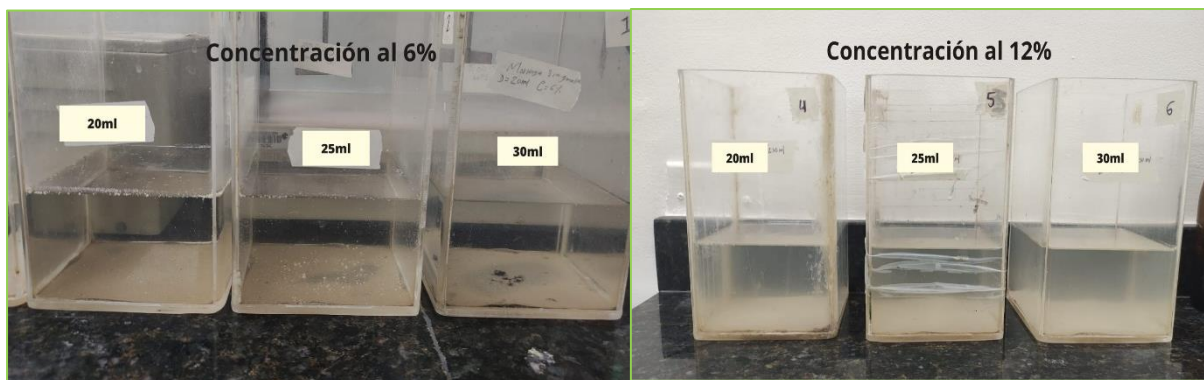
### ANEXO 6. Moringa con grasa después del test de jarra



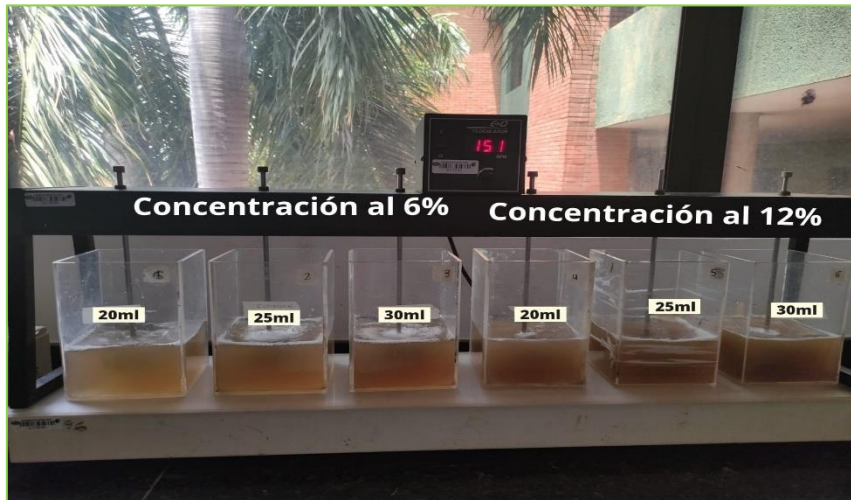
### ANEXO 7. Aplicación de la Moringa sin grasa al test de jarras



### ANEXO 8. Moringa sin grasa después del test de jarra



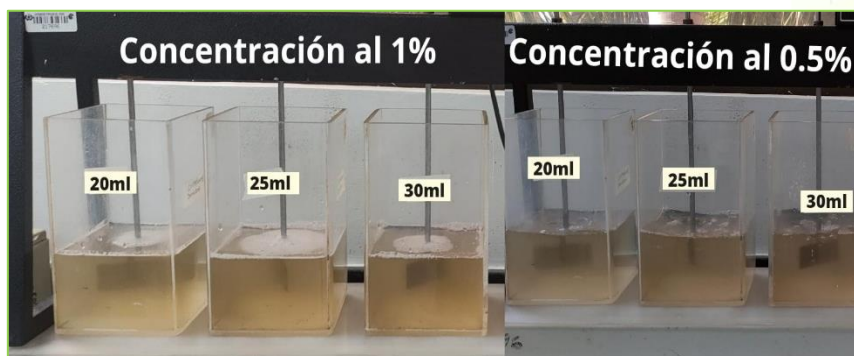
**ANEXO 9. Primera aplicación del Cactus Guajiro al test de jarras**



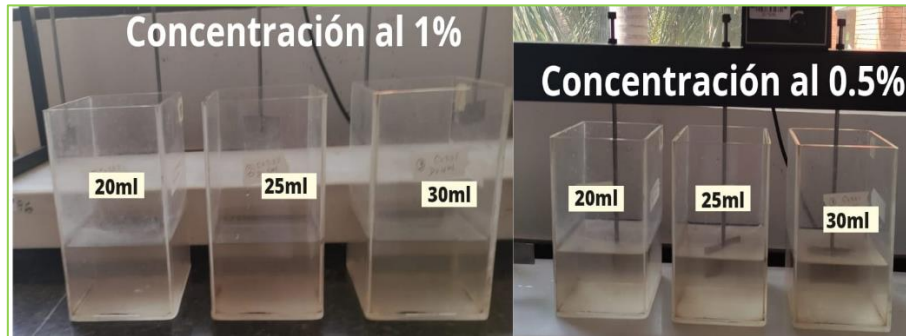
**ANEXO 10. Cactus Guajiro después de la primera aplicación del test de jarra**



**ANEXO 11. Segunda aplicación del Cactus Guajiro al test de jarras**



**ANEXO 12.** Cactus Guajiro después de la segunda aplicación del test de jarra



**ANEXO 13.** Certificado de ponencia de anteproyecto-The Expo (nacional)



**THE EXPO**  
Semilleros & Jóvenes Investigadores



**Universidad Popular del Cesar**

**CERTIFICADO**  
Otorgado a:

*Karina Paola Torres Cervera, Euller De Jesus Diaz Rodriguez,  
Margarita Rosa Agudelo Rico*

Por su participación en calidad de **PONENTE**, con el trabajo titulado:

**EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE *Moringa oleífera* Y *Lemnaire-oreus griseus* COMO COAGULANTES EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN PARA EL POST-TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO SITIO NUEVO, MAGDALENA**

Dado en Valledupar, a los 18 días del mes de noviembre de 2022

  
Clarivel Parra Ditta  
Vicerrectora de Investigación y Extensión

  
Martha Guerra Muñoz  
Directora División de Investigación



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

