



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y  
Recursos Hidráulicos, (ERIS)

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL VOLUMEN Y BIODEGRADABILIDAD DE LOS  
LADOS RESULTANTES DE UTILIZAR LA MORINGA OLEIFERA COMO  
COAGULANTE ORGÁNICO Y EL SULFATO DE ALUMINIO COMO  
COAGULANTE INORGÁNICO EN EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE.

**Ingeniero Mario Antonio Corado Guzmán**

Asesorado por el Dr. MSc. Ing. Félix Alan Douglas Aguilar Carrera

Guatemala, febrero de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL VOLUMEN Y BIODEGRADABILIDAD DE LOS LODOS RESULTANTES DE UTILIZAR LA MORINGA OLEIFERA COMO COAGULANTE ORGÁNICO Y EL SULFATO DE ALUMINIO COMO COAGULANTE INORGÁNICO EN EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE.

ESTUDIO ESPECIAL

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

POR:

**INGENIERO CIVIL MARIO ANTONIO CORADO GUZMÁN**  
**ASESORADO POR EL DR. MSc. INGENIERO CIVIL FÉLIX ALAN DOUGLAS**  
**AGUILAR CARRERA**

COMO REQUISITO PREVIO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE  
MAESTRO (MAGISTER SCIENTIFICA) EN CIENCIAS  
DE INGENIERÍA SANITARIA

GUATEMALA, FEBRERO DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Ángel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jorgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

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

EXAMINADOR Dr. MSc. Ing. Félix Alan Douglas Aguilar Carrera

EXAMINADOR MSc. Ing. Adán Ernesto Artemio Pocasangre Collazos

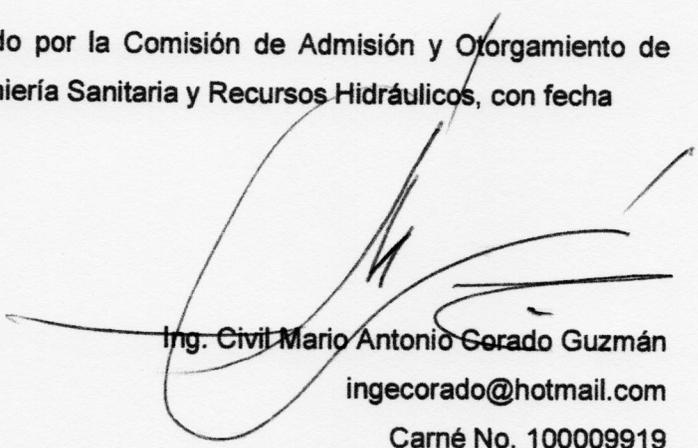
EXAMINADOR MSc. Ing. Zenón Much Santos

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 COMPARATIVO DEL VOLUMEN Y BIODEGRADABILIDAD DE LOS LODOS RESULTANTES DE UTILIZAR LA MORINGA OLEIFERA COMO COAGULANTE ORGÁNICO Y EL SULFATO DE ALUMINIO COMO COAGULANTE INORGÁNICO EN EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE.

Tema que me fuera asignado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado de la Escuela de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, con fecha 11 de mayo de 2017.

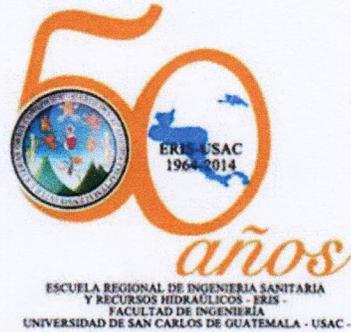


Ing. Civil Mario Antonio Gerado Guzmán

ingecorado@hotmail.com

Carné No. 100009919

Teléfono: 52032987



Guatemala, 15 de febrero de 2018

M. Sc. Ing. Adán Ernesto Artemio Pocasangre Collazos  
Coordinador de la Maestría en Ingeniería Sanitaria  
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS)  
Facultad de ingeniería, USAC

Habiendo revisado el documento titulado:

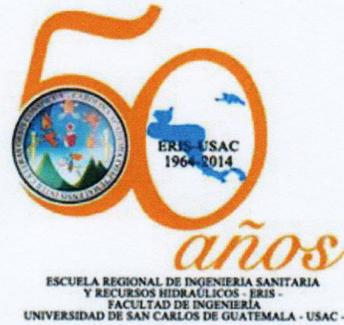
**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL VOLUMEN Y BIODEGRADABILIDAD DE LOS LODOS RESULTANTES DE UTILIZAR LA MORINGA OLEIFERA COMO COAGULANTE ORGÁNICO Y EL SULFATO DE ALUMINIO COMO COAGULANTE INORGÁNICO EN EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE.**

Elaborado por el **Ingeniero Civil Mario Antonio Corado Guzmán**, como parte de su Estudio Especial, y como requisito para optar al grado académico de Maestro en Ciencias en Ingeniería Sanitaria, mediante la presente me permito informarle mi satisfacción con su contenido y revisión de lingüística, 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"**

**Dr. MSc. Ing. Félix Alan Douglas Aguilar Carrera**  
Profesor Titular  
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria  
Asesor del estudio



Guatemala, 19 de febrero 2018

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 COMPARATIVO DEL VOLUMEN Y LA BIODEGRADABILIDAD DE LOS LODOS RESULTANTES DE UTILIZAR LA MORINGA OLEIFERA COMO COAGULANTE ORGÁNICO Y EL SULFATO DE ALUMINIO COMO COAGULANTE INORGÁNICO EN EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE.**

Presentado por el estudiante:

**Ing. Civil Mario Antonio Corado Guzmán**

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"

MSc. Ing. Adán Ernesto Artemio Pocasangre Collazos  
Coordinador Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria

Msc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos  
Coordinador Maestría Ingeniería Sanitaria  
ERIS / USAC

USAC  
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y  
Recursos Hidráulicos  
-ERIS-



El director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos - ERIUS- después de conocer el dictamen del tribunal examinador integrado por los profesores siguientes: Dr. MSc. Ing. Félix Alan Douglas Aguilar Carrera, MSc. Ing. Adán Ernesto Artemio Pocasangre Collazos y MSc. Ing. Zenón Much Santos, así como el visto bueno del Coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria; MSc. Ing. Adán Ernesto Artemio Pocasangre Collazos y la revisión lingüística realizada por la Licenciada Ruth Nohemí Cardona Mazariegos, Colegiada No. 12,498, al trabajo del estudiante Ing. Mario Antonio Corado Guzmán, titulado: **ANÁLISIS COMPARATIVO DEL VOLUMEN Y BIODEGRADABILIDAD DE LOS LODOS RESULTANTES DE UTILIZAR LA MORINGA OLEIFERA COMO COAGULANTE ORGÁNICO Y EL SULFATO DE ALUMINIO COMO COAGULANTE INORGÁNICO EN EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE.** En representación de la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado, procede a la autorización del mismo, en Guatemala el día 20 del mes de febrero de 2018.

**Imprimase**

**"ID Y ENSEÑAD A TODOS"**



MSc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis

**DIRECTOR**

## ACTO DEDICADO A:

- DIOS** Por permitirme laborar en la Sección de Acueductos del INFOM y en la Unidad Ejecutora del Programa de Acueductos Rurales (UNEPAR) desde 1982 en varias oportunidades, el dar asistencia técnica a las dos empresas líderes en la fabricación de tubería de PVC, haber sido Intendente y/o Supervisor de obras de acueductos, de drenajes, de obras de riego y participar en el diseño, construcción, rehabilitación y operación y mantenimiento de varios sistemas de tratamiento de aguas residuales y por finalizar este ciclo en la ERIS.
- LA ERIS/USAC** Porque el autoaprendizaje no debe ser práctica normal en el conocimiento del agua sino buscar transmitir, adquirir o reafirmar los conocimientos de una forma metódica y disciplinada tal y como se da en sus aulas.
- MIS PADRES:** Por haber sido en mi infancia y juventud como el agua necesaria para el buen crecimiento.
- MIS HERMANAS:** Con cariño, admiración y respeto por la compañía y apoyo al navegar por las aguas tranquilas de ese canal de nuestra infancia y juventud.
- MI ESPOSA:** Porque siempre ha sido, es y será como ese trago de agua que refresca.
- MIS HIJOS:** Porque llegaron a mi vida como el agua de una lluvia sorpresiva de verano o como las esperadas lluvias del fin del estiaje y definitivamente como el descanso y respiro de una canícula.

## INDICE GENERAL

INDICE GENERAL .....	i
INDICE DE TABLAS.....	iv
INDICE DE FIGURAS .....	vi
GLOSARIO.....	viii
RESUMEN .....	xii
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	xiv
JUSTIFICACION .....	xv
OBJETIVOS .....	xvi
HIPOTESIS .....	xvii
ANTECEDENTES .....	xvii
ALCANCES Y LIMITACIONES.....	xx
INTRODUCCION.....	xxi
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Moringa Oleifera.....	1
1.1.1. Moringa Oleifera como coagulante natural.....	3
1.1.2. Aspectos negativos del uso de la moringa .....	3
1.2. Turbiedad .....	4
1.3 Coagulantes .....	4
1.4 Coagulación .....	5
1.5 Ensayos de laboratorio.....	6
1.6. Biodegradabilidad .....	6
2. METODOLOGÍA.....	9
2.1. Actividades preliminares.....	9
2.2. Numero de ensayos a realizar .....	9

2.3.	Captación del agua de muestra .....	11
2.4.	Medios de control para los ensayos.....	12
2.5.	Solución madre de los coagulantes .....	13
2.6.	Preparación del agua de ensayo .....	16
2.7.	Dosis de las soluciones madre a aplicadas .....	17
2.8.	Lecturas de turbiedad .....	18
2.9.	Prueba de jarras (Jar test) .....	18
2.10.	Ensayo de turbiedad para la dosis más eficiente .....	21
2.11.	Ensayo de sedimentación.....	22
2.12.	Demanda química de oxígeno .....	23
2.13.	Demanda bioquímica de oxígeno .....	25
2.14.	Biodegradabilidad .....	26
3.	RESULTADOS .....	27
3.1.	Eficiencia en la remoción de turbiedad .....	27
3.2.	Resultados de sedimentación.....	30
3.3.	Demanda química de oxígeno –DQO-.....	32
3.4.	Demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días –DBO5- .....	33
3.5.	Biodegradabilidad de los lodos generados .....	34
4.	ANALISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS .....	35
4.1.	Remoción de turbiedad.....	35
4.2.	Lodos generados .....	37
4.2.1.	Producción de lodos utilizando coagulante a base de Moringa Oleífera .....	38
4.2.2.	Producción de lodos utilizando coagulante sulfato de aluminio	39
4.2.3	Análisis comparativo de la producción de lodos .....	40

4.3 Análisis de la Biodegradabilidad de los lodos producidos con coagulantes orgánicos e inorgánicos.....	42
4.3.1. Análisis estadístico de los valores de Demanda Química de Oxígeno.....	42
4.3.2. Análisis estadístico de la demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días (DBO <sub>5</sub> ) .....	44
4.3.3. Biodegradabilidad por coagulante .....	46
4.3.4. Análisis comparativo de la biodegradabilidad de los lodos generados con un coagulante orgánico y con un coagulante inorgánico.....	48
CONCLUSIONES.....	51
RECOMENDACIONES .....	53
BIBLIOGRAFIA .....	55
ANEXOS .....	59

## INDICE DE TABLAS

Tabla I. Resumen de resultados.....	xiii
Tabla II. Turbiedad remanente utilizando moringa oleífera.....	27
Tabla III. Turbiedad remanente utilizando sulfato de aluminio.....	28
Tabla IV. Remoción porcentual de turbiedad para el coagulante de moringa oleífera.....	29
Tabla V. Remoción porcentual de turbiedad para coagulante de sulfato de aluminio.....	29
Tabla VI. Volumen de lodos generados por los coagulantes utilizados.....	30
Tabla VII. Resultados de DQO por coagulante utilizado.....	32
Tabla VIII. Resultados de DBO5 por coagulante utilizado.....	33
Tabla IX. Biodegradabilidad de lodos generados por coagulante.....	34
Tabla X. Media y desviación estándar de la remoción porcentual de turbiedad al aplicar el coagulante a base de Moringa Oleífera.....	35
Tabla XI. . Serie de dato corregida para la remoción porcentual de turbiedad al aplicar el coagulante a base de Moringa Oleífera.....	36
Tabla XII. Media y desviación estándar de la remoción porcentual de turbiedad para el sulfato de aluminio.....	37
Tabla XIII. Media y desviación estándar de la producción de lodos utilizando Moringa Oleífera.....	38
Tabla XIV. . Media y desviación estándar de la producción de lodos utilizando sulfato de aluminio.....	39
Tabla XV. Media y desviación estándar de la DQO de los lodos obtenidos al utilizar como coagulante la Moringa Oleífera.....	42

