



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS)

**ANÁLISIS DEL USO DE LA MOLIENDA DE LA SEMILLA DE MANGO CRIOLLO  
(*MANGIFERA INDICA*) COMO COAGULANTE ORGÁNICO EN EL TRATAMIENTO DE AGUA  
PARA CONSUMO HUMANO**

**Inga. Irasema Karina Oliveros Godínez**

Asesorado por el Dr. MSc. Ing. Dennis Salvador Argueta Mayorga

Guatemala, febrero de 2022



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DEL USO DE LA MOLIENDA DE LA SEMILLA DE MANGO CRIOLLO  
(*MANGIFERA INDICA*) COMO COAGULANTE ORGÁNICO EN EL TRATAMIENTO DE AGUA  
PARA CONSUMO HUMANO**

ESTUDIO ESPECIAL

PRESENTADO A LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y  
RECURSOS HIDRÁULICOS (ERIS)

POR

**INGA. IRASEMA KARINA OLIVEROS GODÍNEZ**

ASESORADO POR EL DR. MSC. ING. DENNIS SALVADOR ARGUETA  
MAYORGA

COMO REQUISITO PREVIO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE

**MAESTRA (*MAGISTER SCIENTIFICAE*) EN CIENCIAS  
DE INGENIERÍA SANITARIA**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2022



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE ESTUDIO ESPECIAL**

EXAMINADOR	Dr. MSc. Ing. Dennis Salvador Argueta Mayorga
EXAMINADOR	MSc. Ing. Adan Ernesto Pocasangre Collazos
EXAMINADOR	MSc. Ing. Zenón Much Santos



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ANÁLISIS DEL USO DE LA MOLIENDA DE LA SEMILLA DE MANGO CRIOLLO  
(*MANGIFERA INDICA*) COMO COAGULANTE ORGÁNICO EN EL TRATAMIENTO DE AGUA  
PARA CONSUMO HUMANO**

Tema que me fuera asignado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado de la Escuela de la Escuela de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, con fecha 30 de junio de 2020.

**Inga. Irasema Karina Oliveros Godínez**

Correo electrónico: karinaoliveros93ot@gmail.com

Carné: 201222627

Guatemala, 14 de enero de 2022

M. Sc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos  
Coordinador de la Maestría en Ingeniería Sanitaria  
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos “ERIS”  
Facultad de Ingeniería, USAC  
Presente

Habiendo revisado el documento titulado:

**“ANÁLISIS DEL USO DE LA MOLIENDA DE LA SEMILLA DE MANGO CRIOLLO  
(MANGÍFERA INDICA) COMO COAGULANTE ORGÁNICO EN EL TRATAMIENTO DE AGUA  
PARA CONSUMO HUMANO”.**

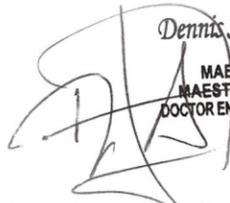
Elaborado por la Ingeniera Irasema Karina Oliveros Godínez como parte de su Estudio Especial, requisito previo para optar al grado académico de Maestra en Ciencia de Ingeniería Sanitaria.

Mediante la presente me permito informarle mi satisfacción con su contenido y, por lo tanto, le comunico que dicho documento cuenta con mi **APROBACIÓN**.

Agradeciendo la atención prestada a la presente, me suscribo de usted,

Atentamente.

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”.**



Dennis Salvador Argueta Mayorga  
INGENIERO CIVIL  
MAESTRO EN INGENIERIA VIAL  
MAESTRO EN INGENIERIA SANITARIA  
DOCTOR EN CAMBIO CLIMÁTICO Y SOSTENIBILIDAD  
COLEGIADO 8297

**Dr. MSc. Ing. Dennis Salvador Argueta Mayorga**  
**Asesor**



ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA  
SANITARIA Y RECURSOS HIDRÁULICOS  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Guatemala, 23 de febrero 2022

Señores Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado  
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS):

Respetuosamente les comunico que he revisado y aprobado, en mi calidad de coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria, el informe final del Estudio Especial titulado:

**ANÁLISIS DEL USO DE LA MOLIENDA DE LA SEMILLA DE MANGO CRIOLLO  
(MANGIFERA INDICA) COMO COAGULANTE ORGÁNICO EN EL TRATAMIENTO DE AGUA  
PARA CONSUMO HUMANO**

Presentado por la estudiante:

**Inga. Irasema Karina Oliveros Godínez**

Les manifiesto que el estudiante cumplió en forma satisfactoria con todos los requisitos establecidos por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos - ERIS- y por la Universidad de San Carlos de Guatemala en la realización de su estudio. Agradeciéndoles de antemano la atención a la presente, se suscribe de ustedes,

Atentamente,  
“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

**Adán Pocasangre  
Collazos**

Firmado digitalmente por Adán  
Pocasangre Collazos  
Fecha: 2022.02.23 13:58:41 -06'00'

M.Sc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos  
Coordinador Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria

Guatemala, 24 de febrero de 2022

El director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos -ERIS- después de conocer el dictamen del tribunal examinador integrado por los profesores siguientes: M.Sc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre, M.Sc. Ing. Zenón Much Santos y Dr. Ing. Dennis Salvador Argueta, así como el visto bueno del Coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria M.Sc Ing. Adán Ernesto Pocasangre y la revisión lingüística realizada por la Licenciada Jéssica Melgarejo Monterroso, Colegiada No. 27003, al trabajo de la estudiante Inga. Irasema Karina Oliveros Godínez titulado: ANÁLISIS DEL USO DE LA MOLIENDA DE LA SEMILLA DE MANGO CRIOLLO (MANGIFERA INDICA) COMO COAGULANTE ORGÁNICO EN EL TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO. En representación de la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado, procede a la autorización del mismo, en Guatemala a los veinticuatro días del mes de febrero de 2022.

### Imprimase

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



M.Sc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis  
DIRECTOR

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por darme la vida, sabiduría e inteligencia a lo largo de mis días, permitiéndome culminar esta maestría y obtener este logro profesional
<b>Mis padres</b>	Nelson Israel Oliveros Soto y Eva Juana Godínez García, por todo su amor y apoyo incondicional, siendo mi pilar y ejemplo.
<b>Mis abuelos</b>	Paternos y maternos, por ser parte importante en mi vida y cuidarme desde mi niñez con amor y consejos.
<b>Mis hermanas</b>	Jhoycee, Lesly y Elizabeth Oliveros, por su amor incondicional, incentivándome cada día a cumplir mis metas.
<b>Mi novio</b>	Edgar Pichiya Xicay, por su apoyo y amor en todo momento.
<b>Familia</b>	Por brindarme su cariño y aprecio.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por abrirme sus puertas nuevamente y seguir siendo mi casa de estudios, permitiéndome culminar otra etapa más de formación profesional

**Escuela Regional de  
Ingeniería Sanitaria y  
Recursos Hidráulicos**

Por abrirme la puerta de sus aulas permitiéndome ser parte de esta gran familia ERIS.

**Catedráticos de la  
Escuela Regional de  
Ingeniería Sanitaria y  
Recursos Hidráulicos**

Por brindarme el conocimiento y las enseñanzas necesarias, permitiéndome pertenecer a dicha Escuela

**Mi asesor**

Por la asesoría y paciencia como guía durante la realización de la presente investigación.

**Ingeniero Zenon Much**

Por el conocimiento y tiempo brindado durante la realización de pruebas de laboratorio de la presente investigación.

**Compañeros de ERIS**

Por compartir su amistad y compañerismo haciendo de mi estadía algo placentero.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN .....	XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XV
JUSTIFICACIÓN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
HIPÓTESIS.....	XXI
ANTECEDENTES.....	XXIII
ALCANCES Y LIMITACIONES .....	XXV
INTRODUCCIÓN .....	XXVII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Características físicas del agua para consumo humano .....	1
1.1.1. Turbiedad.....	1
1.1.2. Color .....	1
1.1.3. Olor y sabor .....	2
1.1.4. Temperatura .....	2
1.1.5. pH.....	3
1.1.6. Sólidos y residuos.....	3
1.2. Criterios de selección de la fuente de agua cruda tomando en cuenta los aspectos fisicoquímicos .....	4
1.3. Proceso de coagulación-floculación del agua.....	5
1.3.1. Partículas coloidales.....	5

	1.3.1.1.	Tipos de coloides de acuerdo con su comportamiento en el agua .....	6
1.4.		Coagulación-floculación del agua .....	7
	1.4.1.	Coagulación .....	7
	1.4.1.1.	Etapas de la coagulación .....	8
	1.4.1.2.	Tipos de coagulación .....	9
	1.4.1.2.1.	Coagulación por absorción.....	9
	1.4.1.2.2.	Coagulación por barrido .....	10
	1.4.2.	Servicios básicos e infraestructura.....	11
	1.4.2.1.	Floculación pericinética o browniana....	12
	1.4.2.2.	Floculación ortocinética .....	13
	1.4.3.	Sedimentación diferencial .....	13
	1.4.3.1.	Sedimentación de partículas discretas .....	14
	1.4.3.2.	Sedimentación de partículas floculentas .....	14
	1.4.3.3.	Sedimentación por caída libre o interferida .....	14
1.5.		Definición de polímeros.....	15
1.6.		Descripción de mango criollo ( <i>Mangifera indica</i> ).....	15
2.		METODOLOGÍA .....	17
	2.1.	Materiales.....	17
	2.1.1.	Agua empleada en las pruebas.....	17
	2.1.2.	Obtención de molienda a base de semilla de mango criollo ( <i>Mangifera indica</i> ) .....	19
	2.2.	Método de laboratorio (prueba de jarras) .....	27

2.3.	Fase experimental .....	33
2.3.1.	Número de pruebas .....	33
2.3.2.	Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ .....	34
2.3.3.	Sustitución del sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ por molienda de semilla de mango criollo ( <i>Mangifera indica</i> ).....	36
3.	RESULTADOS .....	39
3.1.	Costos de coagulantes .....	52
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	53
4.1.	Análisis de efectividad aplicando combinaciones de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)$ y molienda de semilla de mango criollo ( <i>Mangifera indica</i> ).....	53
	CONCLUSIONES .....	65
	RECOMENDACIONES.....	67
	REFERENCIAS .....	69
	APÉNDICES .....	71
	ANEXOS.....	73



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Distribución de tamaños de las partículas del agua .....	6
2.	Fases de coagulación .....	9
3.	Coagulación por adsorción.....	10
4.	Coagulación por barrido .....	11
5.	Ubicación de planta potabilizadora “Lo de Coy” .....	18
6.	Toma de muestras de agua cruda en planta potabilizadora “Lo de Coy” .....	19
7.	Selección de frutos.....	20
8.	Cotiledón de mango ( <i>Mangifera indica</i> ) previo al secado.....	21
9.	Cotiledón de mango ( <i>Mangifera indica</i> ) después del secado.....	21
10.	Trituración de cotiledón de mango ( <i>Mangifera indica</i> ).....	22
11.	Trituración de cotiledón de mango ( <i>Mangifera indica</i> ).....	23
12.	Trituración de cotiledón de mango ( <i>Mangifera indica</i> ).....	24
13.	Harina tamizada en juego de tamices .....	25
14.	Harina tamizada en juego de tamices .....	25
15.	Coagulante a base de semilla de mango ( <i>Mangifera indica</i> ).....	26
16.	Vasos de precipitar utilizados durante el ensayo .....	27
17.	Cristalería utilizada durante el ensayo .....	28
18.	Cristalería utilizada durante el ensayo .....	28
19.	Colocación de agua turbia en jarras de 2 litros de volumen.....	29
20.	Colocación de agua turbia en jarras de 2 litros de volumen.....	29
21.	Mezcla rápida simulación del proceso de coagulación .....	30
22.	Mezcla rápida simulación del proceso de floculación.....	30

23.	Fase de sedimentación del flóculo.....	31
24.	Extracción de muestras .....	31
25.	Muestras finales.....	32
26.	Medición de turbiedad.....	32
27.	Comparación de resultados para turbiedad inicial de 215 NTU, utilizando las diferentes combinaciones de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)$ y molienda de semilla de mango criollo ( <i>Mangifera indica</i> ) ....	61
28.	Comparación de resultados para turbiedad inicial de 314 NTU, utilizando las diferentes combinaciones de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)$ y molienda de semilla de mango criollo ( <i>Mangifera indica</i> ) ....	62
29.	Comparación de resultados para turbiedad inicial de 416 NTU, utilizando las diferentes combinaciones de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)$ y molienda de semilla de mango criollo ( <i>Mangifera indica</i> ) ....	62
30.	Comparación de resultados para turbiedad inicial de 512 NTU, utilizando las diferentes combinaciones de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)$ y molienda de semilla de mango criollo ( <i>Mangifera indica</i> ) ....	63
31.	Comparación de resultados para turbiedad inicial de 603 NTU, utilizando las diferentes combinaciones de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)$ y molienda de semilla de mango criollo ( <i>Mangifera indica</i> ) ....	63
32.	Comparación de resultados en la remoción de turbiedad para los diferentes valores de turbiedad analizados.....	64

## TABLAS

I.	Dosis óptima de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ en relación con la turbiedad.....	35
----	--	----

II.	Combinaciones de sustitución de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ con coagulante orgánico a base de molienda de semilla de mango criollo ( <i>Mangifera indica</i> ).....	37
III.	Turbiedad final aplicando sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ al 100 % luego del proceso de coagulación floculación .....	39
IV.	Turbiedad final aplicando sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ en 80 % y 20 % de molienda de semilla de mango criollo ( <i>Mangifera indica</i> ) luego del proceso de coagulación floculación .....	41
V.	Turbiedad final aplicando sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ en 60 % y 40 % de molienda de semilla de mango criollo ( <i>Mangifera indica</i> ) luego del proceso de coagulación floculación .....	42
VI.	Turbiedad final aplicando sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ en 40 % y 60 % de molienda de semilla de mango criollo ( <i>Mangifera indica</i> ) luego del proceso de coagulación floculación .....	44
VII.	Turbiedad final aplicando sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ en 20 % y 80 % de molienda de semilla de mango criollo ( <i>Mangifera indica</i> ) luego del proceso de coagulación floculación .....	46
VIII.	Turbiedad final aplicando molienda de semilla de mango criollo ( <i>Mangifera indica</i> ) en 100 % luego del proceso de coagulación floculación .....	49
IX.	Dosis óptima para cada rango de turbiedad analizado .....	51
X.	Comparación de costos de coagulantes utilizados .....	52
XI.	Porcentaje de remoción de turbiedad utilizando combinaciones de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)$ y molienda de semilla de mango criollo ( <i>Mangifera indica</i> ) para una turbiedad de 215 NTU .....	54
XII.	Porcentaje de remoción de turbiedad utilizando combinaciones de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)$ y molienda de semilla de mango criollo ( <i>Mangifera indica</i> ) para una turbiedad de 314 NTU .....	55

