



**Universidad  
Popular del Cesar**



LA ACREDITACIÓN ES  
EL COMPROMISO DE TODOS

COAGULANTES ORGÁNICOS EXTRAÍDOS DE JATROPHA Y MORINGA EN EL  
PROCESO DE COAGULACION- FLOCULACIÓN APLICADOS A AGUAS DEL  
RIO GUATAPURÍ



Carrascal Pallares Yaneira Yineth  
Duran Pérez María José

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
VALLEDUPAR / CESAR

2021

COAGULANTES ORGÁNICOS EXTRAÍDOS DE JATROPHA Y MORINGA EN EL  
PROCESO DE COAGULACION- FLOCULACIÓN APLICADOS A AGUAS DEL  
RIO GUATAPURÍ

PRESENTADO POR:  
CARRASCAL PALLARES YANEIRA YINETH  
DURAN PÉREZ MARÍA JOSÉ



PROYECTO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OPTAR POR EL TÍTULO DE:  
INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO

DIRECTOR: YIM JAMES RODRÍGUEZ DÍAZ  
ASESOR: NEFTALI MÉNDEZ CANTILLO

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
VALLEDUPAR / CESAR

2021

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

**Firma del Director del trabajo**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

## **DEDICATORIAS**

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme permitido llegar hasta este momento tan importante de mi formación como profesional. A mi familia, por su valioso e incondicional apoyo durante éste proceso, por su amor y sacrificio todos estos años y que gracias a eso logré cumplir un sueño más.

**Carrascal Pallares Yaneira Yineth**

A mis padres, mi hijo y mis hermanas, sin ellos no lo había logrado, muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este, me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos.

**Duran Pérez María José**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco en estas líneas la ayuda que muchas personas y colegas me han brindado durante el proceso de investigación y redacción de este trabajo. En primer lugar, darle gracias a Dios por todas sus bendiciones y a mis padres que me han ayudado y apoyado en todo momento.

De igual forma, agradezco a nuestro Director de Tesis el Ingeniero Yim James Rodríguez Díaz quien, con su dirección, conocimiento, y colaboración permitió el desarrollo y terminación de este trabajo. A mi asesor, el Ingeniero Neftalí Méndez Cantillo y a aquellos docentes que de una u otra manera aportaron su saber para la realización de este proyecto.

A mis compañeros del semillero de investigación, por su colaboración en la realización de este trabajo. Gracias a cada uno por su paciencia, dedicación y apoyo incondicional.

### **Carrascal Pallares Yaneira Yineth**

A DIOS porque en los momentos difíciles y de angustia me dio la fuerza para no desfallecer. A mis padres por su apoyo incondicional, en estos años. A mis hermanas e hijo por su apoyo y comprensión en cada uno de los momentos difíciles.

A nuestro equipo de trabajo, al ingeniero Yim Rodríguez por toda su perseverancia e interés en nuestro conocimiento.

A mis amigos, mi compañera de trabajo y docentes por cada una de las experiencias vividas.

Y por último a todas aquellas personas que de una u otra manera contribuyeron a la realización de este trabajo.

### **Duran Pérez María José**

## CONTENIDO

<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	1
1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
<b>2. JUSTIFICACIÓN</b> .....	3
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	5
3.1 OBJETIVO GENERAL .....	5
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
<b>4. MARCO REFERENCIAL</b> .....	6
4.1 ANTECEDENTES .....	6
<b>4.2 MARCO TEÓRICO</b> .....	11
4.2.1 AGUA CRUDA.....	11
4.2.2 COMPOSICIÓN DE AGUA CRUDA .....	11
4.2.3 CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS CRUDAS .....	11
4.2.4 CALIDAD DE AGUA .....	12
4.2.5 CONTAMINACIÓN DEL AGUA: CAUSAS DEL PROBLEMA.....	13
4.2.6 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA .....	14
4.2.7 TRATAMIENTOS DE LAS AGUAS CRUDAS .....	16
4.2.8 COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN .....	17
4.2.9 COAGULACIÓN .....	18
4.2.10 FLOCULACIÓN .....	20
4.2.11 JATROPHA ( <i>Jatropha Curcas</i> ) .....	21

4.2.12 MORINGA ( <i>Moringa Oleífera</i> ).....	21
<b>4.3 MARCO CONCEPTUAL</b> .....	22
<b>4.4 MARCO CONTEXTUAL</b> .....	25
4.4.1 VALLEDUPAR/CESAR .....	25
4.4.2 RÍO GUATAPURÍ.....	27
4.4.3 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP) .....	28
<b>4.5 MARCO LEGAL</b> .....	30
<b>4.6 MARCO INSTITUCIONAL</b> .....	33
<b>5. MARCO METODOLÓGICO</b> .....	35
5.1 LÍNEA Y SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN.....	35
5.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	35
5.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	35
5.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO .....	35
5.5. DESARROLLO METODOLÓGICO .....	36
<b>5.5.1 Etapa 1: Caracterización del coagulante extraído de <i>Jatropha</i> (<i>Jatropha Curcas</i>) y <i>Moringa</i> (<i>Moringa Oleífera</i>).</b> .....	36
<b>5.5.2 Etapa 2: Determinar las características físico-químicas del agua cruda del río GUATAPURÍ.</b> .....	39
<b>5.5.3 Etapa 3: Comparación de la efectividad de los coagulantes orgánicos a través de las diferentes configuraciones de tipos de coagulantes y dosis óptimas teniendo como variable respuesta la turbidez.</b> .....	43
5.6. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	45
<b>6. RESULTADOS Y ANÁLISIS</b> .....	46
Etapa 1: Caracterización de la solución coagulante preparada a partir de <i>Jatropha</i> ( <i>Jatropha Curcas</i> ) y <i>Moringa</i> ( <i>Moringa Oleífera</i> ).....	46

Etapa 2: Determinación de las características fisicoquímicas del agua cruda del río GUATAPURÍ.....	46
<b>2.1 . Caracterización fisicoquímica del agua.....</b>	<b>46</b>
Etapa 3: Comparación de la efectividad de los coagulantes orgánicos a través de las diferentes configuraciones de tipos de coagulantes y dosis óptimas teniendo como variable respuesta la turbidez. ....	48
<b>3.1 Preparación de agua turbia sintética para la obtención de dosis óptimas. ...</b>	<b>48</b>
<b>3.2 Determinación de la dosis optima de coagulante natural e inorgánico en las diferentes configuraciones de tipo y concentración de coagulantes utilizando ATS. ....</b>	<b>48</b>
<b>3.3 Determinación de la reducción de turbidez del agua. ....</b>	<b>57</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>73</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>75</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>81</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fases de Coagulación	19
Figura 2. Climatología promedio en Valledupar	25
Figura 3. Humedad del Municipio de Valledupar	26
<i>Figura 4. Velocidad promedio del aire en el Municipio de Valledupar</i>	26
<i>Figura 5. Ubicación del Municipio de Valledupar con relación al Dpto. del Cesar y de Colombia.</i>	27
Figura 6. Planta de tratamiento de agua potable de Valledupar	28
Figura 7. Planta de tratamiento de agua potable de Valledupar.	29
Figura 8. Ubicación de la planta de tratamiento de agua potable EMDUPAR S.A.E.S.P.	29
<b>Figura 9.</b> Organigrama Emdupar	34

## LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. obtención de dosis óptima del coagulante de moringa en agua de 100 NTU. ....	49
Gráfica 2. Obtención de la dosis óptima coagulante de jatropha en agua de 100 NTU. ....	49
Gráfica 3. Obtención de la dosis óptima coagulante de sulfato de aluminio en agua de 100 NTU.....	50
Gráfica 4. obtención de dosis óptima del coagulante de moringa en agua de 500 NTU. ....	51
Gráfica 5. Obtención de la dosis óptima coagulante de jatropha en agua de 500 NTU. ....	51
Gráfica 6. Obtención de la dosis óptima coagulante de sulfato de aluminio en agua de 500 NTU.....	52
Gráfica 7. Obtención de dosis óptima del coagulante de moringa en agua de 1000 NTU. ....	53
Gráfica 8. Obtención de la dosis óptima coagulante de jatropha en agua de 1000 NTU. ....	53
Gráficas 9. Obtención de la dosis óptima coagulante de sulfato de aluminio en agua de 1000 NTU.....	54
Gráfica 10 Dosis optima de coagulante de Moringa vs turbidez.....	54
Gráfica 11 Dosis optima de coagulante de Jatropha vs turbidez.....	54
Gráfica 12 Dosis optima de coagulante de sulfato de aluminio vs turbidez.....	55
Gráfica 13. Efectos principales para % de eficacia de remoción.....	61
Gráfica 14. Interacción para % de eficacia.....	62
Gráfica 15. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.....	63
Gráfica 16. Gráfica de residuo para % de eficacia.....	64
Gráfica 17. Gráfica de contorno de Remoción de vs. Dosis De Coagulante.....	65
Gráfica 18. Efectos principales para % de eficacia de remoción.....	67
Gráfica 19. Interacción para % de eficacia.....	68

Gráfica 20. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.....	68
Gráfica 21. Gráfica de residuo para % de eficacia.....	70
Gráfica 22. Gráfica de contorno de Remoción de vs. Dosis De Coagulante.....	71

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Características físicas del agua. ....	14
<b>Tabla 2.</b> Características químicas del agua. ....	15
<b>Tabla 3.</b> Características microbiológicas del agua. ....	16
<b>Tabla 4.</b> Normatividad Ambiental. ....	30
<b>Tabla 5.</b> Métodos y procedimientos para la caracterización de parámetros fisicoquímicos. .....	40
<b>Tabla 6.</b> Resultados obtenidos en la caracterización de los coagulantes. ....	46
<b>Tabla 7.</b> Caracterización del agua cruda. ....	47
<b>Tabla 8.</b> Turbidez promedio y desviación estándar del ATS. ....	48
<b>Tabla 9.</b> Determinación de la reducción de turbidez del agua de baja turbidez (100 NTU) con dosis óptima de Moringa y sulfato de aluminio. ....	57
<b>Tabla 10.</b> Determinación de la reducción de turbidez del agua de baja turbidez (100 NTU) con dosis óptima de Jatropha. ....	58
<b>Tabla 11.</b> Determinación de la reducción de turbidez del agua de 545 NTU con dosis óptima de Moringa. ....	59
<b>Tabla 12.</b> Determinación de la reducción de turbidez del agua de 545 NTU con dosis óptima de Jatropha. ....	60
<b>Tabla 13.</b> Determinación de la reducción de turbidez del agua de 545 NTU con dosis óptima de Sulfato de aluminio. ....	61
<b>Tabla 14.</b> Características de operación de prueba de jarras. ....	62
<b>Tabla 15.</b> Diseño Factorial de un solo factor con múltiples niveles. ....	62
<b>Tabla 16.</b> Información del factor. ....	62
<b>Tabla 17.</b> Análisis de Varianza. ....	64
<b>Tabla 18.</b> Características de operación de prueba de jarras. ....	67
<b>Tabla 19.</b> Diseño Factorial de un solo factor con múltiples niveles. ....	67
<b>Tabla 20.</b> Información del factor. ....	67
<b>Tabla 21.</b> Análisis de Varianza. ....	70

## INTRODUCCIÓN

El agua potable de la que se abastece la población proviene generalmente de fuentes superficiales y subterráneas, estas contienen una serie de partículas suspendidas y disueltas conocidas como coloides que deben ser removidas para considerar un agua potable, ya que le confieren características como turbidez, olor, color y sabor, que en algunos casos pueden afectar la salud de los consumidores. (Mendoza , Fernández, Ettiene, & Díaz , 2000)

Para esta finalidad c que se dividen en dos grupos, orgánicos e inorgánicos. (Hoyos, Hernández, Castro, & Sánchez, 2017). Dos de los coagulantes más conocidos y usados son los obtenidos a partir de las semillas de Moringa y Jatropha, que remueven los coloides presentes en las aguas crudas y contaminadas; el uso de estos compuestos es muy conocido en regiones rurales de la India y África por ser una alternativa al sulfato de aluminio (Márquez, 2013), puesto que es una técnica de fácil manejo que trabaja con velocidades de sedimentación altas, estos actúan de manera similar a los tradicionales, desestabilizando y aglomerando las partículas disueltas del agua (Rodríguez, Rodríguez, Hernández, & Herrera, 2020), algunos de ellos permiten minimizar enfermedades en la salud humana ya que poseen propiedades antimicrobianas (Lugo, 2017) (Ramírez & Jaramillo, 2015) que es todo lo contrario a lo que sucede cuando se manejan coagulantes inorgánicos, trayendo consigo como consecuencia la aparición de enfermedades como el Alzheimer y la Demencia senil. (Márquez, 2013)

El principio activo de estas semillas para la floculación son las proteínas catiónicas diméricas, las cuales son responsables de la formación de flóculos. Estos floculantes naturales obtenidos de la Moringa y la Jatropha se presentan como un tratamiento primario viable, barato y de fácil acceso para las comunidades que no tienen la disponibilidad de este recurso. (Anselme, Narasiah, & Talbot , 1994)

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), en América Latina la contaminación patógena y orgánica en los ríos aumentó más del 50% entre 1990 y 2010, y hoy constituye una importante amenaza para la salud pública y la pesca en agua dulce, de la que dependen una gran cantidad de comunidades. En sus aguas fluyen detergentes, fertilizantes y agentes patógenos que han venido generando una serie de enfermedades diarreicas, hepatitis y otras infecciones como consecuencia del consumo de aguas contaminadas.

Las investigaciones existentes muestran muy poco con relación a la magnitud de la problemática, es decir, lo que ocurre para un reducido grupo de contaminantes, siendo uno de los más comunes el mercurio el cual es empleado en la minería aurífera. En el Bajo Cauca existen reportes sobre efectos neurológicos como lo son el Alzheimer, demencia senil y una disminución en la capacidad mental; derivados por la exposición a este metal, el cual llega a las personas por consumo de pescado que provienen de zonas contaminadas. En el Atrato, estudios han podido identificar peces, que además de estar contaminados con mercurio, también se encontraron rastros de otros metales como el cesio y rubidio, con efectos que están poco documentados. (Olivero, Caballero, & Palacios, 2018)

La cuenca del río Guatapurí no está exenta de estas problemáticas en materia ambiental, Según informes presentados por la Corporación Autónoma Regional del Cesar (CORPOCESAR), La tala de árboles en su nacimiento, en la parte alta de la Sierra Nevada, contaminación por el arrojado de basuras, aguas contaminadas con herbicidas, desvió de su cuenca, construcciones a menos de 500 metros de su cauce, son algunos de los problemas que tiene que enfrentar durante sus 78 kilómetros, hasta su desembocadura en el río Cesar, el legendario Río Guatapurí.

Debido a la creciente contaminación se deben buscar sistemas sostenibles para el tratamiento de éstas aguas y como alternativa, a inicio de los años setenta en varios países latinoamericanos se propuso utilizar coagulantes naturales con lo que se pretende mejorar la calidad del agua consumida en las zonas rurales, éstas reducirían los costos de operación de una PTAP y lograrían incrementar la cobertura de agua potable en las comunidades; estos son extraídos de especies vegetales o animales locales para disminuir o eliminar en su totalidad el consumo de coagulantes inorgánicos. (Rodríguez , Lugo , Rojas, & Malaver , 2007)

Esta investigación tiene como enfoque principal evaluar la eficiencia de los coagulantes naturales de *Jatropha* (*Jatropha Curcas*) y *Moringa* (*Moringa Oleífera*) en el proceso de coagulación – floculación en el tratamiento de las aguas crudas del río Guatapurí.

### **1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Qué tan eficientes son los coagulantes orgánicos de *Jatropha* (*Jatropha Curcas*) y *Moringa* (*Moringa Oleífera*) durante el proceso coagulación-floculación en el tratamiento de las aguas cruda del rio Guatapurí?

## 2. JUSTIFICACIÓN

Según Ghimici y Nichifor, (2010) los coagulantes naturales se han empleado en la coagulación-floculación en las últimas cuatro décadas. Poniéndolos en comparación con el alumbre, algunas de las ventajas de estos coagulantes en el tratamiento del agua son los bajos requerimientos en la dosis del coagulante, volumen más reducido de lodo, bajo incremento en la carga iónica del agua tratada, nivel reducido del aluminio en el agua tratada y economías en el costo que van de un 25 a 30%.

Existen evidencias que el uso de extractos de especies de plantas y semillas son seguros para la salud humana en el proceso de potabilización de las aguas, debido a que además de poseer propiedades coagulantes también poseen propiedades antimicrobianas, por lo que reducen o eliminan el contenido de microorganismos patógenos susceptibles de producir enfermedades. (Akinnibosun, Ainnibosun, & Germán , 2008) (García B. , 2007)

En estudios realizados se comparó la eficiencia de remoción de turbidez del coagulante obtenido de las semillas de *Ipomea incarnata* con los coagulantes convencionales por medio de la prueba de jarras y este coagulante natural mostró una eficiencia mayor frente al coagulante convencional. La Moringa y la Jatropha son plantas que han mostrado una interesante capacidad para la depuración de agua, y debido a esto surge su implementación ya que estas son usadas como una solución biotecnológica que permite clarificar el agua en alto porcentaje sin el uso de elementos químicos o mecánicos, sino de forma natural y como ventaja teniendo costos mucho más bajos y efectivos. (Diamadopoulos , Anastasakis , & Kalderis , 2009)

Esta investigación se llevó a cabo en los laboratorios de fisicoquímica ambiental de la Universidad Popular del Cesar, el área de estudio fue la cuenca media del río Guatapurí, Las muestras tomadas fueron analizadas en dicho laboratorio durante

un período de seis (6) meses, tiempo en el cual se desarrolló la fase experimental sobre el proceso de coagulación-floculación, evaluación del comportamiento y la eficiencia de los coagulantes naturales extraídos de los residuos de *Jatropha* (*Jatropha Curcas*) y *Moringa* (*Moringa Oleífera*).

Debido a los requerimientos técnicos de una planta de tratamiento de agua potable o los costos generados con la puesta en marcha e insumos necesarios para el tratamiento, en muchas comunidades no se logra consumir agua potable. Es por ello que desde la ingeniería ambiental y sanitaria se busca con la ejecución de este proyecto, alternativas que mejoren la calidad del agua consumida a través de coagulantes naturales, los cuales actúan de manera similar a los coagulantes tradicionales, desestabilizando y aglomerando las partículas disueltas del agua (Rodríguez, Rodríguez, Hernández, & Herrera, 2020), el empleo de algunos de ellos que poseen propiedades antimicrobianas permiten minimizar enfermedades en la salud humana (Lugo, 2017) (Ramírez & Jaramillo, 2015), son de fácil obtención, preparación y manejo (Rodríguez, Rodríguez, Hernández, & Herrera, 2020). Esta agua estará apta para el consume humano dando cumplimiento con la resolución 2115/2007 logrando con ello la disminución de impactos tanto ambientales como sociales, por último, personalmente enriquece en cuanto a conocimientos generales de éstas técnicas de tratamiento poco implementadas. (López, 2010)

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la eficiencia de los coagulantes orgánicos extraídos de *Jatropha* (*Jatropha Curcas*) y *Moringa* (*Moringa Oleífera*) en el proceso simulado de Coagulación–Floculación durante el tratamiento de las aguas crudas provenientes del río Guatapurí.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Caracterizar los coagulantes extraídos de *Jatropha* (*Jatropha Curcas*) y *Moringa* (*Moringa Oleífera*).
2. Determinar las Características fisicoquímicas (turbidez, pH, temperatura, alcalinidad, conductividad, SST, SSV) del agua cruda del río Guatapurí. Según la normatividad vigente (Resolución 2115/2007).
3. Comparar la efectividad de los coagulantes orgánicos a través de las diferentes configuraciones de tipos de coagulantes y dosis óptimas teniendo como variable respuesta la turbidez.