Tabla XVI. Media y desviación estándar de la DQO de los lodos obtenidos al utilizar como coagulante el sulfato de aluminio.....	43
Tabla XVII. Media y desviación estándar de la DBO <sub>5</sub> de los lodos obtenidos al utilizar como coagulante la Moringa Oleífera.....	44
Tabla XVIII.. Media y desviación estándar de la DBO <sub>5</sub> de los lodos obtenidos al utilizar como coagulante el sulfato de aluminio.....	45
Tabla XIX. Media y desviación estándar de la biodegradabilidad (DQO/DBO <sub>5</sub> ) de los lodos generados al aplicarse un coagulante a base de Moringa Oleífera .....	46
Tabla XX. Media y desviación estándar de la biodegradabilidad (DQO/DBO <sub>5</sub> ) de los lodos generados al aplicarse como coagulante sulfato de aluminio .....	48

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Muestra una vaina que protege la semilla de Moringa Oleifera .....	2
Figura 2. Muestra una semilla en la vaina abierta .....	2
Figura 3. Muestra un árbol de Moringa Oleifera en crecimiento .....	3
Figura 4. Recipientes donde se transportó el agua de muestra y en donde se elaboró el agua de ensayo .....	12
Figura 5. Almendra de moringa o sea sin cascara .....	13
Figura 6. Pesaje de la semilla y de la almendra .....	14
Figura 7. Molido y Tamizado de las almendras de moringa .....	15
Figura 8. Pesado de la Moringa Oleifera .....	15
Figura 9. Agitador, harina de moringa y mezclado de solución madre	16
Figura 10. Presentación de la solución madre a base de Sulfato de Aluminio .....	16
Figura 11. Instrumentos utilizados para la dosificación de coagulante y recepción de muestra .....	19
Figura 12. Equipo utilizado en la Prueba de Jarras (Jar Test) .....	20
Figura 13. Dosis de coagulante más eficiente en la Jarra más clara a la derecha .....	20
Figura 14. Dosis de coagulante más eficiente en la jarra más clara a la derecha. Vista inversa a la Figura13 .....	20
Figura 15. Equipo y Turbidímetro .....	21
Figura 16. Muestra conos Imhoff y las diferentes coloraciones del lodo sedimentado .....	22
Figura 17. Resultado obtenido al utilizar el vial de 1,500 .....	24

Figura 18. Resultado obtenido al utilizar el vial de 25,000 .....	24
Figura 19. Termorreactor y viales previos a su utilización .....	24
Figura 20. Espectrofotómetro utilizado en el ensayo .....	25
Figura 21. Equipo para medir Oxígeno Disuelto .....	25
Figura 22. Esquema de lodos en cono imhoff con moringa .....	31

## GLOSARIO

<b>Agua cruda:</b>	Calidad del agua sin ningún tipo de tratamiento y que se puede recolectar a la entrada a la Planta de Tratamiento de Agua Potable.
<b>Agua de dilución:</b>	Agua potable obtenida de los grifos de agua que se ubican en el laboratorio.
<b>Agua de ensayo:</b>	Agua cruda cuya turbiedad fue acondicionada mediante el proceso de dilución.
<b>Agua potable:</b>	Agua que por sus características organolépticas, físicas, químicas y bacteriológicas no representa un riesgo para la salud del consumidor y que cumple con la norma COAGUANOR NTG 29001.
<b>Agua sintética:</b>	Agua generalmente potable a la cual se adicionan caolín para generarle los valores de turbiedad que se necesiten.
<b>Agua tratada:</b>	Agua cruda que ha sido objeto de algún tipo de tratamiento con la finalidad de mejorar su calidad.
<b>Alcalinidad:</b>	Medida de las concentraciones de iones en el agua que reaccionarán para neutralizar un ácido. Todos estos compuestos resultan ser sales del ácido carbónico que

proviene a su vez del anhídrido carbónico disuelto en el agua.

**Biodegradabilidad:** Capacidad que tienen algunos productos o sustancias de descomponerse en elementos químicos naturales en un tiempo muy corto y por la acción de organismos vivos (bacterias, microorganismos, hongos, gusanos, insectos, etc.) que las utilizan para producir energía y crear otras sustancias como aminoácidos, nuevos tejidos o nuevos organismos. Esta biodegradación puede darse en condiciones aeróbicas o anaeróbicas.

**Coagulación:** Proceso que permite incrementar la tendencia de las partículas de agregarse unas a otras para formar partículas mayores y así precipitarse más fácilmente.

**Coagulantes:** Sustancia inorgánica u orgánica que favorece la separación de una fase insoluble en agua por medio de sedimentación, es un compuesto que inestabiliza la materia suspendida en forma coloidal, a través de la alteración de la capa iónica cargada eléctricamente que rodea a las partículas coloidales.

**Coloides:** Sustancias que por ser muy pequeñas no son filtrables (entre 1 y 1000 mili micrómetros) y su comportamiento depende de su naturaleza y origen.

**Color:** Característica física que se debe a la presencia de iones metálicos naturales (Hierro y Manganeso),

materia orgánica, plancton y residuos industriales. El color verdadero es el que es producido por sustancias disueltas en estado coloidal que se da en las aguas en donde la turbiedad ha sido eliminada, siendo el color aparente el causado por sustancias disueltas y por materia suspendida.

**Cono de Imhoff:** Recipiente graduado en forma de cono usado para medir el volumen de sólidos sedimentable en líquidos provenientes de aguas residuales o de aguas para consumo humano y en un mismo ensayo puede ser a distintos tiempos. También se conoce como Cono de Sedimentación.

#### **Demanda Bioquímica**

**de Oxígeno DBO:** Cantidad de oxígeno que los microorganismos, hongos y plancton consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en el agua residual.

#### **Demanda Química**

**de Oxígeno DQO:** Cantidad de oxígeno que es necesaria para degradar químicamente la materia orgánica y convertirla en dióxido de carbono y agua.

**Floculación:** Fase intermedia entre la coagulación y la sedimentación cuyo objetivo es unir la materia coloidal formando así partículas más grandes con un peso específico superior al agua.

**Lodos:** Material que ha sedimentado por acción de la coagulación, floculación y sedimentación, los cuales

deben de ser recolectados, manejados, transportados, tratados y depositados o reutilizados de tal forma que no se contravenga con la normativa correspondiente.

**Solución madre:**

Combinación de un volumen o peso determinado de coagulante en un volumen determinado de agua esterilizada, la cual para el presente caso deberá ser aplicada de forma instantánea y al mismo tiempo al contenido de agua cruda colocada en cada una de las 6 jarras para realizar el ensayo de laboratorio correspondiente.

**Turbiedad:**

Capacidad de un líquido de diseminar un haz luminoso, puede deberse a partículas de arcilla proveniente de la erosión del suelo a la presencia de algas o crecimientos bacterianos.

## RESUMEN

El presente estudio se encuentra completamente enmarcado dentro de las líneas de investigación de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria –ERIS-, consiste en la investigación sobre la utilización de Coagulantes Orgánicos para el proceso de potabilización de aguas para consumo humano.

Se fijó el objetivo general, el cual consistió en determinar y comparar los volúmenes y biodegradabilidad de los lodos generados, tanto por el coagulante a base de Moringa Oleifera como por el coagulante a base de Sulfato de Aluminio.

Para los ensayos correspondientes se definió la utilización de agua natural proveniente de unas de las plantas de tratamiento de agua para consumo humano de la Ciudad Capital de Guatemala, tomando el agua de muestra en el canal de entrada a dicha planta. Las características del agua de muestra son: Temperatura de 24 °C, Alcalinidad de 96 mg/litro CaCO<sub>3</sub> (Media), pH de 7.2 y 689 UNT de turbiedad.

Posteriormente, en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Doctora Alba Estela Tabarini Molina” de la ERIS, se preparó el agua de ensayo, para lo cual se tomó cierto volumen de agua de muestra y se diluyó en otro volumen de agua de dilución, logrando de esta forma el tener 5 muestras de agua con turbiedades de: 95, 185, 272, 378 y 460 UNT.

Paralelamente se definieron por medio de ensayos de prueba de jarras la dosis de solución madre a utilizar, definiendo para la moringa una solución al 7% y del 1% para el Sulfato de Aluminio con base a experiencias de otros estudios.

Las dosis a aplicar para ambos coagulantes se definieron que serían para un intervalo de 30 mg/l entre cada una, siendo estas dosis de 40, 70, 100, 130, 160 y 190 mg/l para cada una de las jarras, para cada turbiedad analizada, obteniendo así el menor valor de la turbiedad remanente en una determinada jarra.

El contenido de la jarra que presentó la menor turbiedad remanente o sea la mayor eficiencia remocional de turbiedad fue trasladado al Cono Imhoff para determinar su volumen de lodos.

A cada uno de estos lodos les fue analizado tanto su DQO como la DBO<sub>5</sub> y luego se analizó la relación DQO/DBO<sub>5</sub> para determinar la biodegradabilidad de cada uno de los lodos generados.

Los resultados obtenidos para la eficiencia remocional, volumen de lodos generados, DQO, DBO<sub>5</sub> y Biodegradabilidad fueron analizados por medio de Shapiro Wilk para determinar si tenían un comportamiento de normalidad, lo cual resultó ser afirmativo, por lo que se aceptaron los resultados.

**Tabla I. Resumen de resultados**

Tipo de coagulante	Eficiencia remocional %	Volumen de lodo generado c3/l	DQO mg/l	DBO <sub>5</sub> mg/l	DQO/DBO <sub>5</sub>
Moringa Oleifera	96.12	5.3	18,352.00	10,949.00	2.23
Sulfato de Aluminio	99.87	4.46	6,480.00	1,907.00	3.68

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente en los procesos de potabilización del agua para consumo humano la utilización del sulfato de aluminio como coagulante inorgánico es de lo más común.

Este coagulante presenta dos desventajas: la primera, debido a sus altos costos no es opción para procesos de potabilización en comunidades pequeñas, y la segunda es que los lodos generados presentan trazas de aluminio, lo cual los hace poco biodegradables.

En los procesos de potabilización se tiene que mantener la eficiencia en la remoción de lodos misma que se ve reducida en los reactores si el lodo no es retirado con determinada periodicidad, por lo que fueron provistos de sistemas hidráulicos que permiten esta actividad de una forma fácil, pero descargan los lodos en cuerpos receptores inmediatos a las plantas de potabilización con el correspondiente daño ambiental.

Esta es la forma más adecuada de tratar estos lodos por medio de procesos de estabilización biológica, para que posteriormente sean utilizados en la mejora de los suelos de uso agrícola.

Para cualquiera de las dos formas de disposición de los lodos generados es necesario conocer el volumen y la biodegradabilidad de estos.

## **JUSTIFICACION**

Actualmente en los procesos de potabilización de agua para consumo humano el coagulante inorgánico más utilizado fue y sigue siendo el sulfato de aluminio, mismo que es muy eficiente en la remoción de la turbiedad, por un lado sus altos costos lo hacen inaccesible para muchas comunidades pequeñas, y por otro lado, se ha determinado que su utilización deja trazas de aluminio en las aguas tratadas, lo cual está siendo asociado con ciertas enfermedades y a la poca biodegradabilidad de los lodos generados. (Mendoza, Fernández, Ettiene, & Díaz, 2000).

Como beneficios que tiene la presente investigación, lo constituye la comparación entre la eficiencia remocional entre la Moringa Oleifera y el Sulfato de Aluminio aplicadas en agua cruda o natural; además que se cuenta con datos de volumen y biodegradabilidad de los lodos generados que pueden servir en las fases de planificación y diseño de obras de tratamiento de lodos y en las acciones a seguir para la disposición final de los mismos.

# OBJETIVOS

## General

Determinar y comparar por medio de los ensayos de laboratorio correspondientes los volúmenes y por medio de la relación DQO/DBO<sub>5</sub> la biodegradabilidad de los lodos que son producidos en los procesos de remoción de turbiedad con coagulantes tanto orgánicos e inorgánicos.

## Específico

- Determinar la eficiencia de remoción de turbiedad por medio del ensayo de Prueba de Jarras.
- Determinar los volúmenes de lodos generados por medio del ensayo de Cono Imhoff.
- Determinar la Demanda Química de Oxígeno de cada uno de los lodos generados con coagulantes de origen orgánico e inorgánico por medio de los análisis de laboratorio, siguiendo el protocolo utilizado para aguas.
- Determinar la Demanda Bioquímica de Oxígeno de cada uno de los lodos generados con coagulantes de origen orgánico e inorgánico por medio de los análisis de laboratorio siguiendo el protocolo utilizado para aguas.
- Determinar la biodegradabilidad mediante el análisis de la relación DQO/DBO<sub>5</sub> medido en los lodos generados con coagulantes de origen orgánico e inorgánico.

## **HIPOTESIS**

Se considera que, en el tratamiento de agua potable, la aplicación del sulfato de aluminio como coagulante inorgánico genera lodos en menor volumen y menos biodegradables que los lodos generados de aplicar coagulantes orgánicos a base de Moringa Oleifera.