XIII.	Porcentaje de remoción de turbiedad utilizando combinaciones de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)$ y molienda de semilla de mango criollo ( <i>Mangifera indica</i> ) para una turbiedad de 416 NTU .....	56
XIV.	Porcentaje de remoción de turbiedad utilizando combinaciones de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)$ y molienda de semilla de mango criollo ( <i>Mangifera indica</i> ) para una turbiedad de 512 NTU .....	58
XV.	Porcentaje de remoción de turbiedad utilizando combinaciones de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)$ y molienda de semilla de mango criollo ( <i>Mangifera indica</i> ) para una turbiedad de 603 NTU .....	59
XVI.	Dosis óptima de coagulante utilizando combinaciones de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)$ y molienda de semilla de mango criollo ( <i>Mangifera indica</i> ).....	60

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A<sub>c</sub></b>	Acabados de diseño
<b>d</b>	Día
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>H<sub>a</sub></b>	Hipótesis alterna
<b>H<sub>o</sub></b>	Hipótesis nula
<b>h</b>	Horas
<b>µm</b>	Micrómetro
<b>Mg/L</b>	Miligramos por litro
<b>mm</b>	Milímetros
<b>min</b>	Minutos
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno
<b>rpm</b>	Revoluciones por minuto
<b>s</b>	Segundos
<b>Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub></b>	Sulfato de aluminio
<b>NTU</b>	Unidad nefelométrica de turbidez



## GLOSARIO

<b>Coagulante</b>	Sustancia química, que se añade al agua, para producir la unión de las partículas en suspensión presentes, para producir un flóculo insoluble en agua.
<b>COGUANOR</b>	Comisión Guatemalteca de Normas
<b>Coloides</b>	Conjunto de partículas que se aglomeran con facilidad.
<b>EMPAGUA</b>	Empresa Municipal de Agua Potable en la ciudad de Guatemala
<b>Flóculo</b>	Conglomerado de partículas que se generan por el proceso de coagulación-floculación
<b>Muestra</b>	Es una parte extraída de un universo o conjunto, por métodos que permiten considerarla representativa de este.
<b>Potabilización</b>	Proceso mediante el cual se trata el agua, para ser consumida por el ser humano.
<b>Turbiedad</b>	Propiedad física del agua que mide la pérdida de luz transmitida a través de la muestra por difracción de los rayos al chocar con las partículas en suspensión



## RESUMEN

El presente trabajo conlleva el desarrollo de la investigación del uso de molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*), como coagulante orgánico en la remoción de turbiedad en el proceso de coagulación-floculación y sedimentación, para el tratamiento de agua destinada al consumo humano, y con ello evaluar el porcentaje de sustitución del coagulante orgánico por el sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)$ .

Para el desarrollo de la investigación se tomaron muestras de agua turbia provenientes de la planta potabilizadora “Lo de Coy”, ubicada en el kilómetro 17.5 de la carretera Interamericana en Mixco. Posterior a la toma de muestras, se determinaron para estas, los parámetros iniciales de turbiedad, temperatura y pH.

Se llevaron a cabo las 50 pruebas de jarras en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria *Doctora Alba Estela Tabarini Molina*, en la ERIS de la Facultad de Ingeniería, en la Universidad de San Carlos de Guatemala. El análisis se realizó en rangos de turbiedad de 200-600 NTU, aplicando 6 combinaciones diferentes de sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)$  y molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*).

Posterior a la evaluación de la molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*) como coagulante orgánico, se obtuvo un porcentaje promedio de remoción de turbiedad de 93.21 %, después del proceso de coagulación-floculación y de 15 minutos de sedimentación. Se determinó que es posible utilizar una combinación de 40 % sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)$  y 60 % molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*), cumpliendo con los límites

máximos aceptables de 5 NTU, que establece la norma COGUANOR NTG 29001, para agua destinada al consumo humano.

Se concluyó que, para valores altos de turbiedad, este coagulante orgánico es factible en su combinación con el sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)$ , debido a su alto porcentaje de remoción de turbiedad presentados durante los análisis, la remoción utilizando únicamente el coagulante natural es menor que si se combinan ambos coagulantes.

Sin embargo, económicamente la molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*) no es factible debido a su alto costo comparado con el sulfato de aluminio, no obstante, es un fruto de fácil adquisición en zonas rurales de Guatemala, lo cual favorece a que los costos puedan disminuir.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según un estudio realizado por la organización de Hábitat para la Humanidad (2020), en las zonas rurales de Guatemala, más de uno de cada cinco habitantes no tiene acceso a ninguna fuente de agua, el resto de la población está sujeto a servicios intermitentes que carecen de calidad y cantidad. El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2017), dio a conocer que aproximadamente el 95 % de las fuentes de agua superficial en el país están contaminadas, lo cual pone en riesgo la salud de la población, ante enfermedades gastrointestinales de origen hídrico, causando más de mil 100 muertes cada año (Hábitat, 2020).

Dentro de los procesos de potabilización, se encuentra el de coagulación-floculación, el cual elimina materia orgánica suspendida, ayudando a la clarificación del agua, esto mediante el uso de coagulantes químicos tales como: sulfato de aluminio, cloruro férrico, sulfato ferroso, todos coagulantes químicos. Sin embargo, debido a la carencia de información técnico-científica, relacionada con el uso de coagulantes orgánicos ha interferido que el uso de estos pueda ayudar al proceso de tratamiento (coagulación-floculación) de agua potable. Según Ramírez, (2015), se rompe el paradigma de la exclusividad de los productos químicos industriales y se abre la posibilidad a nuevas tecnologías.

De esta manera se pretende proveer una alternativa de coagulante orgánico para la sustitución o combinación con el sulfato de aluminio, y que esta pueda servir para el tratamiento de turbidez en el proceso de coagulación floculación, disminuyendo el uso de productos químicos.

De lo anterior, se generan las siguientes preguntas de investigación.

¿Cuál es el porcentaje de remoción de turbiedad aplicando molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*) como coagulante orgánico y que estos puedan cumplir con los límites establecidos por la norma COGUANOR NTG 29001?

¿Cuál es la dosis óptima de coagulante orgánico a base de molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*) que puede sustituir el sulfato de aluminio, o bien ser un auxiliar en el proceso de coagulación-floculación?

¿Cuál será el porcentaje de reducción en los costos al utilizar molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*), como coagulante orgánico en lugar de sulfato de aluminio?

## JUSTIFICACIÓN

En Guatemala no todos los poblados tienen acceso a la potabilización y control adecuado del agua para consumo humano, según datos estadísticos para el año 2018 un 45 % de la población tiene acceso al agua todos los días, 14 % una vez a la semana y un 5 % no tiene acceso al agua potable (Encovi, 2018). En áreas en donde se cuenta con acceso a un sistema de tubería, no se demuestra en su totalidad, que el agua cumpla con los parámetros establecidos por la norma guatemalteca COGUANOR NTG 29001.

La investigación pretende determinar una alternativa de coagulante orgánico a base de molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*) para la sustitución del sulfato de aluminio, basándose en la línea de investigación *Uso de coagulantes naturales para el proceso de coagulación de agua para consumo humano*.

La norma guatemalteca COGUANOR NTG 29001, establece límites para el parámetro de turbiedad en el agua para consumo humano, parámetros en los cuales está enfocada la investigación. Es por ello por lo que para la turbiedad se establece como límite máximo aceptable 5,0 nefelométricas de turbiedad (NTU), dando importancia teórica al cumplimiento de los límites establecidos por la norma en el tratamiento del agua para consumo humano.

Se busca plantear una propuesta aplicando una metodología experimental que determine la factibilidad de sustitución del sulfato de aluminio por un agente natural en la remoción de turbiedad en el proceso de coagulación-floculación o bien sirva como auxiliar de este. Todo lo anterior mediante el proceso de

laboratorio conocido como prueba de jarras, el cual determina la dosis óptima y efectiva, para una intensidad y duración de mezclado uniforme de varias muestras.

En la actualidad el coagulante más utilizado es el sulfato de aluminio para la remoción de contaminante, sin embargo, un estudio realizado por García (2006), indica que desde el punto de vista económico los coagulantes inorgánicos son más costosos, pues se trata de un compuesto químico lo que se traduce en costos de producción. De igual forma, según datos obtenidos de la tesis de Álvarez (2016), la utilización de un coagulante orgánico (almidón de tamarindo), es económicamente factible, debido a que su uso representa un ahorro del 41.93 % en comparación con el sulfato de aluminio. Por ello se pretende investigar una alternativa económica, en pro del mejoramiento del parámetro de turbiedad utilizando un agente orgánico. Respecto a la influencia social, proveer una alternativa de tratamiento de agua para consumo humano, doméstico y otros usos afines durante la potabilización en las comunidades beneficiadas.

Tomando en consideración la importancia ambiental en los procesos de potabilización, se pretende proveer una alternativa orgánica y favorable al medio ambiente, dando un valor significativo a residuos orgánicos, como la semilla de mango, y así disminuir el uso de productos químicos en los procesos de tratamiento para agua potable.

## OBJETIVOS

### General

Evaluar la eficiencia del uso de molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*) como coagulante orgánico en sustitución del sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)$  en la remoción de turbiedad del agua destinada al consumo humano.

### Específicos

- Evaluar los porcentajes de remoción de turbiedad aplicando la molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*) como coagulante orgánico.
- Determinar la dosis óptima de coagulante orgánico a base de molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*) que pueda sustituir el sulfato de aluminio o ser un auxiliar de este, en el proceso de coagulación-floculación.
- Establecer los beneficios económicos que conlleva el uso de semillas de mango criollo (*Mangifera indica*) en el proceso de coagulación-floculación.



## HIPÓTESIS

Es técnicamente factible sustituir en un 50 % de sulfato de aluminio por molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*), como coagulante orgánico, en el proceso de coagulación-floculación, para la remoción de turbiedad en el agua para consumo humano, cumpliendo con los valores del límite máximo admisible establecido en la norma COGUANOR NTG 29001.



## ANTECEDENTES

La implementación de coagulantes orgánicos en el proceso de coagulación-floculación, empezó a tomar relevancia a partir del siglo XXI, debido a su naturaleza biodegradable y su relación con el medio ambiente. De igual manera, la utilización de polímeros naturales no presenta daños a la salud, y tienen un menor costo que un coagulante químico (Asrafuzzaman, 2011).

Son diversas las investigaciones que se han ido realizando, con la finalidad de disminuir el uso de coagulantes químicos. Moscoso (2015), de la Universidad de San Carlos de Guatemala, realizó la evaluación titulada *Uso de almidón de yuca como sustituto del sulfato de aluminio en el proceso de coagulación-floculación en sistemas de tratamiento de agua para potabilización*, en la que se determinó que el almidón de yuca puede sustituir al sulfato de aluminio hasta un 60 % de la dosis óptima. Para la turbidez comprendida entre 0-100 NTU se puede sustituir hasta un 80 % de sulfato de aluminio por almidón de yuca, para turbidez que oscila entre 100-900 NTU, es posible sustituir un 60 % de la dosis óptima y para turbidez de 900-100 NTU se puede sustituir solamente un 40 % del sulfato de aluminio por almidón de yuca.

Álvarez (2016), de la Universidad de San Carlos de Guatemala, investigó acerca del *Uso de la semilla de tamarindo como coagulante orgánico en procesos de coagulación-floculación en el tratamiento de agua para potabilización*, comprobando que la semilla de tamarindo alcanza una eficiencia de hasta 67.8 % en la remoción de turbiedad y del 49.7 % en la remoción de color en el proceso coagulación-floculación. De igual manera realizó la combinación de sulfato de aluminio y el coagulante orgánico a base semilla de tamarindo

obteniendo una eficiencia promedio de remoción del 84.5 % en la turbiedad, y del 74.4 % para el color. De esto se pudo concluir que el coagulante orgánico funciona de mejor manera si es combinado con sulfato de aluminio en el proceso de coagulación-floculación.

Martínez (2017), de la Universidad Politécnica de Madrid, España realizó la investigación *Extracto de semillas de mango (Mangifera indica L), como coagulante natural en la potabilización de aguas*, dicha investigación se basó en determinar la dosis óptima de la semilla del mango, para la remoción de turbidez, color y variación de pH. Se concluyó con una dosis óptima para el proceso de coagulación-floculación de entre 50 y 100 mg/L para aguas con media turbidez, con un porcentaje máximo de remoción de 97.8 % y color del 75 %.

Castellanos y Martin (2020) en su investigación *Desarrollo de un coagulante orgánico a partir de la semilla de moringa para la empresa comercial Dacetex LTDA* menciona que la solución de semilla de moringa con cloruro de sodio no logra una sustitución completa de los coagulantes convencionales en la industria de tratamiento de aguas, sin embargo, puede ser evaluado como complemento para la reducción de diversos parámetros.

## ALCANCES Y LIMITACIONES

### Alcance

La investigación experimental se encuentra orientada a determinar el porcentaje máximo de molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*), que pueda sustituir el sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)$  o bien ser un auxiliar de este en el proceso de coagulación-floculación para la remoción de turbiedad en el agua destinada al consumo humano, cumpliendo con el límite máximo aceptable establecido en la norma COGUANOR NTG 29001.

Con la presente investigación se pretende disminuir el uso de coagulantes químicos por coagulante orgánicos.

### Limitaciones

- Obtención de fruto de mango, debido a que este no cosecha en todos los meses del año, limitando su pronta adquisición.
- Para la obtención de muestras de agua en la planta potabilizadora *Lo de Coy*, se tuvo la limitante que no siempre se tenían valores de turbiedad altos o apropiados a lo requerido por la investigación, por lo cual se tuvieron que realizar diversas visitas a la planta, monitoreando los rangos de turbiedad en el agua que ingresaba a esta, para obtener muestras aceptables de lo requerido.



## INTRODUCCIÓN

La investigación se realizó con el propósito de determinar el porcentaje de molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*) que puede sustituir el sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)$  y su factibilidad correspondiente durante el proceso de coagulación-floculación y sedimentación, en la investigación se emplearon diferentes rangos de turbiedad.

En el capítulo uno del presente trabajo se describen una serie de temas teóricos referentes a la investigación, con la finalidad de proporcionar conceptos relacionados al proceso de coagulación-floculación y sedimentación.

En el segundo capítulo se propone una metodología para la descripción de los materiales utilizados en la fase experimental de la investigación. Para la semilla de mango criollo (*Mangifera indica*), se presenta su obtención, secado y molienda, así como también se describe la procedencia de las muestras de agua utilizadas. De igual forma, se presenta la fase experimental en la cual se describe el procedimiento de la prueba de jarras utilizada para determinar la dosis óptima de coagulante orgánico y los porcentajes de remoción de turbiedad en las muestras de agua.

Por último, se presentan los resultados de la fase experimental, así como la discusión de resultados de las combinaciones de coagulantes y su interpretación correspondiente. Para el análisis de los resultados se presentan tablas con los valores de los parámetros de turbiedad, temperatura y pH, así una serie de gráficas para su ejemplificación. Se tomó como referencia para los límites máximo aceptables la norma guatemalteca COGUANOR NTG 29001.



# **1. MARCO TEÓRICO**

## **1.1. Características físicas del agua para consumo humano**

Las características físicas del agua, llamadas así porque pueden impresionar a los sentidos (vista, olfato, entre otros), tienen directa incidencia sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua (CEPIS/OPS, 2004).