## 4. MARCO REFERENCIAL

### 4.1 ANTECEDENTES

#### 4.1.1 Panadero Delgado Evelyn Sabina, Posada Rodríguez Lina María, 2016, **Eficiencia del coagulante natural a partir de la semilla de *Jatropha Curcas* para aguas crudas evaluando variables fisicoquímicas del agua:**

El uso de coagulantes a base de plantas para el tratamiento de aguas turbias es de varios milenios (Sanghi, Bhattachaya, & Singh, Cassia angustifolia seed gum as an effective natural coagulant for decolourisation of dye solutions., 2002) y, hasta ahora, los científicos medioambientales han podido determinar varios tipos de plantas, El empleo de materiales naturales puede minimizar o evitar el uso de los coagulantes químicos (Yin, 2010). La mayoría de estos se proceden de semillas, hojas, cortezas o savia, raíces y frutos de árboles y plantas o pueden extraerse de microorganismos, animales o tejidos vegetales (Pritchard, Mkandawire, Edmondson, O'neill, & Kululanga, 2009). Esta investigación tuvo como propósito realizar unas pruebas a partir de diferentes dosis de la semilla *Jatropha curcas* como biocoagulante midiendo variables físico-químicas tales como color, turbiedad y pH; comparándolo con el coagulante convencional Sulfato de Aluminio. Para poder hallar los resultados se realiza una estadística descriptiva donde se llega a un análisis el se determina que la remoción de turbiedad por parte del biocoagulante de la semilla J. curcas es de 18,6 NTU en promedio esto se debe a la variable de pH el cual cambia las condiciones del agua disminuyendo la capacidad del biocoagulante, pero por otra parte el sulfato de aluminio logró una remoción de 1,47 NTU cumpliendo con la normatividad vigente de Colombia. Respecto a el color no se lograron los resultados esperados ya que ninguno de los coagulantes logra cumplir la normatividad y por último el pH tiende a

subir independientemente de la dosis que se apliquen respecto al biocoagulante, pero por el contrario con el sulfato el pH tiende a bajar.

#### **4.1.2 Ernesto De Jesús Acevedo Picón, 2019, Uso de semillas de Moringa (*Moringa Oleífera*) como floculante natural para la purificación de aguas**

**crudas de Río Negro, Río de Oro y quebrada Floridablanca, Santander:**

Esta investigación propone el tratamiento primario para la potabilización de agua con las semillas de *Moringa oleífera* como floculante, reemplazando así el sulfato de aluminio que se usa actualmente para tal fin. Para el desarrollo de esta investigación se recolectaron muestras de agua en Río de Oro, Río Negro y quebrada Floridablanca, acuíferos superficiales ubicados en el departamento de Santander, a las cuales se les realizó una caracterización de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Posteriormente se evaluó el porcentaje de efectividad del floculante natural, realizando los mismos análisis iniciales una vez concluido el tratamiento. Dado que la harina íntegra de *Moringa oleífera* no es una sustancia estándar en el mercado para la floculación, se definió por bibliografía la metodología de extracción de la misma y de método de jarras, con tiempos distintos a los trabajados normalmente para el sulfato de aluminio. Las concentraciones a trabajar variaron en un rango entre los 3,5 mg/L y los 170mg/L con porcentajes de remoción bastante eficientes, llegando a ser superiores al 90% en algunos casos.

#### **4.1.3 Laura Vanessa Quintero Yepes y Nelson Rodríguez Valencia, 2018, Evaluación de coagulantes de extractos naturales de *Moringa Oleífera* y *Jatropha Curcas* en las aguas residuales del café:**

En este estudio se realizó una evaluación del efecto coagulante de dos extractos naturales: la *moringa oleífera* y *jatropha curcas* sobre las aguas residuales de café a pH

original; después de realizarles un tratamiento primario y adicionando al tiempo hidróxido de calcio y el extracto natural, sobre las aguas residuales de café. se comparó la eficiencia con las sales químicas usando coagulación – floculación con los parámetros fisicoquímicos de Demanda biológica de oxígeno (DBO), DQO (Demanda bioquímica de oxígeno) y Sólidos suspendidos totales (SST). Se realizó la selección de la dosis óptima, se determinó la carga orgánica (medida como DQO) del agua residual tratada y se comparó con la carga orgánica del agua residual sin tratamiento para determinar la eficiencia de remoción en cada uno de los tratamientos evaluados. Las semillas de *Jatropha* y *Moringa* se sometieron a procesos de descascarado, secado a 30° C hasta peso constante, y molienda. La evaluación del efecto coagulante de los extractos se hizo mediante el test de jarras, aplicando 500 ml de agua residual (unidad experimental) y se llevó a cabo la agitación a 120 rpm durante 5 minutos, seguido de una agitación de 60 rpm durante 5 minutos para finalmente dejarse sedimentar durante 24 horas (a temperatura ambiente). Para todos los tratamientos evaluados se obtuvieron remociones superiores al 60% en la DQO. El coagulante extraído de la semilla de *Moringa*, no tiene ningún efecto sobre aguas residuales de café cuando están a pH ácido, pH original del agua residual de café. En el caso de la *J. Curcas*, debe aplicarse el extracto líquido después de la extracción de grasa y el compuesto coagulante debido a que cuando se aplica en polvo, seco y molido, este no se diluye en el agua residual y no afecta las características del agua.

**4.1.4 Yim James Rodríguez Díaz, Guillermo Antonio De La Cruz Frías, Walner Enrique López Mena, Lineth Ricaurte Valdés, María Lucia Morales Gutiérrez, 2015, Uso de un polímero natural (quitosano) como coagulante durante el tratamiento de agua para consumo:** En los sistemas de tratamiento del agua para el consumo humano, el proceso

coagulación-floculación es uno de los más fundamentales para suprimir altas cargas coloides. El objetivo de esta investigación fue evaluar la eficacia del quitosano como coagulante durante el tratamiento del agua cruda natural de la cuenca media del río Guatapurí; para la cual se originó la dosis óptima del polímero orgánico en aguas con turbidez inicial de 100 y 1500 NTU. Los resultados alcanzados después del proceso fueron: para el agua con turbidez de 1500 NTU y dosis óptima 40 mg/l, las remociones alcanzaron hasta el 99,9 % de la turbidez. Mientras que para el agua con turbidez inicial de 100 NTU y dosis óptima de 20 mg/l la remoción arrojada fue superior al 96 %. En esta investigación se muestra al quitosano como una alternativa eficaz para el proceso de potabilización de aguas crudas en fuentes loticas.

**4.1.5 Hurtado Vander Schatte Olivier, Joan Manuel Tarleque, Navarro Efraín Isaí, 2017, Determinación de la capacidad clarificadora del coagulante natural extraído de la papa (solanum tuberosum) en la purificación del agua del río Patari para uso de consumo humano:** La presente investigación se quiere determinar la capacidad de clarificación del coagulante natural del Solanum Tuberosum (papa) que ayude a remover los sólidos totales y suspendidos del agua y contar con alternativas económica de tratamiento y de mínima toxicidad, que permita cumplir con los parámetros de calidad como: pH, turbiedad, color. Para obtener el almidón de la papa se utilizó la metodología de Aparicio obteniéndose un porcentaje de almidón extraído de la papa (Solanum Tuberosum) de 9.9% y posterior a ello el agitador magnético que nos permite mezclar homogéneamente el coagulante con el agua a tratar. El proceso de tratamiento se realizó agregando coagulante en dosis de 20, 40, 60, 80, 100 mg/L y se obtuvo que para la dosis de 80 mg/L el color se redujo de 10 Pt/Co a 5 Pt/Co, la turbidez se redujo de 30 NTU a 4,1 NTU, el pH aumentó de 7,5 a 7,73 y la temperatura se mantuvo en 25 °C. La dosis apta del coagulante natural extraído de la papa (Solanum

Tuberosum) que nos permitió la clarificación del agua para consumo humano es de 80 mg/L. Se concluye que el coagulante natural de la papa (*Solanum Tuberosum*) tiene la suficiencia de clarificación de 86.3% lo que permite remover los sólidos suspendidos y volverla óptima para consumo humano; según guía de la OMS y en el estándar de calidad ambiental para agua.

## **4.2 MARCO TEÓRICO**

### **4.2.1 AGUA CRUDA**

El agua es un compuesto con características únicas, de gran importancia para la vida, el más abundante en la naturaleza y determinante en procesos físicos, químicos y biológicos que gobiernan el medio natural, es aquella que no ha recibido tratamiento alguno, como el agua de los ríos, de una quebrada, de un manantial o de un acueducto donde no se ha realizado ningún procedimiento de potabilización. (Losiev, 1989)

### **4.2.2 COMPOSICIÓN DE AGUA CRUDA**

El agua es una molécula sencilla formada por átomos pequeños, dos de hidrógeno y uno de oxígeno, unidos por 66 enlaces covalentes muy fuertes que hacen que la molécula sea muy estable. Tiene una distribución irregular de la densidad electrónica, pues el oxígeno, uno de los elementos más electronegativos, atrae hacia sí los electrones de ambos enlaces covalentes, de manera que alrededor del átomo de oxígeno se concentra la mayor densidad electrónica (carga negativa) y cerca de los hidrógenos la menor (carga positiva). La molécula tiene una geometría angular (los dos átomos de hidrógeno forman un ángulo de unos  $105^\circ$ ) lo que hace de ella una molécula polar que puede unirse a otras muchas sustancias polares. (Carbajal Azcona & Gonzáles Fernández, 2012)

### **4.2.3 CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS CRUDAS**

**Las aguas se clasifican en:** (Custodio & Younger, 2001- 2007)

#### **4.2.3.1 Agua Superficial**

Es aquella que se encuentra circulando o en reposo sobre la superficie de la tierra, es la proveniente de las precipitaciones, que no se infiltra ni regresa a

la atmósfera por evaporación o la que proviene de manantiales o nacimientos que se originan de las aguas subterráneas.

#### **4.2.3.2 Agua Subterránea**

El agua subterránea es un recurso natural muy valioso que es un componente esencial del Ciclo Hidrológico, cumple una función ambiental en la naturaleza por su contribución a los caudales de ríos, manantiales, lagos, humedales y estuarios, tiene un papel importante en muchos procesos geológicos, y es un solvente activo por lo que el flujo subterráneo actúa como vehículo en el transporte de contaminantes o en el control de la intrusión de aguas salinas.

Para Alonso (1997) & Navarrete, P. (1990) la mayor parte de la contaminación es de carácter orgánico y bacteriológico, procedente del vertido de residuos animales o de su aplicación como abonos. Se produce un incremento en agua y suelo en la concentración de nitratos y otros elementos, como cobre, hierro, cromo, cadmio y otros metales, fósforo y potasio, además de los microorganismos patógenos. Su poder contaminante estriba en el desequilibrio con que el medio recibe la introducción de materias orgánicas, inorgánicas y microorganismos.

#### **4.2.4 CALIDAD DE AGUA**

Valdés, Samboní y Carvajal comentan que, en la valoración y evaluación de la calidad del agua, se han empleado diversas metodologías entre las que se incluyen: comparación de las variables con la normatividad vigente; los indicadores ICA donde, a partir de un grupo de variables medidas, se genera un valor que califica y cualifica la fuente, y metodologías más elaboradas como la modelación. La calidad del agua se mide de acuerdo con distintos parámetros mediante los cuales se cuantifica el grado de alteración de las cualidades naturales y se la clasifica para un uso determinado.

Según Guillén, Teck, Kohlmann y Yeomans, el Índice de Calidad del Agua (ICA) indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como porcentaje del agua pura; así, agua altamente contaminada tendrá un cercano o igual a 0%, en tanto que el agua en excelentes condiciones tendrá un valor de este índice cercano al 100%.

#### **4.2.5 CONTAMINACIÓN DEL AGUA: CAUSAS DEL PROBLEMA**

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define como principales causas de contaminación del agua las siguientes:

- 4.2.5.1 Desechos industriales:** Los ríos y los canales son los más afectados por estas malas prácticas. Muchas empresas aún desconocen el buen uso que se debe dar a este recurso y vierten cantidades de productos contaminantes derivados de sus procesos industriales a estos cuerpos de agua sin ningún tipo de control provocando daños en ocasiones irreversibles para estos ecosistemas.
- 4.2.5.2 Aumento de las temperaturas:** El calentamiento global también influye en la contaminación del agua, cuando un ecosistema presenta temperaturas por encima de las acostumbradas, en las fuentes de agua se disminuye la cantidad de oxígeno, lo cual hace que el agua altere su composición.
- 4.2.5.3 Uso de pesticidas en la agricultura:** En gran parte de los procesos agrícolas se emplean fertilizantes y productos químicos para el cultivo y la producción de los alimentos. Estos productos se filtran a través de canales subterráneos que, en la mayoría de los casos, acaban en las redes de agua que utilizamos para nuestro consumo.
- 4.2.5.4 Deforestación:** La excesiva tala de árboles contribuye a que los ríos, los lagos y otras fuentes hídricas se sequen. Además de esto, la tala de bosques no en todos los casos incluye la retirada de las raíces, lo cual

provoca la aparición de sedimentos y bacterias bajo el suelo y la consiguiente contaminación de este preciado recurso.

**4.2.5.5 Derrames de petróleo:** Los vertidos de crudo y sus derivados se deben al transporte deficiente del petróleo y a la filtración de productos como la gasolina, que por lo general son almacenadas en tanques bajo tierra; en muchos casos, los tanques tienen fugas y la sustancia se filtra a los cuerpos que están a su alrededor, como lo son las fuentes de agua aptas para el consumo humano.

#### **4.2.6 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA**

El agua para consumo humano no podrá sobrepasar los valores máximos aceptables para cada una de las características físicas, químicas y microbiológicas mencionadas en la Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial que están descritas a continuación:

##### **4.2.6.1 Características físicas del agua**

*Tabla 1. Características físicas del agua.*

Características Físicas	Expresadas como	Valor Máximo Aceptable
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15
Olor y Sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	2

*Fuente: Resolución 2115 de 2007*

#### 4.2.6.2 Características químicas del agua

*Tabla 2. Características químicas del agua.*

Compuestos Químicos y Elementos	Expresados como	Valor Máximo Aceptable (mg/L)
Antimonio	Sb	0,02
Arsénico	As	0,01
Bario	Ba	0,7
Cadmio	Cd	0,003
Cianuro libre y disociable	CN´	0,05
Cobre	Cu	1,0
Cromo total	Cr	0,05
Mercurio	Hg	0,001
Níquel	Ni	0,02
Plomo	Pb	0,01
Selenio	Se	0,01
Trihalometanos totales	THMs	0,2
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	HAP	0,01

*Fuente: Resolución 2115 de 2007*

#### 4.2.6.3 Características microbiológicas del agua

Tabla 3. Características microbiológicas del agua.

Técnicas Utilizadas	Coliformes Totales	Escherichia Coli
Filtración por membrana	0 UFC/100cm <sup>3</sup>	0 UFC/100cm <sup>3</sup>
Enzima sustrato	< de 1 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>	< de 1 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>
Sustrato definido	0 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>	0 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>
Presencia-Ausencia	Ausencia en 100 cm <sup>3</sup>	Ausencia en 100 cm <sup>3</sup>

Fuente: Resolución 2115 de 2007

#### 4.2.7 TRATAMIENTOS DE LAS AGUAS CRUDAS

Las diversas actividades agrícolas, ganaderas, industriales y recreacionales del ser humano han traído como consecuencia la contaminación de las aguas superficiales con sustancias químicas y microbiológicas, además del deterioro de sus características estéticas. El tratamiento de aguas está regido por una serie de normas que indican o fijan los límites generales aceptables para las impurezas de las aguas que están destinadas al abastecimiento público (condiciones mínimas de calidad física, química y bacteriológica). Estas normas no deben considerarse como un criterio que evaluación o control de las operaciones de las plantas de tratamiento sino como las especificaciones generales para la aceptación del producto.

El tipo de tratamiento que necesita el agua, depende en gran medida de la composición y calidad del agua. Existen distintos tipos de tratamiento de las aguas para lograr remover los contaminantes. Se pueden usar desde sencillos procesos físicos como la sedimentación, en la que se deja que los contaminantes se depositen en el fondo por gravedad, hasta complicados procesos químicos, biológicos o térmicos. Ellos se pueden clasificar según el medio de eliminación de los contaminantes, según la fase de depuración y según el costo de la explotación. (Canto , 1977) (Agencia Andaluza de Cooperación Internacional para el Desarrollo, 2013)

#### 4.2.8 COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

Según Metcalf (1970); Las prácticas de coagulación-floculación son tratamientos previos esenciales para muchos sistemas de purificación de agua. Es de los métodos más eficientes el cual muestra entre el (80-90% remociones) de las partículas coloidales y suspendidas del agua en el proceso de su potabilización. Además de bajar los índices de turbidez del agua, la coagulación parcialmente remueve el color, bacterias y virus en un 80-90%.

Este proceso involucra los siguientes pasos:

**Mezclado rápido:** El mezclado es rápido, su objetivo es dispersar los químicos en el agua, reducir las fuerzas repulsivas entre las partículas, es decir la coagulación.

**Mezclado lento:** El mezclado es moderada, su objetivo es mantener los componentes de agua mezclados y promover la formación de flóculos largos, es decir la floculación.