## **ANTECEDENTES**

El ser humano y todos los animales necesitan para realizar sus actividades el consumo de agua, misma que bien puede llevar salud y bienestar o incomodidad y muerte.

El agua puede provenir de diversas fuentes y dentro de estas están las aguas superficiales, las cuales muchas veces arrastran material de origen orgánico e inorgánico que le producen color y/o turbiedad, por lo que necesitan de procesos de tratamientos físicos, biológicos y/o químicos.

Para el caso de la turbiedad, el agua necesita de tratamiento químico, el cual se cumple con la aplicación de coagulantes y de procesos físicos como lo es la sedimentación.

En el presente estudio se analizó el volumen de lodos generados en el proceso de coagulación-floculación y sedimentación, analizándose de cada uno de ellos su biodegradabilidad a través de la relación BQO/DBO<sub>5</sub>.

La remoción fue realizada por medio del ensayo de jarras y la biodegradabilidad por medio de comparar los resultados de la relación BQO/DBO<sub>5</sub>.

De las investigaciones preliminares realizadas en relación a estudios que evaluarán el volumen y la biodegradabilidad de los lodos generados por los coagulantes estudiados no se obtuvo información concreta y precisa, por lo que se considera que a la fecha de la elaboración del presente estudio no hay información específica en este sentido en Guatemala.

Sobre lo que si hay investigaciones realizadas es sobre la eficiencia remocional de turbiedad de diversos coagulantes inorgánicos y orgánicos, entre los que destacan estudios realizados en la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria -ERIS-, los cuales utilizaron coagulantes orgánicos a base de tamarindo, de yuca y de Moringa Oleifera, dando como resultado que su mayor eficiencia remocional ha sido del 69.70 % para el tamarindo en agua con turbiedades de entre 300 y 400 UNT como coagulante unico utilizado (Álvarez Suazo, 2016), del 58.56 % para la yuca para aguas con turbiedades de entre 401 y 500 UNT como coagulante único aplicado (Barrios, 2015), de 98.99% para la moringa como coagulante único utilizado en aguas con turbiedades arriba de 700 UNT (Mejia Guillen, 1985) y del 68 % en el estudio realizado utilizando coagulante a base de moringa, (Turcios Flores, 2017), resaltando que en todos ellos se utilizó agua con turbiedad generada de forma sintética.

Existe además un estudio que se relaciona a la remoción de coliformes totales y fecales en aguas residuales en donde se recomienda el uso de la moringa para la remoción de turbiedad en agua para consumo humano (Loucel Molina, 1999).

En la Universidad de San Carlos de Guatemala y con otros fines y objetivos se han realizado varios estudios sobre la Moringa Oleífera entre los que se pueden destacar: “pruebas de secado de hojas de moringa” (2010), “La acción antiinflamatoria de la raíz, tallo, flor y semilla de moringa oleífera lam en ratas”

(1989), “La acción inhibitoria in vitro de los extractos de la raíz y corteza de moringa oleífera contra cinco bacterias patógenas del hombre y *Cándida albicans* (1989), “Determinación de la acción antiespasmódica in vitro de las infusiones de las flores, hojas, raíces, semillas y tallos de *Moringa oleífera lam*” (1989), entre otros (Gómez Gómez, 2013).

En Colombia reportan eficiencias remocionales de turbiedad del 91.48% para la *Moringa Oleifera* como coagulante único para turbiedades iniciales menores a 1.8 UNT (Cerón Alarcón, 2015).

Investigaciones en Honduras reportan una eficiencia remocional del 69 % donde la moringa (aquí llamada marango) fue utilizada en combinación con cloruro de sodio (NaCl) (Gómez Gutiérrez, 2010).

## ALCANCES Y LIMITACIONES

Dentro de los alcances del presente estudio se tiene que en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Doctora Alba Estela Tabarini Molina” de la ERIS, se analizó el agua cruda o natural tomada de una planta de tratamiento de agua para consumo humano, a la cual se le analizó el volumen y la biodegradabilidad de los lodos resultantes de utilizar coagulantes orgánicos e inorgánicos dentro de un proceso de remoción de turbiedad.

Una limitante la constituye el hecho de no haber tenido control sobre la procedencia, la edad de corte, del proceso de embalaje, del transporte ni almacenado final de las semillas de Moringa Oleifera. Considerando que estos son aspectos que pueden influenciar de alguna forma sobre la calidad de la semilla y por ende la efectividad del coagulante orgánico.

Otra limitante es no poder interrelacionar los resultados obtenidos en el presente estudio con otros realizados en esta línea de coagulantes orgánicos o naturales, debido a la diferencia en el tipo de agua utilizada para el presente estudio es de origen natural y los estudios anteriores utilizaron agua sintética.

Se debe de considerar también como limitante el hecho que los resultados aquí presentados son exclusivamente para la calidad del agua de la muestra, ya que cada fuente presenta una calidad de agua única, la cual además puede variar entre una temporada y otra.

## INTRODUCCION

El ser humano depende en gran manera de la utilización del recurso agua para su subsistencia utilizándola en sus diferentes actividades de su vida diaria, lo que en casos extremos los ha obligado a recorrer grandes distancias para abastecerse del preciado líquido en cantidades adecuadas y de calidad aceptable.

Lo anterior ha obligado a estos habitantes a lo largo del tiempo y en las diversas regiones en donde se han establecido de forma sedentaria a buscarle soluciones a la mala calidad del agua, siendo una de esas soluciones la clarificación del agua, mediante la aplicación de coagulantes para mejorar la turbiedad, el color y el aspecto bacterial de las aguas a consumir.

Dentro de los diversos coagulantes modernos por así denominarlos que se han utilizados se encuentran los de origen inorgánico como el sulfato de aluminio y los coagulantes antiguos, pero poco utilizados en la actualidad como los coagulantes orgánicos que dentro de una gran variedad de estos se encuentra la Moringa Oleifera.

Actualmente la aplicación del sulfato de aluminio está siendo objetada, debido a que pueden tener efectos adversos en la salud humana, ya que lo relacionan con el Alzheimer, el envejecimiento prematuro y desordenes típicos de la insuficiencia renal (Mendoza, y otros, 2000), presenta además altos costos de su adquisición lo que le resta viabilidad económica para que sea utilizado en comunidades pobres y el manejo de un volumen de lodos poco biodegradables que genera.

Lo anterior ha obligado a la búsqueda de otras opciones para realizar la clarificación del agua para consumo humano siendo el coagulante a base de Moringa Oleifera la opción que presenta mejores expectativas de eficiencia, esto debido a su amplio historial en este sentido.

El objetivo del presente estudio es determinar para cada uno de los coagulantes utilizados (orgánico e inorgánico) el volumen y biodegradabilidad de los lodos generados. Aunque en la búsqueda de dicho objetivo se obtuvieron otros datos que se han considerado importantes como lo es la capacidad remocional de turbiedad de cada coagulante.

Actualmente ya se han realizado algunos estudios que utilizaron coagulantes orgánicos a base de tamarindo, de yuca y de Moringa Oleifera, dando como resultado que su mayor eficiencia remocional ha sido del 69.70 % para el tamarindo en agua con turbiedades de entre 300 y 400 UNT como coagulante unico utilizado (Alvarez Suazo, 2016), del 58.56 % para la yuca, para aguas con turbiedades de entre 401 y 500 UNT como coagulante único aplicado (Barrios, 2015) y 98.99% para la moringa para aguas con turbiedades arriba de 700 UNT (Mejía Guillen, 1985).

El presente estudio fue estructurado de acuerdo a los lineamientos de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria –ERIS-, por lo que inicialmente se presenta el marco teórico, donde de una forma bastante general se presenta información de la Moringa Oleifera; los conceptos de coagulación, floculación y sedimentación, la cual fue incluida con la intención de mejorar de forma sencilla la idea que se tiene sobre los procesos de coagulación, floculación y sedimentación; así como de los criterios de solución madre y de la determinación del índice de biodegradabilidad. También se presentan algunos criterios estadísticos utilizados.

Luego de una forma más detallada se describe la metodología que se empleó para alcanzar, tanto la comprobación de la hipótesis como los objetivos propuestos iniciando con la toma del agua de muestra, la elaboración del agua de ensayo, la prueba de jarras, la determinación de la turbiedad, el volumen de lodos y la determinación del índice de biodegradabilidad.

En un capítulo siguiente, se presenta de una forma secuencial la ejecución de la metodología anterior en donde se describe cada una de las acciones realizadas y los resultados que se obtuvieron.

Como los resultados obtenidos necesitan un análisis y discusión se presenta un capítulo con la evaluación de los resultados obtenidos, en donde se interpreta de forma estructurada todos y cada uno los resultados que se han obtenido.

Con base a los resultados y las discusiones realizadas, se procedió a resumir cada una de las conclusiones a que se ha llegado, intentando que estas conclusiones sean expresadas de forma clara, breve y concisa.

Luego de forma que fuera coincidente con los objetivos se presenta una serie de recomendaciones.

Finalmente se presenta la bibliografía que fue necesario consultar para la obtención de la información que se consideró importante y necesaria para el desarrollo del presente estudio.

# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1 Moringa Oleifera

Esta planta consta de una única raíz, en su edad adulta su tronco puede llegar a medir 20 centímetros de diámetro, su altura puede estar de entre los 10.00 a los 12.00 metros y el diámetro de su copa es de aproximadamente 3.00 metros que es la distancia recomendada para su siembra entre un árbol y otro (Tórtola, 2015).

Sus ramas son colgantes y quebradizas, sus flores son blancas, presenta hojas colores verdes claro y produce unas vainas triangulares colgantes de color marrón y de un largo de entre 30 a 120 centímetros por 1,8 centímetros de ancho y cada una contiene aproximadamente veinte semillas de color marrón oscuro con tres alas incrustadas en la médula (Tórtola, 2015).

Se puede reproducir por medio de la siembra de semillas en viveros y luego su traslado a su posición final, siendo el otro método el que se conoce como siembra de estacas las cuales han de ser de aproximadamente 1.00 metro de alto. (Tórtola, 2015).

Se considera que este árbol es originario del sur Himalaya y de ahí se extendió a la India, Bangladesh, Pakistán, Afganistán, Sri Lanka, sudeste asiático, Asia Occidental, Península Arábiga, África del Este y del Oeste, sur de la Florida, el Caribe, Centroamérica y gran parte de la América del Sur. (Tórtola, 2015).

En la India hacen referencia a esta planta y sus diversos usos desde los años 150 AC y los primeros romanos, griegos y egipcios apreciaban la moringa por sus propiedades terapéuticas, la usaban para proteger la piel, hacer perfumes, para tratar deficiencias o desórdenes alimenticios y para purificar el agua a beber,

entre otros usos. Según algunos autores en la Biblia en el libro de Éxodo 15:22-27 se hacen una posible referencia a esta planta como purificadora de agua del mar rojo en donde se convierte o acondiciona el agua amarga en agua dulce. (Tórtola, 2015).

En Guatemala es cultivado en clima cálido y se ha naturalizado en Chiquimula, El Progreso, Escuintla, Guatemala, Jutiapa, Petén, Retalhuleu, San Marcos, Santa Rosa, Suchitepéquez, Zacapa y en buena parte de las playas de la costa sur, en donde está siendo cultivado como cerco vivo y en algunas regiones para sombra para el café.

Su producción es viable en zonas o terrenos en donde otras especies no se reproducen. (Gómez Gómez, 2013)

Figura 1. **Muestra una vaina que protege la semilla de Moringa Oleifera**



Fuente: elaboración propia.

Figura 2. **Muestra una semilla en la vaina abierta**



Fuente: elaboración propia.

### **1.1.1. Moringa Oleifera como coagulante natural**

La acción coagulante de la Moringa Oleífera es realizada por determinadas proteínas floculantes que han sido extraídas de las semillas de Moringa Oleífera y caracterizadas por diferentes autores. Se trata de proteínas catiónicas divalentes con una masa molar de 13 kDa (kilo Dalton) y puntos isoeléctricos entre 10 y 11. (Marin, y otros, 2013). El mecanismo de coagulación está vinculado a la adsorción y neutralización de las cargas coloidales (Saez, y otros, 2003).

### **1.1.2. Aspectos negativos del uso de la moringa**

En la actualidad y en relación a posibles aspectos negativos no se cuenta con información relacionada al uso de la Moringa Oleífera en los procesos de potabilización del agua solo en su uso medicinal.

**Figura 3. Muestra un árbol de Moringa Oleifera en crecimiento**



Fuente: elaboración propia.

## **1.2. Turbiedad**

La turbiedad no es más que la capacidad de un líquido de diseminar un haz luminoso y puede deberse a la presencia de partículas de arcilla provenientes de la erosión del suelo, a la presencia de algas o a un crecimiento bacteriano. (Arboleda Valencia, 1973).