### **1.1.1. Turbiedad**

Es la propiedad óptica que tiene una sustancia líquida o sólida de diseminar en todas las direcciones la luz que pasa por ella.

Es originada por las partículas en suspensión o coloides (arcillas, limo, tierra), causada por las partículas que forman los sistemas coloidales; es decir, por su tamaño, se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado (Arboleda, 2000).

### **1.1.2. Color**

Se denomina color aparente a aquel que presenta el agua cruda y color verdadero al que queda luego de que el agua ha sido filtrada (Arboleda, 2000).

Según Christman y Ghassemi (1961) la aparición de color puede deberse a los siguiente:

- La extracción producida por el agua de sustancias provenientes de maderas.
- La solución de productos de descomposición de las maderas
- Solución de materia orgánica del suelo
- Una combinación de estos procesos

Arboleda (2000), menciona que otro aspecto que puede dar origen al color en el agua es la presencia de hierro, manganeso y otros componentes metálicos, así como la descomposición de la materia.

### **1.1.3. Olor y sabor**

Las características de olor y sabor son el principal motivo de rechazo por parte del consumidor. Las sustancias generadoras de olor y sabor en aguas crudas pueden ser compuestos orgánicos derivados de la actividad de microorganismos y algas o provenir de descargas de desechos industriales. En el agua se pueden considerar cuatro sabores básicos: ácido, salado, dulce y amargo (Arboleda, 2000).

### **1.1.4. Temperatura**

Es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, pues por lo general, influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración. (Arboleda, 2000, p. 9)

### **1.1.5. pH**

El pH influye en algunos fenómenos que ocurren en el agua, como la corrosión. Aunque podría decirse que no tiene efectos directos sobre la salud, sí puede influir en los procesos de tratamiento del agua, como la coagulación y la desinfección.

Se considera que el pH de las aguas, tanto crudas como tratadas, debería estar entre 5,0 y 9,0. Por lo general, este rango permite controlar sus efectos en el comportamiento de otros constituyentes del agua. (Arboleda, 2000, p. 12)

### **1.1.6. Sólidos y residuos**

Se denomina así a los residuos que se obtienen como materia remanente luego de evaporar y secar una muestra de agua a una temperatura dada. Según el tipo de asociación con el agua, los sólidos pueden encontrarse suspendidos o disueltos (CEPIS/OPS, 2004).

De acuerdo con CEPIS/OPS (2004) las partículas pueden estar:

- Disueltas (hasta un milimicrómetro), en cuyo caso físicamente no influirán en la turbiedad, pero sí podrían definir su color u olor.
- Formando sistemas coloidales (1 a 1.000 milimicrómetros), que son las causantes de la turbiedad neta del agua.

- En forma de partículas suspendidas (por encima de 1.000 milimicrómetros), las cuales caen rápidamente cuando el agua se somete a reposo.

## **1.2. Criterios de selección de la fuente de agua cruda tomando en cuenta los aspectos fisicoquímicos**

A continuación, se presentan criterios para una adecuada selección de una fuente de agua cruda con fines de potabilización según Arboleda, (2000).

- El origen de la fuente de agua cruda y la identificación de los principales afluentes y probables aportes de contaminación.
- La calidad del agua cruda, teniendo en cuenta todos los parámetros que pueden influir en la salud de los consumidores.
- El comportamiento de los constituyentes del agua, teniendo en cuenta los factores ambientales que pueden influir en él.
- La eficiencia del tratamiento empleado en la remoción de los tóxicos identificados.
- Los límites máximos de cada parámetro establecidos por las normas de calidad para el agua de consumo humano.

Al evaluar un cuerpo hídrico superficial (río, lago, entre otros) como fuente de agua cruda para el consumo humano después del tratamiento, es necesario realizar inicialmente toda la gama de análisis fisicoquímicos con la finalidad de caracterizarla. Este proceso no debe consistir en un muestreo puntual sino en

todo un programa de monitoreo que considere las condiciones climáticas, geológicas y ambientales del lugar (Arboleda, 2000).

### **1.3. Proceso de coagulación-floculación del agua**

La coagulación–floculación es un proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas con peso específico superior al agua llamadas flóculos. (Arboleda, 2000).

Según Arboleda (2000) dicho proceso se utiliza para:

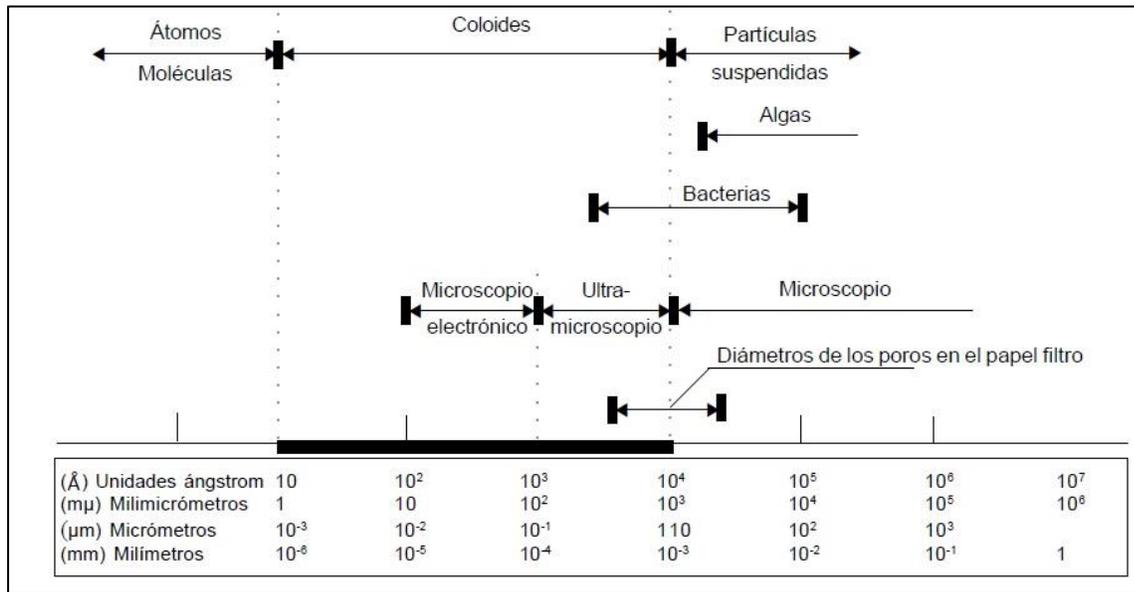
- Remoción de turbiedad orgánica e inorgánica que no puede sedimentar rápidamente.
- Remoción de color verdadero y aparente
- Eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación.
- Destrucción de algas y plancton en general.
- Eliminación de sustancias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

#### **1.3.1. Partículas coloidales**

Las partículas coloidales en el agua por lo general presentan un diámetro entre 1 y 1.000 milimicrómetros y su comportamiento depende de su naturaleza y origen. Estas partículas presentes en el agua son las principales responsables de la turbiedad (CEPIS/OPS, 2004).

En la figura 1, se presenta el tamaño aproximado de las partículas y sus distribuciones.

Figura 1. **Distribución de tamaños de las partículas del agua**



Fuente: De Vargas, (2004) *Tratamiento de agua para consumo humano*. Consultado el 28 de mayo de 2021. Recuperado de [http://www.ingenieriasanitaria.com.pe/pdf/manual1/tomo1/ma1\\_tomo1\\_indice.pdf](http://www.ingenieriasanitaria.com.pe/pdf/manual1/tomo1/ma1_tomo1_indice.pdf).

### 1.3.1.1. Tipos de coloides de acuerdo con su comportamiento en el agua

En el tratamiento del agua, es común referirse a los sistemas coloidales como hidrófobos o suspensores cuando repelen el agua, e hidrófilos o emulsores cuando presentan afinidad con ella (CEPIS/OPS, 2004).

Obviamente, los coloides hidrófobos no repelen completamente al agua, pues una película de ella es absorbida por los mismos. En los sistemas coloidales hidrófobos, las propiedades de la superficie de las partículas son muy importantes, principalmente en las aguas naturales, que pueden contener varios tipos de arcillas (CEPIS/OPS, 2004).

Las partículas hidrófobas son en general partículas de materias inorgánicas mientras que las hidrofílicas son materias orgánicas (Andía, 2000).

#### **1.4. Coagulación-floculación del agua**

Según Arboleda (2000), se llama coagulación-floculación al proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas con peso específico superior al del agua llamadas flóculos. Dicho proceso se usa para:

- Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no 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.
- Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor en algunos casos y de precipitados químicos suspendidos o compuestos orgánicos en otros.

##### **1.4.1. Coagulación**

Es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados (Andía, 2000).

La fase de coagulación empieza en el instante en que se agregan los coagulantes al agua aglomerando los sólidos en suspensión. El aglomerante elimina las cargas negativas que generan fuerzas de repulsión superficial entre partículas, facilitando de esta forma la adherencia entre las partículas coloidales. Posteriormente es necesaria la aplicación de la energía de mezclado por medio

de una mezcla rápida capaz de dispersarlos coagulantes en el tiempo requerido (Arboleda, 1992).

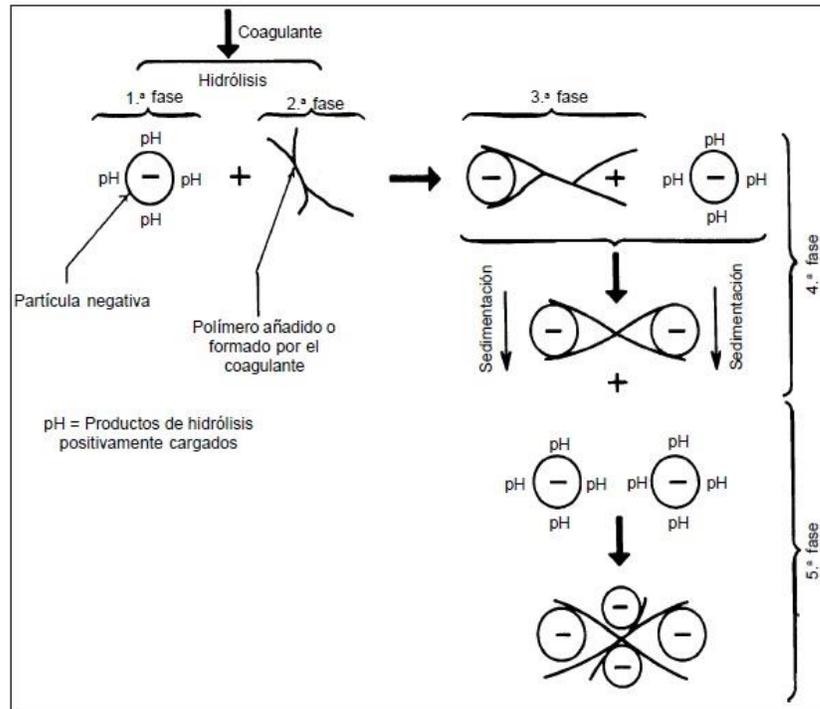
#### **1.4.1.1. Etapas de la coagulación**

Considerando la discusión teórica que antecede, Stumm y O'Melia identificaron varias etapas en el proceso de coagulación.

- Hidrólisis de los iones metálicos multivalentes y su consecuente polimerización hasta llegar a especies hidrolíticas multinucleadas.
- Adsorción de las especies hidrolíticas en la interfaz de la solución sólida para lograr la desestabilización del coloide.
- Aglomeración de las partículas desestabilizadas mediante un puente entre las partículas que involucra el transporte de estas y las interacciones químicas.
- Aglomeración de las partículas desestabilizadas mediante el transporte de estas y las fuerzas de Van der Waals.
- Formación de los flóculos.
- Precipitación o sedimentación

A continuación, dichas etapas se muestran de forma ilustrativa en la figura 2.

Figura 2. Fases de coagulación



Fuente: De Vargas. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano*. Consultado el 29 de mayo de 2021. Recuperado de [http://www.ingenieriasanitaria.com.pe/pdf/manual1/tomo1/ma1\\_tomo1\\_indice.pdf](http://www.ingenieriasanitaria.com.pe/pdf/manual1/tomo1/ma1_tomo1_indice.pdf)

### 1.4.1.2. Tipos de coagulación

A continuación, se presentan los dos mecanismos de coagulación predominantes: por adsorción y por barrido.

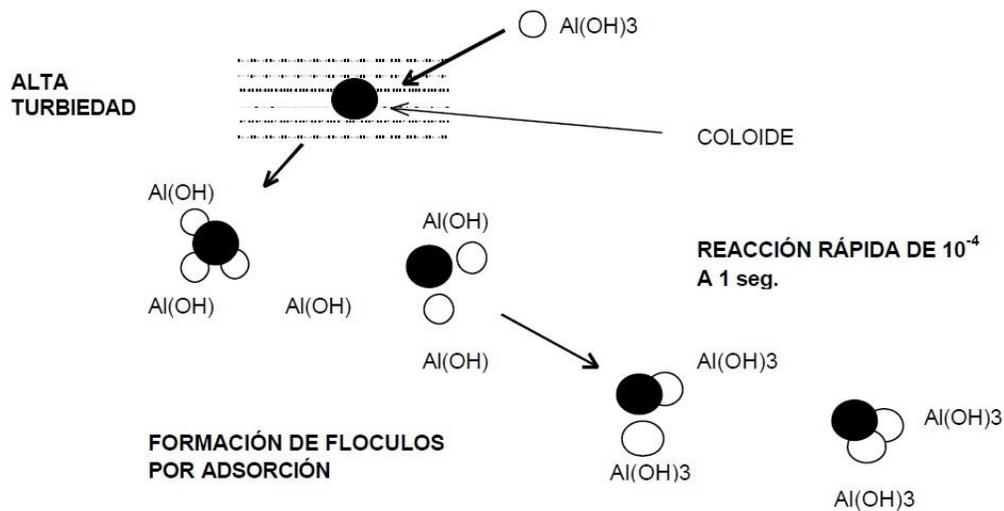
#### 1.4.1.2.1. Coagulación por absorción

Se presenta cuando el agua presenta una alta concentración de partículas al estado coloidal; cuando el coagulante es adicionado al agua turbia los

productos solubles de los coagulantes son absorbidas por los coloides y forman los flóculos en forma casi instantánea (Andía, 2000).

Cuando la cantidad de coloides presente en el agua es grande, la distancia entre ellos es pequeña. Por lo tanto, es mayor la fuerza de atracción y la energía requerida para su desestabilización menor (CEPIS/OPS, 2004).