**Sedimentación:** El mezclado es suspendido, para promover la precipitación del floc.

#### **4.2.9 COAGULACIÓN**

Para este proceso las partículas se aglutinan en pequeñas masas con peso específico superior al del agua llamadas floc. Dicho proceso se usa para: La remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no se puede sedimentar rápidamente, remoción de color verdadero y aparente, eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación, destrucción de algas y plancton en general y para la eliminación de sustancias productoras de sabor y olor en algunos casos y de precipitados químicos suspendidos o compuestos orgánicos en otros. (Arboleda Valencia , 1992)

##### **4.2.9.1 Fases de la Coagulación**

La coagulación se realiza en 5 fases consecutivas o simultáneas que implican reacciones físicas y químicas, así: (Marquez, 1994)

**Fase 1** - Hidrólisis del coagulante y desestabilización de partículas coloidales.

**Fase 2** - Precipitación y formación de polímeros (los productos de hidrólisis se polimerizan).

**Fase 3** - Absorción de las cadenas por la superficie de los coloides.

**Fase 4** - Absorción mutua entre coloides.

**Fase 5** - Acción de barrido.

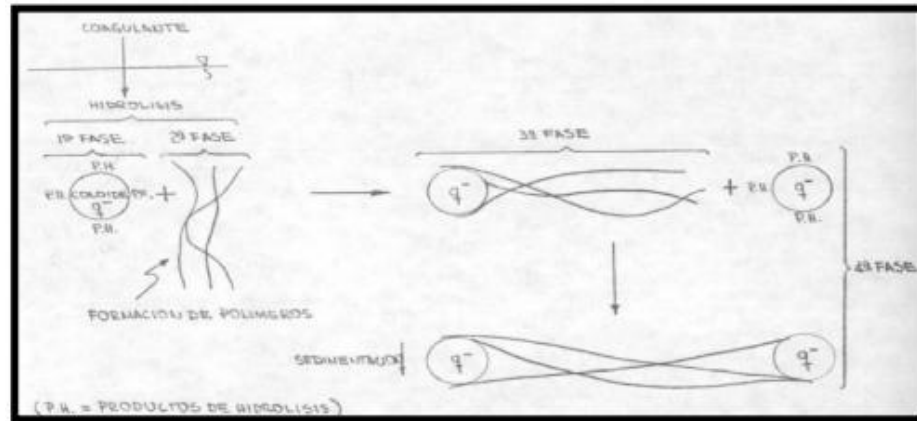


Figura 1. Fases de Coagulación

Fuente: (Perez, 2008)

#### 4.2.9.2 Tipos de Coagulantes

**Coagulantes Inorgánicos:** Son los más utilizados para el tratamiento de aguas residuales, debido a su rendimiento, disponibilidad, costo y efectividad. Poseen la capacidad de actuar como coagulantes y floculantes, cuando son disueltos estos forman compuestos complejos hidratados. Entre los más utilizados se hallan, sulfato de aluminio, sulfato férrico, sulfato ferroso, cloruro férrico y el aluminato de sodio. Aunque estas sales químicas, presentan alta capacidad de coagulación- floculación, pueden llegar a ser nocivos para la salud humana y el medio ambiente. (Shak & Wu, 2014)

**Coagulantes Orgánicos Sintéticos:** Los coagulantes orgánicos son polímeros solubles en agua que están basados en unidades repetidas de varios monómeros tales como acrilamida y ácido acrílico. En la mayoría de los casos, se derivan de materias primas basadas en petróleo y no 16 renovables. Generalmente, los polímeros sintéticos se clasifican en catiónico, aniónico, anfótero y no iónico. La capacidad coagulante está principalmente influenciada por parámetros como la

naturaleza de las cargas, seguida por el peso molecular y la densidad de carga. (Bolto & Gregory, 2007)

**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. Algunas especies vegetales que presentan estudios realizados son las semillas de una enorme variedad de plantas como las semillas de maíz, *Jatropha curcas*, el frijol común, *Cassia obtusifolia* entre otros. (Abidin, Ismail, Yunus, Ahamad, & Idris, 2011) (Antov, Šćiban, & Petrović, 2010)

#### **4.2.10 FLOCULACIÓN**

Es el proceso hidrodinámico en el que se efectúan las colisiones de partículas desestabilizadas favoreciendo la cohesión entre ellas, logrando formar aglomerados de partículas coloidales que unidas entre sí alcanzan un peso que las hace sedimentables por gravedad. (Melo & Turriago, 2012)

##### **4.2.10.1 Tipos de floculación**

En ella intervienen, en forma secuencial, tres mecanismos de transporte: (Bratby, 1981)

- Floculación pericinética o browniana: Se debe a la energía térmica del fluido.
- Floculación ortocinética o gradiente de velocidad: Se produce en la masa del fluido en movimiento.
- Sedimentación diferencial: Se debe a las partículas grandes, que, al precipitarse, colisionan con las más pequeñas, que van descendiendo lentamente, y ambas se aglomeran.

#### **4.2.11 JATROPHA (*Jatropha Curcas*)**

Es una oleaginosa de porte arbustivo con más de 3500 especies agrupadas en 210 géneros. Es originaria de México y Centroamérica, pero crece en la mayoría de los países tropicales. Se le cultiva en América Central, América del Sur, Sureste de Asia, India y África. La palabra *jatropha* proviene del griego *iatrós* que significa médico y *trophé* alimento. Es un arbusto grande, de crecimiento rápido, cuya altura normal es de dos a tres metros, pero puede alcanzar hasta ocho metros en condiciones especiales. El tronco presenta un fuste ramificado a poca altura y una corteza lisa de madera suave, médula desarrollada poco resistente, de aproximadamente 20 cm de diámetro, de color blanco grisáceo; floema con largos canales que se extienden hasta las raíces, por los cuales circula el látex, jugo lechoso que brota con abundancia de cualquier herida. (Alonso, 2008)

#### **4.2.12 MORINGA (*Moringa Oleífera*)**

*Moringa oleífera*, árbol perteneciente a la familia *Moringaceae*, es nativo de las estribaciones meridionales del Himalaya y en la actualidad se cultiva prácticamente en todas las regiones tropicales, subtropicales y semiáridas del mundo. Se encuentra diseminado en una gran parte del planeta, y en América Central fue introducida en los años 1920 como planta ornamental y para cercas vivas. Puede crecer en condiciones de escasez de agua, pero su cultivo intensivo, con irrigación y fertilización, aumenta los rendimientos de biomasa hasta superar las 100 toneladas por hectárea (Foidl, Makkar, & Becker, 2001).

Se trata de un árbol perenne pero poco longevo, que a lo sumo puede vivir 20 años, una especie de muy rápido crecimiento alcanzando hasta 9m de altura. Las hojas son compuestas y están dispuestas en grupos de folíolos, con cinco pares de éstos acomodados sobre el pecíolo principal y un folíolo en la parte terminal. Las hojas son alternas tripinnadas, con una longitud de 30-70 cm. (Jyothi, 1990) (Morton, 1991)

### 4.3 MARCO CONCEPTUAL

- **Agua cruda:** Es el agua que se encuentra en la naturaleza y que no ha recibido ningún tratamiento para modificar sus características: físicas, químicas o microbiológicas. (Cordero Ordóñez & Ullauri Hernández, 2011)
- **Agua potable:** Agua 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. ( Grupo EPM)
- **Calidad del agua:** Según Decreto 1575 de 2007 de ministerio de la protección social la calidad del agua es el resultado de comparar las características físicas, químicas y microbiológicas encontradas en el agua, con el contenido de las normas que regulan la materia.
- **Color:** El color, uno de los parámetros organolépticos que indican la calidad del agua de consumo humano, está relacionado con las sustancias disueltas y las partículas en suspensión que contiene. La medición del color es importante para conocer el nivel de materia orgánica natural que hay en el agua, ya que su presencia es un factor de riesgo de generación de subproductos nocivos de la desinfección del agua, como, por ejemplo, los Trihalometanos. (Ambiental, 2019)
- **Coagulación:** Para este proceso las partículas se aglutinan en pequeñas masas con peso específico superior al del agua llamadas floc. Dicho proceso se usa para: La remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no se puede sedimentar rápidamente, remoción de color verdadero y aparente, eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación, destrucción de algas y plancton en general y para la eliminación de sustancias productoras de sabor y olor en algunos casos y de precipitados químicos suspendidos o compuestos orgánicos en otros. (Arboleda Valencia , 1992)

- **Coagulantes Naturales:** Son una fuente alternativa con gran potencial aún no explotado suficientemente; se producen de manera espontánea, debido a reacciones bioquímicas que ocurren en animales y en plantas. Por lo general, presentan una mínima o nula toxicidad y, en muchos casos, son productos alimenticios con alto contenido de carbohidratos y de proteínas solubles en agua. (Lee, Lee, Jang, & Lee, 1995) ( Ganjidoust, Tatsumi , Yamagishi , & Gholi, 1997)
- **Contaminación del agua:** Alteración de sus características organolépticas, físicas, químicas, radiactivas y microbiológicas, como resultado de las actividades humanas o procesos naturales, que producen o pueden producir rechazo, enfermedad o muerte al consumidor. ( Grupo EPM)
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno:(DBO):** Es una medida de la cantidad de oxígeno consumido en el proceso biológico de degradación de la materia orgánica en el agua. (García, y otros)
- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Es una medida del oxígeno requerido para oxidar todos los compuestos químicos, tanto orgánico como inorgánico presente en el agua, por la acción de agentes fuertemente oxidante en un medio ácido. (García, y otros)
- **Desinfección:** Proceso de tratamiento que elimina o reduce el riesgo de enfermedad que pueden presentar los agentes microbianos patógenos, constituye una medida preventiva esencial para la salud pública. (Cordero Ordóñez & Ullauri Hernández, 2011)
- **Floculación:** Proceso hidrodinámico en el que se efectúan las colisiones de partículas desestabilizadas favoreciendo la cohesión entre ellas, logrando formar aglomerados de partículas coloidales que unidas entre sí alcanzan un peso que las hace sedimentables por gravedad. (Melo & Turriago, 2012)
- **Patógenos:** Microorganismos que pueden causar enfermedades en otros organismos, ya sea en humanos, animales y plantas. ( Grupo EPM)

- **Tratamiento:** De acuerdo con el RAS 2000, el proceso de tratamiento corresponde al conjunto de acciones que se realizan sobre el agua cruda, con el fin de modificar sus características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas, para potabilizarla de acuerdo con el Decreto 1575 de 2007 o aquél que lo sustituya.
- **Planta de tratamiento:** Según lo establecido en el decreto 475/1998 es el conjunto de obras, equipos y materiales necesarios para efectuar los procesos que permitan cumplir con las normas de calidad del agua potable.
- **PH:** Es un indicador de la acidez de una sustancia, siendo ésta una de las propiedades más importantes del agua. El rango varía de 0 a 14, siendo 7 el rango promedio (rango neutral). Un pH menor a 7 indica acidez, mientras que un pH mayor a 7, indica un rango básico. (Arboleda Valencia , 1992)
- **Test de Jarras:** Es un procedimiento que se utiliza en los laboratorios para determinar las condiciones de operación óptimas generalmente para el tratamiento de aguas, la prueba de jarras permite ajustar el PH, hacer variaciones en la dosis de las diferentes sustancias químicas que se añaden a la muestra, alternar velocidades de mezclado. (SENA , 2015)
- **Turbidez:** Es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea remitida y no transmitida a través de la suspensión, puede ser causada por una gran variedad de materiales en suspensión, que varían en tamaño desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otros, arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos, microorganismos. Los valores de turbiedad sirven para establecer el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda. (IDEAM, 2007)

## 4.4 MARCO CONTEXTUAL

### 4.4.1 VALLEDUPAR/CESAR

También llamada Ciudad de los Santos Reyes del Valle de Upar, es un municipio colombiano, capital del departamento del Cesar. Es la cabecera del municipio homónimo, el cual tiene: (Alcaldía Municipal De Valledupar)

- Extensión: 4.493 km<sup>2</sup>
- 493.342 hab. y junto a su área metropolitana reúne 677.9411 hab.  
Conformado por: 25 corregimientos y 102 veredas.

Está ubicada al nororiente de la Costa Atlántica colombiana, a orillas del río Guatapurí, en el valle del río Cesar formado por la Sierra Nevada de Santa Marta al occidente y la serranía del Perijá al oriente.

**4.4.1.1. Climatología:** En Valledupar, los veranos son cortos, tórridos, bochornosos y secos; los inviernos son caliente, opresivos y mojados y está nublado durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 22 °C a 37 °C y rara vez baja a menos de 20 °C o sube a más de 39 °C.

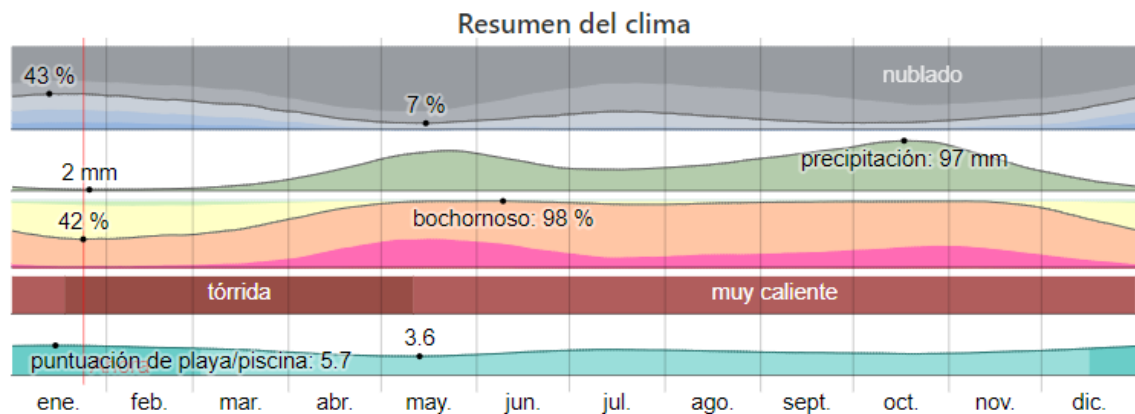


Figura 2. Climatología promedio en Valledupar

Fuente: (Weather Spark)

Su humedad se puede visualizar en el gráfico siguiente:

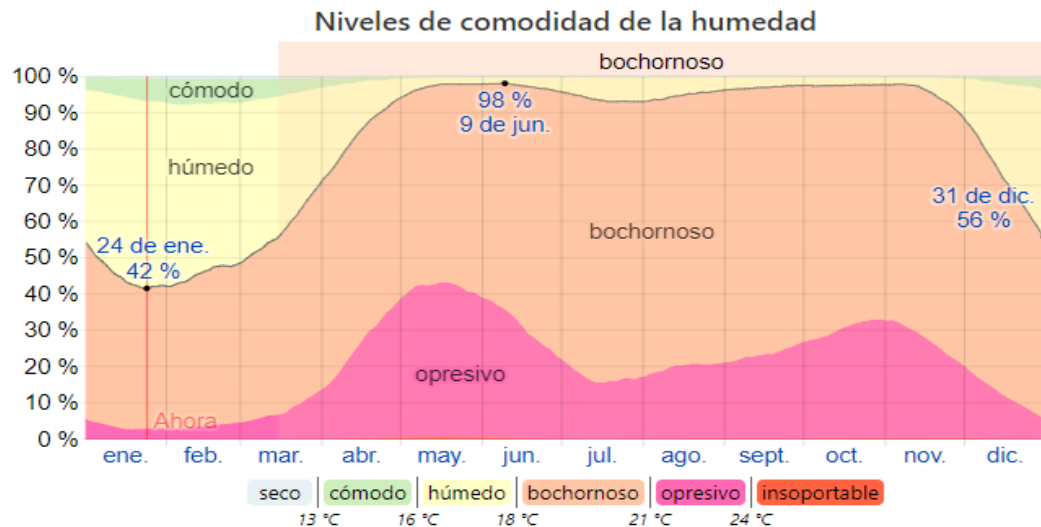


Figura 3. Humedad del Municipio de Valledupar

Fuente: (Weather Spark)

La velocidad del aire se puede visualizar en el siguiente gráfico:

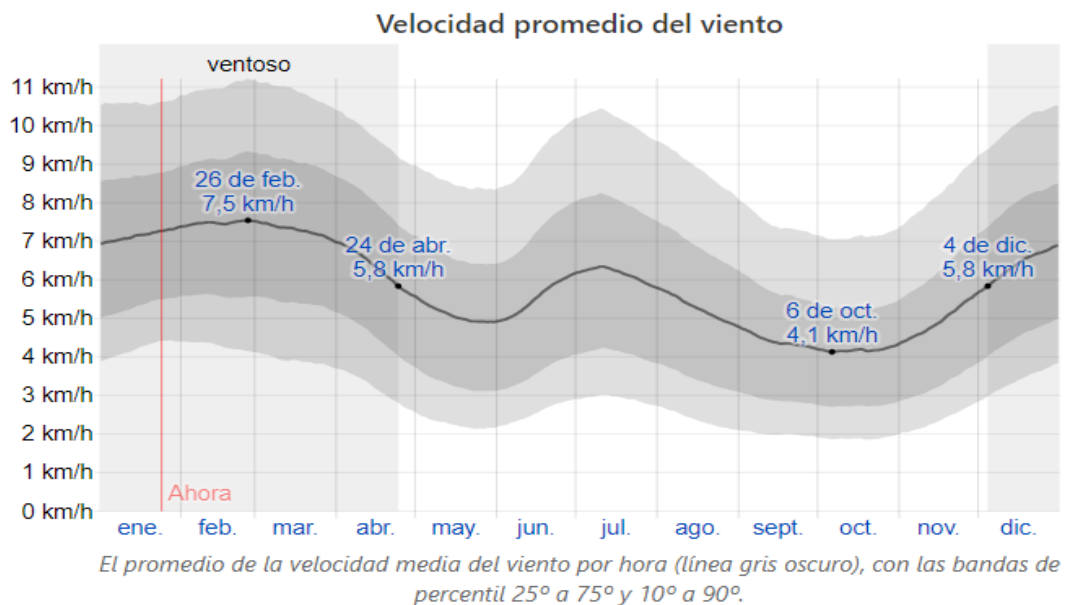


Figura 4. Velocidad promedio del aire en el Municipio de Valledupar

Fuente: (Weather Spark)



*Figura 5. Ubicación del Municipio de Valledupar con relación al Dpto. del Cesar y de Colombia.*

*Fuente: (Gobernación del Cesar)*

#### **4.4.2 RÍO GUATAPURÍ**

El río Guatapurí tiene su origen a 4.400 metros sobre el nivel del mar, en la laguna de Curígua, que yace silente entre las hermosas montañas de la Sierra Nevada de Santa Marta. Desde allí discurre aproximadamente unos 85 kilómetros, descendiendo en una pendiente promedio de 20%, hasta llegar al río Cesar, en Valledupar, en el cual desemboca por su lado derecho. La cuenca del río Guatapurí alcanza una superficie de 836 kilómetros cuadrados, con un caudal medio en sus aguas de 11 metros cúbicos por segundo, desplazándose en una trayectoria torrencial que lo lleva por un cañón de fuerte caída, rodeado por bloques de rocas ígneas y otros minerales. Durante su recorrido, se encuentra con el río Donachui, el río Curiba, el río Los Mangos y el río Mamanqueca, entre otros afluentes de sus

aguas, con las cuales baña después a la ciudad Valledupar en su parte nororiental, y surte al acueducto local, hasta llegar al río Cesar. (Planeta, 2020)

#### **4.4.3 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP)**

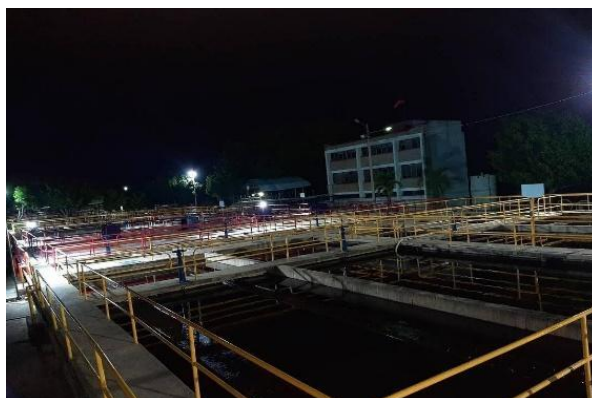
Está ubicada a 10°30'08" N y 73°17'01" W, su sistema de tratamiento de agua potable, consta de dos plantas de Tratamiento, La Gota Fría que tiene un diseño para tratar hasta 800 L/s de agua cruda y La Huaricha con una capacidad de tratamiento de 1500 L/s de agua cruda, para una capacidad total de 2300 L/s, equivalentes a 5.961.600,00 metros al mes.