Como arcilla debe de entenderse que comprende una gran variedad de compuestos, pero generalmente se refiere a tierra fina de 0.002mm de diametro de grano o menos, algunas veces coloreada y que adquiere cierta plasticidad al entrar en contacto con limitadas cantidades de agua. (Arboleda Valencia, 1973).

Las arcillas son químicamente silicatos de aluminio con formas bastante complejas, físicamente están constituidos por cristales con una estructura atómica reticular definida pero no perfecta, sus formas son variables y con diferentes superficies específicas, siendo que su densidad está en función del grado de humedad de la muestra. (Arboleda Valencia, 1973).

## **1.3 Coagulantes**

El coagulante es un producto que al aplicárselo al agua con niveles de turbiedad desestabiliza la materia coloidal permitiendo o logrando su aglomeración en partículas mayores denominados flóculos con lo cual se mejora el tiempo de su precipitación o sedimentación.

Los coagulantes se clasifican por su origen en orgánicos e inorgánicos y para ambos grupos, sus efectos inician cuando se agrega el coagulante al agua,

después de lo cual viene la etapa de adsorción por parte de los coloides presentes en la fase acuosa (Marin, Martin, Hernández, Fernández, & Puls, 2013).

Como coagulante orgánico la semilla de moringa oleífera tiene contenidos elevados de proteínas del tipo solubles en agua, de bajo peso y presenta una carga positiva la cual actúa de forma similar a los coagulantes inorgánicos que son utilizados en la industria para la clarificación del agua como parte de un sistema de tratamiento de agua. (Marin, Martin, Hernández, Fernández, & Puls, 2013).

El coagulante derivado de la semilla de la moringa oleífera ofrece excelentes ventajas, entre ellas que no tiene ninguna influencia en los niveles de pH, no afecta la alcalinidad, el lodo generado puede convertirse en un acondicionador de suelo por carecer de residuos metálicos. (Marin, y otros, 2013)

El sulfato de aluminio es uno de los compuestos de aluminio con mayor importancia comercial; se emplea en el tratamiento de aguas residuales (como agente coagulante-floculante) y en la purificación de agua potable, en la industria de papel y en la preparación de mordientes. También es un agente ignífugo. En estas industrias se le denomina como alumbre de manera equivocada. (Saez, et al., 2003)

#### **1.4 Coagulación**

Esta se inicia en el mismo instante en que se agregan los coagulantes al agua y dura solamente fracciones de segundo. Básicamente consiste en una serie de reacciones físicas y químicas, entre los coagulantes, la superficie de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma. En otras palabras, es la desestabilización de las partículas suspendidas, o sea la remoción de las fuerzas que las mantienen separadas. (Arboleda Valencia, 1973).

## **1.5 Ensayos de laboratorio**

- **Sólidos sedimentables:** Son definidos como aquellos sólidos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono Imhoff) en lapso de tiempo de 60 minutos. Se expresan en ml/l y constituyen una medida aproximada de la cantidad de lodo que se obtendrá en la decantación del agua a tratar (Metcalf & Eddy, 1996).
- **Demanda Química de Oxígeno –DQO-:** Se emplea para medir el contenido de materia orgánica, tanto de las aguas naturales como de las residuales. En el ensayo, se emplea un agente químico fuertemente oxidante en medio ácido para la determinación del equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse (Metcalf & Eddy, 1996).
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días-DBO5-:** El parámetro de contaminación orgánica más ampliamente utilizado, aplicable tanto a aguas residuales como a aguas superficiales medido a los 5 días. La determinación del mismo está relacionada con la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica (Metcalf & Eddy, 1996).

## **1.6. Biodegradabilidad**

Se entiende por biodegradabilidad la facultad que tienen algunos productos o materiales de degradarse o descomponerse en productos químicos naturales en un tiempo relativamente corto y por la acción de organismos vivos (bacterias, microorganismos, hongos, gusanos, insectos, etc.) que las utilizan para producir energía y crear otras.

Para el presente caso, se utilizará la relación BQO/DBO<sub>5</sub> para indicar la biodegradabilidad de los lodos, según Hernández Lehmann & Galán (2004) se relaciona entre sí de la siguiente forma:

- |    |                             |        |                    |
|----|-----------------------------|--------|--------------------|
| a) | DQO/DBO <sub>5</sub>        | ≤ 2.50 | Muy biodegradable  |
| b) | 2.50 ≤ DQO/DBO <sub>5</sub> | ≤ 5.00 | Biodegradable      |
| c) | DQO/DBO <sub>5</sub>        | > 5.00 | Poco biodegradable |



## **2. METODOLOGÍA**

### **2.1. Actividades preliminares**

Se procedió a recopilar la información relacionada con los ensayos siguientes: prueba de jarras, cono Imhoff, demanda química de oxígeno -DQO-, demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días -DBO<sub>5</sub>-, y biodegradabilidad.

Adicional a lo anterior, se revisaron los procedimientos estadísticos para validar, garantizar y aceptar los resultados obtenidos del presente estudio.

### **2.2. Numero de ensayos a realizar**

Se determinó el tamaño de la muestra utilizando lo expuesto por el INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIONES (CERTEC) (1995) quienes se basan en la aplicación de las normas ISO 3534 y 2602:

- a) Se ha definido un intervalo de confianza del 23.00% de la media aritmética de "n" resultados y define el intervalo en el cual se encuentra la media aritmética verdadera a un nivel de confianza dado.
- b) El nivel de confianza adoptado es del 80 % y es la probabilidad de que la media aritmética verdadera se encuentre dentro del intervalo de confianza del 23%. En otra palabra, para el presente caso existen 80 posibilidades de 100 que la media aritmética verdadera se encuentre dentro del intervalo de confianza del 23%.

c) La desviación estándar es elegida a criterio y para este caso fue de 20%

Por lo que en resumen se tiene:

- Intervalo de confianza de L= 23.00%
- Nivel de confianza de 80%, K=1.28

Desviación estándar esperada del  $\delta=20\%$

$$L = 2 * K * \delta / (\sqrt{n}), \quad \text{dónde:} \quad n = (2 * K * \delta / L)^2$$

$$n = (2 * 1.28 * 20 / 23.0)^2 = 4.95$$

n=5 ensayos.

Se tomó como criterio de aceptación de los cinco ensayos, el hecho de que los resultados obtenidos no tienen implicaciones económicas ni técnicas a los actuales procesos de tratamiento, debido a que los resultados únicamente servirán de orientación a futuras investigaciones, pero con la realización de los cinco ensayos se tiene el 80% de confianza de que la media aritmética verdadera estará dentro del 23% del intervalo de confianza para una desviación estándar del 20%.

Para el caso de la producción de lodos se evaluó el lodo generado para la dosis más eficiente para cada turbiedad y para cada coagulante, siendo cinco resultados de turbiedad por cada uno de los coagulantes analizados para un total de diez ensayos.

Luego para la demanda química de oxígeno, se analizaron cinco muestras de lodo para cada uno de los coagulantes utilizados, dando un total de diez ensayos.

De igual forma para la demanda bioquímica de oxígeno, se analizaron cinco muestras de lodo para cada uno de los coagulantes utilizados, lo que generó un total de 10 ensayos.

Al contar con los datos correspondientes a cada parámetro analizado, se procedió a realizar los cálculos correspondientes a la media, a la desviación

estándar, a la t de student, análisis de error, e intervalo de confianza, verificando la normalidad de los datos por medio de la prueba de Shapiro - Wilk.

### **2.3. Captación del agua de muestra**

Con la aprobación de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria-ERIS- se solicitó autorización a los administradores de una de las plantas de tratamiento de agua potable que abastece a la Ciudad de Guatemala para recolectar 75 litros de agua de muestra para la realización de los diversos ensayos de jarras.

Luego se procedió a monitorear por varios días vía telefónica los valores de turbiedad del agua que ingresaban a dicha planta hasta que la turbiedad fuera la requerida (mínimo de 500 UNT).

La muestra fue tomada al inicio del canal de entrada en una zona de bastante turbulencia, ya que en la caja de entrada no hay obras que permitan una toma de muestras de agua de forma segura.

Las características iniciales del agua de muestra utilizada fue la siguiente:

Temperatura:	24 °C
Alcalinidad:	96 mg/l CaCO <sub>3</sub> (Media)
pH:	7.2
Turbiedad:	689 UNT

**Figura 4. Recipientes donde se transportó el agua de muestra y en donde se elaboró el agua de ensayo**



Fuente: elaboración propia.

#### **2.4. Medios de control para los ensayos**

Los medios de control consistieron en la identificación por medio de una numeración asignada a cada una de las jarras, de los receptores de muestra de agua sedimentada, de los conos Imhof y de las jeringas.

Esta identificación se realizó rotulando con masking tape y marcador el número correspondiente en los elementos antes indicados.

También se elaboró un cuadro conteniendo los espacios o celdas para anotar los datos obtenidos.

Pero la mayor y mejor medida de control fue la bitácora, en donde para cada día se anotó la actividad que se realizó, los resultados de realizar dicha actividad y los comentarios cuando procedieron. Esta bitácora se mantuvo alejada de las áreas o puntos en donde se manipulan los líquidos.

## 2.5. Solución madre de los coagulantes

La semilla de Moringa Oleifera se produce adentro de unas vainas como se muestra en la Fotografía No. 1, pero para el presente caso la semilla fué obtenida por medio de una transacción comercial realizada en el Galpón 16 de la Central de Mayoreo ubicada en la zona 12 de la Ciudad Capital en donde se adquirieron 2 libras, luego se procedió al descascarillado de la semilla, obteniendo aproximadamente 3,400 almendras. Ver Fotografía No. 5.

Figura 5. Almendra de moringa o sea sin cascara



Fuente: elaboración propia.

Al conocer los pesos de las semillas y de las almendras, se pesaron en el laboratorio 100 almendras y 100 semillas obteniendo el resultado de 20.81 gramos para las 100 almendras y de 24.19 gramos para las 100 semillas o sea 0.21 gramos por almendra y 0.24 gramos por semilla. Siendo que el 86.03% del peso de las semillas lo constituyen las almendras.

Luego se procedió al secado al sol, tritución, pulverización, molienda de las almendras que dieron como resultado un polvo o harina que posteriormente fue tamizado. Para el presente caso la tritución y molienda se realizó con una licuadora de uso doméstico y un tamiz o colador de cocina.

Posteriormente se mezclaron 70 gramos de harina de moringa con 1000 mililitros de agua destilada generando así la solución madre a utilizar, la cual presenta un color blanco. Esta solución dejó adherencias en los recipientes de vidrio utilizados.

Para el caso de la solución madre a base de sulfato de aluminio, ésta fue preparada al 1% y facilitada por el laboratorio de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria-ERIS- en las cantidades que se requirió para la realización del presente estudio.

Figura 6. **Pesaje de la semilla y de la almendra**



Fuente: elaboración propia.

**Figura 7. Molido y Tamizado de las almendras de moringa**



Fuente: elaboración propia.

**Figura 8. Pesado de la Moringa Oleifera**



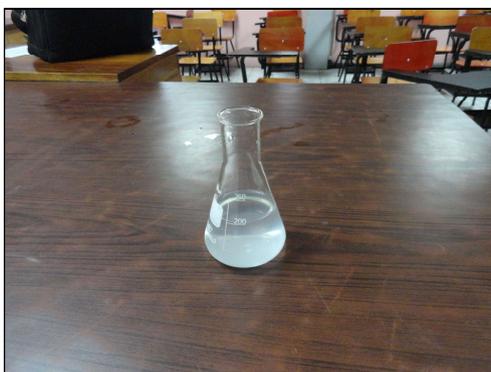
Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Agitador, harina de moringa y mezclado de solución madre**



Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Presentación de la solución madre a base de Sulfato de Aluminio**



Fuente: elaboración propia.

## 2.6. Preparación del agua de ensayo

El agua de ensayo se obtuvo a través de diluir la muestra de agua captada en la planta potabilizadora con agua del grifo del laboratorio. El proceso consistió

en determinar el volumen de agua del grifo del laboratorio que permitiera obtener las turbiedades siguientes: 460, 378, 272, 185 y 95 UNT.

## **2.7. Dosis de las soluciones madre a aplicadas**

Las dosis de solución aplicadas fueron preliminarmente evaluadas con la condicionante que debían de remover la turbiedad, a fin de que el agua tratada cumpliera con lo requerido por la norma COGUANOR en cuanto obtener una turbiedad de 5 UNT como límite máximo aceptable y de 15 UNT como límite máximo permisible.

Para lograr estas condiciones de turbiedad, se realizaron varios ensayos en el equipo de prueba de jarras del laboratorio, iniciándose estos con una solución madre a base de Moringa Oleifera al 1% y con dosis de 5, 10,15, 20, 25 y 30 mililitros. Los resultados obtenidos con este primer ensayo no generaron las turbiedades requeridas, por lo que fue necesario aumentar la dosis de coagulante y la concentración de la misma, hasta lograr las turbiedades deseadas con una dosis de solución madre al 7%, quedando fijada la concentración de la solución en este valor para todos los ensayos a realizar en este estudio.