Figura 3. **Coagulación por adsorción**



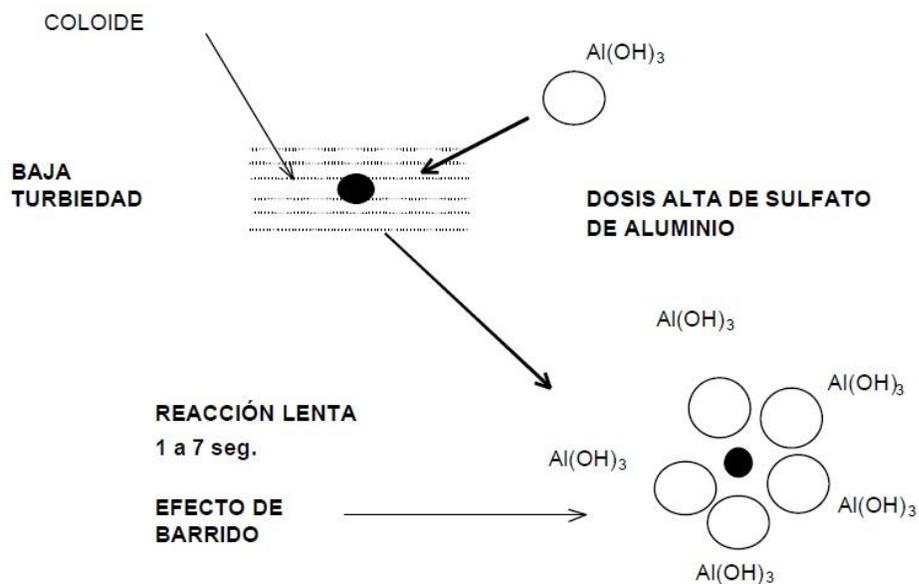
Fuente: De Vargas. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano*. Consultado el 29 de mayo de 2021. Recuperado de [http://www.ingenieriasanitaria.com.pe/pdf/manual1/tomo1/ma1\\_tomo1\\_indice.pdf](http://www.ingenieriasanitaria.com.pe/pdf/manual1/tomo1/ma1_tomo1_indice.pdf)

#### 1.4.1.2.2. **Coagulación por barrido**

Este tipo de coagulación se presenta cuando el agua es clara (presenta baja turbiedad) y la cantidad de partículas coloides es pequeña; en este caso las partículas son entrampadas al producirse una sobresaturación de precipitado de sulfato de aluminio o cloruro férrico (Andía, 2000).

Con dosis de alúmina suficientemente altas, se forma un precipitado de hidróxido de aluminio que físicamente arrastra de la suspensión a las partículas coloidales, por lo que se denomina coagulación de barrido. Este mecanismo se muestra esquemáticamente en la figura 5, donde se evidencia que la coagulación de las partículas coloidales en el tratamiento del agua es controlada principalmente por la química del hidróxido de aluminio y sus especies hidrolíticas precursoras (CEPIS/OPS, 2004).

Figura 4. **Coagulación por barrido**



Fuente: De Vargas. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano*. Consultado el 29 de mayo de 2021. Recuperado de [http://www.ingenieriasanitaria.com.pe/pdf/manual1/tomo1/ma1\\_tomo1\\_indice.pdf](http://www.ingenieriasanitaria.com.pe/pdf/manual1/tomo1/ma1_tomo1_indice.pdf)

#### 1.4.2. Servicios básicos e infraestructura

La floculación es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y

aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad (Andía, 2000).

Una vez dispersados el coagulante se debe de producir un mezclado lento en el agua, para permitir el crecimiento del flóculo. Este crecimiento es inducido por el contacto entre partículas de mayor diámetro, creado por el gradiente de velocidad de la masa líquida (Arboleda, 1992).

Durante la floculación deben de estudiarse las siguientes características:

- La forma de producir agitación
- El gradiente de velocidad
- El tiempo de detención

Normalmente, la floculación se analiza como un proceso causado por la colisión entre partículas. En ella intervienen, en forma secuencial, tres mecanismos de transporte.

- Floculación pericinética o browniana.
- Floculación ortocinética o gradiente de velocidad.
- Sedimentación diferencial. (CEPIS/OPS, 2004)

#### **1.4.2.1. Floculación pericinética o browniana**

Se debe a la energía térmica del fluido. Al dispersarse el coagulante en la masa de agua y desestabilizarse las partículas, se precisa de la floculación pericinética para que las partículas coloidales de tamaño menor de un micrómetro empiecen a aglutinarse. El movimiento browniano actúa dentro de este rango de tamaño de partículas y forma el microflóculo inicial (CEPIS/OPS, 2004).

#### **1.4.2.2. Floculación ortocinética**

Se produce en la masa del fluido en movimiento. Cuando el microflóculo alcanza el tamaño de un micrómetro empieza a actuar la floculación ortocinética, promoviendo un desarrollo mayor del microflóculo (CEPIS/OPS, 2004).

Se basa en las colisiones de las partículas debido al movimiento del agua, el que es inducido por una energía exterior a la masa de agua y que puede ser de origen mecánico o hidráulico (Andía, 2000).

#### **1.4.3. Sedimentación diferencial**

Se entiende por sedimentación la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua. Estas partículas deberán tener un peso específico mayor que el fluido (CEPIS/OPS, 2004).

La remoción de partículas en suspensión en el agua puede conseguirse por sedimentación o filtración. De allí que ambos procesos se consideren como complementarios. La sedimentación remueve las partículas más densas, mientras que la filtración remueve aquellas partículas que tienen una densidad muy cercana a la del agua o que han sido suspendidas nuevamente y, por lo tanto, no pudieron ser removidas en el proceso anterior (CEPIS/OPS, 2004).

Cuando se produce sedimentación de una suspensión de partículas, el resultado final será siempre un fluido clarificado y una suspensión más concentrada (CEPIS/OPS, 2004).

#### **1.4.3.1. Sedimentación de partículas discretas**

Son aquellas partículas que no cambian de características (forma, tamaño, densidad) durante la caída. Este tipo de partículas y esta forma de sedimentación se presentan en los desarenadores, en los sedimentadores y en los presedimentadores como paso previo a la coagulación en las plantas de filtración rápida y también en sedimentadores como paso previo a la filtración lenta (CEPIS/OPS, 2004).

#### **1.4.3.2. Sedimentación de partículas floculentas**

Son aquellas producidas por la aglomeración de partículas coloides desestabilizadas a consecuencia de la aplicación de agentes químicos. A diferencia de las partículas discretas, las características de este tipo de partículas si cambian en forma, tamaño y densidad durante la caída. Este tipo de sedimentación se presenta en la clarificación de aguas, como proceso intermedio entre la coagulación-floculación y la filtración rápida (CEPIS/OPS, 2004).

#### **1.4.3.3. Sedimentación por caída libre o interferida**

La sedimentación por caída libre se da cuando existe una baja concentración de partículas en el agua y éstas se depositan sin interferir, caso contrario para la sedimentación interferida la cual se da cuando hay altas concentraciones de partículas y se producen colisiones que las mantienen en una posición fija y ocurre un depósito masivo en lugar de individual (CEPIS/OPS, 2004).

## **1.5. Definición de polímeros**

Un polímero puede definirse como una sustancia química compuesta de una cierta cantidad de unidades básicas que se repiten (Llamadas monómeros) unidas consecutivamente por enlaces covalentes (Arboleda, 2000).

El tipo de polímero que se forme depende de la naturaleza de los grupos funcionales que lo integran. Todos los monómeros capaces de formar polímeros deben tener, por lo menos, dos núcleos activos para que la macromolécula formada conserve su configuración inicial (Arboleda, 2000).

## **1.6. Descripción de mango criollo (*Mangifera indica*)**

El mango criollo, (*Mangifera Indica*), también llamado de pashte o pitudo es una de las variedades más comunes de este fruto, por lo que también se le conoce como de patio.

El mango es una de las frutas tropicales más importantes por su comercialización y consumo. Es un cultivo permanente, con cosechas anuales y que entra en plena producción luego del cuarto año después de trasplantado. Los árboles de mango tienen una vida útil promedio de 30 años.

El color puede variar entre el verde, amarillo, diferentes tonalidades de rosa, rojo o violeta, mate o con brillo. Su pulpa es de color amarillo intenso, casi anaranjado. Su sabor es característico, exótico, succulento, muy dulce y aromático.

En Guatemala, la época de cosecha cubre de marzo a mayo. Los departamentos en que se centra la producción de mangos son Retalhuleu, Santa

Rosa, Suchitepéquez, Escuintla, San Marcos, y Jutiapa entre otros de menor producción (Proyecto AdA-Integración s.f.).

## **2. METODOLOGÍA**

### **2.1. Materiales**

A continuación, se realiza una descripción de la caracterización de los materiales utilizados en la fase experimental

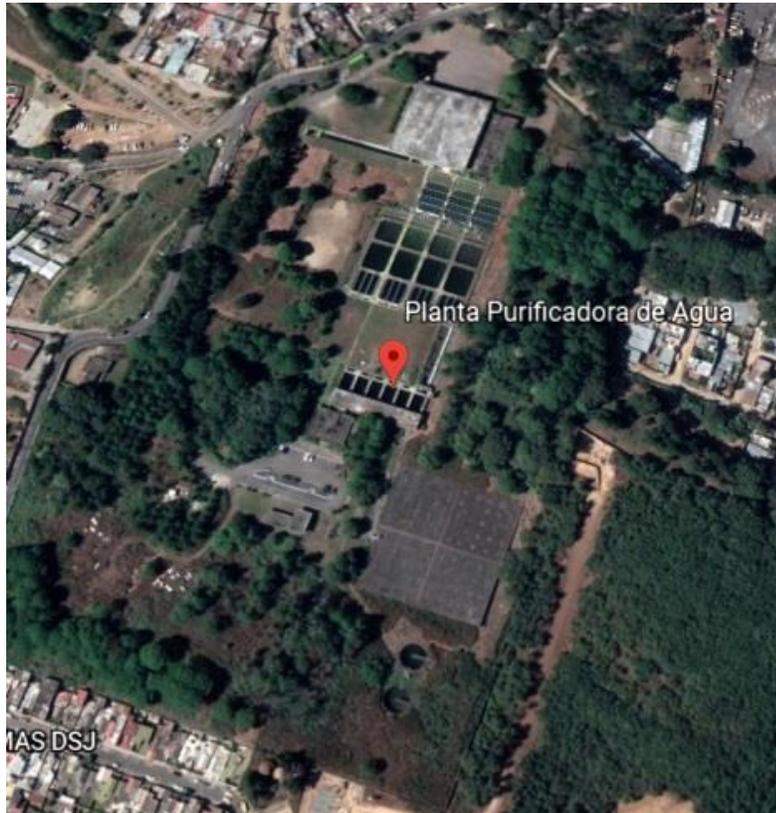
#### **2.1.1. Agua empleada en las pruebas**

El agua turbia empleada en el desarrollo de la investigación se tomó de la Planta de tratamiento de agua potable para la ciudad de Guatemala “Lo de Coy”, la cual es un canal de entrada del Acueducto Xayá-Pixcayá. Dicha planta se encuentra en el kilómetro 17.5 de la carretera Interamericana, en Mixco y se encuentra bajo la supervisión de la Empresa Municipal de Agua potable en la ciudad de Guatemala (EMPAGUA), teniendo las siguientes coordenadas geográficas.

Longitud: 90° 35' 60" O

Latitud: 14° 37' 19.1"N

Figura 5. **Ubicación de planta potabilizadora “Lo de Coy”**



Fuente: elaboración propia, utilizando Google Maps.

A las muestras de agua en análisis se le tomaron los valores tanto iniciales como finales de temperatura, pH y turbiedad.

Figura 6. **Toma de muestras de agua cruda en planta potabilizadora  
“Lo de Coy”**



Fuente: [Fotografía de Karina Oliveros]. (Planta potabilizadora Lo de Coy. 2021)  
Colección particular. Guatemala.

### **2.1.2. Obtención de molienda a base de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*)**

La etapa de caracterización y procesamiento de la molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*), se realizó mediante una recolección, proceso de secado, molienda y almacenamiento. A continuación, se presentan los pasos utilizados para el proceso de obtención del coagulante natural.

- Se realizó una selección aleatoria de frutos en estado de madurez de consumo, tomando frutos de tamaño, forma y color aceptable al ojo humano y en ausencia de daños mecánicos.

Figura 7. **Selección de frutos**



Fuente: [Fotografía de Karina Oliveros]. (Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Doctora Alba Estela Tabarini Molina”. 2021) Colección particular. Guatemala.

- Se realizó la separación de la semilla de mango de su cáscara y pulpa comestible (mesocarpio), procediendo a la extracción de cotiledón dentro de la testa y endocarpio fibroso que la cubre.
- Las semillas o cotiledones obtenidas fueron sometidas a un proceso de secado, mediante la utilización de un horno una temperatura de 105 °C, durante 24 horas, para evitar la desnaturalización de las proteínas.

Figura 8. **Cotiledón de mango (*Mangifera indica*) previo al secado**



Fuente: [Fotografía de Karina Oliveros]. (Cotiledón de mango. 2021) Colección particular. Guatemala.

Figura 9. **Cotiledón de mango (*Mangifera indica*) después del secado**



Fuente: [Fotografía de Karina Oliveros]. (Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Doctora Alba Estela Tabarini Molina”. 2021) Colección particular. Guatemala.

- Posterior al secado se procedió a la separación del cotiledón de mango (*Mangifera indica*) de algunos residuos del fruto, dejando únicamente el cotiledón. Con un mortero de porcelana y un pistilo se procedió a triturar en partes pequeñas el cotiledón de mango (*Mangifera indica*), previamente secadas.

Figura 10. Trituración de cotiledón de mango (*Mangifera indica*)



Fuente: [Fotografía de Karina Oliveros]. (Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Doctora Alba Estela Tabarini Molina”. 2021) Colección particular. Guatemala.

- Posteriormente, se realizó la molienda del cotiledón de mango, mediante un molino manual, hasta obtener harina amarillenta, que fue almacenada en frascos de vidrio, para su posterior utilización.

Figura 11. Trituración de cotiledón de mango (*Mangifera indica*)



Fuente: [Fotografía de Karina Oliveros]. (Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria "Doctora Alba Estela Tabarini Molina". 2021) Colección particular. Guatemala.

- Para afinar el polvo obtenido del molino manual, se trituro por segunda vez, con un motor de licuadora y un vaso respectivamente.

Figura 12. Trituración de cotiledón de mango (*Mangifera indica*)



Fuente: [Fotografía de Karina Oliveros]. (Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Doctora Alba Estela Tabarini Molina”. 2021) Colección particular. Guatemala.

- La harina obtenida fue tamizada en un juego de malla de tamices en el Laboratorio de Mecánica de Suelos del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII). Se tomó la harina fina que quedo dentro del tamiz No.48 (0.295 mm de diámetro de poro)

Figura 13. **Harina tamizada en juego de tamices**



Fuente: [Fotografía de Karina Oliveros]. (Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Doctora Alba Estela Tabarini Molina”. 2021) Colección particular. Guatemala.

Figura 14. **Harina tamizada en juego de tamices**



Fuente: [Fotografía de Karina Oliveros]. (Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Doctora Alba Estela Tabarini Molina”. 2021) Colección particular. Guatemala.

- Para la preparación del coagulante a base de molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*), se añadió en un balón aforado previamente limpio y seco, aproximadamente 10 gramos de molienda con 1000 ml de agua destilada mezclándose hasta haber obtenido una mezcla homogénea.

Figura 15. **Coagulante a base de semilla de mango (*Mangifera indica*)**



Fuente: [Fotografía de Karina Oliveros]. (Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Doctora Alba Estela Tabarini Molina”. 2021) Colección particular. Guatemala.

- La suspensión coagulante se colocó en jeringas, a partir de las diferentes dosis establecidas para la fase experimental.