Las plantas en mención son de tecnología convencional. Son de funcionamiento hidráulico, es decir no requieren de ningún tipo de equipo eléctrico para su operación hidráulica. Con sólo el desvío del río y el sistema de gravedad se dispone del agua del acueducto que alimentan las dos plantas, para que el agua sea sometida a todos los procesos y operaciones unitarias de potabilización de agua como son Coagulación, Floculación, Sedimentación, Filtración, Cloración e incluso retro lavado. (Emdupar S.A.- E.S.P. Empresa de Servicios Públicos de Valledupar)



*Figura 6. Planta de tratamiento de agua potable de Valledupar*

*Fuente: EMDUPAR S.A.-E.S.P.*



*Figura 7. Planta de tratamiento de agua potable de Valledupar.*

*Fuente: EMDUPAR S.A.- E.S.P.*



*Figura 8. Ubicación de la planta de tratamiento de agua potable EMDUPAR S.A.E.S.P.*

*Fuente: Google Earth*

#### 4.5 MARCO LEGAL

Teniendo en cuenta el marco legal vigente donde las leyes, decretos y resoluciones han aumentado el nivel de exigibilidad con respecto a los valores de calidad de agua para consumo humano. Cabe resaltar que para alcanzar estos altos índices exigidos se hace necesario una óptima o excelente coagulación.

La coagulación es importante ya que hay partículas muy pequeñas que no se sedimentan las cuales pueden causar afectaciones a la salud. Por eso se han creado estas leyes las cuales permiten mantener una calidad del agua.

*Tabla 4. Normatividad Ambiental*

CONSTITUCIÓN POLÍTICA	
<b>Artículo 366.</b>	El bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida de la población son finalidades sociales del Estado. Será objetivo fundamental de su actividad la solución de las necesidades insatisfechas de salud, de educación, de saneamiento ambiental y de agua potable
NORMA	
RAS	Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Sección II. TÍTULO B Sistemas de Acueducto.

DECRETOS	
<b>475 de 1998</b>	Por el cual se expiden normas técnicas sobre calidad del agua potable.
<b>1905 de 2000</b>	Por el cual se modifican los estatutos y el reglamento de funcionamiento de la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico.
<b>1575 de 2007</b>	Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.
<b>3320 de 2008</b>	Por el cual se reglamentan los artículos 100 de la Ley 1151 de 2007 y 13 de la Ley 1176 de 2007, en relación con el procedimiento a seguir para el giro de los recursos del Sistema General de Participaciones, SGP, para agua potable y saneamiento básico, y se dictan otras disposiciones.

<b>RESOLUCIONES</b>	
2115 de 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.
0016-2015	Por la cual se definen los requisitos para la evaluación, aprobación y seguimiento de proyectos de la línea de tasa compensada para el sector de agua potable y saneamiento básico.
0693-2012	Por la cual se Adopta la Guía de qué trata el artículo 14 del Decreto 1873 de 2012(Mecanismo Departamental de evaluación y viabilización de proyectos del sector de agua potable y saneamiento básico en el marco de los Planes Departamentales de Agua y los demás Programas regionales para el manejo de agua potable y saneamiento básico).

*Fuente: Autores, 2021*

#### **4.6 MARCO INSTITUCIONAL**

**Empresa de Servicios Público de Acueducto y Alcantarillado de Valledupar (EMDUPAR)** (Emdupar S.A.- E.S.P. Empresa de Servicios Públicos de Valledupar)

La Empresa de Servicios Públicos de Valledupar, tuvo sus inicios en 1944, para esa época a los habitantes les tocaba entubar el agua proveniente del río Guatapurí, constituyéndose en la empresa de los servicios municipales.

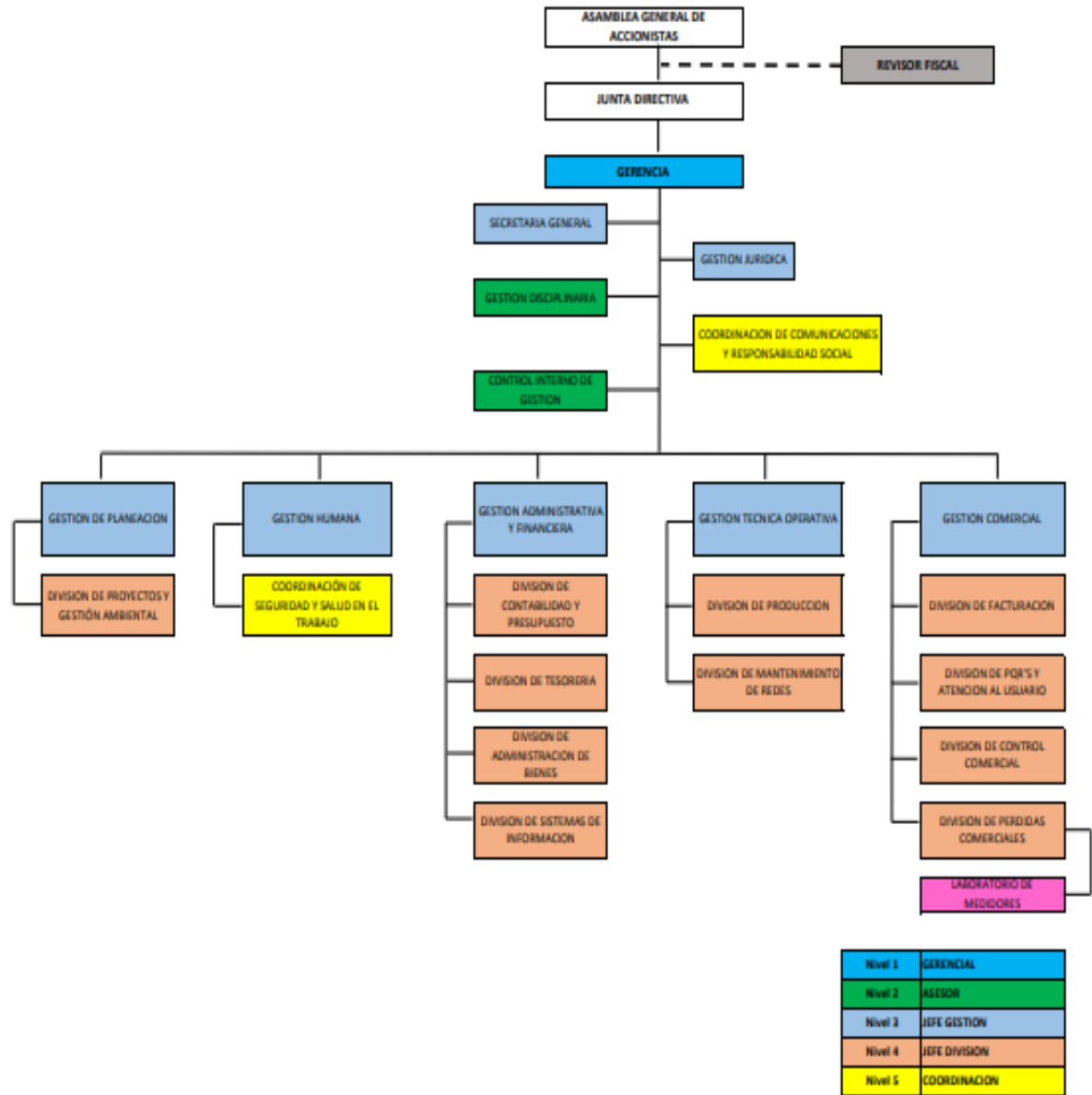
Actualmente la empresa Emdupar S.A. -E.S.P. es la empresa de servicios públicos de acueducto y alcantarillado de la ciudad de Valledupar, la cual cuenta con 269 trabajadores, bajo la Gerencia del Ingeniero Armado José Cuello Daza.

##### **Misión**

Prestar servicios de acueducto y alcantarillado con productos y servicios de calidad, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental, económica y social.

##### **Visión**

Ser una empresa de servicios públicos líder en la región, competitiva y reconocida en los mercados nacionales, garantizando la sostenibilidad Ambiental, Económica y social.



**Figura 9.** Organigrama Emdupar

Fuente: Emdupar

## **5. MARCO METODOLÓGICO**

### **5.1 LÍNEA Y SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

- Línea de investigación: Sostenibilidad y Gestión Ambiental
- Sublínea de investigación: Gestión Integral de los Recursos hídricos.

### **5.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Según Fidias Arias G (2012), autor del libro *El Proyecto de Investigación*, “la investigación experimental es un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos en determinadas condiciones, estímulos o tratamiento (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente)”.

### **5.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

Se trabajó con un nivel de investigación Experimental, ya que se aplican en experimentos "puros", entendiéndose por tales los que reúnen tres requisitos fundamentales: 1) Manipulación de una o más variables independientes; 2) Medir el efecto de la variable independiente sobre la variable dependiente; y 3) Validez interna de la situación experimental. (Hernández, 2012) (Arias G, 2012)

### **5.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO**

El área de estudio está conformada por las aguas del río Guatapurí del departamento del Cesar, en la Costa Atlántica de Colombia, específicamente en la cuenca media o zona de captación después del desarenador para el consumo humano.

Tomándose una muestra representativa de esta población en el punto antes mencionado, debido a que esta investigación pretende evaluar uno de los procesos de tratamiento de agua de consumo (Coagulación-Floculación).

## **5.5. DESARROLLO METODOLÓGICO**

Para evaluar el comportamiento y la eficiencia del uso de coagulantes naturales extraídos de los residuos de *Jatropha Curcas* y *Moringa Oleífera*, basada en la remoción de sólidos y sustancias coloidales presentes en las aguas crudas del río Guatapurí, se realizó una serie de procesos a escala de laboratorio, las cuales se describen a continuación de manera lógica y secuencial, ajustada a la metodología requerida para el desarrollo del presente trabajo.

### **5.5.1 Etapa 1: Caracterización del coagulante extraído de *Jatropha Curcas* y *Moringa Oleífera*.**

#### **Actividad 1.1. Extracción del coagulante**

Para la preparación de los coagulantes naturales se utilizó el método de extracción en seco, el cual es una técnica económica puesto que requiere muy poca inversión en área de trabajo e insumos, para su empleo no son necesarias grandes cantidades de agua, lo que por ende genera un menor impacto en la parte ambiental. (Lambis, Hernández, Morales, Marin, & Pasqualino, 2015)

Los procesos que a continuación están descritos son recomendados por (Acevedo Picón , 2019), (Cerón & Garzón, 2015) y (Panadero & Posada, 2016) con algunas modificaciones de los investigadores por las características encontradas en la materia prima usada para la extracción.

**Procedimiento:**

- **Adquisición y Selección de materia prima:** Las semillas se obtuvieron en una finca del municipio de El Copey. Posteriormente se seleccionó manualmente la semilla de buena calidad. (Anexo 1)
- **Descascarado:** Se retiró manualmente la cáscara a la semilla de Moringa solamente puesto que la semilla de Jatropha se dejó sin descascarar. (Anexo 2)
- **Lavado de materia prima:** Para realizar este proceso se utilizó abundante agua potable y con ello eliminar cualquier residuo en ellas presente.
- **Secado:** Este procedimiento se inició al colocar a temperatura ambiente durante 48 horas para eliminar la humedad existente. (Anexo 3)
- **Molido y tamizado:** Después del secado de las semillas se procedió a moler hasta reducirlo a polvo, utilizando un molino. Posteriormente se tamizó hasta obtener partículas de diámetros más pequeñas facilitando la disolución en el agua destilada. (Anexo 4)
- **Pesado:** Luego de obtener el coagulante en polvo se pesó para conocer las cantidades empacadas y guardadas.
- **Preparación de las soluciones coagulantes:**

Para Jatropha: Se dispuso de un beaker de 250mL, al cual se le añadió 200ml de agua destilada; seguidamente fueron agregados 10 g de coagulante tamizado. Posteriormente, se introdujo un agitador magnético al beaker y fue colocado sobre una plancha de agitación a máxima potencia durante 30 minutos para asegurar una dilución completa. Una vez realizado el proceso de mezclado la solución fue filtrada con ayuda de un Matraz Erlenmeyer, un embudo de vidrio y tela de muselina (tela lisa, suave, vaporosa y económica que se hace generalmente de algodón, que tiene el tamaño de sus orificios de 1.2mm x 1.2mm); finalmente se envasó en un beaker de 250ml y se rotuló

obteniendo así de esta manera el coagulante a usar en los posteriores ensayos de jarras.

Para Moringa: Se dispuso de un beaker de 250ml, al cuales se le añadió 200ml de agua destilada; seguidamente fueron agregados 10g de coagulante tamizado. Posteriormente, se introdujo un agitador magnético al beaker y fue colocado sobre una plancha de agitación a máxima potencia durante 30 minutos para asegurar una dilución completa. Una vez realizado el proceso de mezclado, la solución fue filtrada con ayuda de un Matraz Erlenmeyer, un embudo de vidrio y papel filtro; finalmente se envasó en un beaker de 250ml y se rotuló obteniendo así de esta manera el coagulante a usar en los posteriores ensayos de jarras. (Anexo 5)

### **Actividad 1.2. Determinación de las características del coagulante**

Se prepararon soluciones al 5%(p/v) las cuales eran las aplicadas como coagulantes; en concordancia a lo propuesto por (Panadero & Posada, 2016) y (Cerón & Garzón, 2015). Posteriormente, a las soluciones se le midieron sus parámetros fisicoquímicos, tales como pH por el método Electrométrico (SM 4550-H+B) y Turbidez por el método nefelométrico (NTU). Estos dos parámetros generan una importancia directa en relación al proceso coagulación- floculación por lo que los investigadores resaltan la pertinencia de la determinación de los mismos en relación a que el aumento o la disminución de los mismos pueden afectar el proceso en evaluación.

## **5.5.2 Etapa 2: Determinar las características físico-químicas del agua cruda del río GUATAPURÍ.**

### **Actividad 2.1. Toma de la muestra**

Las muestras fueron tomadas teniendo en cuenta las técnicas y procedimientos según protocolos establecidos por (IDEAM, 2018) después de la etapa de desarenado, debido a que en esta investigación se pretende evaluar el proceso de Coagulación-floculación tratamiento de agua de consumo (coagulación-floculación). Estas muestras se analizaron en los laboratorios de fisicoquímica ambiental de la Universidad Popular del Cesar en un tiempo de seis meses, donde se abordó la temática de coagulación-floculación, el comportamiento y la eficacia de los coagulantes orgánicos extraídos de *Jatropha* (*Jatropha Curcas*) y *Moringa* (*Moringa Oleífera*). (Anexo 6)

### **Actividad 2.2. Caracterización fisicoquímica del agua.**

Para realizar los experimentos correspondientes, el agua recolectada se almacenó en recipientes plásticos de 20 lts y se transportó al laboratorio de aguas y saneamiento de la Universidad Popular Del Cesar (UPC), donde se conservó a una temperatura de (4°C) y se midieron inicialmente parámetros como la turbidez del agua cruda, pH, temperatura, conductividad, alcalinidad, sólidos suspendidos totales (SST) y sólidos suspendidos volátiles (SSV). Todo esto siguiendo los procedimientos establecidos en la guía de métodos estándares.

*Tabla 5. Métodos y procedimientos para la caracterización de parámetros fisicoquímicos.*

Turbidez	SM 2130B Nefelométrico Turbidímetro: HACH 2100AN	<p>a) Primero, se tomó una alícuota de 100 ml.</p> <p>b) Se calibró el turbidímetro de acuerdo a las instrucciones del fabricante.</p> <p>c) Se agitó la muestra suavemente y esperamos hasta que las burbujas de aire desaparecieran y la pusimos en la célula de muestra del turbidímetro.</p> <p>d) Se hizo la observación de la primera lectura de turbidez que muestra el equipo directamente en la escala del instrumento o en la curva de calibración apropiada.</p> <p>e) Retiramos la celda, desechamos la muestra, enjuagamos tres (3) veces con agua destilada antes de realizar la siguiente lectura.</p> <p>f) Al finalizar el ensayo, lavamos la celda con agua de la llave y luego repetidas veces con agua destilada.</p>
pH (potencial hidrógeno)	de SM 4550-H+B Electrométrico  Equipos: Waterproof Multiparámetro y HANNA HI98194	<p>a) En primer lugar, recolectamos un poco de agua en un beacker de 50 ml u otro recipiente;</p> <p>b) Se lavó el sensor del equipo con agua destilada y sumergimos la sonda del multiparámetro en el agua;</p> <p>c) Oprimimos la tecla específica para que inicie la lectura del pH. Luego se esperamos hasta que el valor en la pantalla se estabilizó;</p> <p>d) Finalmente, se registró la lectura con la sonda del multiparámetro aún dentro del agua medidos en el laboratorio y campo, respectivamente. (Anexo 7)</p>
Conductividad eléctrica	SM 2510B Electrométrico  Equipo: Waterproof Multiparámetro	<p>a) Al principio, recolectamos un poco de agua en un beacker de 50 ml u otro recipiente;</p> <p>b) Después de calibrar según instructivos del equipo, se lavó el sensor con agua destilada e introducimos la sonda de conductividad a la muestra homogénea agua para determinar la conductividad;</p> <p>c) Oprimimos la tecla para que iniciara la lectura. Luego se esperó hasta que el valor en la pantalla se estabilizó;</p> <p>d) Para concluir, se hizo la lectura con la sonda del multiparámetro aún dentro del agua.</p>
Temperatura	SM 2550B Electrométrico  Equipo: Waterproof Multiparámetro	<p>a) Primero, recolectamos un poco de agua en un beacker de 50 ml;</p> <p>b) Se lavó el sensor del equipo con agua destilada y sumergir la sonda del multiparámetro en el agua;</p> <p>c) Luego se esperó hasta que el valor en la pantalla se estabilizó;</p>

		<p>d) Se hizo la lectura con la sonda del multiparámetro aún dentro del agua.</p>
<p>Alcalinidad</p>	<p>Method 2320 B. Volumétrico.</p>	<p><b>Alcalinidad a la fenolftaleína:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Se tomó 50 mL de muestra en un matraz Erlenmeyer.</li> <li>Agregamos 3 gotas de indicador de fenolftaleína. <ul style="list-style-type: none"> <li>Si se observaba una coloración rosa es porque existía alcalinidad a la fenolftaleína, y se pasaba al paso 3.</li> <li>Si se mantenía incoloro, no presenta alcalinidad a la fenolftaleína y esta es cero (0).</li> </ul> </li> <li>Titulamos la muestra con solución de ácido sulfúrico 0.02N hasta su decoloración.</li> <li>Tomamos la lectura de solución titulante en mililitros de ácido agregado.</li> <li>Remplazamos en la ecuación y calculamos la alcalinidad a la fenolftaleína:</li> </ol> $\text{Alcalinidad de Fenolftaleína} \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3 \right) = \frac{V_t * N_t * P_{Eq-gr} \text{CaCO}_3 * 1000}{V_m}$ <p>Donde:  <math>V_t</math> = Volumen de ácido estándar agregado en mL.  <math>N_t</math> = Normalidad del ácido estándar 0,02N  <math>V_m</math> = Volumen de muestra en mL</p> <p><b>Alcalinidad Total:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Tomamos 50 mL de muestra en un matraz Erlenmeyer.</li> <li>Agregamos 3 gotas del indicador anaranjado de metilo. <ul style="list-style-type: none"> <li>Si resultaba una coloración amarilla, es porque existía alcalinidad al Naranja de Metilo, y se pasaba al paso 3.</li> <li>Si daba una coloración naranja, no presenta alcalinidad y esta es cero (0).</li> </ul> </li> <li>Titulamos la muestra con solución de ácido sulfúrico 0.02N, hasta que viraba a color naranja (correspondiente a PH = 4.5).</li> <li>Tomamos la lectura de solución titulante en mililitros de ácido agregado.</li> <li>Remplazamos en la ecuación y calculamos la alcalinidad Total:</li> </ol>

		$\text{Alcalinidad Total } \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3 \right)$ $= \frac{V_t * N_t * P_{Eq-gr} \text{CaCO}_3 * 1000}{V_m}$ <p>Dónde:  <math>V_t</math> = Volumen de ácido estándar agregado en mL.  <math>N_t</math> = Normalidad del ácido estándar 0,02N  <math>V_m</math> = Volumen de muestra en mL          (Anexo 9)</p>
SST y SSV	<p>SM2540</p> <p>Gravimétrico</p> <p>Balanza analítica HR 250A-DE252 SERIE: 255190</p> <p>Mufla (Thermolyne SYBRON 48000 Furnace)</p> <p>Papel de filtro con fibra de vidrio y cápsulas de aluminio.</p>	<p>Se filtraron por succión 25 mL de muestra a través papel de filtro previamente pesado en una cápsula de aluminio hasta peso constante (P1), las cápsulas se introdujeron en un horno (Mettler) con un rango de temperatura de 103- 105° C durante una hora. Luego se dejaron enfriar en un desecador hasta peso constante (P2). Seguidamente las cápsulas se introdujeron en la mufla a 550° C durante 5 minutos y luego se dejaron enfriar en un desecador hasta peso constante (P3). Las siguientes ecuaciones permitieron determinar las concentraciones de SST y SSV respectivamente, en las muestras de agua residual.</p> <p>SST (mg L-1) = (P2 – P1) x 106/VM          SSV (mg L-1) = (P2 – P3) x 106/VM</p> <p>Dónde:  <math>P_1</math>: Peso de la cápsula, a temperatura ambiente, (g).  <math>P_2</math>: Peso del residuo + cápsula, a 103-105° C, (g).  <math>P_3</math>: Peso del residuo + cápsula, a 500° C, (g).  <math>VM</math>: Volumen de Muestra (mL). (Anexo 8)</p>

Fuente: autores, 2021.