Al tener la solución madre al 7%, se inició otra serie preliminar de prueba de jarras, para determinar el volumen de la solución madre a aplicar a cada jarra, definiendo un intervalo de 30 mg/litro como diferencia entre una dosis y otra.

Con el procedimiento anterior, se aplicó a cada una de las 6 jarras las dosis siguientes: 40, 70, 100, 130, 160 y 190 mg/l., con lo cual se evaluó el nivel de eficiencia de remoción de turbiedad que se describe en el siguiente apartado.

## **2.8. Lecturas de turbiedad**

La turbiedad en estos ensayos se efectuó en tres tiempos diferentes y como se indica a continuación:

La primera lectura de turbiedad, se realizó al agua de muestra obtenida en la planta de potabilización. Posteriormente esta misma agua se acondicionó por dilución como agua de ensayo con las turbiedades antes indicadas.

La segunda serie de lecturas de turbiedad se realizó para verificar la turbiedad del agua de ensayo, convirtiéndose esta segunda lectura en la turbiedad inicial utilizada durante todos los cálculos realizados.

Finalmente, al haber finalizado el tiempo de sedimentación posterior al ensayo de jarras se procedió a tomar la tercera serie de las muestras de turbiedad final del agua. Para esto se utilizó el Turbidímetro marca Hach modelo 2100AN.

## **2.9. Prueba de jarras (Jar test)**

Esta prueba se realizó para cada una de las turbiedades ya indicadas y para cada uno de los coagulantes analizados utilizándose jarras de 1000 ml.

La primera actividad realizada todos los días que duraron los ensayos consistió en revisar el buen funcionamiento del equipo de jarras. Procediendo a revisar la programación de las velocidades rotacionales y sus tiempos de operación.

Se revisó y verificó la identificación de cada una de las jarras, los capuchones para extracción de las muestras de agua sedimentada de las jarras, las jeringas y los recipientes utilizados para depositar la muestra de agua extraída.

En la probeta de 2000 mililitros, se midió la cantidad de agua de 1000 mililitros de agua de ensayo y se llenaron con esta agua todas y cada una de las jarras las cuales posteriormente fueron colocadas en su respectivo lugar previamente numerado teniendo el cuidado tanto de colocarlas y centrarlas bien en el equipo, procediendo finalmente a ubicar adecuadamente las aspas del agitador dentro de las jarras.

La programación del equipo para el proceso de coagulación fue con una velocidad de agitación rápida de 100 RPM durante un minuto, la solución madre fue aplicada en el eje del agitador en cada jarra al inicio de este ciclo. La fase de floculación se realizó por medio de la reducción de la velocidad de agitación a 40RPM por un lapso de tiempo de 15 minutos y finalmente la sedimentación se realizó por un tiempo de 30 minutos contados a partir de que se detuvo la agitación de la fase de floculación.

**Figura 11. Instrumentos utilizados para la dosificación de coagulante y recepción de muestra**



Fuente: elaboración propia.

**Figura 12. Equipo utilizado en la Prueba de Jarras (Jar Test)**



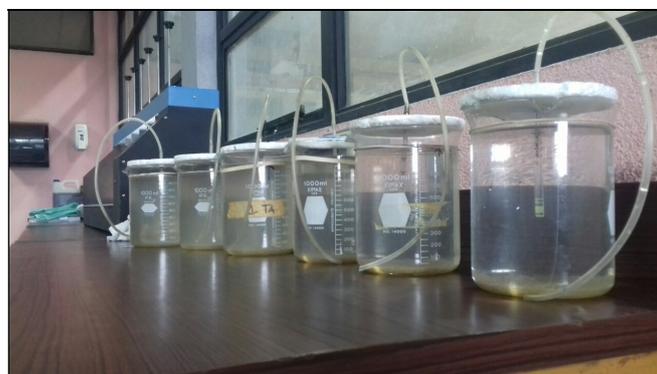
Fuente: elaboración propia.

**Figura 13. Dosis de coagulante más eficiente en la Jarra más clara a la derecha**



Fuente: elaboración propia.

**Figura 14. Dosis de coagulante más eficiente en la jarra más clara a la derecha. Vista inversa a la Figura 13**



Fuente: elaboración propia.

## 2.10. Ensayo de turbiedad para la dosis más eficiente

Para conocer la turbiedad final de cada uno de los ensayos realizados, al haber finalizado la fase de floculación, se procedió a colocar los capuchones que son unos dispositivos elaborados de forma artesanal con los cuales se extrajo la muestra de agua sedimentada.

Al tener las muestras del agua ensayada de cada una de las seis jarras, se procedió a llenar la celda correspondiente.

Esta celda fue secada minuciosamente en su parte exterior y luego fué colocada en el turbidímetro, en donde después de un corto tiempo se presentó en la pantalla correspondiente el resultado de cada ensayo, procediendo a anotar los resultados obtenidos.

Figura 15. Equipo y Turbidímetro



Fuente: elaboración propia.

## 2.11. Ensayo de sedimentación

Al haber finalizado el proceso de sedimentación y luego de haber realizado el ensayo de turbiedad se procedió a determinar en cuál de las jarras fue más eficiente el coagulante procediendo a trasladar el contenido de esta jarra hacia el cono Imhoff correspondiente en donde se esperó una hora para realizarle un raspado a las paredes de este cono, luego se esperaron otros 60 minutos para posteriormente registrar el volumen en centímetros cúbicos de lodo sedimentado para cada ensayo realizado.

Se considera importante mencionar aquí, aunque adelante se detalla más, el hecho de que los lodos sedimentados presentaron en el fondo del cono un lodo de color blanco.

En la parte superior de este lodo blanco se presentó un lodo café, y en la parte superior se observó una pequeña capa de lodo de color negro.

Figura 16. **Muestra conos Imhoff y las diferentes coloraciones del lodo sedimentado**





Fuente: elaboración propia.

## 2.12. Demanda química de oxígeno

Para el presente ensayo se compraron en el mercado los viales de 1500, realizando pruebas iniciales dando los primeros ensayos resultados insatisfactorios debido a la coloración oscura que fueron tomando y que el equipo confirmó que los resultados estaban “fuera de rango”.

Lo anterior también indicaba que los viales de 1500 no deberían de ser utilizados debido al rango de lectura muy bajo y que los resultados serían fuera de rango de lectura del vial.

Por lo que se tomó la decisión de utilizar viales de 25,000 para tener un rango mayor para obtener los resultados correspondientes.

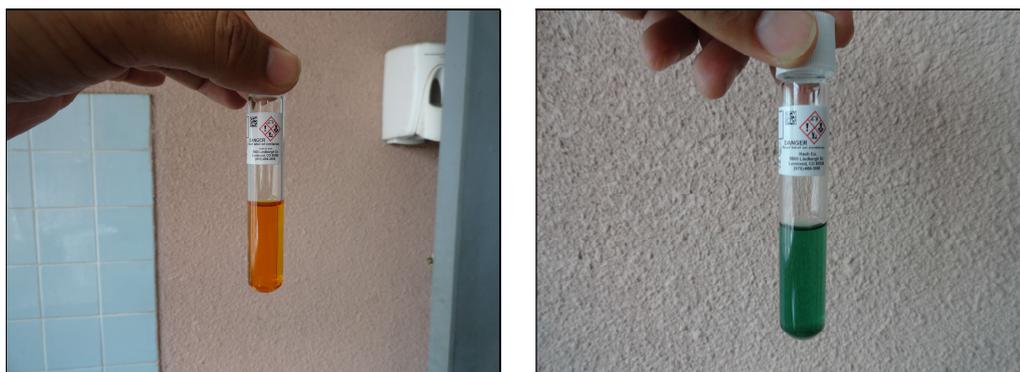
En términos generales, para la realización de estos ensayos de laboratorio se atendió lo indicado por los Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater The open reflux method (1998).

Figura 17. Resultado obtenido al utilizar el vial de 1,500



Fuente: elaboración propia.

Figura 18. Resultado obtenido al utilizar el vial de 25,000



Fuente: elaboración propia.

Figura 19. Termorreactor y viales previos a su utilización



Fuente: elaboración propia.

Figura 20. Espectrofotómetro utilizado en el ensayo



Fuente: elaboración propia.

### 2.13. Demanda bioquímica de oxígeno

En términos generales, para la realización de estos ensayos de laboratorio se atendió lo indicado por los Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 5-Day BOD Test (1998).

Figura 21. Equipo para medir Oxígeno Disuelto



Fuente: elaboración propia.

## 2.14. Biodegradabilidad

Al haber determinado tanto la DQO como la DBO<sub>5</sub>, se procede a determinar la biodegradabilidad o el índice de biodegradabilidad para cada uno de los lodos resultantes, por lo que se procedió a calcular la relación BQO/DBO<sub>5</sub> tabulándose los resultados en los cuadros correspondientes.

A los resultados obtenidos, se les estimaron la media, la desviación estándar, los límites inferior y superior, las pruebas de normalidad de Shapiro Wilk y finalmente la prueba de la hipótesis, con lo cual se determinaron los datos objeto del presente estudio.

La biodegradabilidad de los lodos se determinó utilizando los criterios recomendados por Hernandez Lehmann & Galan Martinez, (2004), de la manera siguiente:

DQO/DBO <sub>5</sub>	≤ 2.50	Muy biodegradable
2.50 ≤ DQO/DBO <sub>5</sub>	≤ 5.00	Biodegradable
DQO/DBO <sub>5</sub>	> 5.00	Poco biodegradable

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Eficiencia en la remoción de turbiedad

En las tablas II y III se presentan los resultados obtenidos de turbiedad final a distintas dosis de coagulante orgánico e inorgánico con cinco turbiedades iniciales. En estas se han resaltado en negrilla los valores de turbiedad remanente menores para identificarlos rápidamente.

De los resultados se puede notar que todos los valores de turbiedad remanente cumplen por lo menos con el límite máximo permisible de 15 UNT normado por COGUANOR.

Tabla II. Turbiedad remanente utilizando moringa oleífera

No. De Jarra	1	2	3	4	5	6
Dosis de solución madre Aplicada (mg/l)	40	70	100	130	160	190
Turbiedad Inicial	<b>Turbiedad Final (UNT)</b>					
95	<b>11</b>	13	14.1	17.3	18.4	18.7
185	7.6	7.56	<b>7.46</b>	8.95	9.61	11
272	10	7.95	5.23	<b>5.2</b>	5.89	5.34
378	<b>3.66</b>	5.14	5.94	7.26	7.91	8.9
460	10.1	4.94	<b>4.24</b>	4.42	5.38	5.97

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. Turbiedad remanente utilizando sulfato de aluminio

No. De Jarra	1	2	3	4	5	6
Dosis de solución madre aplicada (mg/l)	40	70	100	130	160	190
Turbiedad Inicial	Turbiedad Final (UNT)					
95	0.71	<b>0.07</b>	0.65	0.68	1.34	1.38
185	1.60	0.81	<b>0.53</b>	0.76	0.97	1.46
272	0.70	0.38	0.41	0.40	<b>0.36</b>	0.37
378	2.59	0.47	<b>0.31</b>	0.38	0.31	0.41
460	4.70	0.45	<b>0.38</b>	0.38	0.45	1.70

Fuente: elaboración propia.

- Eficiencia remocional de turbiedad

En las tablas IV y V se presentan los resultados de haber calculado el porcentaje de la eficiencia remocional, para cuya estimación se tomó en cuenta la turbiedad inicial y la turbiedad final según se indica en la siguiente formula:

$$\%R = (Ti - Tf) / Ti * 100$$

Dónde:

%R: Porcentaje de remoción

Ti: Turbiedad inicial

Tf: Turbiedad final

Para el caso de los ensayos con coagulante a base de moringa oleífera los porcentajes remocionales de turbiedad son bastante dispersos y van desde un mínimo de 88.42% hasta un máximo de 99.08% siendo su rango de variación de un 10.66%.

Para los ensayos con coagulante a base de sulfato de aluminio estos resultados van desde un mínimo de 99.59% hasta un máximo de 99.92% siendo su rango de variación de 0.33%.

Tabla IV. Remoción porcentual de turbiedad para el coagulante de moringa oleífera

No. De Jarra	1	2	3	4	5	6
Dosis de solución madre aplicada (mg/l)	40	70	100	130	160	190
Turbiedad Inicial	%R remoción de turbiedad					
95	<b>88.42</b>	86.32	85.16	81.79	80.63	80.32
185	95.89	95.91	<b>95.97</b>	95.16	94.81	94.05
272	96.32	97.08	98.08	<b>98.09</b>	97.83	98.08
378	<b>99.03</b>	98.64	98.43	98.08	97.01	97.65
460	97.80	98.93	<b>99.08</b>	99.08	98.83	98.70

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. Remoción porcentual de turbiedad para coagulante de sulfato de aluminio

No. De Jarra	1	2	3	4	5	6
Dosis de solución madre aplicada (mg/l)	40	70	100	130	160	190
Turbiedad Inicial	%R remoción de turbiedad					
95	99.25	<b>99.92</b>	99.32	99.28	98.59	98.55
185	99.14	99.56	99.71	<b>99.59</b>	99.48	99.21
272	99.74	99.86	99.85	99.85	<b>99.87</b>	99.86
378	99.31	99.88	<b>99.92</b>	99.90	99.92	99.89
460	98.98	99.90	99.90	<b>99.92</b>	99.90	99.63

Fuente: elaboración propia.