## 2.2. Método de laboratorio (prueba de jarras)

El método experimental de laboratorio propuesto para el ensayo de las muestras de agua fue la prueba de jarras, debido a que este simula el proceso de coagulación-floculación que se lleva cabo en una planta potabilizadora. La prueba de jarras se realizó mediante lo establecido por la Norma ASTM D-2035-08 Estándar Practice for Coagulation-Flocculation Jar Test of Water. La prueba se realizó en un equipo con un agitador múltiple de seis paletas de velocidad variable y una distribución de 6 jarras de 2 litros cada una (Phipps y Bird Inc), creando una turbulencia en cada uno de los vasos de precipitado. A continuación, se detallan los pasos empleados durante el ensayo de prueba de jarras.

- Se preparó la cristalería para utilizar, corroborando que todo estuviese limpio y en condiciones adecuadas.

Figura 16. Vasos de precipitar utilizados durante el ensayo



Fuente: [Fotografía de Karina Oliveros]. (Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Doctora Alba Estela Tabarini Molina”. 2021) Colección particular. Guatemala.

Figura 17. **Cristalería utilizada durante el ensayo**



Fuente: [Fotografía de Karina Oliveros]. (Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Doctora Alba Estela Tabarini Molina”. 2021) Colección particular. Guatemala.

- Se distribuyó el agua turbia previamente preparada en cada uno de los vasos de precipitado de 2 litros de volumen.

Figura 18. **Cristalería utilizada durante el ensayo**



Fuente: [Fotografía de Karina Oliveros]. (Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Doctora Alba Estela Tabarini Molina”. 2021) Colección particular. Guatemala.

- Se midieron los  $\text{cm}^3$  de las diferentes dosis de coagulante natural y sulfato de aluminio, para luego agregarse en los vasos de precipitado

Figura 19. **Colocación de agua turbia en jarras de 2 litros de volumen**



Fuente: [Fotografía de Karina Oliveros]. (Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Doctora Alba Estela Tabarini Molina”. 2021) Colección particular. Guatemala.

Figura 20. **Colocación de agua turbia en jarras de 2 litros de volumen**



Fuente: [Fotografía de Karina Oliveros]. (Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Doctora Alba Estela Tabarini Molina”. 2021) Colección particular. Guatemala.

- Posteriormente se realizó un mezclado rápido a 100 rpm por un periodo de tiempo de 1 min.

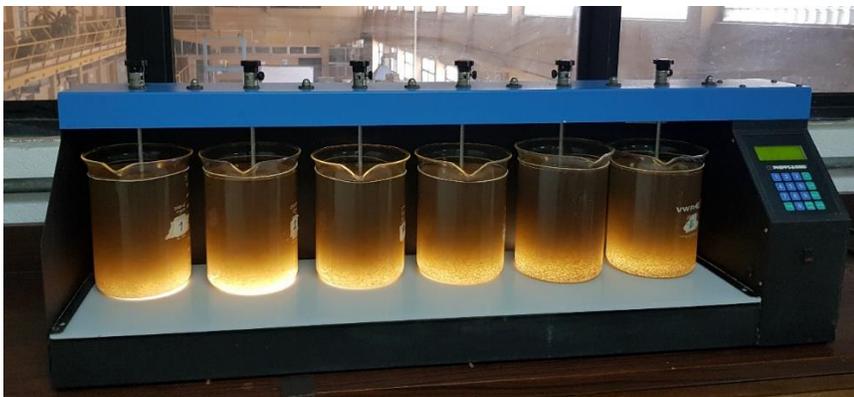
Figura 21. **Mezcla rápida simulación del proceso de coagulación**



Fuente: [Fotografía de Karina Oliveros]. (Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Doctora Alba Estela Tabarini Molina”. 2021) Colección particular. Guatemala.

- De la misma forma se ajustó la velocidad de las paletas a 60 rpm para simular una mezcla lenta por un periodo de tiempo de 15 minutos.

Figura 22. **Mezcla rápida simulación del proceso de floculación**



Fuente: [Fotografía de Karina Oliveros]. (Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Doctora Alba Estela Tabarini Molina”. 2021) Colección particular. Guatemala.

- Posterior a la fase de mezcla, se simuló la fase de sedimentación del flóculo en un tiempo propicio de 15 minutos.

Figura 23. **Fase de sedimentación del flóculo**



Fuente: [Fotografía de Karina Oliveros]. (Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Doctora Alba Estela Tabarini Molina”. 2021) Colección particular. Guatemala.

- Se realizó la extracción de las muestras de cada jarra ensayada.

Figura 24. **Extracción de muestras**



Fuente: [Fotografía de Karina Oliveros]. (Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Doctora Alba Estela Tabarini Molina”. 2021) Colección particular. Guatemala.

- Al finalizar el proceso se tomaron de las muestras los parámetros de turbiedad con un turbidímetro “Hach modelo 2100 N”, temperatura con un termómetro, y pH, con un potenciómetro” HI modelo 9813-6”

Figura 25. **Muestras finales**



Fuente: [Fotografía de Karina Oliveros]. (Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Doctora Alba Estela Tabarini Molina”. 2021) Colección particular. Guatemala.

Figura 26. **Medición de turbiedad**



Fuente: [Fotografía de Karina Oliveros]. (Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Doctora Alba Estela Tabarini Molina”. 2021) Colección particular. Guatemala.

## 2.3. Fase experimental

A continuación, se presenta la fase experimental de la investigación en la cual se utilizó solución de sulfato de aluminio y molienda a base de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*), con una concentración del 1%, así como también, agua turbia obtenida de la planta potabilizadora “Lo de Coy”.

### 2.3.1. Número de pruebas

Para determinar el número de muestras a realizar, se utilizó el análisis estadístico de la distribución binomial, tomando un nivel de significancia ( $\alpha$ ) para la prueba de hipótesis estadística de 0.05, asumiendo un valor de probabilidad al éxito del 80 %, debido a que se espera que el tratamiento a base de semilla de mango (*Mangifera indica*), tenga un impacto positivo en la reducción de turbiedad durante las pruebas de laboratorio,

$H_0: \pi = 0.80$  (hipótesis nula)

$H_a: \pi > 0.80$  (hipótesis alterna)

$x = 30$  (número de ensayos)

$n = 30$  (número de éxitos)

$p =$  probabilidad de que ocurra el evento

$q =$  probabilidad de que no ocurra el evento

$$P = \alpha = \binom{n}{x} p^x q^{n-x}$$

$$\alpha = \binom{30}{24} 0.7^{24} 0.3^6 = 3.78 \times 10^{-7}$$

$$3.78 \times 10^{-7} < 0.05 \text{ (valor propuesto)}$$

Comparando el resultado del nivel de significancia, con el valor propuesto de 0.05, se puede permitir que incluso 6 de las 30 pruebas no sean exitosas, es decir que la reducción de turbiedad no llegue a cumplir con la norma COGUANOR NTG 29001. Las 30 pruebas para analizar estarán comprendidas en 5 rangos de turbiedad, con 6 combinaciones de sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  y molienda a base de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*).

### **2.3.2. Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$**

El objetivo principal de la aplicación de una dosis óptima de coagulante es la desestabilización rápida de las partículas en el agua y al mismo tiempo contribuir con la obtención de un flóculo de mayor tamaño, lo cual contribuirá a una sedimentación más efectiva en menor tiempo y que además se retenga menor cantidad de flóculos en los filtros debido a que por su grado de compactación no se rompen, generando así una optimización del proceso de Coagulación-Floculación.

Para determinar la dosis optima de coagulante se utilizó como reactivo principal el sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$ , preparando una solución patrón de sulfato de aluminio al 1 %, es decir se diluyo en 100mL de agua destilada en 10 gramos del reactivo, esto mediante la siguiente ecuación.

$$m = \frac{\%V}{100}$$

Donde:

$$m = \text{peso del sulfato de aluminio}$$
$$\% = \text{concentración final de la solución}$$

$V = \text{Volumen final de la solución}$

Entonces:

$$m = \frac{1 * 1000 \text{ mL}}{100}$$

$$m = 10 \text{ gramos}$$

Posteriormente, se prepararon muestras de agua a diferentes valores de turbiedad, para continuar con el proceso de prueba de jarras, descrito con anterioridad, adicionando dosis de sulfato de aluminio a partir de 10 mg/L hasta 120 mg/L.

A continuación, en la tabla I se presentan los resultados obtenidos de la dosis óptima de sulfato de aluminio para los valores de turbiedad analizados.

Tabla I. **Dosis óptima de sulfato de aluminio  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  en relación con la turbiedad**

Turbiedad (NTU)	Dosis en mg/L de sulfato de aluminio						TURBIEDAD FINAL (NTU)
To	10	20	30	40	50	60	
215	72.20	39.50	9.55	4.07	3.56	1.11	TURBIEDAD FINAL (NTU)
Turbiedad (NTU)	Dosis en mg/L de sulfato de aluminio						
To	20	30	40	50	60	70	
314	105	37.9	9.75	4.18	2.49	2.05	TURBIEDAD FINAL (NTU)

Continuación de la tabla I.

Turbiedad (NTU)	Dosis en mg/L de sulfato de aluminio						TURBIEDAD FINAL (NTU)
To	55	60	65	70	75	80	
416	2.72	2.41	1.46	1.11	1.00	0.65	
Turbiedad (NTU)	Dosis en mg/L de sulfato de aluminio						TURBIEDAD FINAL (NTU)
To	40	50	60	70	80	90	
512	32.70	6.42	3.49	1.34	1.01	0.43	
Turbiedad (NTU)	Dosis en mg/L de sulfato de aluminio						TURBIEDAD FINAL (NTU)
To	70	80	90	100	110	120	
603	2.48	0.44	0.42	0.31	0.41	0.37	

Fuente: elaboración propia.

### 2.3.3. Sustitución del sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ por molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*)

Con la finalidad de determinar la dosis óptima de coagulante orgánico a base de semilla de mango que puede sustituir el sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  o bien ser un auxiliar de este, se combinaron estos dos componentes, analizando dosis incrementales en intervalos del 20 % como se indica en la tabla III, cumpliendo con los límites máximos admisibles establecidos en la norma COGUANOR NTG 29001.

Tabla II. **Combinaciones de sustitución de sulfato de aluminio  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  con coagulante orgánico a base de molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*)**

Combinación	Porcentaje de sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	Porcentaje de molienda a base de semilla de mango criollo ( <i>Mangifera indica</i> )
1	100 %	0 %
2	80 %	20 %
3	60 %	40 %
4	40 %	60 %
5	20 %	80 %
6	0 %	100 %

Fuente: elaboración propia.



### 3. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados de laboratorio obtenidos de las pruebas de jarras, a diferentes rangos de turbiedad aplicando combinaciones de sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  y coagulante orgánico a base de molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*), con la finalidad de determinar el porcentaje de sustitución de sulfato de aluminio por el coagulante natural a base de molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*). Se desarrollaron un total de 50 pruebas de laboratorio, a diferentes rangos de turbiedad.

Tabla III. **Turbiedad final aplicando sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  al 100 % luego del proceso de coagulación floculación**

No.	Turbiedad inicial	Porcentaje de sustitución de coagulante orgánico		pH	Temperatura C	Turbiedad residual (NTU) después del proceso Coagulación-Floculación	Porcentaje de remoción de turbiedad
		100 % Sulfato de aluminio (mg/L)	0 % Semilla de mango (mg/L)				
1	215	10		7.20	23.00	72.20	66.42
2		20		7.10	23.10	39.50	81.63
3		30		7.00	23.40	9.55	95.56
4		40		7.00	23.40	4.07	98.11
5		50		6.90	23.40	3.56	98.34
6		60		6.80	23.40	1.11	99.48
1	314	20		6.72	23.90	105.00	66.56
2		30		6.43	23.80	37.90	87.93
3		40		6.42	23.80	9.75	96.89
4		50		6.39	23.50	4.18	98.67
5		60		6.36	23.70	2.49	99.21
6		70		6.35	23.40	2.05	99.35

Continuación de la tabla III.

1		55	6.80	24.00	2.72	99.35	
2		60	6.50	24.60	2.41	99.42	
3	416	65	6.50	24.50	1.46	99.65	
4		70	6.50	24.50	1.11	99.73	
5		75	6.50	24.50	1.00	99.76	
6		80	6.50	24.60	0.65	99.84	
1			40	6.60	24.80	32.70	93.61
2			50	6.30	24.80	6.42	98.75
3	512	60	6.20	24.80	3.49	99.32	
4		70	6.20	24.80	1.34	99.74	
5		80	6.20	24.80	1.01	99.80	
6		90	6.10	24.80	0.43	99.92	
1			70	6.50	24.10	2.48	99.59
2			80	6.50	24.10	0.44	99.93
3	603	90	6.40	24.00	0.42	99.93	
4		100	6.20	24.00	0.31	99.95	
5		110	6.30	24.00	0.41	99.93	
6		120	6.20	24.00	0.37	99.94	

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Turbiedad final aplicando sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  en 80 % y 20 % de molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*) luego del proceso de coagulación floculación**

No.	Turbiedad inicial	Porcentaje de sustitución de coagulante orgánico		pH	Temperatura C	Turbiedad residual (NTU) después del proceso Coagulación-Floculación	Porcentaje de remoción de turbiedad
		80 % Sulfato de aluminio (mg/L)	20 % Semilla de mango (mg/L)				
1	215	40		7.10	24.00	9.41	95.62
2		50		7.10	23.80	4.06	98.11
3		60		7.00	23.80	2.21	98.97
4		70		7.00	23.80	1.19	99.45
5		80		6.90	23.80	0.51	99.76
6		90		6.90	23.80	0.52	99.76
1	314	50		6.87	23.50	25.40	91.91
2		60		6.67	23.50	8.88	97.17
3		70		6.56	23.40	4.81	98.47
4		80		6.52	23.30	3.30	98.95
5		90		6.46	23.40	2.01	99.36
6		100		6.44	23.20	1.65	99.47
1	416	65		6.60	24.70	7.70	98.15
2		70		6.60	24.70	5.74	98.62
3		75		6.60	24.50	4.73	98.86
4		80		6.60	24.60	3.97	99.05
5		85		6.60	24.60	2.27	99.45
6		90		6.60	24.40	1.99	99.52
1	512	90		6.70	24.10	0.53	99.90
2		100		6.60	24.10	0.43	99.92
3		110		6.50	24.10	0.40	99.92
4		120		6.40	24.10	0.44	99.91
5		130		6.40	24.10	0.53	99.90
6		140		6.30	24.10	0.51	99.90

Continuación de la tabla IV.