### **5.5.3 Etapa 3: Comparación de la efectividad de los coagulantes orgánicos a través de las diferentes configuraciones de tipos de coagulantes y dosis óptimas teniendo como variable respuesta la turbidez.**

#### **Actividad 3.1. Preparación del agua turbia sintética (ATS)**

Para la obtención de la dosis óptima de los coagulantes se utilizaron muestras de agua con diferente turbidez: baja: 100 NTU, media: 500 NTU y alta: 1000 NTU promedio; para lo cual fue necesario la preparación de agua turbia sintética (ATS).

Este modelo según (López et al., 2008) no representa el agua real de ninguna ciudad, pero es una suspensión estable que puede ser usada para estudiar el mecanismo de coagulación ahorrando costos de transporte de muestras, adicionalmente fue necesaria la utilización de ATS debido a la dificultad de toma de muestras constantes debido a la pandemia producida por el COVID-19. Fue preparada empleando la metodología sugerida por (Okuda, Baes, Nishijima, & Okada, 2001) y (Asrafuzzaman , Fakhruddin , & Hossain, 2011) se adicionaron diferentes cantidades de caolín en 15 litros de agua de grifo hasta obtener valores de turbidez cercanos a los valores establecidos como bajo, medio y alto. Para turbidez baja se agregaron 15 gramos, para agua de turbidez media de agregaron 55 gramos y para turbidez alta se adicionaron 70 gramos. Dicha suspensión se mezcló con un agitador de forma continua para lograr la dispersión uniforme; transcurrido ese tiempo, se dejó reposar durante 24 horas para la completa hidratación del material arcilloso. (Anexo 10)

#### **Actividad 3.2. Determinación de la dosis óptima de coagulante natural e inorgánico en las diferentes configuraciones de tipo y concentración de coagulantes utilizados ATS.**

Para definir la cantidad adecuada del coagulante se realizaron diferentes ensayos en el test de jarras siguiendo lo recomendado por (Rodríguez, Torregroza, Mejía,

Atencia, & Villero, 2019). La evaluación de la coagulación se llevó a cabo utilizando un aparato de Prueba de Jarra modelo PB-700; se agregó 0.5 L de ATS, a cada uno de los seis vasos de precipitado de 2000 mL. Posterior a esto se procedió a agregar el coagulante, al iniciar el mezclado rápido (120 rpm, 2min); se agregaron las diferentes dosis de coagulante natural (5mg/l, 10 mg/l, 20 mg/l, 30 mg/l, 60 mg/l, 90 mg/l, 100 mg/l, 150 mg/l, 200 mg/l) usando una pipeta, se aplicó luego el mezclado lento (50 rpm, 20 min), se termina con el proceso con la etapa de sedimentación (40min).

Estas pruebas se realizaron con el fin de establecer la dosis óptima, utilizando como parámetros de evaluación y control la turbidez y el pH tanto antes como después de los ensayos. Finalmente se escogió la dosis que presentó mejores resultados, es decir, mayor clarificación en menos tiempo.

### **Actividad 3.3. Determinación de la variable de respuesta (turbidez) utilizando las muestras de agua cruda.**

Se determinó la turbidez final como única variable respuesta dependiente para cada uno de los coagulantes utilizados expresada en unidades nefelométricas de turbidez (UNT), teniendo como variables independientes las dosis óptimas de cada coagulante expresados en mg/l y los tres tipos de coagulante a comparar. Los ensayos fueron realizados por triplicado y los resultados obtenidos fueron procesados estadísticamente y representados por medio de gráficas, con el fin de ser analizados e interpretados.

## **5.6. DISEÑO EXPERIMENTAL**

Se implementó una práctica estadística que nos permitió identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro del análisis experimental de este proyecto, de igual manera para determinar y estudiar las variables que afecta, sus relaciones y con ello adquirir la información necesaria para su mejora. Para llevar a cabo dicho modelo experimental se empleó el programa estadístico MINITAB 18, que es un programa íntegro de estadística básica y avanzada, ideal para analizar datos de investigaciones, que incluye estadísticas descriptivas, pruebas de hipótesis, intervalos de confianza, análisis de varianza, entre otros. También cuenta con la visualización de gráficas (barra, interacción, probabilidad, contorno y otras).

Con el uso de la herramienta MINITAB 18, se elaboró un diseño factorial de múltiples niveles, que es según Sánchez (2000), el apropiado para este tipo de análisis, puesto que al aplicar esta metodología sabremos exactamente cómo influye cada factor en la remoción de turbidez. Con la finalidad de reducir costos hemos optimizado el costo del experimento. Para ello, realizamos el experimento con sólo dos niveles para cada uno de los factores a considerar.

## 6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### **Etapa 1: Caracterización de la solución coagulante preparada a partir de *Jatropha (Jatropha Curcas)* y *Moringa (Moringa Oleífera)*.**

Los resultados de la caracterización de los coagulantes se muestran a continuación en las tablas número 7 y 8:

*Tabla 6. Resultados obtenidos en la caracterización de los coagulantes al 5%.*

COAGULANTE	pH PROMEDIO	TURBIDEZ PROMEDIO (NTU)
<b>Jatropha 5%</b>	5,63	5275
<b>Moringa 5%</b>	5,54	88,4

*Fuente: Autores, 2021*

Como se observa en la tabla No 6 la turbidez promedio de las soluciones coagulantes son inferiores a las presentadas en el agua cruda, por ende, esta no tendría influencia en la turbidez del agua a tratar. El pH a pesar de estar en niveles por nivel por debajo de la normatividad vigente (Resolución 2115 de 2007) para agua de consumo no tuvo incidencia para que el agua tratada cumpliera con la misma.

### **Etapa 2: Determinación de las características fisicoquímicas del agua cruda del río GUATAPURÍ.**

#### **2.1. Caracterización fisicoquímica del agua.**

En la caracterización fisicoquímica se midieron parámetros como: pH, turbidez, conductividad eléctrica, temperatura, luego en el laboratorio se analizaron: sólidos suspendidos totales y sólidos suspendidos volátiles y alcalinidad. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

*Tabla 7. Caracterización del agua cruda.*

Temporada	Turbidez Promedio (NTU)	pH	Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	SST (Mg/L)	SSV (Mg/L)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCo}_3$ )
Seca	150	7,03	58,89	26,2	224	144	22
Lluviosa	576	7,02	130,3	25,3	410	66	16

*Fuente: Autores, 2021*

La tabla anterior proporciona una visión general de la calidad del agua cruda del río Guatapurí en las dos temporadas marcadas, las cuales se caracterizaron por presentar valores promedio de pH de 7,03 y 7,02 unidades, y turbiedades de 150 y 576 NTU respectivamente; dichos valores se consideran aceptables según la normativa vigente en Colombia de calidad de agua para consumo humano, por el contrario se observa como los valores de turbidez de las dos muestras no cumplen con lo establecido en la resolución 2115 donde el valor máximo aceptable es de 2 NTU, además la turbidez en temporada lluviosa es mayor debido a la cantidad de sólidos suspendidos totales presentes. Teniendo en cuenta los resultados de alcalinidad para las muestras de temporada seca y lluviosa se puede deducir que las dos aguas muestreadas presentan valores bajos 22 mg/L de  $\text{CaCo}_3$  y 16 mg/L de  $\text{CaCo}_3$  respectivamente cumpliendo con el valor máximo permisible de 200 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  consignado en la norma a la cual se viene haciendo alusión, sin embargo, el agua de temporada lluviosa tiene una menor capacidad de amortiguación y puede presentar problemas de corrosión y a cambiar el pH con mayor rapidez cuando se le agrega algo ácido. Las conductividades de las muestras en temporada seca (58,89  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y en temporada lluviosa (130,3  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) son inferiores al valor máximo permitido (1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) con lo cual NO indica un cambio sospechoso en la cantidad de sólidos disueltos. Por último, los sólidos suspendidos volátiles indican una mayor presencia de sólidos orgánicos en temporada seca y de sales inorgánicas restantes en temporada lluviosa.

Los resultados de este estudio serán comparados con los obtenidos en un anterior trabajo realizado para aguas del; rio Guatapurí por (Rodríguez, De laCruz, Lopez, Ricaurte, & Morales, 2015)en el cual se obtuvo una turbidez de 100 NTU durante el período seco; se observa que los parámetros fisicoquímicos del agua cruda no presentan variaciones considerables en pH, SST y alcalinidad, ya que sus valores fueron: pH de 7.49; SST de 266,66 mg/l y alcalinidad de 38 mg/l de CaCO<sub>3</sub>.

**Etapas 3: Comparación de la efectividad de los coagulantes orgánicos a través de las diferentes configuraciones de tipos de coagulantes y dosis óptimas teniendo como variable respuesta la turbidez.**

### 3.1 Preparación de agua turbia sintética para la obtención de dosis óptimas.

Los resultados obtenidos a partir de la preparación del agua turbia sintética arrojan los siguientes datos de turbidez.

*Tabla 8. Turbidez promedio y desviación estándar del ATS.*

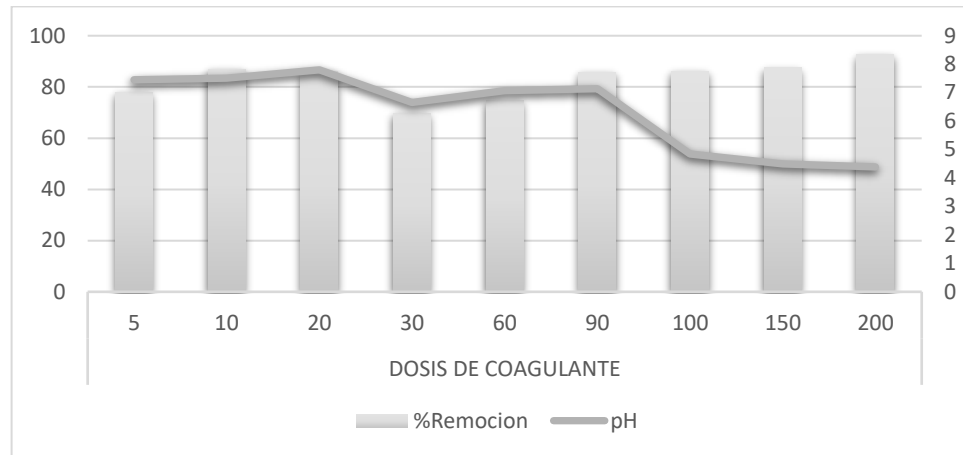
Turbidez promedio	Baja	Media	Alta
	141	697	1299
<b>Desviacion estandar</b>	24	127	133
<b>coef de variacion</b>	0,17	0,18	0,10
<b>Varianza</b>	569,28	16133,86	17701,25

*Fuente: Autores, 2021*

### 3.2 Determinación de la dosis óptima de coagulante natural e inorgánico en las diferentes configuraciones de tipo y concentración de coagulantes utilizando ATS.

La determinación de las dosis óptimas se efectuó al analizar por medio de gráficas los resultados posteriores al proceso en el test de jarras realizando la medición de los parámetros de turbidez y pH.

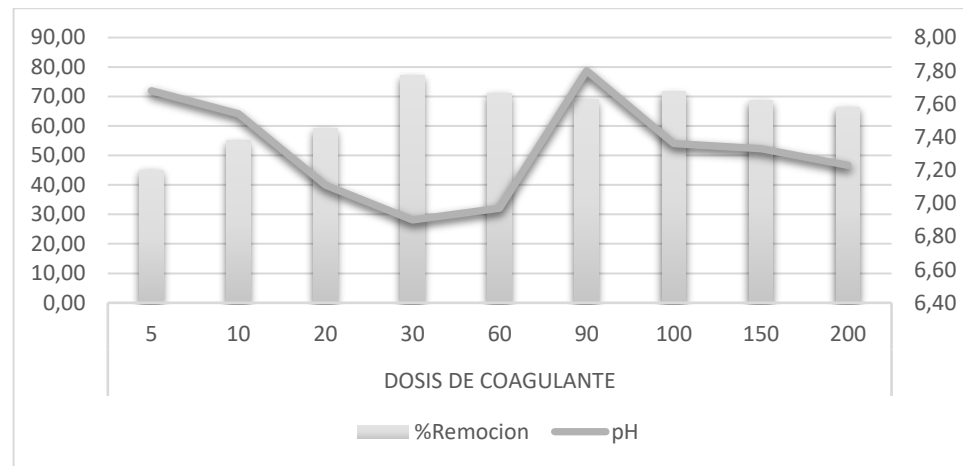
## DETERMINACIÓN DOSIS ÓPTIMA EN AGUAS TURBIDEZ PROMEDIO DE 100 NTU.



*Gráfica 1. obtención de dosis óptima del coagulante de moringa en agua de 100 NTU.*

*Fuente: Autores, 2021*

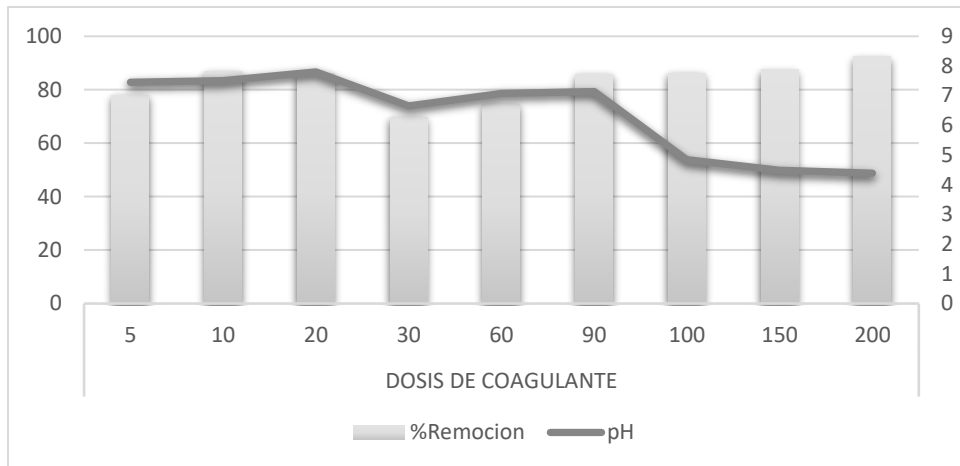
Se determinó que la dosis óptima es de 10mg/l ya que representa la máxima remoción de turbidez, además de no disminuir el pH del agua cruda por debajo del límite permisible en la Resolución 2115 de 2007.



*Gráfica 2. Obtención de la dosis óptima coagulante de jatropha en agua de 100 NTU.*

*Fuente: Autores, 2021*

Se determinó que la dosis óptima es de 30mg/l ya que representa la máxima remoción de turbidez. además de no disminuir el pH del agua cruda por debajo del límite permitido por la Resolución 2115 de 2007.

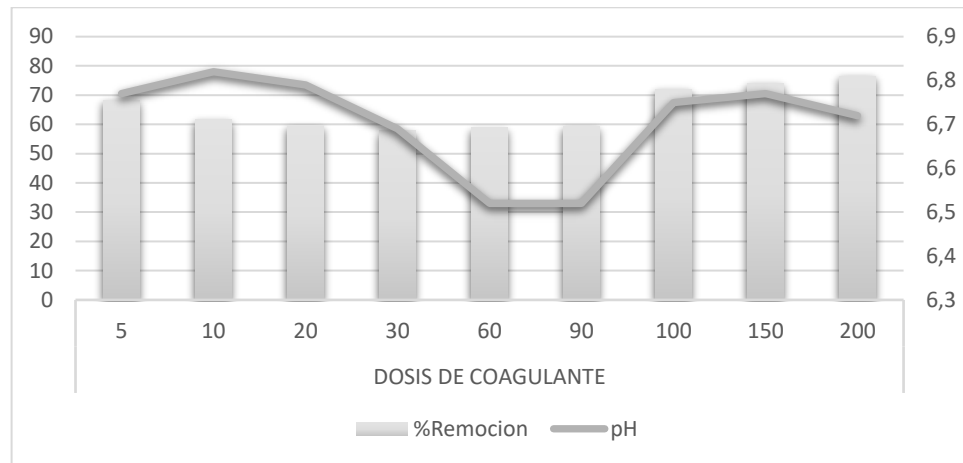


Gráfica 3. Obtención de la dosis óptima coagulante de sulfato de aluminio en agua de 100 NTU.

Fuente: Autores, 2021

Se determinó que la dosis óptima es de 10mg/l ya que representa la máxima remoción de turbidez. además de no disminuir el pH del agua cruda.