### 3.2. Resultados de sedimentación

- Volumen de lodos:

La tabla VI presenta los resultados de volumen de lodos generados luego del proceso de sedimentación para el coagulante a base de Moringa Oleifera y sulfato de aluminio a distintas turbiedades iniciales y dosificaciones.

Tabla VI. Volumen de lodos generados por los coagulantes utilizados

Coagulante a base de Moringa Oleifera				
1	RANGO TURBIEDAD	DOSIS DE SOLUCION MADRE APLICADA (mg/l)	Turbiedad inicial (UNT)	VOLUMEN DE LODOS (cm <sup>3</sup> /l)
Turbiedad	0-100	40	95	2.00
	101-200	100	185	3.50
	201-300	130	272	7.50
	301-400	40	378	4.50
	401-500	100	460	9.00
Coagulante a base de Sulfato de Aluminio				
2	RANGO TURBIEDAD	DOSIS DE SOLUCION MADRE APLICADA (mg/l)	Turbiedad inicial (UNT)	VOLUMEN DE LODOS (cm <sup>3</sup> /l)
Turbiedad	0-100	70	95	4.80
	101-200	100	185	5.50
	201-300	160	272	3.10
	301-400	100	378	4.40
	401-500	130	460	4.50

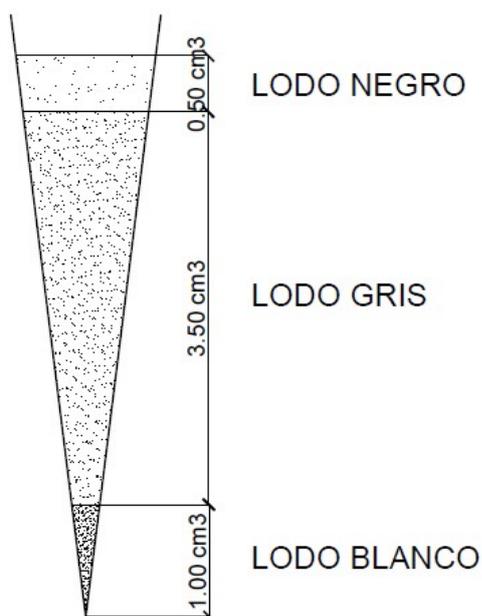
Fuente: elaboración propia.

Se puede notar en los resultados mostrados en la tabla VI, el amplio rango de los volúmenes resultantes para el caso del coagulante a base de Moringa Oleifera (de 2 cm<sup>3</sup>/l a 9 cm<sup>3</sup>/l), lo que no sucede con los volúmenes resultantes de utilizar el coagulante a base de sulfato de aluminio.

En la figura 22, se muestra un esquema de los estratos de lodos formados en los conos Imhoff durante el desarrollo de la prueba de sedimentación, así como el volumen promedio obtenido. En esta figura, se distinguen tres estratos de lodo. En el fondo se formó un estrato de lodo de color blanco, en el centro del cono Imhoff un estrato color gris y en la parte superior un lodo color negro. Los volúmenes correspondientes a cada estrato son de 1, 3.5 y 5 cm<sup>3</sup> (cc o ml) respectivamente.

El estrato de lodo de color blanco (formado en el fondo del cono Imhoff), se puede deducir que corresponde a la harina de moringa utilizada como coagulante, respondiendo este comportamiento a su densidad que es mayor al del resto del lodo formado.

Figura 22. **Esquema de lodos en cono imhoff con moringa**



## ESQUEMA DE LODOS

Fuente: elaboración propia.

### 3.3. Demanda química de oxígeno –DQO-

En la tabla VII se muestran los resultados de la DQO para cada uno de los coagulantes utilizados a distintos rangos de turbiedad y con diferentes dosis de coagulante.

En los resultados para ambos coagulantes, se puede notar que la DQO para los lodos resultantes de la aplicación de la solución madre a base de moringa va desde los 10,880 mg/l., hasta los 27,400 mg/l., y para el caso de los lodos a base de sulfato de aluminio es de 4,760 mg/l., hasta los 10,440 mg/l.

Tabla VII. Resultados de DQO por coagulante utilizado

Coagulante a base de Moringa Oleifera				
1	RANGO TURBIEDAD	DOSIS DE SOLUCION MADRE APLICADA (mg/l)	Turbiedad inicial (UNT)	DQO (mg/l)
Turbiedad	0-100	40	95	13020
	101-200	100	185	26760
	201-300	130	272	13700
	301-400	40	378	10880
	401-500	100	460	27400
Coagulante a base de Sulfato de Aluminio				
1	RANGO TURBIEDAD	DOSIS DE SOLUCION MADRE APLICADA (mg/l)	Turbiedad inicial (UNT)	DQO (mg/l)
Turbiedad	0-100	70	95	4760
	101-200	100	185	5560
	201-300	160	272	5740
	301-400	100	378	10440
	401-500	130	460	5900

Fuente: elaboración propia.

### 3.4. Demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días –DBO<sub>5</sub>-

En la tabla VIII se presentan los resultados de la DBO<sub>5</sub> en los lodos producidos en el proceso de sedimentación, luego de aplicar distintas dosis de coagulante a base de Moringa Oleífera y Sulfato de Aluminio con distintos rangos de turbiedad inicial.

Se puede notar que para el coagulante a base de Moringa Oleífera se presenta una DBO<sub>5</sub> mínima de 2,814 mg/l., y una máxima de 22,231 mg/l., mientras que la DBO<sub>5</sub> al aplicar el coagulante a base de sulfato de aluminio, muestra un valor mínimo de 860 mg/l., y un máximo de 2,700 mg/l.

Tabla VIII. Resultados de DBO<sub>5</sub> por coagulante utilizado

Coagulante a base de Moringa Oleífera				
1	RANGO TURBIEDAD	DOSIS DE SOLUCION MADRE APLICADA (mg/l)	Turbiedad inicial (UNT)	DBO (mg/l)
Turbiedad	0-100	40	95	5288
	101-200	100	185	17785
	201-300	130	272	6629
	301-400	40	378	2814
	401-500	100	460	22231
Coagulante a base de Sulfato de Aluminio				
2	RANGO TURBIEDAD	DOSIS DE SOLUCION MADRE APLICADA (mg/l)	Turbiedad inicial (UNT)	DBO (mg/l)
Turbiedad	0-100	70	95	860
	101-200	100	185	1937
	201-300	160	272	2500
	301-400	100	378	2700
	401-500	130	460	1540

Fuente: elaboración propia.

### 3.5. Biodegradabilidad de los lodos generados

En la tabla IX se presentan los resultados de la relación DQO/DBO<sub>5</sub> obtenidos a distintas dosis de coagulante a base de Moringa Oleífera y sulfato de aluminio a distintos rangos de turbiedad inicial. Los resultados obtenidos muestran que el lodo obtenido al aplicarse el coagulante a base de Moringa Oleífera, la menor biodegradabilidad es de 1.23 y la mayor de 3.87, mientras que en el lodo obtenido al aplicar sulfato de aluminio la menor biodegradabilidad es de 2.30 y la mayor de 5.53.

Tabla IX. Biodegradabilidad de lodos generados por coagulante

Coagulante a base de Moringa Oleífera				
1	RANGO TURBIEDAD	DOSIS DE SOLUCION MADRE APLICADA (mg/l)	Turbiedad inicial (UNT)	DQO/DBO <sub>5</sub>
Turbiedad	0-100	40	95	2.46
	101-200	100	185	1.50
	201-300	130	272	2.07
	301-400	40	378	3.87
	401-500	100	460	1.23
Coagulante a base de Sulfato de Aluminio				
1	RANGO TURBIEDAD	DOSIS DE SOLUCION MADRE APLICADA (mg/l)	Turbiedad inicial (UNT)	DQO/DBO
Turbiedad	0-100	70	95	5.53
	101-200	100	185	2.87
	201-300	160	272	2.30
	301-400	100	378	3.87
	401-500	130	460	3.83

Fuente: elaboración propia.

## 4. ANALISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

El proceso estadístico de los resultados obtenidos para la dosis aplicada de coagulante, volumen de solidos generados, Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno y de Biodegradabilidad se detalla a continuación:

### 4.1. Remoción de turbiedad

En la tabla X se resumen los resultados obtenidos al evaluar la media de la eficiencia remocional de turbiedad, la desviación estándar y los límites del intervalo de confianza obtenidos al aplicar el coagulante a base de Moringa Oleífera.

Tabla X. **Media y desviación estándar de la remoción porcentual de turbiedad al aplicar el coagulante a base de Moringa Oleífera**

Remoción de turbiedad			
Intervalo de Turbiedad (UNT)	Turbiedad inicial (UNT)	Coagulante a base de Moringa Oleífera	
		Media de la eficiencia remocional (%)	Desviación Estándar
0-100	95	88.42	59.26
101-200	185	95.97	0.02
201-300	272	98.09	3.89
301-400	378	99.03	8.48
401-500	460	99.08	8.77
$t_{0.10=}$	1.5332063	<b>96.12</b>	<b>4.48</b>
Intervalo de Confianza			
Límite Inferior		94.40	%
Limite Superior		97.84	%

Fuente: elaboración propia.

Al aplicar la prueba de normalidad de Shapiro Wilk a los resultados de la tabla X se obtuvo una significancia de 0.038, por lo que los datos analizados no

presentan un comportamiento similar a la curva normal, situación que obligó a revisar los datos para identificar si algún dato pudiera estar generando sesgo en la información de turbiedad final, determinado que este podría ser el de 88.42 por presentar la mayor desviación estándar.

Tabla XI. . **Serie de dato corregida para la remoción porcentual de turbiedad al aplicar el coagulante a base de Moringa Oleífera**

Remoción de turbiedad			
Intervalo de Turbiedad (UNT)	Turbiedad inicial (UNT)	Coagulante a base de Moringa Oleífera	
		Media de la eficiencia remocional (%)	Desviación Estándar
0-100	95		
101-200	185	95.97	0.02
201-300	272	98.09	3.89
301-400	378	99.03	8.48
401-500	460	99.08	8.77
<b>t<sub>0.10</sub>=</b>	<b>1.5332063</b>	<b>98.04</b>	<b>2.66</b>
Intervalo de Confianza			
Límite Inferior		97.02	%
Limite Superior		99.06	%

Fuente: elaboración propia.

A la serie de datos corregida (Tabla XI), se le aplicó nuevamente la prueba de normalidad de Shapiro Wilk, obteniéndose una significancia de 0.164 siendo este valor mayor a 0.05, lo que significa que los datos analizados si presentan un comportamiento similar a la curva de normal. Con este resultado se concluye que la eficiencia remocional de turbiedad es de 98.04 % con una desviación estándar de 2.66 % siendo el intervalo de confianza de (97.02, 99.06) % que se considera es donde deberá de ubicarse la media de la eficiencia remocional de turbiedad considerándose que el valor de la media podrá ser de 98.04 % con un 80% de confianza.

La tabla XII resume los resultados obtenidos en relación a la eficiencia remocional de turbiedad utilizando coagulante a base de sulfato de aluminio, con sus respectivos valores de media de la eficiencia remocional, desviación estándar e intervalo de confianza.

Tabla XII. **Media y desviación estándar de la remoción porcentual de turbiedad para el sulfato de aluminio**

Remoción de turbiedad			
Intervalo de Turbiedad (UNT)	Turbiedad Inicial (UNT)	Coagulante sulfato de aluminio	
		Media de la eficiencia remocional (%)	Desviación Estándar
0-100	95	99.92	0.0027
101-200	185	99.71	0.0250
201-300	272	99.87	0.0000
301-400	378	99.92	0.0027
401-500	460	99.92	0.0027
$t_{0.10=}$	1.5332063	<b>99.87</b>	<b>0.0909</b>
Intervalo de Confianza			
Límite Inferior		99.83	%
Límite Superior		99.90	%

Fuente: elaboración propia.

Al aplicar la prueba de normalidad a los datos de la tabla XII, se obtuvo una significancia mayor a 0.05, por lo que se concluye que la eficiencia remocional de turbiedad es de 99.87 % pero con una desviación estándar de 0.0909 % siendo el intervalo de confianza de 99.83% a 99.90%, con un 80% de confianza según el procedimiento empleado.

#### 4.2. Lodos generados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos al evaluar la media de la producción de lodos, la desviación estándar y los límites del intervalo de

confianza al utilizar distintas concentraciones de coagulante a base de Moringa Oleífera y sulfato de aluminio, en rangos distintos de turbiedad inicial.