1	603	100	6.20	25.00	1.39	99.77
2		110	6.60	24.90	0.37	99.94
3		120	6.50	24.90	0.36	99.94
4		130	6.40	24.80	0.35	99.94
5		140	6.30	24.80	0.37	99.94
6		150	6.10	24.70	0.37	99.94

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Turbiedad final aplicando sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  en 60 % y 40 % de molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*) luego del proceso de coagulación floculación**

No.	Turbiedad inicial	Porcentaje de sustitución de coagulante orgánico		pH	Temperatura C	Turbiedad residual (NTU) después del proceso Coagulación-Floculación	Porcentaje de remoción de turbiedad
		60 % Sulfato de aluminio (mg/L)	40 % Semilla de mango (mg/L)				
1	215	40		7.30	23.00	57.90	73.07
2		50		7.20	23.00	52.20	75.72
3		60		7.20	23.10	19.80	90.79
4		70		7.10	23.10	14.60	93.21
5		80		7.00	23.10	4.00	98.14
6		90		7.00	23.20	2.71	98.74
1	215	100		7.10	24.90	0.57	99.73
2		110		7.00	24.90	0.53	99.75
3		120		7.00	24.90	0.52	99.76
4		130		6.90	24.90	0.56	99.74
5		140		6.90	24.90	0.60	99.72

Continuación de la tabla V.

6		150	6.80	24.90	0.45	99.79
1	314	70	6.80	22.80	54.60	82.61
2		80	6.69	22.90	26.80	91.46
3		90	6.63	23.00	16.10	94.87
4		100	6.60	23.10	8.47	97.30
5		110	6.55	23.00	5.80	98.15
6		120	6.53	22.80	3.71	98.82
1	416	85	6.60	24.60	8.23	98.02
2		90	6.60	24.60	7.88	98.11
3		95	6.60	24.50	7.53	98.19
4		100	6.50	24.40	5.97	98.56
5		105	6.50	24.40	6.02	98.55
6		110	6.50	24.00	5.03	98.79
1	512	100	6.70	24.70	9.51	98.14
2		110	6.70	24.70	5.49	98.93
3		120	6.60	24.70	3.35	99.35
4		130	6.60	24.70	2.45	99.52
5		140	6.50	24.70	1.25	99.76
6		150	6.40	24.70	0.50	99.90
1	603	130	6.80	24.40	3.90	99.35
2		140	6.70	24.20	2.70	99.55
3		150	6.60	24.30	2.25	99.63
4		160	6.60	24.70	0.63	99.90
5		170	6.50	24.60	0.45	99.93
6		180	6.50	24.60	0.37	99.94

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Turbiedad final aplicando sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  en 40 % y 60 % de molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*) luego del proceso de coagulación floculación**

No.	Turbiedad inicial	Porcentaje de sustitución de coagulante orgánico		pH	Temperatura C	Turbiedad residual (NTU) después del proceso Coagulación-Floculación	Porcentaje de remoción de turbiedad
		40 % Sulfato de aluminio (mg/L)	60 % Semilla de mango (mg/L)				
1	215	160		7.00	24.40	3.73	98.27
2		170		7.00	24.30	2.71	98.74
3		180		6.00	24.00	2.32	98.92
4		190		6.80	24.00	2.08	99.03
5		200		6.80	24.00	2.53	98.82
6		210		6.70	24.10	0.52	99.76
1	314	80		6.79	22.80	84.10	73.22
2		90		6.73	22.70	77.00	75.48
3		100		6.65	22.80	72.50	76.91
4		110		6.61	22.70	66.70	78.76
5		120		6.60	22.70	60.10	80.86
6		130		6.81	22.70	42.90	86.34
1	314	150		6.70	22.70	50.04	84.06
2		160		6.56	22.70	7.46	97.62
3		170		6.49	22.70	5.57	98.23
4		180		6.47	22.70	4.54	98.55
5		190		6.44	22.70	3.63	98.84
6		200		6.42	22.70	3.39	98.92
1	416	100		7.17	23.80	12.10	97.09
2		105		7.04	24.00	13.10	96.85
3		110		7.02	23.50	13.20	96.83
4		115		6.91	23.40	11.20	97.31
5		120		6.90	23.40	11.70	97.19
6		125		6.81	23.00	12.40	97.02

Continuación de la tabla VI.

1		125	6.93	23.50	12.10	97.09	
2		130	6.67	23.50	11.40	97.26	
3	416	135	6.68	23.40	13.10	96.85	
4		140	6.75	23.60	11.50	97.24	
5		145	6.62	23.50	11.40	97.26	
6		150	6.77	23.30	11.90	97.14	
1			130	6.80	24.60	91.00	82.23
2			140	6.70	24.60	82.10	83.96
3	512	150	6.70	24.60	69.50	86.43	
4		160	6.60	24.60	59.00	88.48	
5		170	6.60	24.60	41.60	91.88	
6		180	6.50	24.60	25.30	95.06	
1			200	6.80	25.00	18.50	96.39
2			210	6.70	25.00	8.73	98.29
3	512	220	6.70	25.00	13.20	97.42	
4		230	6.60	25.00	7.80	98.48	
5		240	6.60	25.00	6.81	98.67	
6		250	6.60	25.00	5.40	98.95	
1			220	6.80	24.20	5.03	99.17
2			230	6.70	24.10	2.53	99.58
3	603	240	6.50	24.10	2.82	99.53	
4		250	6.50	24.10	1.35	99.78	
5		260	6.50	24.10	1.24	99.79	
6		270	6.50	24.10	0.98	99.84	

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Turbiedad final aplicando sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  en 20 % y 80 % de molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*) luego del proceso de coagulación floculación**

No.	Turbiedad inicial	Porcentaje de sustitución de coagulante orgánico		pH	Temperatura C	Turbiedad residual (NTU) después del proceso Coagulación-Floculación	Porcentaje de remoción de turbiedad
		20 % Sulfato de aluminio (mg/L)	80 % Semilla de mango (mg/L)				
1	215	150		7.30	23.30	77.60	63.91
2		160		7.20	23.30	78.60	63.44
3		170		7.20	23.30	76.50	64.42
4		180		7.20	23.30	79.20	63.16
5		190		7.20	23.30	78.40	63.53
6		200		7.20	23.30	77.60	63.91
1	215	340		7.50	23.80	82.40	61.67
2		360		7.40	23.80	88.70	58.74
3		380		7.40	23.80	88.40	58.88
4		400		7.40	23.80	87.10	59.49
5		420		7.40	23.80	82.90	61.44
6		440		7.40	23.80	83.40	61.21
1	314	160		7.30	23.90	77.40	75.35
2		170		6.86	23.90	73.10	76.72
3		180		6.77	24.00	75.30	76.02
4		190		6.77	24.00	74.90	76.15
5		200		6.74	23.70	75.00	76.11
6		210		6.73	24.30	76.30	75.70
1	314	210		6.86	22.90	90.40	71.21
2		220		6.70	23.00	87.10	72.26
3		230		6.65	23.20	88.20	71.91
4		240		6.60	23.10	90.20	71.27
5		250		6.57	23.10	112.00	64.33
6		260		6.84	23.00	98.20	68.73

Continuación de la tabla VII.

1		350	6.84	22.70	95.90	69.46
2		360	6.63	22.60	98.50	68.63
3	314	370	6.53	22.70	97.50	68.95
4		380	6.48	22.70	98.10	68.76
5		390	6.50	22.70	97.30	69.01
6		400	6.47	22.80	97.20	69.04
1		100	7.20	23.80	16.60	96.01
2		120	6.98	23.90	17.30	95.84
3	416	140	6.87	23.70	18.10	95.65
4		160	6.87	23.80	17.50	95.79
5		180	6.90	23.70	18.10	95.65
6		200	6.85	23.70	18.60	95.53
1		200	7.16	23.20	17.70	95.75
2		210	6.80	23.40	17.50	95.79
3	416	220	6.72	23.50	17.30	95.84
4		230	6.94	23.40	17.90	95.70
5		240	6.90	23.40	18.10	95.65
6		250	6.83	23.40	17.40	95.82
1		250	6.85	23.80	19.00	95.43
2		270	6.79	24.00	18.90	95.46
3	416	290	6.75	23.80	19.10	95.41
4		310	6.69	24.00	19.80	95.24
5		330	6.69	24.10	20.50	95.07
6		350	6.69	24.00	19.20	95.38
1		70	6.90	25.00	147.00	71.29
2		80	6.90	24.90	136.00	73.44
3	512	90	6.90	24.80	146.00	71.48
4		100	6.90	24.80	136.00	73.44
5		110	6.90	24.00	142.00	72.27
6		120	6.90	24.80	144.00	71.88
1		140	7.00	24.50	128.00	75.00
2	512	150	6.90	24.50	130.00	74.61
3		160	6.90	24.50	128.00	75.00

Continuación de la tabla VII.

4		170	6.90	24.50	133.00	74.02
5		180	6.90	24.50	138.00	73.05
6		190	6.80	24.50	135.00	73.63
1	512	250	6.80	25.00	149.00	70.90
2		260	6.70	25.00	150.00	70.70
3		270	6.70	25.00	148.00	71.09
4		280	6.70	25.00	151.00	70.51
5		290	6.60	25.00	148.00	71.09
6		300	6.60	25.00	151.00	70.51
1	603	140	7.50	23.90	281.00	53.40
2		150	7.50	23.00	284.00	52.90
3		160	7.20	22.90	272.00	54.89
4		170	6.90	23.00	289.00	52.07
5		180	7.00	23.10	288.00	52.24
6		190	7.10	23.00	282.00	53.23
1	603	280	6.70	23.90	53.20	91.18
2		290	6.70	23.90	53.20	91.18
3		300	6.70	23.80	52.50	91.29
4		310	6.70	23.80	54.50	90.96
5		320	6.70	23.80	53.90	91.06
6		330	6.70	23.80	53.30	91.16
1	603	400	6.30	24.20	59.20	90.18
2		420	6.30	24.40	61.10	89.87
3		440	6.30	24.20	63.00	89.55
4		460	6.30	24.20	62.40	89.65
5		480	6.30	24.10	63.40	89.49
6		500	6.30	24.20	62.30	89.67

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Turbiedad final aplicando molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*) en 100 % luego del proceso de coagulación floculación**

No.	Turbiedad inicial	Porcentaje de sustitución de coagulante orgánico		pH	Temperatura C	Turbiedad residual (NTU) después del proceso Coagulación-Floculación	Porcentaje de remoción de turbiedad
		0 % Sulfato de aluminio (mg/L)	1000 % Semilla de mango (mg/L)				
1	215	210		7.50	23.80	82.00	61.86
2		220		7.50	23.70	79.60	62.98
3		230		7.50	24.00	80.30	62.65
4		240		7.50	23.90	80.60	62.51
5		250		7.50	24.00	74.60	65.30
6		260		7.50	24.10	77.20	64.09
1	215	520		7.30	23.70	62.60	70.88
2		540		7.10	23.70	66.30	69.16
3		560		7.10	23.70	59.40	72.37
4		580		7.10	23.70	65.00	69.77
5		600		7.10	23.70	68.20	68.28
6		620		7.10	23.80	57.30	73.35
1	314	200		7.00	23.50	100.00	68.15
2		220		6.93	23.80	110.00	64.97
3		240		0.15	23.90	112.00	64.33
4		260		6.87	23.90	107.00	65.92
5		280		6.88	23.80	106.00	66.24
6		300		686.00	23.90	105.00	66.56
1	314	560		7.06	23.30	85.20	72.87
2		580		7.00	23.20	86.10	72.58
3		600		6.97	23.30	82.50	73.73
4		620		6.96	23.70	84.10	73.22
5		640		6.70	23.20	85.20	72.87
6		660		6.97	23.30	86.10	72.58

Continuación de la tabla VIII.

1		700	6.90	23.60	105.00	66.56	
2		720	6.80	23.60	111.00	64.65	
3	314	740	6.76	23.80	114.00	63.69	
4		760	6.76	23.70	116.00	63.06	
5		780	6.72	23.70	108.00	65.61	
6		800	6.73	23.70	107.00	65.92	
1			100	7.30	25.30	27.10	93.49
2			120	7.14	25.50	30.40	92.69
3	416	140	7.04	25.40	33.50	91.95	
4		160	6.85	25.30	33.30	92.00	
5		180	6.80	25.40	33.10	92.04	
6		200	6.70	25.30	29.80	92.84	
1			500	7.01	22.80	36.40	91.25
2			520	6.92	22.50	35.00	91.59
3	416	540	6.94	21.70	35.30	91.51	
4		560	7.16	21.90	37.10	91.08	
5		580	7.89	21.80	27.90	93.29	
6		600	7.08	21.50	23.60	94.33	
1			100	6.80	24.70	116.00	77.34
2			120	6.80	24.70	120.00	76.56
3	512	140	6.70	24.70	134.00	73.83	
4		160	6.70	24.70	131.00	74.41	
5		180	6.80	24.70	131.00	74.41	
6		200	6.70	24.70	137.00	73.24	
1			630	6.80	27.40	139.00	72.85
2			640	6.70	24.70	140.00	72.66
3	512	650	6.70	24.60	141.00	72.46	
4		660	6.70	24.60	136.00	73.44	
5		670	6.70	24.60	144.00	71.88	
6		680	6.70	24.60	144.00	71.88	
1			200	7.10	22.40	236.00	60.86
2		603	210	7.10	22.40	272.00	54.89
3	220		7.10	22.40	260.00	56.88	
4	230		7.10	22.40	276.00	54.23	

Continuación de la tabla VIII.

5		240	7.10	22.40	261.00	56.72
6		250	7.10	22.40	276.00	54.23
1	603	380	7.00	23.70	62.00	89.72
2		390	7.00	23.70	61.00	89.88
3		400	7.00	23.70	62.50	89.64
4		410	7.00	23.70	66.50	88.97
5		420	7.00	23.70	65.30	89.17
6		430	7.00	23.70	62.70	89.60
1	603	500	6.60	23.70	63.00	89.55
2		510	6.60	23.70	68.20	88.69
3		520	6.60	23.70	69.80	88.42
4		530	6.60	23.70	66.60	88.96
5		540	6.60	23.70	69.80	88.42
6		550	6.60	23.70	71.00	88.23

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presentan las dosis óptimas de sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)$  y semilla de mango criollo (*Mangifera indica*) obtenidas de los diferentes rangos de turbiedad analizados.

Tabla IX. **Dosis óptima para cada rango de turbiedad analizado**

Turbiedad (NTU)	Dosis de sulfato de aluminio (mg/L)	Dosis de molienda de semilla de mango (mg/L)
215	76	114
314	80	120
416	66	44
512	100	150
603	100	150

Fuente: elaboración propia.

### 3.1. Costos de coagulantes

En anexo 1, se adjunta una cotización del costo de mercado del sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)$ , en la empresa Proquirsa de Guatemala. De igual manera en anexo 2 se presenta un desglose del costo de elaboración del coagulante natural.

Se comparó el costo de mercado del sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)$ , con el costo del coagulante natural a base de molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*) como se muestra a continuación:

Tabla X. **Comparación de costos de coagulantes utilizados**

Coagulante	Costo en Quetzales/Libra
Sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)$	2.72
Molienda a base de semilla de mango criollo ( <i>Mangifera indica</i> )	19,50

Fuente: elaboración propia.

Al comparar ambos costos de los coagulantes se puede observar que se requiere una mayor inversión en la utilización del coagulante natural a base de molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*), lo cual indica una baja factibilidad desde la perspectiva económica, sin embargo, en zonas rurales de ciertas áreas del país este fruto es bastante cotidiano, lo cual facilita su obtención y el costo disminuiría, en su aplicación.