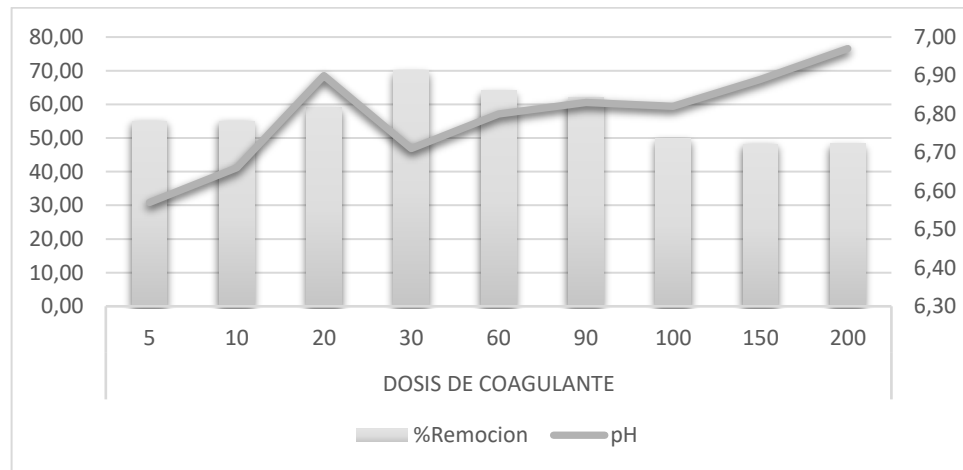
## DETERMINACIÓN DOSIS ÓPTIMA EN AGUAS DE TURBIDEZ PROMEDIO DE 500 NTU.



Gráfica 4. obtención de dosis óptima del coagulante de moringa en agua de 500 NTU.

Fuente: Autores, 2021

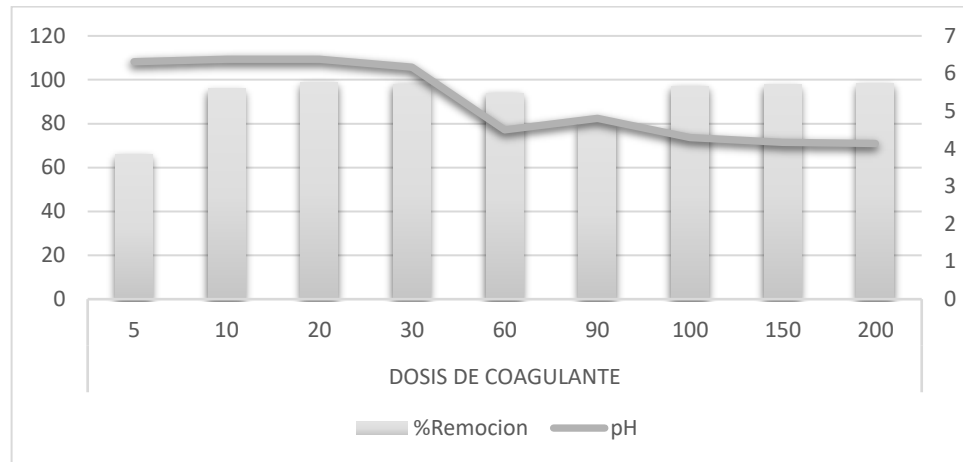
Se determinó que la dosis óptima es de 200mg/l ya que representa la máxima remoción de turbidez y no altera significativamente el pH del agua cruda.



Gráfica 5. Obtención de la dosis óptima coagulante de jatropha en agua de 500 NTU.

Fuente: Autores, 2021

Se determinó que la dosis óptima es de 30mg/l ya que representa la máxima remoción de turbidez y mantiene el pH del agua cruda estable.

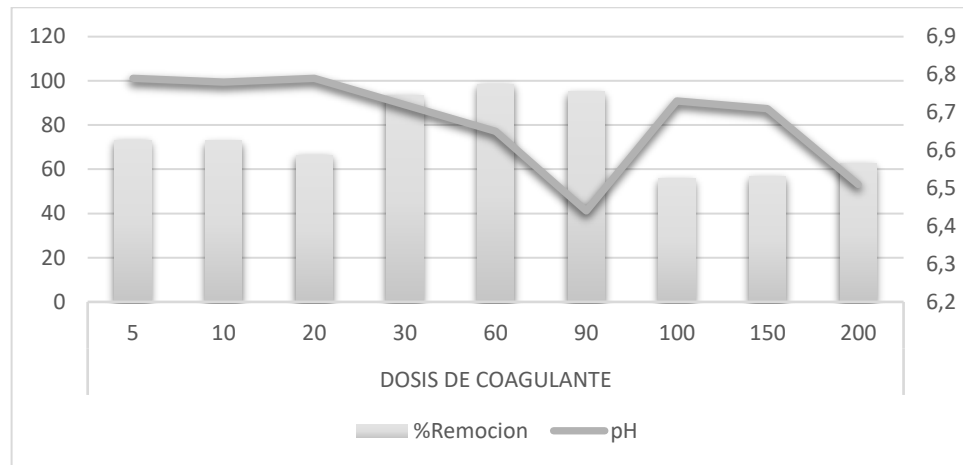


*Gráfica 6. Obtención de la dosis óptima coagulante de sulfato de aluminio en agua de 500 NTU.*

*Fuente: Autores, 2021*

Se determinó que la dosis óptima es de 20mg/l ya que representa la máxima remoción de turbidez y además no alteró el pH del agua cruda.

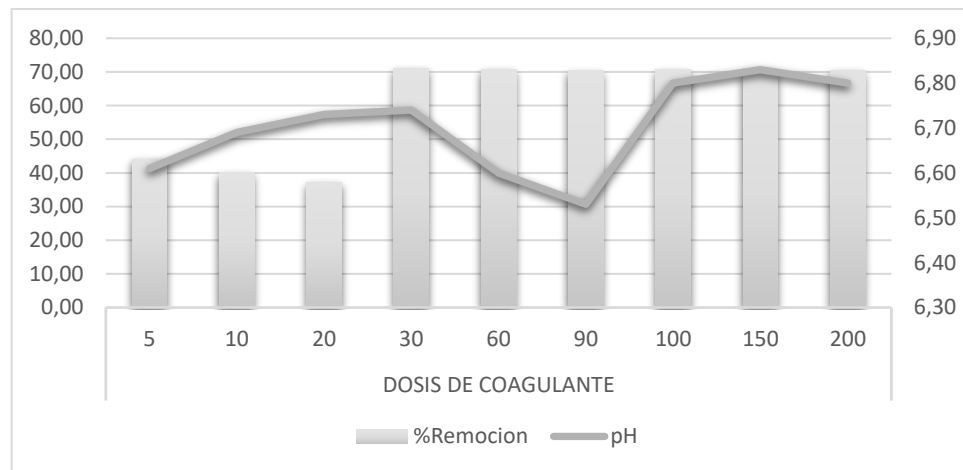
## DETERMINACIÓN DOSIS ÓPTIMA EN AGUAS DE TURBIDEZ PROMEDIO DE 1000 NTU.



*Gráfica 7. Obtención de dosis óptima del coagulante de moringa en agua de 1000 NTU.*

*Fuente: Autores, 2021*

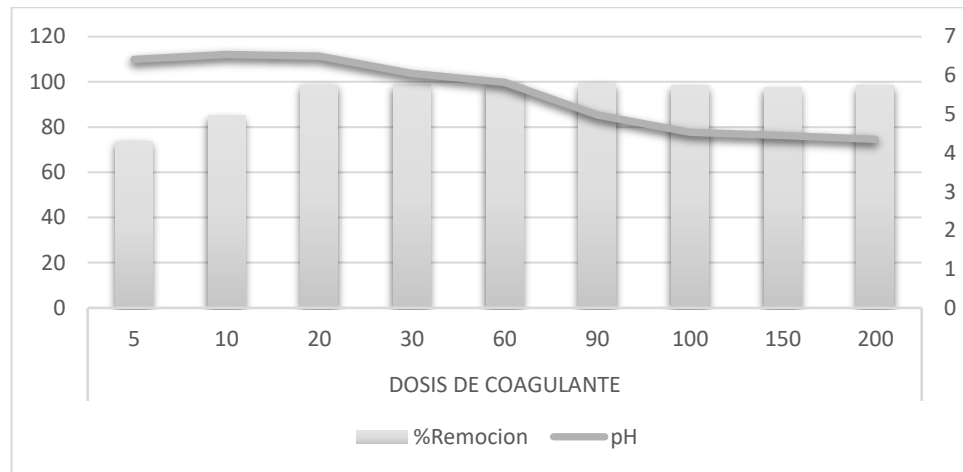
Se determinó que la dosis óptima es de 60mg/l ya que representa la máxima remoción de turbidez. además de no disminuir el pH del agua cruda.



*Gráfica 8. Obtención de la dosis óptima coagulante de jatropha en agua de 1000 NTU.*

*Fuente: Autores, 2021*

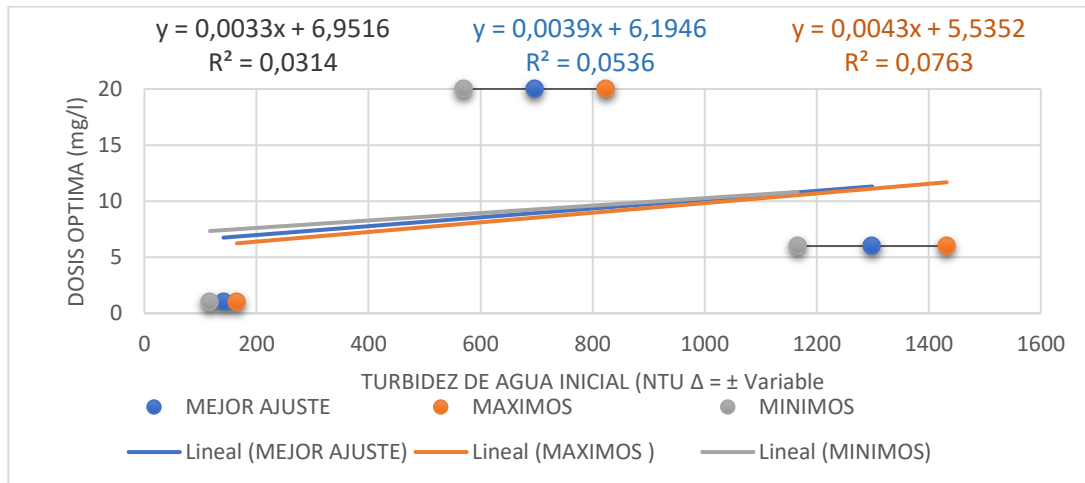
Se determinó que la dosis óptima es de 30mg/l ya que representa la máxima remoción de turbidez y mantuvo estable el pH en el agua cruda.



*Gráficas 9. Obtención de la dosis óptima coagulante de sulfato de aluminio en agua de 1000 NTU.*

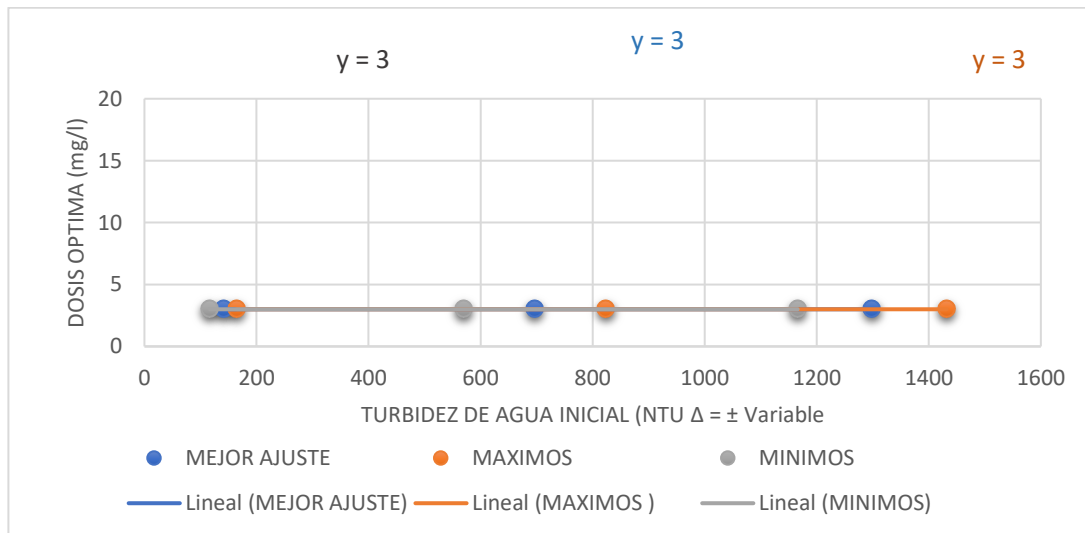
*Fuente: Autores, 2021*

Se determinó que la dosis óptima es de 30mg/l ya que representa la máxima remoción de turbidez y mantuvo estable el pH en el agua cruda.



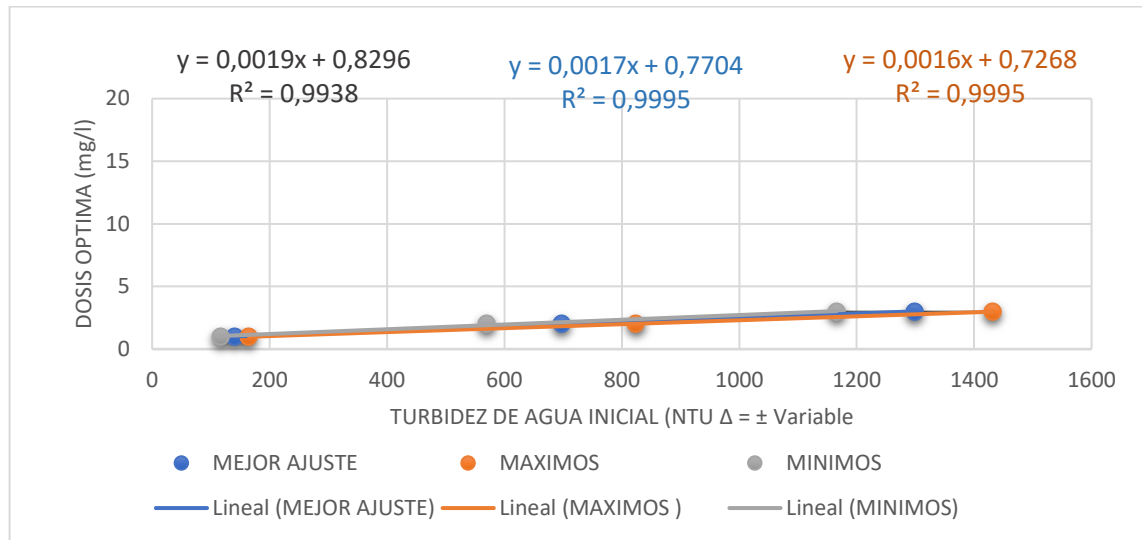
Gráfica 10. Dosis óptima de coagulante de Moringa vs turbidez

Fuente: Autores, 2021



Gráfica 11. Dosis óptima de coagulante de Jatropha vs turbidez

Fuente: Autores, 2021



*Gráfica 12 Dosis óptima de coagulante de sulfato de aluminio vs turbidez*

*Fuente: Autores, 2021*

El uso de estas ecuaciones arroja un dato de tendencia central por lo que se usaron datos promedio encontrados en los ensayos por lo que se les recomienda a futuras investigaciones si hacen uso de estas ecuaciones, tener en cuenta la dispersión o desviación de ese dato central.

### 3.3 Determinación de la reducción de turbidez del agua.

Una vez determinadas las dosis óptimas se procedió a comparar dichas dosis con los tres tipos de coagulantes en las muestras de aguas tomadas. Para la muestra No. 1 de agua se le aplicaron las dosis óptimas encontradas en aguas de 100 NTU, siendo: Moringa y Sulfato de aluminio (10mg/l) y Jatropha (30mg/l). (Anexo 11)

*Tabla 9. Determinación de la reducción de turbidez del agua de baja turbidez (100 NTU) con dosis óptima de Moringa y sulfato de aluminio.*

BLOQUE	Tipo de coagulante	Dosis de coagulante (mg/L)	Remoción de turbidez (%)	pH
1	PRUEBA	0	55,26	7,63
1	Coagulante de Moringa	10	85,74	6,98
1	Coagulante de Jatropha	10	81,56	6,06
1	Sulfato De Aluminio	10	97,23	7,16
2	PRUEBA	0	58,22	7,66
2	Coagulante de Moringa	10	93,24	6,67
2	Coagulante de Jatropha	10	49,82	6,88
2	Sulfato De Aluminio	10	97,16	7,00
3	PRUEBA	0	57,12	7,60
3	Coagulante de Moringa	10	93,51	7,21
3	Coagulante de Jatropha	10	70.60	7,22
3	Sulfato De Aluminio	10	99,2	7,21

*Fuente: Autores, 2021*

*Tabla 10. Determinación de la reducción de turbidez del agua de baja turbidez (100 NTU) con dosis óptima de Jatropha.*

BLOQUE	Tipo de coagulante	Dosis de coagulante (mg/L)	Remoción de turbidez (%)	pH
<b>1</b>	PRUEBA	0	88,85	7,1
<b>1</b>	Coagulante de Moringa	30	96,16	7,01
<b>1</b>	Coagulante de Jatropha	30	95,43	6,95
<b>1</b>	Sulfato De Aluminio	30	99,03	6,81
<b>2</b>	PRUEBA	0	89,12	7,38
<b>2</b>	Coagulante de Moringa	30	97.19	7,05
<b>2</b>	Coagulante de Jatropha	30	98,42	6,93
<b>2</b>	Sulfato De Aluminio	30	99,45	6,91
<b>3</b>	PRUEBA	0	90,76	7,32
<b>3</b>	Coagulante de Moringa	30	97,33	7,11
<b>3</b>	Coagulante de Jatropha	30	96,55	7,03
<b>3</b>	Sulfato De Aluminio	30	99,66	6,92

*Fuente: Autores, 2021*

Para la muestra No. 2 de agua con una turbidez de 545 NTU se le aplicaron las dosis óptimas encontradas en aguas de 500 NTU, siendo: Moringa (20mg/l), Jatropha (30mg/l) y Sulfato de aluminio (20mg/l). Se realizó el montaje por triplicado teniendo como factores el tipo de coagulante y la dosis de coagulante.