#### 4.2.1. Producción de lodos utilizando coagulante a base de Moringa Oleífera

En la tabla XIII se muestra el valor de la media de producción de lodos generados al aplicar distintas dosis de coagulante a base de Moringa Oleífera en 5 rangos de turbiedad inicial.

Tabla XIII. **Media y desviación estándar de la producción de lodos utilizando Moringa Oleífera**

Producción de Lodos			
Intervalo de Turbiedad (UNT)	Turbiedad inicial (UNT)	Coagulante a base de Moringa Oleífera	
		Media de la producción de lodos (cm <sup>3</sup> /l)	Desviación Estándar
0-100	95	2.00	10.8900
101-200	185	3.50	3.2400
201-300	272	7.50	4.8400
301-400	378	4.50	0.6400
401-500	460	9.00	13.6900
<b>t<sub>0.10</sub>=</b>	<b>1.5332063</b>	<b>5.30</b>	<b>2.8853</b>
Intervalo de Confianza			
Límite Inferior		4.19	cm <sup>3</sup> /l
Limite Superior		6.41	cm <sup>3</sup> /l

Fuente: elaboración propia.

Al aplicar la prueba de normalidad de Shapiro Wilk a los datos de la tabla XIII, se obtuvo una significancia de 0.721 siendo mayor a 0.05 lo que significa que

los datos analizados si presentan un comportamiento similar a la curva de normalidad.

Por lo anterior, se concluye que la media de la producción de lodos es de 5.30 cm<sup>3</sup>/l., a considerarse con reserva dado que la desviación estándar es de 2.89 cm<sup>3</sup>/l que se considera alta. El intervalo de confianza estimado es de 4.19 cm<sup>3</sup>/l., a 6.41 cm<sup>3</sup>/l., con un 80% de confianza.

#### 4.2.2. Producción de lodos utilizando coagulante sulfato de aluminio

En la tabla XIV se muestran los resultados de la media de producción de lodos obtenidos al aplicar distintas dosificaciones de sulfato de aluminio en 5 rangos de turbiedad inicial, así como la desviación estándar y el intervalo de confianza de los datos obtenidos.

Tabla XIV. . **Media y desviación estándar de la producción de lodos utilizando sulfato de aluminio**

Producción de Lodos (cm <sup>3</sup> /l)			
Intervalo de Turbiedad (UNT)	Turbiedad Inicial (UNT)	Coagulante sulfato de aluminio	
		Media de la producción de lodos (cm <sup>3</sup> /l)	Desviación Estándar
0-100	95	4.80	0.1156
101-200	185	5.50	1.0816
201-300	272	3.10	1.8496
301-400	378	4.40	0.0036
401-500	460	4.50	0.0016
<b>t<sub>0.10</sub>=</b>	<b>1.5332063</b>	<b>4.46</b>	<b>0.8735</b>
Intervalo de Confianza			
Límite Inferior		4.13	cm <sup>3</sup> /l
Limite Superior		4.79	cm <sup>3</sup> /l

Fuente: elaboración propia.

Al aplicarle la prueba de normalidad de Shapiro Wilk a los datos de la tabla XIV, se obtuvo una significancia de 0.065 siendo mayor a 0.05, lo que significa que los datos analizados si presentan un comportamiento similar a la curva de normalidad.

Lo anterior confirma la normalidad de los datos obtenidos, por lo que se puede decir que la media de la producción de lodos al utilizar un coagulante a base de sulfato de aluminio es de 4.46 cm<sup>3</sup>/l., con una desviación estándar de 0.8735 cm<sup>3</sup>/l., e intervalo de confianza de 4.13 cm<sup>3</sup>/l., a 4.79 cm<sup>3</sup>/l., con un 80% de confianza.

#### **4.2.3 Análisis comparativo de la producción de lodos**

Con el objetivo de comparar la producción de lodos generados al aplicar un coagulante a base de Moringa Oleífera con la producción de lodos generados al aplicar sulfato de aluminio, se planteó como hipótesis nula (H<sub>0</sub>) que el coagulante a base de Moringa Oleífera produce menos lodo que el coagulante a base de sulfato de aluminio, y como hipótesis alternativa (H<sub>A</sub>) que el coagulante a base de sulfato de aluminio, produce menos lodo que el coagulante a base de Moringa Oleífera.

Para la comprobación de la hipótesis planteada se utilizó la comparación de medias, utilizando como media de producción de lodos generados con el coagulante a base de Moringa Oleífera el valor de 5.30 cm<sup>3</sup>, y para el volumen de lodos generados con el coagulante de sulfato de aluminio el valor de 4.46 cm<sup>3</sup>.

Al comparar la media se nota que el coagulante de la Moringa Oleífera produce un volumen mayor de lodos que el coagulante a base de sulfato de aluminio.

El análisis de media utilizó las siguientes expresiones:

$$H_0: \mu_x = \mu_y$$

$$H_A: \mu_x \neq \mu_y$$

$$t_{\text{Student}} = n_x + n_y - 2$$

$$t_{\text{Student}} = 5 + 5 - 2 = 8$$

$$S_p^2 = \frac{(n_x - 1)S_x^2 + (n_y - 1)S_y^2}{n_x + n_y - 2}$$

$$S_p^2 = ((5-1)*(5.3)^2 + (5-1)*(4.46)^2)/(5+5-2) = 4.898$$

$$t_0 = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_x} + \frac{1}{n_y}}}$$

$$t_0 = 0.27116$$

$$t_{0.10,8} = 1.397, \text{ donde } t_{0.10,8} = 1.397 > t_0 = 0.27116$$

$$\text{Se rechaza } H_0 \text{ si } t_{0.10,8} = 1.397 > t_0 = 0.27116$$

Se rechazó la hipótesis de que el coagulante a base de Moringa Oleífera produce menos lodos que el coagulante a base de sulfato de aluminio. Por lo que se aceptó la hipótesis alternativa de que el coagulante a base de sulfato de aluminio produce menos lodo.

### 4.3 Análisis de la Biodegradabilidad de los lodos producidos con coagulantes orgánicos e inorgánicos

#### 4.3.1. Análisis estadístico de los valores de Demanda Química de Oxígeno

En la tabla XV se presenta el resultado de la media para la concentración de DQO en miligramos por litro, obtenida al aplicar un coagulante a base de Moringa Oleífera en diferentes dosis con cinco rangos de turbiedad inicial. Se muestra también el valor de la desviación estándar de cada media obtenida, así como el intervalo de confianza.

Tabla XV. Media y desviación estándar de la DQO de los lodos obtenidos al utilizar como coagulante la Moringa Oleífera

Demanda Química de Oxígeno				
Intervalo de Turbiedad (UNT)	Turbiedad Inicial (UNT)	DOSIS DE SOLUCION MADRE APLICADA (mg/l)	Coagulante a base de Moringa Oleífera	
			Media de la DQO (mg/l)	Desviación Estándar
0-100	95	40	13,020.00	28,430,224.00
101-200	185	100	26,760.00	70,694,464.00
201-300	272	130	13,700.00	21,641,104.00
301-400	378	40	10,880.00	55,830,784.00
401-500	460	100	27,400.00	81,866,304.00
$t_{0.10=}$	1.5332063		<b>18,352.00</b>	<b>8,038.39</b>
Intervalo de Confianza				
Límite Inferior			15,270.87	mg/l
Limite Superior			21,433.13	mg/l

Fuente: elaboración propia.

Al aplicar la prueba de normalidad de Shapiro Wilk a los datos de la tabla XV, se obtuvo una significancia de 0.068 siendo mayor a 0.05, lo que significa que los datos analizados si presentan un comportamiento similar a la curva de normalidad.

Establecida la normalidad de los datos, se concluye que la media de DQO es de 18,352.00 mg/l., con un desviación estándar de 8,038.39 mg/l., por lo que el valor de la media debe utilizarse con reserva. El intervalo de confianza es de 15,270.87 mg/l., a 21,433.13 mg/l., con un 80% de confianza.

Estos valores son bastante mayores a los esperados que eran en un máximo de 1,500.00 mg/l., comportamiento que puede responder al arrastre de sedimentos como consecuencia de la presencia de lluvias en el área donde se capta la fuente de agua utilizada en la planta potabilizadora.

En la tabla XVI se muestra la media de concentración de DQO del lodo sedimentados al utilizar como coagulante el sulfato de aluminio en distintas dosificaciones con cinco rangos de turbiedad inicial. Se incluye la desviación estándar de cada media obtenida, así como el intervalo de confianza de los datos analizados.

Tabla XVI. **Media y desviación estándar de la DQO de los lodos obtenidos al utilizar como coagulante el sulfato de aluminio**

Demanda Química de Oxígeno				
Intervalo de Turbiedad (UNT)	Turbiedad Inicial (UNT)	DOSIS DE SOLUCION MADRE APLICADA (mg/l)	Coagulante sulfato de aluminio	
			Media de la DQO (mg/l)	Desviación Estándar
0-100	95	70	4,760.00	2,958,400.00
101-200	185	100	5,560.00	846,400.00
201-300	272	160	5,740.00	547,600.00
301-400	378	100	10,440.00	15,681,600.00
401-500	460	100	5,900.00	336,400.00
$t_{0.10=}$	1.5332063		<b>6,480.00</b>	<b>2,256.68</b>
Intervalo de Confianza				
Límite Inferior			5,615.01	mg/l
Limite Superior			7,344.99	mg/l

Fuente: elaboración propia.

Al aplicar la prueba de normalidad de Shapiro Wilk a los datos de la tabla XVI, se obtuvo una significancia de 0.264 siendo mayor a 0.05 lo que significa que los datos analizados si presentan un comportamiento similar a la curva de normalidad

Establecida la normalidad de los datos obtenidos, se concluye que la media de DQO es de 6,480.00 mg/l., con una desviación estándar de 2,256.68 mg/l. El intervalo de confianza es de 5,615.01 mg/l., a 7,344.99 mg/l., con un 80% de confianza.

#### 4.3.2. Análisis estadístico de la demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días (DBO<sub>5</sub>)

En la tabla XVI se muestran los valores de la media de la concentración de DBO en los lodos producidos al aplicar como coagulante la Moringa Oleífera en distintas concentraciones para cinco rangos de turbiedad inicial. Se muestra también la desviación estándar y el intervalo de confianza de los valores analizados.

Tabla XVII. **Media y desviación estándar de la DBO<sub>5</sub> de los lodos obtenidos al utilizar como coagulante la Moringa Oleífera**

Demanda Bioquímica de Oxígeno				
Intervalo de Turbiedad (UNT)	Turbiedad inicial (UNT)	DOSIS DE SOLUCION MADRE APLICADA (mg/l)	Coagulante a base de Moringa Oleífera	
			Media de la DBO (mg/l)	Desviación Estándar
0-100	95	40	5,288.00	32,051,449.96
101-200	185	100	17,785.00	46,725,427.36
201-300	272	130	6,629.00	18,665,856.16
301-400	378	40	2,814.00	66,184,733.16
401-500	460	100	22,231.00	127,274,498.56
<b>t<sub>0.10</sub>=</b>	<b>1.5332063</b>		<b>10,949.40</b>	<b>8,527.92</b>
Intervalo de Confianza				
Límite Inferior			7,680.63	mg/l
Limite Superior			14,218.17	mg/l

Fuente: elaboración propia.

Al aplicar la prueba de normalidad de Shapiro Wilk a los datos de la tabla XVII, se obtuvo una significancia de 0.272 siendo mayor a 0.05 lo que significa que los datos analizados si presentan un comportamiento similar a la curva de normalidad.

Establecida la normalidad de los datos obtenidos, se concluye que la media de DBO<sub>5</sub> es de 10,949.40 mg/l., con una desviación estándar de 8,527.92 mg/l. El intervalo de confianza es de 7,680.63 mg/l., a 14,218.17 mg/l., mg/l con un 80% de confianza.

En la tabla XVIII se muestra el valor de la media de DBO<sub>5</sub> obtenida en los lodos generados al aplicar distintas dosificaciones de coagulante sulfato de aluminio a 5 rangos de turbiedad inicial. Se incluye el valor de la desviación estándar y el intervalo de confianza de los datos analizados.

Tabla XVIII.. **Media y desviación estándar de la DBO<sub>5</sub> de los lodos obtenidos al utilizar como coagulante el sulfato de aluminio**

Demanda Bioquímica de Oxígeno			
Intervalo de Turbiedad (UNT)	Turbiedad inicial (UNT)	Coagulante sulfato de aluminio	
		Media de la DBO <sub>5</sub> (mg/l)	Desviación Estándar
0-100	95	860.00	1,097,046.76
101-200	185	1,937.00	876.16
201-300	272	2,500.00	351,174.76
301-400	378	2,700.00	628,214.76
401-500	460	1,540.00	134,982.76
<b>t<sub>0.10</sub>=</b>	<b>1.5332063</b>	<b>1,907.40</b>	<b>743.69</b>
Intervalo de Confianza			
Límite Inferior		1,622.34	mg/l
Limite Superior		2,192.46	mg/l

Fuente: elaboración propia.