## 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1. Análisis de efectividad aplicando combinaciones de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)$ y molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*)

El rango inicial de turbiedad analizado fue de 200-299 NTU, del cual se obtuvieron los siguientes parámetros: temperatura de 22.6 °C, pH de 7.00, alcalinidad del agua de 98 mg/L y turbiedad de 215 NTU, de este análisis se determinó un promedio de remoción de turbiedad de 89.24 % aplicando las diferentes combinaciones de coagulante. Los resultados obtenidos después del proceso de coagulación-floculación y sedimentación se presentan en la tabla XI, como se observa hasta la combinación de 40 % sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)$  y 60% molienda semilla de mango criollo (*Mangifera indica*), se tienen valores de turbiedad favorables, como lo es una turbiedad residual de 2.08 NTU, mismo que se encuentra dentro del límite máximo admisible de 5 NTU establecido en la norma COGUANOR NTG 29001.

Analizando las combinaciones inferiores a la antes mencionada se puede observar que la remoción oscila entre un 64-73 %, cuyos valores finales de turbiedad se encuentran fuera del límite máximo permisible que especifica la norma, por lo cual no pueden considerarse aceptables, sin embargo, el porcentaje de remoción es alto ante el valor inicial de turbiedad.

Se observa que en la combinación 60 % sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)$  y 40 % molienda semilla de mango criollo (*Mangifera indica*), el valor de turbiedad es inferior a todos las demás, sin embargo, dicho valor de 0,57 unidades

nefelométricas de turbiedad no fue tomado como prioridad debido a que, en esta investigación se prioriza el utilizar el mayor porcentaje posible de coagulante natural.

Tabla XI. **Porcentaje de remoción de turbiedad utilizando combinaciones de sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)$  y molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*) para una turbiedad de 215 NTU**

Turbiedad de 215 NTU				
Porcentaje de Sulfato de aluminio	Porcentaje de Sulfato de molienda de semilla de mango criollo	Dosis mg/L	Turbiedad residual (NTU) después del proceso Coagulación-Floculación	Porcentaje de remoción de turbiedad
100 %	0 %	60	1.11	99.48
80 %	20 %	70	1.19	99.45
60 %	40 %	100	0.57	99.73
40 %	60 %	190	2.08	99.03
20 %	80 %	170	76.50	64.42
0 %	100 %	620	57.30	73.35

Fuente: elaboración propia.

Para el rango de turbiedad de 300-399 NTU, se midió una temperatura inicial de 24 °C, pH de 7.27, alcalinidad del agua de 140 mg/L y una turbiedad de 314 NTU, obteniendo un promedio de remoción de turbiedad de 90.65 % después del proceso de coagulación-floculación, como se muestra en la tabla XII. Con una combinación de 40 % sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)$  y 60 % molienda semilla de mango criollo (*Mangifera indica*) el valor de turbiedad aún se encuentra dentro del límite máximo admisible de 5 NTU establecido en la norma COGUANOR NTG 29001. Sin embargo, para las combinaciones posteriores el porcentaje de

remoción disminuye entre un 70-75 %, y su valor de turbiedad residual se encuentra fuera del límite máximo permisible que especifica la norma.

**Tabla XII. Porcentaje de remoción de turbiedad utilizando combinaciones de sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)$  y molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*) para una turbiedad de 314 NTU**

Turbiedad de 314 NTU				
Porcentaje de Sulfato de aluminio	Porcentaje de Sulfato de molienda de semilla de mango criollo	Dosis mg/L	Turbiedad residual (NTU) después del proceso Coagulación-Floculación	Porcentaje de remoción de turbiedad
100 %	0 %	70	2.05	99.35
80 %	20 %	90	2.01	99.36
60 %	40 %	120	3.71	98.82
40 %	60 %	200	3.39	98.92
20 %	80 %	170	82.50	73.73
0 %	100 %	600	82.50	73.73

Fuente: elaboración propia

Para el rango de turbiedad de 400-499 NTU, se midió una temperatura inicial de 24.2 °C, pH de 6.7, alcalinidad del agua de 120 mg/L y una turbiedad de 416 NTU, como se puede observar en la tabla XIII, utilizando las diferentes combinaciones de sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)$  y molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*) se obtuvo un promedio de remoción de turbiedad de 97.60 % después del proceso de coagulación-floculación.

Para la combinación de 60 % sulfato de aluminio y 40 % molienda semilla de mango criollo (*Mangifera indica*), el valor de turbiedad aún se encuentra dentro

del límite máximo admisible de 5 NTU establecido en la norma COGUANOR NTG 29001, por consiguiente, la combinación posterior tiene valor de turbiedad residual permitido dentro del límite máximo aceptable (15 NTU) que indica la norma. Sin embargo, las 2 últimas combinaciones se encuentran fuera del rango permitido.

Tabla XIII. **Porcentaje de remoción de turbiedad utilizando combinaciones de sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)$  y molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*) para una turbiedad de 416 NTU**

Turbiedad de 416 NTU				
Porcentaje de Sulfato de aluminio	Porcentaje de Sulfato de molienda de semilla de mango criollo	Dosis	Turbiedad residual (NTU) después del proceso Coagulación-Floculación	Porcentaje de remoción de turbiedad
100 %	0 %	65	1.46	99.65
80 %	20 %	90	1.99	99.52
60 %	40 %	110	5.03	98.79
40 %	60 %	115	11.20	97.31
20 %	80 %	100	16.60	96.01
0 %	100 %	600	23.60	94.33

Fuente: elaboración propia.

El quinto rango de turbiedad analizado fue de 500-599 NTU, para el cual se utilizó una turbiedad residual de 512 NTU, teniendo como parámetros iniciales: temperatura de 24.7 °C, pH de 6.40, alcalinidad del agua de 110 mg/L. De este rango de turbiedad se determinó una remoción promedio de 91.78, siendo la combinación de 40 % sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)$  y 60 % molienda semilla de mango criollo (*Mangifera indica*) la aceptable debido a sus resultados de acuerdo

a la cantidad de coagulante natural aplicado, de esta combinación se obtuvo una turbiedad residual después del proceso de coagulación-floculación y sedimentación de 5.40 NTU, como se muestra en los resultados de la tabla XIV, este valor se encuentra milésimas fuera del límite máximo admisible de 5 NTU establecido por la norma COGUANOR NTG 29001, sin embargo se puede tomar como aceptable, debido a que no supera la unidad completa. Para las combinaciones de coagulante posteriores los resultados de remoción de turbiedad oscilan entre un 70-75 %, de lo inicial, cuyos valores se encuentran fuera del límite máximo permisible establecido.

Se observa que en la combinación 60 % sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)$  y 40 % molienda semilla de mango criollo (*Mangifera indica*), el valor de turbiedad es inferior a la siguiente combinación, sin embargo, dicho valor de 1,25 unidades nefelométricas de turbiedad no fue tomado como prioridad debido a que, se prioriza la combinación con mayor porcentaje de coagulante natural.

Tabla XIV. **Porcentaje de remoción de turbiedad utilizando combinaciones de sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)$  y molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*) para una turbiedad de 512 NTU**

Turbiedad de 512 NTU				
Porcentaje de Sulfato de aluminio	Porcentaje de Sulfato de molienda de semilla de mango criollo	Dosis	Turbiedad residual (NTU) después del proceso Coagulación-Floculación	Porcentaje de remoción de turbiedad
100 %	0 %	70	1.34	99.74
80 %	20 %	90	0.53	99.90
60 %	40 %	140	1.25	99.76
40 %	60 %	250	5.40	98.95
20 %	80 %	140	128.00	75.00
0 %	100 %	100	116.00	77.34

Fuente: elaboración propia.

Para el rango de turbiedad de 600-699 NTU, se determinaron los siguientes parámetros en la muestra de agua utilizada: temperatura de 23.8 °C, pH de 7.40 y turbiedad inicial de 603 NTU, de este análisis se obtuvieron los resultados de turbiedad final que se presentan en la tabla XV, teniendo un promedio de remoción de turbiedad en las 5 muestras de agua de 96.76 %.

Los resultados favorables de turbiedad después del proceso de coagulación-floculación y sedimentación se observan en la combinación de 40 % sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)$  y 60 % molienda semilla de mango criollo (*Mangifera indica*), debido a que esta presentó menores unidades turbiedad con mayor proporción del coagulante orgánico, y que el mismo tiempo cumple con el límite máximo admisible de 5 NTU establecidas por la norma COGUANOR NTG 29001.

Del análisis realizado se obtuvo una turbiedad residual favorable de 1.35 NTU, para las combinaciones inferiores a la antes mencionada se observó una remoción de 89-92 %, sin embargo, los valores de turbiedad correspondientes se encuentran fuera de lo permisible por la norma.

**Tabla XV. Porcentaje de remoción de turbiedad utilizando combinaciones de sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)$  y molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*) para una turbiedad de 603 NTU**

Turbiedad de 603 NTU				
Porcentaje de Sulfato de aluminio	Porcentaje de Sulfato de molienda de semilla de mango criollo	Dosis	Turbiedad residual (NTU) después del proceso Coagulación-Floculación	Porcentaje de remoción de turbiedad
100 %	0 %	80	0.44	99.93
80 %	20 %	100	1.39	99.77
60 %	40 %	160	0.63	99.90
40 %	60 %	250	1.35	99.78
20 %	80 %	300	52.50	91.29
0 %	100 %	390	61.00	89.88

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XVI, se presentan las dosis óptimas correspondientes a cada rango de turbiedad analizado, para la mayoría de rangos la combinación factible fue 40 % sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)$  y 60 % molienda semilla de mango criollo (*Mangifera indica*), a excepción del valor de turbiedad de 416, que en este rango la combinación factible fue de 60 % sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)$  y 40 % molienda semilla de mango criollo (*Mangifera indica*), de estos resultados este mismo valor presenta discrepancia con relación a la dosis optima, se puede observar que

conforme aumenta el valor turbiedad aumenta la dosis, sin embargo en los dos últimos rangos analizados la dosis optima fue de 250 mg/L.

En general la dosis óptima para los valores de turbiedad analizados se encuentra entre 110-250 mg/L.

Tabla XVI. **Dosis óptima de coagulante utilizando combinaciones de sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)$  y molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*)**

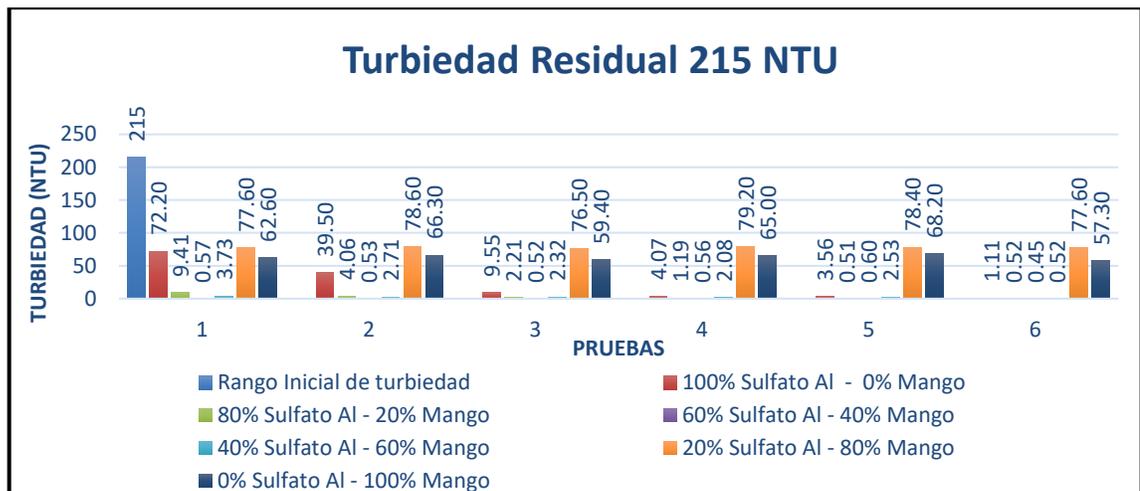
Turbiedad (NTU)	Dosis de sulfato de aluminio (mg/L)	Dosis de molienda de semilla de mango (mg/L)	Dosis total (mg/L)
215	76	114	190
314	80	120	200
416	66	44	110
512	100	150	250
603	100	150	250

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presentan en las figuras 27, 28, 29, 30 y 31 gráficos comparativos de manera visual sobre el comportamiento de la turbiedad final respecto a la turbiedad inicial de las muestras de agua analizadas, aplicando las diferentes combinaciones de sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)$  y molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*). Como se puede observar la remoción de turbiedad es mayor cuando se combina sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)$  con molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*), caso contrario cuando solamente se aplica coagulante natural. Según datos obtenidos, los resultados son relativamente favorables utilizando una combinación de 40 % sulfato de aluminio

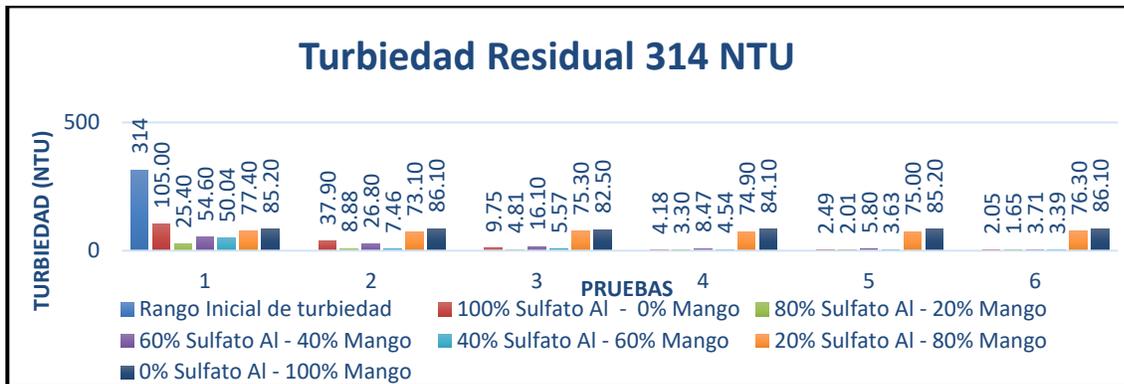
Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>) y un 60 % molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*) resultados que se encuentran dentro del límite máximo aceptable (5 NTU) establecido por la norma COGUANOR NTG 29001.

Figura 27. **Comparación de resultados para turbiedad inicial de 215 NTU, utilizando las diferentes combinaciones de sulfato de aluminio Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>) y molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*)**



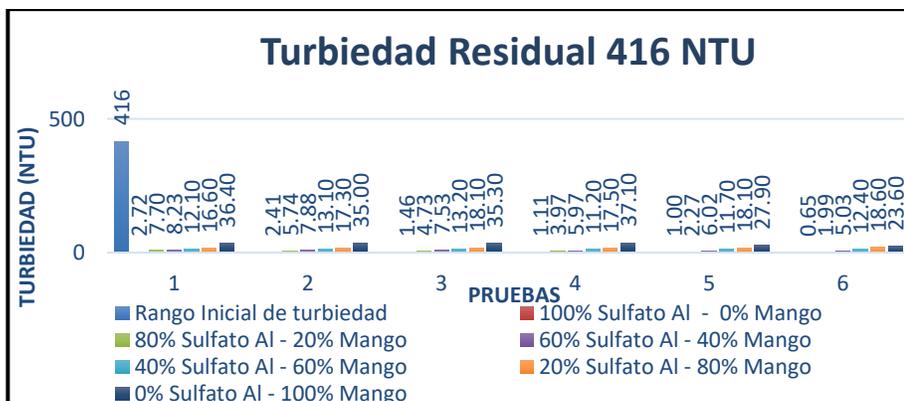
Fuente: elaboración propia.