*Tabla 11. Determinación de la reducción de turbidez del agua de 545 NTU con dosis óptima de Moringa.*

REPETICIÓN	Tipo de coagulante	Dosis de coagulante (mg/L)	Remoción de turbidez (%)	PH
<b>1</b>	PRUEBA	0	95,63	7,22
<b>1</b>	Coagulante de Moringa	20	99,71	7,24
<b>1</b>	Coagulante de Jatropha	20	99,86	7,18
<b>1</b>	Sulfato De Aluminio	20	99,47	7,18
<b>2</b>	PRUEBA	0	95,15	6,95
<b>2</b>	Coagulante de Moringa	20	99,53	6,10
<b>2</b>	Coagulante de Jatropha	20	99,53	6,74
<b>2</b>	Sulfato De Aluminio	20	99,61	6,86
<b>3</b>	PRUEBA	0	95,63	7,56
<b>3</b>	Coagulante de Moringa	20	98,83	7,49
<b>3</b>	Coagulante de Jatropha	20	98,66	7,65
<b>3</b>	Sulfato De Aluminio	20	99,46	7,68

*Fuente: Autores, 2021*

*Tabla 12. Determinación de la reducción de turbidez del agua de 545 NTU con dosis óptima de Jatropha.*

REPETICIÓN	Tipo de coagulante	Dosis de coagulante (mg/L)	Remoción de turbidez (%)	PH
<b>1</b>	PRUEBA	0	94,93	7,3
<b>1</b>	Coagulante de Moringa	30	99,36	7,21
<b>1</b>	Coagulante de Jatropha	30	99,44	7,25
<b>1</b>	Sulfato De Aluminio	30	99,21	6,95
<b>2</b>	PRUEBA	0	94,62	7,32
<b>2</b>	Coagulante de Moringa	30	98,79	7,25
<b>2</b>	Coagulante de Jatropha	30	98,95	7,3
<b>2</b>	Sulfato De Aluminio	30	99,17	7,01
<b>3</b>	PRUEBA	0	94,76	7,32
<b>3</b>	Coagulante de Moringa	30	97,24	7,25
<b>3</b>	Coagulante de Jatropha	30	97,22	7,3
<b>3</b>	Sulfato De Aluminio	30	96,49	7,16

*Fuente: Autores, 2021*

*Tabla 13. Determinación de la reducción de turbidez del agua de 545 NTU con dosis óptima de Sulfato de aluminio.*

REPETICIÓN	Tipo de coagulante	Dosis de coagulante (mg/L)	Remoción de turbidez (%)	PH
<b>1</b>	PRUEBA	0	96,51	7,35
<b>1</b>	Coagulante de Moringa	20	97,62	7,39
<b>1</b>	Coagulante de Jatropha	20	97,96	7,49
<b>1</b>	Sulfato De Aluminio	20	99,59	7,37
<b>2</b>	PRUEBA	0	96,88	7,37
<b>2</b>	Coagulante de Moringa	20	98,81	7,34
<b>2</b>	Coagulante de Jatropha	20	98,83	7,37
<b>2</b>	Sulfato De Aluminio	20	99,50	7,39
<b>3</b>	PRUEBA	0	96,88	7,34
<b>3</b>	Coagulante de Moringa	20	98,62	7,39
<b>3</b>	Coagulante de Jatropha	20	98,84	7,38
<b>3</b>	Sulfato De Aluminio	20	99,45	7,39

*Fuente: Autores, 2021*

Todos estos datos resultantes fueron analizados para llevar a cabo el procesamiento estadístico de los datos mediante gráficos. Para esto, se realizó el experimento con sólo dos niveles para cada uno de los factores a considerar.

Se dividieron los diseños por el tipo de turbidez que presentaba el agua; de 100 NTU y 545 NTU.

## Análisis de resultados del agua de baja turbidez (100 NTU).

Tabla 14. Características de operación de prueba de jarras.

Características de la Operación	
Volumen	0.5L
Tipo de coagulante	Variable (Moringa, Jatropha, Sulfato de Aluminio)
Dosis de coagulante	Variable (10mg/L,30mg/L)
Tiempo de mezclado	(2min-20min)
Velocidad de mezclado	120rpm-50rpm

Fuente: Autores, 2021

El procedimiento general para resolver el diseño se resume en los siguientes puntos:

- Se realizó un análisis previo de los datos utilizando técnicas descriptivas:

La variable respuesta fue el % de eficiencia, mientras que el único factor: el tipo de coagulante con 4 niveles. Como se presenta a continuación:

Tabla 15. Diseño Factorial de un solo factor con múltiples niveles.

<b>Factores:</b>	<b>2</b>	<b>Réplicas:</b>	<b>3</b>
Corridas base:	6	Total, de corridas:	18
Bloques base:	1	Total, de bloques:	3

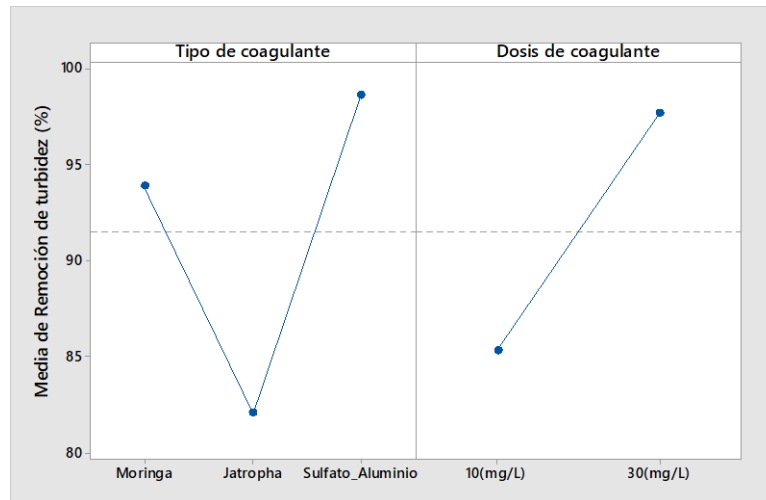
Fuente: Autores, 2021

Tabla 16. Información del factor.

Factor	Niveles	Valores
Tipo de coagulante	3	Moringa, Jatropha, Sulfato de aluminio)
Dosis de coagulante	2	10mg/L, 30mg/L

Fuente: Autores, 2021

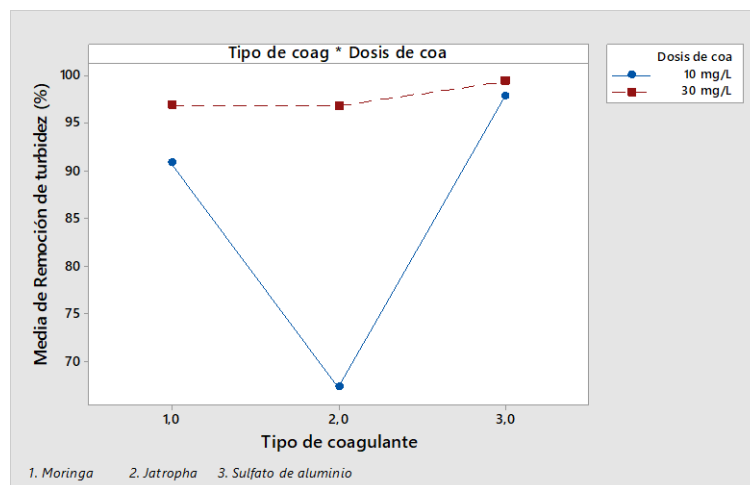
Se estimaron efectos de los factores e interacciones: se realizó una preselección de aquellos efectos que se consideran no significativos.



Gráfica 13. Efectos principales para % de eficacia de remoción.

Fuente: Autores, 2021

En la gráfica se observa que el tipo de coagulante sulfato de aluminio presenta mayor remoción de la turbidez en el agua y asimismo notamos que con una dosis de coagulante de 30mg/L se obtiene mayor éxito para remoción.

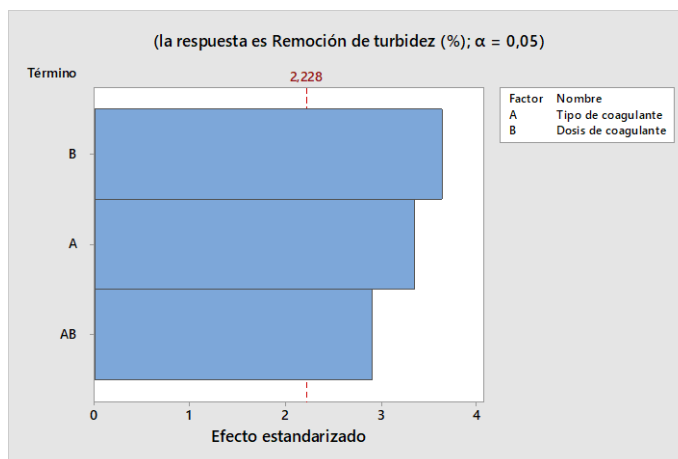


Gráfica 14. Interacción para % de eficacia.

Fuente: Autores, 2021

En esta gráfica se muestra la interacción entre la dosis del coagulante y el tipo de coagulante el cual nos arrojó que la mejor interacción para obtener la mayor eficacia sería con un tipo 3 de coagulante y una dosis de 30mg/L. Seguido de los dos coagulantes naturales con dosis de 30mg/L.

Se representaron dichas estimaciones en un diagrama de Pareto:



Gráfica 15. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.

Fuente: Autores, 2021

De esta gráfica se infiere que el tipo, la dosis y la combinación de estos son estadísticamente significativos en el nivel de 0,05 con los términos actuales del modelo, debido que está por delante del nivel de referencia.

Se construyó la tabla ANOVA con los efectos y se contrastó su significatividad:

Tabla 17. Análisis de Varianza.

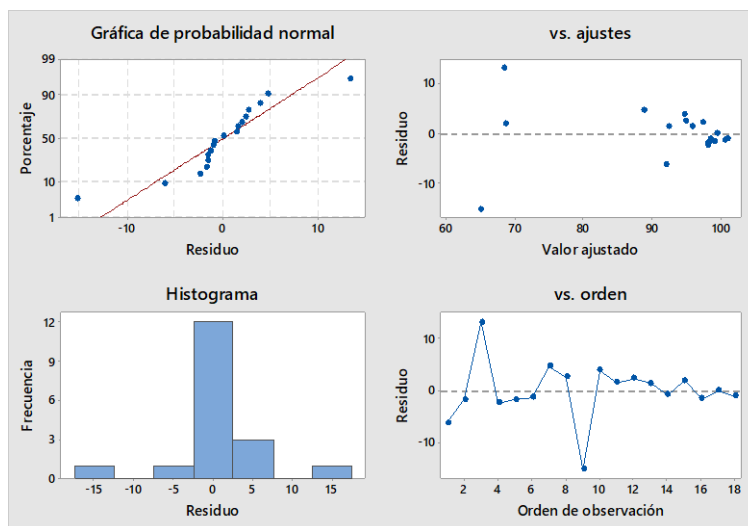
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	2281,63	325,95	6,28	0,005
Bloques	2	47,94	23,97	0,46	0,643
Lineal	3	1558,55	519,52	10,01	0,002
Tipo de coagulante	2	872,07	436,04	8,40	0,007
Dosis de coagulante	1	686,47	686,47	13,23	0,005

Interacciones de 2 términos	2	675,14	337,57	6,50	0,016
Tipo de coagulante*Dosis de coagulante	2	675,14	337,57	6,50	0,016
Error	10	519,01	51,90		
Total	17	2800,64			

Fuente: Autores, 2021

Con estos datos se logró una mejor estimación de la varianza residual.

Los valores de p son menores que el nivel de significancia e indican que las medias de los tratamientos no son iguales, por lo cual se rechaza la hipótesis la nula.

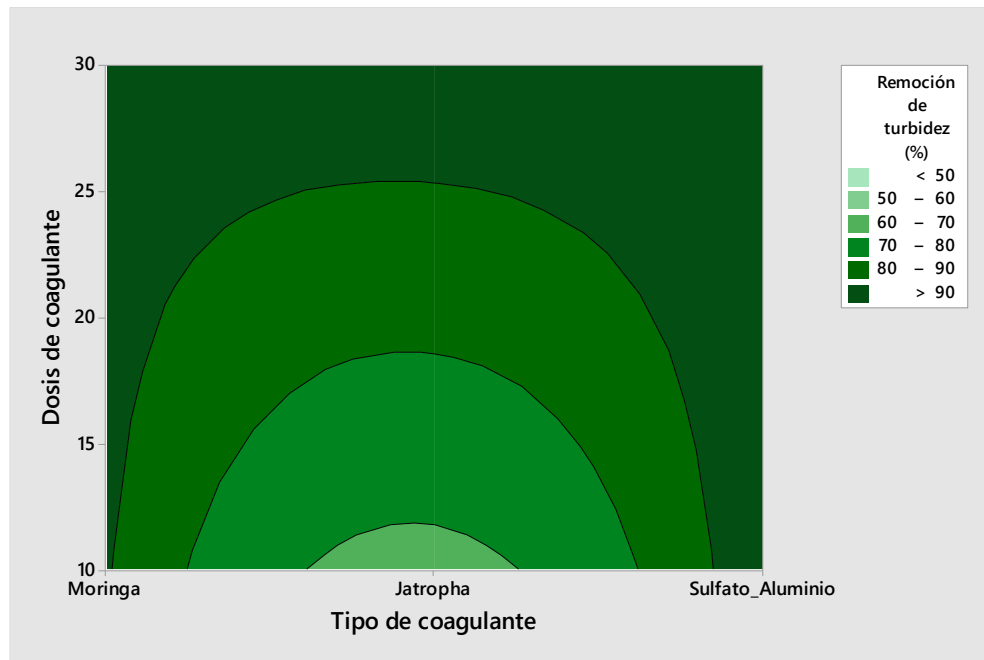


Grafica 16. Gráfica de residuo para % de eficacia.

Fuente: Autores, 2021

En cuanto a la Normalidad, se pudo observar que los residuos están cercanos a la línea de ajuste, lo que indica que los datos son normales y no se tiene valores atípicos. La *Varianza constante* se notó que los residuos están distribuidos de forma aleatoria. Y finalmente, en la variable *Independencia*, se logró observar que los residuos son independientes, debido a que no tienen un patrón.

Se construyó la gráfica de contorno con la cual obtuvieron las condiciones de los factores que proporcionan mejores valores de la variable respuesta.



*Gráfica 17. Gráfica de contorno de Remoción de vs. Dosis De Coagulante.*

*Fuente: Autores, 2021*

Por último, Con la gráfica de contorno podemos constatar que los menores porcentajes de remoción se encuentran en la zona representada por el coagulante de jatropa y dosis mínimas.

## Análisis de resultados del agua de turbidez media (545 NTU).

Tabla 18. Características de operación de prueba de jarras.

Características de la operación	
Volumen	0.5L
Tipo de coagulante	Variable (Moringa, Jatropha, Sulfato de aluminio)
Dosis de coagulante	Variable (20mg/L, 30mg/L, 200mg/L)
Tiempo de mezclado	(2min-20min)
Velocidad de mezclado	120rpm-50rpm

Fuente: Autores, 2021

El procedimiento general para resolver el diseño se resume en los siguientes puntos:

- Se realizó un análisis previo de los datos utilizando técnicas descriptivas:

La variable respuesta fue el % de eficiencia, mientras que el único factor: el tipo de coagulante con 4 niveles. Como se presenta a continuación:

Tabla 19. Diseño Factorial de un solo factor con múltiples niveles.

<b>Factores:</b>	2	<b>Réplicas:</b>	3
<b>Corridas base:</b>	9	Total de corridas:	27
<b>Bloques base:</b>	1	Total de bloques:	3

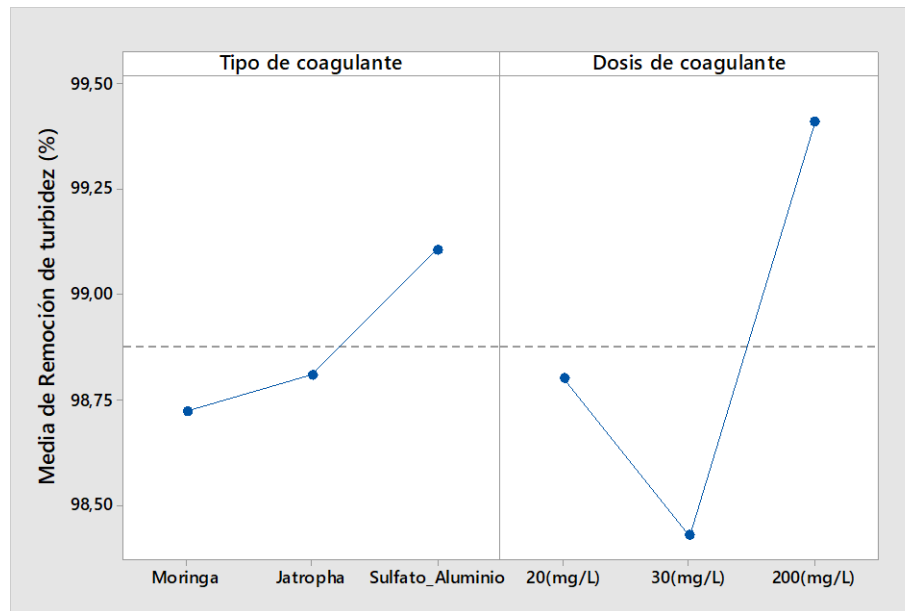
Fuente: Autores, 2021

Tabla 20. Información del factor.

Factor	Niveles	Valores
<b>Tipo de coagulante</b>	3	Moringa, Jatropha, Sulfato de aluminio)
<b>Dosis de coagulante</b>	2	20mg/L, 30mg/L, 200mg/L

Fuente: Autores, 2021

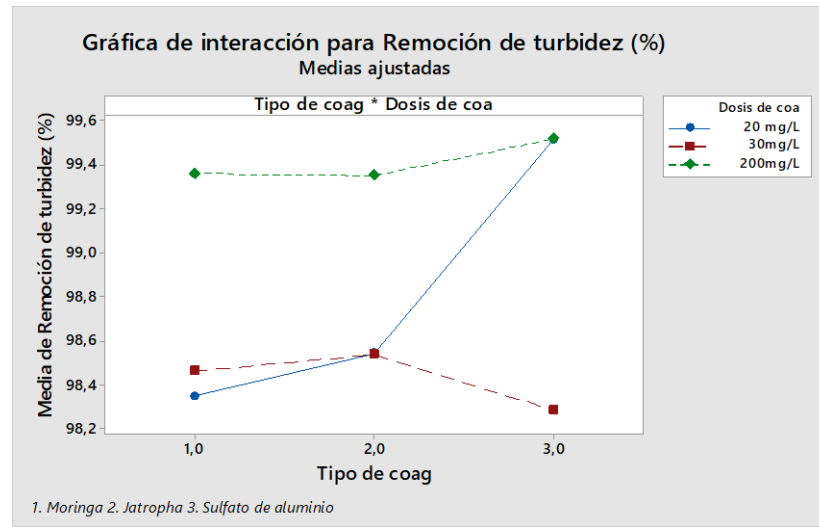
Se estimaron efectos de los factores e interacciones: se realizó una preselección de aquellos efectos que se consideran no significativos.



*Gráfica 18. Efectos principales para % de eficacia de remoción*

*Fuente: Autores, 2021*

En la gráfica se puede observar que el tipo de coagulante sulfato de aluminio presenta mayor remoción de la turbidez en el agua y asimismo se nota que con una dosis de coagulante de 200mg /L se obtiene mayor éxito para remoción.

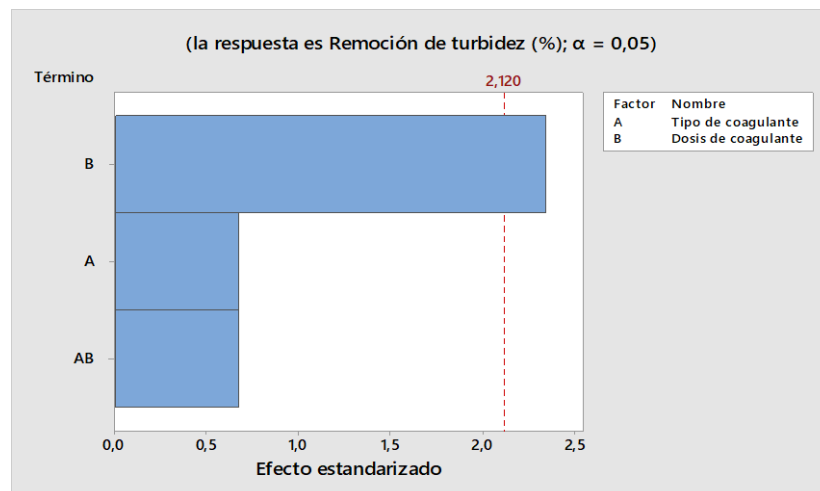


Gráfica 19. Interacción para % de eficacia.