Figura 28. Comparación de resultados para turbiedad inicial de 314 NTU, utilizando las diferentes combinaciones de sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)$  y molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*)



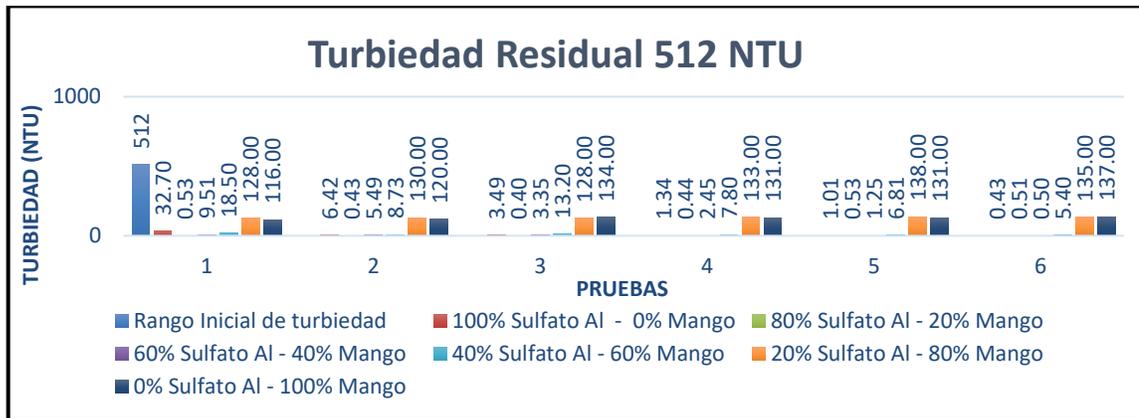
Fuente: elaboración propia.

Figura 29. Comparación de resultados para turbiedad inicial de 416 NTU, utilizando las diferentes combinaciones de sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)$  y molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*)



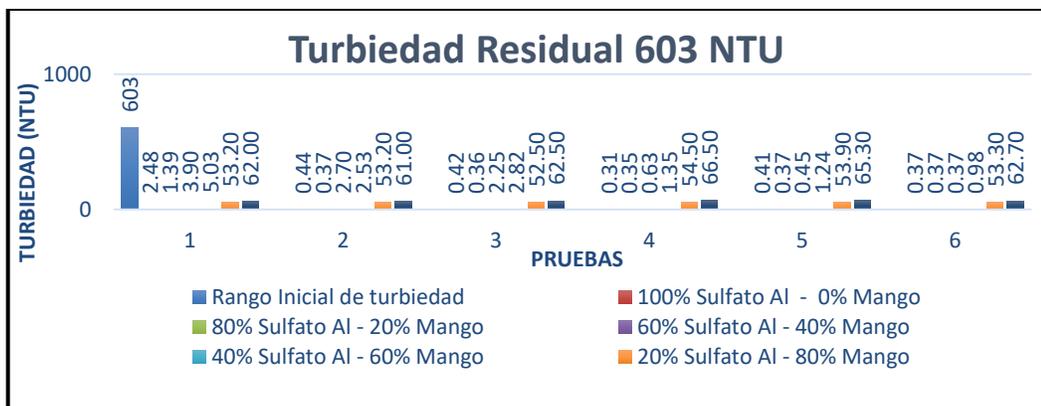
Fuente: elaboración propia.

Figura 30. Comparación de resultados para turbiedad inicial de 512 NTU, utilizando las diferentes combinaciones de sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)$  y molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*)



Fuente: elaboración propia.

Figura 31. Comparación de resultados para turbiedad inicial de 603 NTU, utilizando las diferentes combinaciones de sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)$  y molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*)

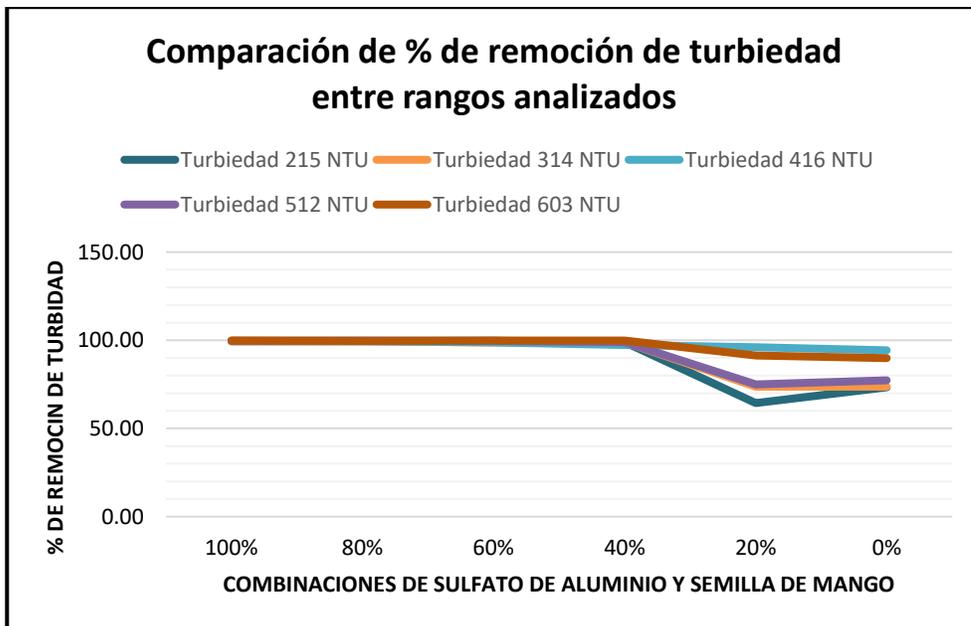


Fuente: elaboración propia.

De los resultados obtenidos de los 5 rangos de turbiedad analizados, se puede concluir que la combinación factible para una remoción alta de turbiedad es de la de 40 % sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)$  y 60 % molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*).

De igual manera como se puede observar en la figura 32 y tomando en consideración los 5 rangos de turbiedad analizados se concluye que, a mayor rango de turbiedad, las combinaciones de coagulante orgánico a base de molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*) y sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)$ , tienen un mayor desempeño en la remoción de turbiedad.

Figura 32. **Comparación de resultados en la remoción de turbiedad para los diferentes valores de turbiedad analizados**



Fuente: elaboración propia.

## CONCLUSIONES

1. Se aplicaron combinaciones de sulfato de aluminio  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)$  y molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*) para evaluar los porcentajes de remoción de turbiedad en las muestras de agua analizadas, de lo cual se obtuvo en promedio una remoción de 93.21 %, en los 5 rangos de turbiedad, esto después del proceso de coagulación-floculación y 15 minutos de sedimentación. De forma individual para cada valor de turbiedad se tuvieron resultados de la siguiente manera: para 215 NTU remoción de 89.24 %, 314 NTU remoción de 90.65 %, 416 NTU remoción de 97.60, 512 NTU remoción de 91.78 % y para 603 NTU, 96.76 % de remoción respectivamente.
2. Mediante las diferentes combinaciones de sulfato de aluminio  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)$  y molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*) se determinó la dosis optima de coagulante para cada uno de los rangos de turbiedad analizados (ver tabla XVI), que pueda sustituir el coagulante natural en determinado porcentaje al sulfato de aluminio  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)$ . Para los diferentes rangos de turbiedad la combinación factible fue la de 40 % sulfato de aluminio  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)$  y 60 % molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*) a excepción del valor de turbiedad de 416 NTU, debido a que en este valor la combinación factible fue la de 60 % sulfato de aluminio  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)$  y 40 % molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*). La dosis óptima para cada valor de turbiedad esta dado de la siguiente manera: para 215 NTU dosis óptima de 190 mg/L, 314 NTU dosis óptima de 200 mg/L, 416 NTU dosis óptima de 110 mg/L, 512 NTU dosis óptima de 250 mg/L y para 603 NTU, dosis óptima de 250 mg/L respectivamente.

Con las dosis antes mencionadas se lograron valores de turbiedad inferiores a 5 NTU como lo establece la norma COGUANOR NTG 29001.

3. Se determinaron los costos para ambos coagulantes utilizados durante la investigación y se concluyó que económicamente el coagulante natural a base de molienda de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*) tiene un costo de Q.19,50/libra y el sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)$  un costo de Q.2.72/libra, siendo este último sumamente inferior al primero, lo cual demuestra poca factibilidad en su utilización, sin embargo es importante mencionar que este tipo de fruto utilizado, es bastante común en ciertas áreas rurales de Guatemala, lo cual facilita su obtención, y con ello los costos en su obtención y elaboración, disminuirían en gran parte. De igual manera es importante mencionar que la elaboración de esta molienda debe de realizarse en el tiempo de producción del fruto que como se especificó en la sección 1,6 del marco teórico su época de cosecha cubre de marzo a mayo, y para meses posteriores envasar esta molienda para su conservación.

## RECOMENDACIONES

1. Promover la utilización de coagulantes naturales que ya fueron investigados y son técnica y económicamente factible su uso en los procesos de coagulación-floculación y sedimentación para el tratamiento de agua para consumo humano
2. Investigar y evaluar otros tipos de mango, debido a que en Guatemala se cuenta con diversidad de este fruto (mango), lo cual facilita su adquisición en diferentes lugares y a diferentes costos. Promoviendo de esta manera el uso de un coagulante natural a base de semilla de mango (*Mangifera indica*).
3. Evaluar el parámetro físico de color, en la utilización de coagulantes naturales y comparar los resultados con lo establecido en la norma guatemalteca del agua para consumo humano COGUANOR NTG 29001.
4. Impulsar la metodología de obtención y elaboración de coagulantes naturales, a nivel comunitario en zonas rurales, donde se carece de un tratamiento adecuado en el agua destinada al consumo humano, y de esta forma mejorar su calidad



## REFERENCIAS

1. Álvarez, Suazo (septiembre, 2016). *Uso de la semilla de tamarindo (Tamarindus Indica) como coagulante orgánico en procesos de coagulación-floculación en el tratamiento de agua para potabilización*. (Tesis de maestría) Universidad de San Carlos, Guatemala. Guatemala. Recuperado de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0530\\_MT.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0530_MT.pdf)
2. Andía, Y. (2000). *Tratamiento de agua Coagulación y Floculación*. Perú: SEDAPAL.
3. Arboleda V. (1992). *Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua*. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.
4. Arboleda, V. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.
5. ScieLo. (junio, 2005). *Evaluación de Plantas y Desarrollo Tecnológico*. [Mensaje de un blog]. Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1794-12372005000100006](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372005000100006)
6. Guananga, A. (2013). *Optimización de la Planta de tratamiento de agua potable del Cantón Cevallos*. Riobamba, Ecuador: McGraw-Hill.

7. Vargas, L. (2004). *Manual de Tratamiento de agua para consumo Humano*. Perú: CEPIS/OPS.
8. Ministerio de Agrigultura, Ganaderia y alimentacion. (noviembre, 2021). *Perfil comercial del mango* [Mensaje de un blog]. Recuperado de <https://precios.maga.gob.gt/archivos/perfiles/Perfil%20Mango.pdf>
9. Moscozo, L. R. (febrero, 2015). *Uso de almidón de yuca como sustituto del sulfato de aluminio en el proceso de coagulación-floculación en sistemas de tratamiento de agua para potabilización*. (Tesis de maestría) Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0462\\_MT.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0462_MT.pdf)
10. Ucabista. (abril, 2021). *Encuesta Nacional de las Condiciones de Vida*. [Mensaje de un blog] Recuperado de <https://elucabista.com/wp-content/uploads/2018/11/RESULTADO-PRELIMINARES-ENCOVI-2018-30-nov.pdf>

## APÉNDICES

### Apéndice 1. **Realización de ensayo de prueba de jarras por estudiante Irasema Karina Oliveros Godínez**



Fuente: [Fotografía de Karina Oliveros]. (Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Doctora Alba Estela Tabarini Molina”. 2021) Colección particular. Guatemala.

Apéndice 2. **Desglose de costos para la elaboración de coagulante natural a base de semilla de mango criollo (*Mangifera indica*)**

Unidades	Descripción	Costo unitario (Q)	Costo total (Q)
30	Frutos de mango	1,25	37,50
1	Mano de obra (separación de la semilla y su pulpa, secado, triturado, y tamizado)		60,00
	total		97,50
Se obtuvieron 5 libras de coagulante natural			
	Precio unitario por libra		19,50

Fuente: elaboración propia.

## ANEXOS

### Anexo 1. Cotización de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)$



Guatemala, 22 de Noviembre de 2021

Señores:  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Ciudad.  
Attn: KAREN OLIVEROS

Por este medio es un gusto saludarle y a la vez presentarle nuestra oferta por el siguiente producto:

CANTIDAD	PRODUCTO	PRECIO UNITARIO Incluye I.V.A.	TOTAL
25	SULFATO DE ALUMINIO (SACOS DE 25 KILOS)	Q. 6.00	Q. 150.00
Total:			150.00

**ENTREGA:** INMEDIATA  
**FORMA DE PAGO:** CONTADO  
**VALIDEZ DE LA OFERTA:** SUJETO A CAMBIOS SIN PREVIO AVISO  
**OBSERVACIONES:** SACO DE 25 KILOS

Cualquier información adicional que requieran no dude en comunicarse con nosotros. Sin más de momento, aprovechamos la oportunidad para enviarles un cordial saludo.

Atentamente,

ING. LISA MARIA JUAREZ  
Gerente de Ventas  
Cel. 53184668

DIANA RAMOS  
Ejecutivo (a) de Ventas  
Cel. 40303561

Fuente: Proquinsa, (2021). *Cotización de sulfato de aluminio*. Consultado 16 de agosto de 2021.

Recuperado de <https://www.proquinsa.com/piscinas-y-tratamientos-de-aguas>.

Anexo 2

**Límites máximos aceptables y permisibles establecidos por norma COGUANOR NTG 29001, para las características físicas del agua para consumo humano**

Características	LMA	LMP
Color	5,0 u	35,0 u <sup>(a)</sup>
Olor	No rechazable	No rechazable
Turbiedad	5,0 UNT	15,0 UNT <sup>(b)</sup>
Conductividad eléctrica	750 $\mu$ S/cm	1500 $\mu$ S/cm <sup>(d)</sup>
Potencial de hidrógeno	7,0-7,5	6,5-8,5 <sup>(c) (d)</sup>
Sólidos totales disueltos	500,0 mg/L	1000,0 mg/L

(a) Unidades de color en la escala de platino-cobalto  
 (b) Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).  
 (c) En unidades de pH  
 (d) Límites establecidos a una temperatura de 25°C.

Fuente: COAGUANOR (2021). *Norma técnica guatemalteca COAGUANOR NTG 29001.*