Fuente: Autores, 2021

En esta gráfica se muestra la interacción entre la dosis del coagulante y el tipo de coagulante el cual indica que la mejor interacción para obtener la mayor eficacia sería con un coagulante tipo 3 (sulfato de aluminio) con dosis de 20mg/L y 200mg/L. Seguido de los dos coagulantes naturales con dosis de 200mg/L.

Se representaron dichas estimaciones en un diagrama de Pareto:



Gráfica 20. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.

Fuente: Autores, 2021

De esta gráfica se puede inferir que la dosis de coagulante es estadísticamente significativa en el nivel de 0,05 con los términos actuales del modelo. Debido que está por delante del nivel de referencia.

Se construyó la tabla ANOVA con los efectos y se contrastó su significatividad:

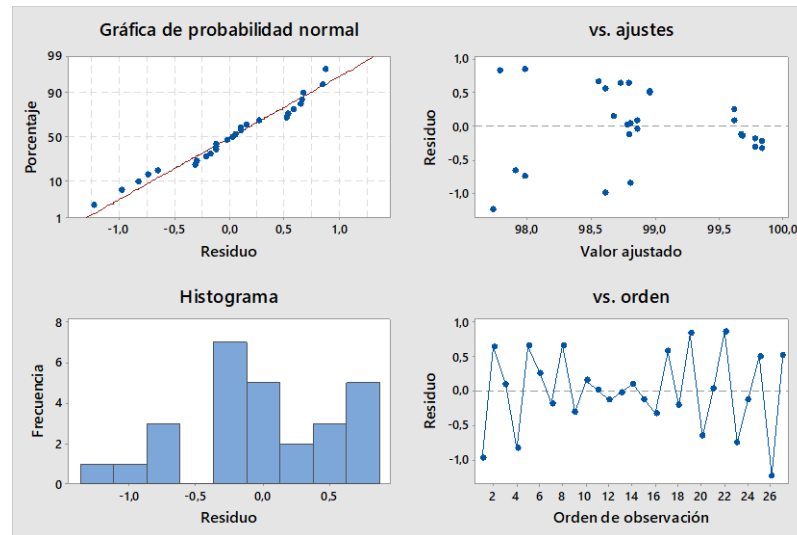
*Tabla 21. Análisis de Varianza.*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	10	11,2363	1,1236	2,20	0,077
Bloques	2	4,3630	2,1815	4,27	0,033
Lineal	4	5,1201	1,2800	2,50	0,084
Tipo de coagulante	2	0,7214	0,3607	0,71	0,509
Dosis de coagulante	2	4,3986	2,1993	4,30	0,032
Interacciones de 2 términos	4	1,7532	0,4383	0,86	0,510
Tipo de coagulante*Dosis de coagulante	4	1,7532	0,4383	0,86	0,510
Error	16	8,1827	0,5114		
Total	26	19,4190			

*Fuente: Autores, 2021*

Con estos datos se obtuvo una mejor estimación de la varianza residual.

Los valores de p son mayores que el nivel de significancia e indican que las medias de los tratamientos son iguales, por lo cual se acepta la hipótesis nula.

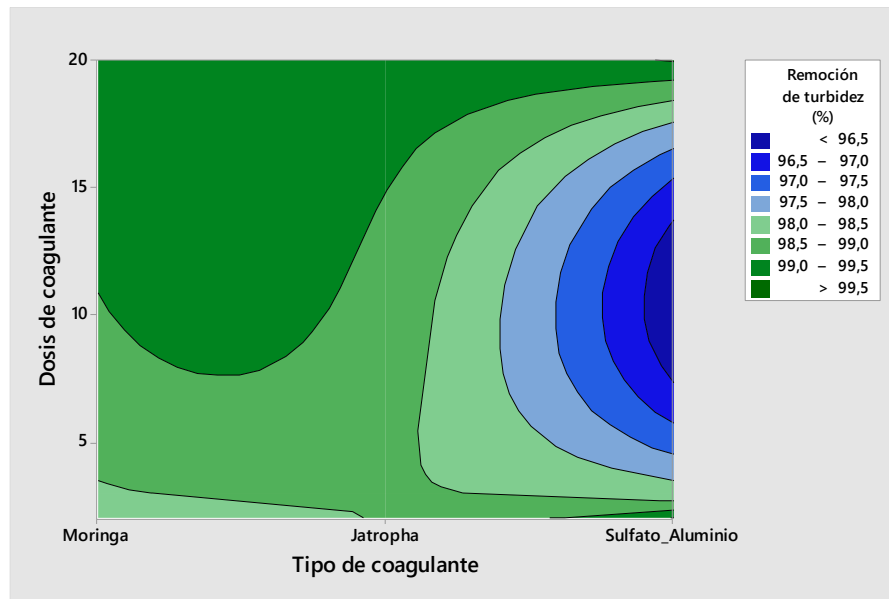


Gráfica 21. Gráfica de residuo para % de eficacia.

Fuente: Autores, 2021

Para la Normalidad, se observa que los residuos están cercanos a la línea de ajuste, con lo cual indica que los datos son normales y no se tienen valores atípicos. La *Varianza constante* muestra que los residuos están distribuidos de forma aleatoria. Finalmente, en la variable *Independencia*, se logra observar que los residuos son independientes, debido a que no tienen un patrón.

Se construyó la gráfica de contorno donde se muestran los factores que proporcionan mejores valores de la variable respuesta.



Gráfica 22. Gráfica de contorno de Remoción de vs. Dosis De Coagulante.

Fuente: Autores, 2021

Por último, la gráfica de contorno confirma que los mayores porcentajes de remoción se encuentra ubicados en las zonas superiores a la dosis de 10mg/L.

## CONCLUSIONES

- Concluyendo acerca de la información que arrojó el test de jarras se evidenció que el coagulante extraído de la semilla de Moringa obtuvo resultados bastante importantes, puesto que este mostró mayor eficiencia ante el *Jatropha* según los parámetros que se evaluaron durante este estudio.
- Para llevar a cabo la eficacia en la actividad coagulante es necesario tener en cuenta algunos parámetros fisicoquímicos como son principalmente dosis del agente coagulante, turbidez y pH. Sin embargo, gracias a que son componentes derivados de fuentes naturales no afectan tanto como lo hacen los coagulantes inorgánicos.
- El fruto de esta investigación demostró que la turbidez promedio de las soluciones coagulantes no tienen influencia en la turbidez del agua a tratar.
- El Sulfato de Aluminio, que fue el coagulante químico usado mostró mejores resultados comparándolo con los dos coagulantes orgánicos en cuanto a la remoción de la turbidez, no obstante, su empleo produce efectos negativos al ser consumido por medio del agua tratada.
- Con la puesta en marcha del presente estudio, se generaría un impacto socio-ambiental en diversas comunidades de zonas rurales carentes del servicio de agua potable, cuyos efectos serían significativamente positivos; tales como la oportunidad de empleo, el consumo de agua de mejor calidad, el uso de insumos naturales eficientes, económicos y muy amigables con nuestro ambiente.

## RECOMENDACIONES

- El proceso de descascarado de las semillas de la Moringa genera una gran cantidad de residuos que pueden ser evaluados para uso en la generación de combustibles.
- Las semillas no deben presentar una coloración verdosa, ya que al no estar maduras no se va a obtener el rendimiento esperado con el coagulante.
- Es importante contemplar que el aceite extraído de las semillas de Moringa tiene un alto valor comercial ya que puede usarse en el campo de los biocombustibles y de la estética por sus propiedades naturales, su almacenamiento requiere de condiciones adecuadas.
- Se recomienda siempre en lo posible utilizar semillas de Moringa y Jatropha fresca ya que es un elemento de origen orgánico y es susceptible a la biodegradación.
- Para prolongar la vida útil de los coagulantes se recomienda almacenar la muestra en un frasco tipo ámbar para evitar su descomposición por efecto de la luz y mantenerlo bajo refrigeración antes de ser utilizado.
- Se requiere un análisis del porque el biocoagulante a partir de la semilla de Jatropha aumenta el color del agua cruda.
- Para posteriores análisis se sugiere hacer el descascarado de la semilla de Jatropha y así observar si se consiguen mejores resultados al emplearla de esta forma.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abidin, Z., Ismail, N., Yunus, R., Ahamad, I., & Idris, A. (2011). *A preliminary study on Jatropha curcas as coagulant in wastewater treatment.* .
- Acevedo Picón , E. (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 Floridablanca, Santander.* Santander.
- Agencia Andaluza de Cooperación Internacional para el Desarrollo. (2013).
- Akinnibosun, H., Ainnibosun, F., & Germán , B. (2008). *Antibacterial activity of aqueous and Ethanolic leaf extracts of Pegeromic pellucida (L) H. B & K (Piperaceae) on three Gramnegative bacteria isolates.*
- Alcaldía Municipal De Valledupar. (n.d.).
- Alonso, J. (2008). *Manual para el cultivo de Piñón (Jatropha curcas) en Honduras.* Honduras.
- Ambiental, H. (2019, mayo 17). *Higiéne Ambiental.* Retrieved from <https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/color-del-agua-parametro-indicador-de-calidad>
- Anselme, K., Narasiah, S., & Talbot , B. (1994). ACTIVE AGENTS AND MECHANISM OF COAGULATION OF TURBID WATERS USING MORINGA OLEIFERA. *Elsevier Science*, 703-710.
- Antov, M., Šćiban, M., & Petrović, N. (2010). *Proteins from common bean (Phaseolus vulgaris) seed as a natural coagulant for water turbidity removal.*
- Arboleda Valencia , J. (1992). *Teoría y práctica de la purificación del agua.* Bogotá: Editorial Acodal.
- Arias G, F. (2012). *Tipos y diseño de la investigación.*
- Asrafuzzaman , M., Fakhruddin , A., & Hossain, M. (2011). Reduction of turbidity of water using locally available natural coagulants. *ISRN Microbiology.*, 1-6.

- Bolto, & Gregory. (2007). *Polielectrolitos orgánicos en el tratamiento de aguas*.
- Bratby, J. (1981). Interpreting laboratory results for the design of rapid mixing and flocculation systems. *Journal of the American Water Works*.
- Canto, J. (1977). *Tratamiento de Aguas para Abastecimiento Publico*. Barcelona.
- Carbajal Azcona, Á., & Gonzáles Fernández, M. (2012). *Propiedades y funciones biológicas del agua*. Madrid.
- Cerón, I., & Garzón, N. (2015). *evaluación de la semilla de moringa oleífera como coadyudante en el proceso de coagulación para el tratamiento de aguas naturales del rio Bogotá en su paso por el municipio de Villapinzón, Cundinamarca*. Bogotá D.C.
- Cerón Alarcón, I., & Garzón Meneses, N. (2015). *Evaluación de la semilla de Moringa Oleífera como coadyudante en el proceso de coagulación para el tratamiento de aguas naturales del río Bogotá en su paso por el municipio de Villapinzón, Cundinamarca*. Bogotá.
- Cordero Ordóñez, M. d., & Ullauri Hernández, P. N. (2011). "FILTROS CASEROS, UTILIZANDO FERROCEMENTO, DISEÑO PARA SERVICIO A 10 FAMILIAS, CONSTANTE DE 3 UNIDADES DE FILTROS GRUESOS ASCENDENTES (FGAS), 2 FILTROS LENTOS DE ARENA (FLA), SISTEMA PARA APLICACIÓN DE CLORO Y 1 TANQUE DE ALMACENAMIENTO.". Cuenca, Ecuador.
- Custodio, & Younger. (2001- 2007). *Agua Superficial y Subterránea*. Puno, Perú.
- Diamadopoulos, E., Anastasakis, K., & Kalderis, D. (2009). *Flocculation behavior of mallow and okra mucilage in treating wastewater, Desalination*.
- Emdupar S.A.- E.S.P. Empresa de Servicios Públicos de Valledupar. (n.d.). *EMDUPAR: Reseña Histórica*. Retrieved from EMDUPAR: Reseña Histórica:  
<https://www.emdupar.gov.co/index.php/documentos-publicos/2012-09-10-01-57-04>
- Foidl, N., Makkar, H., & Becker, K. (2001). *The potential of Moringa oleifera for agricultural and industrial uses*. In: *The miracle tree: The multiple attributes of Moringa*. Wageningen, Netherlands.

- García, B. (2007). *Metodología de extracción in situ de coagulantes naturales para la clarificación de agua superficial. Aplicación en países en vías de desarrollo.*
- García, M., Sánchez, F., Marín , R., Gúzman, H., Verdugo, N., Domínguez , E., . . . Cortés , G. (n.d.). *El Agua.*
- Ganjidoust, H., Tatsumi , K., Yamagishi , T., & Gholi. (1997). *Effect of syntethic and natural coagulant on ligning removal from pulp and paper waste water.*
- Gobernación del Cesar. (n.d.). Retrieved from Gobernación del Cesar:  
<http://cesar.gov.co/d/index.php/es/mainmeneldpto/mendepmap>
- Grupo EPM. (n.d.). *Calidad del agua.* Retrieved from <https://www.grupo-epm.com/site/portals/23/documentos/Boletines/ABC-%20Calidad%20de%20Agua.pdf>
- Hernández, M. (2012, 12 12). Retrieved from  
<http://metodologiadeinvestigacionmarisol.blogspot.com/2012/12/tipos-y-niveles-de-investigacion.html>
- Hoyos, A., Hernández, J., Castro, A., & Sánchez, N. (2017). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA CENTRAL DE SACRIFICIO: USO DEL POLVO DE LA SEMILLA DE LA M. oleífera COMO COAGULANTE NATURAL.*
- IDEAM. (2007). *TURBIEDAD POR NEFELOMETRÍA (METODO B).*
- IDEAM. (2018). *Protocolo de monitoreo del agua.*
- Jyothi, P. (1990). *Pollination ecology of Moringa oleifera (Moringaceae).* India.
- Lambis, Hernández, Morales, Marin, & Pasqualino. (2015). *Extracción de la Jatropha como coagulante natural en el proceso de tratamiento de agua crudas. XXVIII Congreso Colombiano de Ingeniería Química.* (p. 6). Bogotá D.C.: researchgate.
- Lee, S., Lee, S., Jang, K., & Lee, T. (1995). *Microbial flocculant from Arcuadendron.*
- López, A. C. (2010). *Consideraciones sobre el sector de agua potable y saneamiento básico en Colombia.*

- Losiev, K. (1989). *El Agua*. San Petersburgo.
- Lugo, J. (2017). *Evaluación de alternativas de potabilización a bajo costo en comunidades palafíticas en el caribe norte colombiano (Tesis de Maestría)*. UNINORTE.
- Márquez, A. (2013). *El ÁRBOL MORINGA (Moringa oleífera Lam.): UNA ALTERNATIVA RENOVABLE PARA EL DESARROLLO DE LOS SECTORES ECONÓMICOS Y AMBIENTALES DE COLOMBIA*. BOGOTA.
- Marquez, E. (1994). Uso de floculantes nacionales en la potabilización de aguas superficiales. *Revista ingeniería hidráulica*.
- Melo, & Turriago. (2012). *Evaluación de la eficiencia de la utilización de semillas de moringa oleífera como una alternativa de biorremediación en la purificación de aguas*. Villavicencio.
- Mendoza , I., Fernández, N., Ettiene, G., & Díaz , A. (2000). *Uso de la Moringa oleifera como coagulante en la potabilización de aguas*.
- Morton . (1991). *The horseradish tree, Moringa pterigosperma (Moringaceae) A boon to arid lands? Economic Botany*.
- Okuda, T., Baes, W., Nishijima, W., & Okada, M. (2001). Isolation y characterization of coagulant extracted. *Water Research*, vol 35, 405-410.
- Olivero, J., Caballero, K., & Palacios, Y. (2018). *Mercury pollution by gold mining in a global biodiversity hotspot*.
- Panadero, E. S., & Posada, L. M. (2016). *EFICIENCIA DEL COAGULANTE NATURAL A PARTIR DE LA SEMILLA DE Jatropha curcas PARA AGUAS CRUDAS EVALUANDO VARIABLES FÍSICO-QUÍMICAS DEL AGUA*. Girardot, Cundinamarca.
- Perez, P. (2008). *Tratamiento de Aguas - Floculación y Coagulación*. Bogotá.
- Planeta, R. d. (2020, enero 16). *Ríos del Planeta: Río Guatapurí: mapa, turismo y todo lo que desconoce de él*. Retrieved from <https://riosdelplaneta.com/rio-guatapuri/>

- Pritchard, M., Mkandawire, T., Edmondson, A., O'neill, J., & Kululanga, G. (2009). *Potential of using plant extracts for purification of shallow well water in Malawi.*
- Ramírez, H., & Jaramillo, J. (2015). Agentes naturales como alternativas para el tratamiento del agua. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 136-153.
- Rodríguez, J., Lugo, I., Rojas, A., & Malaver, C. (2007). *Evaluación del proceso de la coagulación para el diseño de una planta potabilizadora.*
- Rodríguez, Torregroza, Mejía, Atencia, & Villero. (2019). Eficiencia de la aplicación de policloruro de aluminio en post-tratamiento. *Temas agrarios.*
- Rodríguez, Y. J., De la Cruz, G. A., Lopez, W. E., Ricaurte, L., & Morales, M. L. (2015). Uso de un polímero natural (quitosano) como coagulante durante el tratamiento de agua para consumo. *INGENIARE, Universidad Libre- Barranquilla*, No. 19, pp. 25-32.
- Rodríguez, Y. J., Rodríguez, J. P., Hernández, J. C., & Herrera, J. D. (2020). *Ingeniería ambiental*. Ocaña: Ecoe Ediciones.
- Sanghi, R., Bhattacharya, B., & Singh, V. (2002). *Cassia angustifolia seed gum as an effective natural coagulant for decolourisation of dye solutions...*
- Sanghi, R., Battacharya, B., & Singh, V. (2002). *Cassia angustifolia seed gum as an effective natural coagulant for decolourisation of dye solutions.*
- Sanghi, R., Bhattachaya, B., & Singh, V. (2002). *Cassia angustifolia seed gum as an effective natural coagulant for decolourisation of dye solutions.*
- Sanghi, R., Bhattachaya, B., & Singh, V. (2002). *Cassia angustifolia seed gum as an effective natural coagulant for decolourisation of dye solutions.*
- SENA. (2015).
- Shak, K., & Wu, T. (2014). *Coagulation-flocculation treatment of high-strength agroindustrial wastewater using natural Cassia obtusifolia seed gum: treatment efficiencies.*

*Weather Spark.* (n.d.). Retrieved from Weather Spark:

<https://es.weatherspark.com/y/24425/Clima-promedio-en-Valledupar-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>

Yin, C. (2010). *Emeringusageofplant-*

*basedcoagulantsforwaterandwastewatertreatment.ProcessBiochem.*

## ANEXOS

### Anexo 1. Adquisición y Selección de la Materia Prima



### Anexo 2: Descascarado



**Anexo 3: Secado**



**Anexo 4: Molido y Tamizado**



**Anexo 5: Preparación de las Soluciones Coagulantes**



**Anexo 6: Toma de muestra en la PTAP de Valledupar**



**Anexo 7: Determinación de PH**



**Anexo 8: Determinación de SST, SSV y SS**



**Anexo 9: Determinación de Cloruros y Alcalinidad**



**Anexo 10: Realización del agua turbia sintética (ATS)**



**Anexo 11: Realización del Test de Jarras**