Al aplicar la prueba de normalidad de Shapiro Wilk a los datos de la tabla XVIII, se obtuvo una significancia de 0.783 siendo mayor que 0.05 lo que significa que los datos analizados si presentan un comportamiento similar a la curva de normalidad.

Confirmada la normalidad de los datos obtenidos, se concluye que la media de DBO<sub>5</sub> es de 1,907.40 mg/l., con una desviación estándar de 743.69 mg/l., y un intervalo de confianza de 1,622.34 mg/l., a 2,192.46 mg/l., con un 80% de confianza.

#### 4.3.3. Biodegradabilidad por coagulante

En la tabla XIX se presentan los resultados para la media de relación DQO/DBO<sub>5</sub> obtenida de los lodos provenientes de la aplicación de un coagulante a base de Moringa Oleifera a distintas dosificaciones y cinco rangos de turbiedad inicial.

Tabla XIX. **Media y desviación estándar de la biodegradabilidad (DQO/DBO<sub>5</sub>) de los lodos generados al aplicarse un coagulante a base de Moringa Oleifera**

Biodegradabilidad (Relación DQO/DBO <sub>5</sub> )			
Intervalo de Turbiedad (UNT)	Turbiedad inducida (UNT)	Coagulante a base de Moringa Oleifera	
		Media de la Biodegradabilidad	Desviación Estándar
0-100	95	2.46	0.05
101-200	185	1.50	0.53
201-300	272	2.07	0.02
301-400	378	3.87	2.70
401-500	460	1.23	0.99
<b>t<sub>0.10=</sub></b>	1.5332063	<b>2.23</b>	<b>1.04</b>
Intervalo de Confianza			
Límite Inferior		1.83	
Limite Superior		2.62	

Fuente: elaboración propia.

Al aplicarle la prueba de normalidad de Shapiro Wilk a los datos de la tabla XIX, se obtuvo una significancia de 0.513 siendo mayor a 0.05 lo que significa que los datos analizados si presentan un comportamiento similar a la curva de normalidad.

Con la confirmación de la normalidad se concluye que la media de la biodegradabilidad, medida esta con la relación DQO/DBO<sub>5</sub>, en los lodos obtenidos al aplicar un coagulante a base de Moringa Oleífera es de 2.23 con una desviación estándar de 1.04 e intervalo de confianza de 1.83 a 2.62 con un 80% de confianza.

Considerando que Hernández Lehmann & Galán Martínez (2001) indica que si la relación DQO/DBO<sub>5</sub> se ubica por debajo de 2.50 es un indicativo de alta biodegradabilidad, por lo que en el caso de los lodos obtenidos al aplicar un coagulante a base de Moringa Oleífera se concluye que es muy biodegradable, dado que el intervalo de confianza es de 1.83 a 2,62 y su valor medio se ubica en 2.23.

En la tabla XX se muestran los resultados de la biodegradabilidad de los lodos obtenidos al aplicar como coagulante sulfato de aluminio a distintas dosificaciones y cinco rangos de turbiedad inicial. Se presentan también la desviación de los datos y el intervalo de confianza.

Al aplicar la prueba de normalidad de Shapiro Wilk a los datos de la tabla XX, se obtuvo una significancia de 0.694 siendo mayor a 0.05 lo que significa que los datos analizados si presentan un comportamiento similar a la curva de normalidad.

Con la confirmación de la normalidad se concluye que la media de la biodegradabilidad, medida esta con la relación DQO/DBO<sub>5</sub>, en los lodos obtenidos al aplicar como coagulante sulfato de aluminio es de 3.68 con una desviación estándar de 1.23 e intervalo de confianza de 3.21 a 4.15 con un 80% de confianza.

Tabla XX. **Media y desviación estándar de la biodegradabilidad (DQO/DBO<sub>5</sub>) de los lodos generados al aplicarse como coagulante sulfato de aluminio**

<b>Biodegradabilidad (Relación DQO/DBO<sub>5</sub>)</b>			
<b>Intervalo de Turbiedad (UNT)</b>	<b>Turbiedad Inducida (UNT)</b>	<b>Coagulante Sulfato de Aluminio</b>	
		<b>Media de la biodegradabilidad</b>	<b>Desviación Estándar</b>
0-100	95	5.53	3.4225
101-200	185	2.87	0.6561
201-300	272	2.30	1.9044
301-400	378	3.87	0.0361
401-500	460	3.83	0.0225
<b>t<sub>0.10</sub>=</b>	1.5332063	<b>3.68</b>	<b>1.2290</b>
<b>Intervalo de Confianza</b>			
Límite Inferior		3.21	
Limite Superior		4.15	

Fuente: elaboración propia.

Considerando que Hernández Lehmann & Galán Martínez (2001) indica que si la relación DQO/DBO<sub>5</sub> se ubica por debajo en el rango de 2.50 a 5.00 es un indicativo de biodegradabilidad, por lo que en el caso de los lodos obtenidos al aplicar sulfato de aluminio como coagulante se concluye que este es biodegradable, dado que el intervalo de confianza es de 3.21 a 4.15 y su valor medio se ubica en 3.68.

#### **4.3.4. Análisis comparativo de la biodegradabilidad de los lodos generados con un coagulante orgánico y con un coagulante inorgánico**

Con el objetivo de comparar la biodegradabilidad de los lodos generados al aplicar un coagulante a base de Moringa Oleífera con la producción de lodos generados al aplicar sulfato de aluminio, se planteó como hipótesis nula (H<sub>0</sub>) que el lodo producido por el coagulante a base de Moringa Oleífera es menos biodegradable que lodo producido por el sulfato de aluminio, y como hipótesis

alternativa (HA) que el lodo producido por el coagulante a base de Sulfato de Aluminio es menos biodegradable que lodo producido por la Moringa Oleífera.

Para la comprobación de la hipótesis planteada se utilizó la comparación de medias, utilizando como media de biodegradabilidad de lodos generados con el coagulante a base de Moringa Oleífera el valor de 2.23, y para la biodegradabilidad de los lodos generados con el coagulante de sulfato de aluminio el valor de 3.68.

El análisis de media utilizó las siguientes expresiones:

$$H_0: \mu_x = \mu_y$$

$$H_A: \mu_x \neq \mu_y$$

$$t_{\text{Student}} = n_x + n_y - 2$$

$$t_{\text{Student}} = 5 + 5 - 2 = 8$$

$$S_p^2 = \frac{(n_x - 1)S_x^2 + (n_y - 1)S_y^2}{n_x + n_y - 2}$$

$$S_p^2 = ((5-1)*(2.23)^2 + (5-1)*(3.68)^2) / (5+5-2) = 3.04264$$

$$t_0 = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_x} + \frac{1}{n_y}}}$$

$$t_0 = -0.7535$$

$$t_{0.10,8} = 1.397, \text{ donde } t_{0.10,8} = 1.397 > |t_0| = 0.7535$$

Del análisis anterior, se concluyó que el lodo producido por la Moringa Oleífera es más biodegradable que el lodo producido por el sulfato de aluminio.



## CONCLUSIONES

- 1 Se determinó que la eficiencia remocional de turbiedad del coagulante a base de Moringa Oleifera presentó una media de 96.12 % y el coagulante a base de sulfato de aluminio de 99.87%.
- 2 El coagulante a base de Moringa Oleifera produjo un volumen de lodos de 5.30 cm<sup>3</sup>/l., y el coagulante a base de sulfato de aluminio de 4.46 cm<sup>3</sup>/l., por lo que el utilizar un coagulante orgánico como la Moringa Oleífera produce un volumen mayor de lodos en comparación con el volumen que se produce al utilizar un coagulante inorgánico como el sulfato de aluminio. Esto comprueba la hipótesis en cuanto a que el sulfato de aluminio genera un volumen menor de lodos.
- 3 La utilización del coagulante a base de Moringa Oleífera generó lodos que presentaron una Demanda Química de Oxígeno de 18,352 mg/l., y los generados al utilizar el sulfato de aluminio presentaron una DQO de 6,480 mg/l., para una misma calidad de agua, por lo que el coagulante de Moringa Oleífera produjo lodos con mayor DQO que los producidos con sulfato de aluminio.
- 4 Para el caso de la Demanda Bioquímica de Oxígeno –DBO<sub>5</sub>-, el coagulante a base de Moringa Oleífera presentó un valor de 10,949 mg/l., y el sulfato de aluminio un valor de 1,907.40 mg/l., para una misma calidad de agua, por lo que el coagulante de Moringa Oleífera produjo lodos con mayor DBO<sub>5</sub> que los producidos con sulfato de aluminio.

- 5 En relación a la biodegradabilidad o índice de biodegradabilidad, el lodo producido por la utilización del coagulante de Moringa Oleífera presentó un valor de 2.23 que se considera muy biodegradable, y el lodo producido al utilizar sulfato de aluminio presentó un valor de 3.68 que se cataloga únicamente como biodegradable, de donde se determinó que entre los dos lodos es más biodegradable el lodo de la Moringa Oleífera, lo que comprueba la hipótesis planteada de que los lodos generados por el sulfato de aluminio son menos biodegradables.

## RECOMENDACIONES

- 1 Para el caso de los lodos generados por ambos coagulantes, es necesario conocer la caracterización de cada uno de estos para proceder a determinar diferencias y justificar los resultados mayores del volumen de lodo, de la Demanda Química de Oxígeno –DQO- y la Demanda Bioquímica de Oxígeno –DBO<sub>5</sub>- del coagulante a base de Moringa Oleifera.
- 2 Para el tratamiento de los lodos, habrá que determinar el tiempo en el cual estos son estabilizados biológicamente y determinar así posibles opciones de disposición final de estos.
- 3 Realizar estudios utilizando el agua ya tratada de esta Planta de Tratamiento de Agua Potable para la elaboración de la solución madre, para buscar diferencias con los presentes resultados que utilizaron agua destilada, puesto que sería más apegado a la realidad de las comunidades que utilicen la moringa oleifera en el tratamiento del agua con que se abastezcan.



## BIBLIOGRAFIA

1. ALVAREZ SUAZO, T. Y. (2016). Uso de la semilla de tamarindo (*tamarindus indica*) como coagualnte orgánico en procesos de coagulacion-floculacion en el tratamiento de agua para potabilizaciones. Guatemala. ERIS.
2. ARBOLEDA VALENCIA, J. (1973). Teoria, diseño y control de los procesos de clarificacion del agua. Lima, Peru. CEPIS.
3. BARRIOS, L. R. (2015). Uso del almidon de yuca como sustituto de sulfato de aluminio en el proceso de coagulacion-floculacion en sistemas de tratamiento de agua para potabilizacion. Guatemala: ERIS.
4. BONAL RUIZ, R., RIVERA ODIO, R. M., & BOLIVAR CARRION, M. (2012). A healty option for the well being. Santiago de Cuba
5. CISTERNA OSORIO, P., & PEÑA, D. (s.f.). Determinacion de la relación DQO/DBO<sub>5</sub> en aguas residuales de comunas con poblacion menor a 25000 habitantes en la VIII región. Valparaiso, Chile: UTEC F SANTAMARIA.
6. COGUANOR. (1985). Agua Potable. Especificaciones. *COGUANOR NGO 29 001:99. 1a Revision*. Guatemala.

7. FERIA DIAZ, J. J., POLO CORRALES, L., & RAMOS, E. (2016). Evaluacion de lodos de coagulacion de agua tratada con moringa oleifera para uso agricola. ISSN 0120-5609.
8. FOLKARD, G., & SUTHERLAND, J. (1996). Moringa oleifera, un arbol con enormes poencialidades (vol. volumen 8). TURRIALBA, COSTA RICA.
9. GOMEZ GUTIERREZ, K. R. (2010). Eficiencia del coagulante de la semilla de moringa oleifera en el tratamiento de agua con baja turbidez. Honduras. ZAMORANO.
10. HERNÁNDEZ LEHMANN, A., & GALÁN MARTÍNEZ, P. (2004). Manual de depuracion uralita. Madrid. EDICIONES PARANINFO S.A.
11. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIONES (CERTEC). (1995). Gestion ambiental, calidad del agua, muestreo, directrices para el diseño de programas de muestreo. Santafe de Bogota: CONTEC.
12. JULIÁN, I., SÁEZ, R., & MARTÍNEZ, S. (2003). Diccionario de Quimica. Madrid: OXFORD UNIVERSITY PRESS.
13. MARIN, C., MARTIN, G., HERNÁNDEZ, E., FERNÁNDEZ, T., & PULS, J. (2013). Potenciales Aplicaciones de la Moringa Oleifera. Matanzas, Cuba.
14. MEJIA GUILLEN, J. M. (1985). La utilizacion de la semilla de la moringa como coagulante natural. Guatemala: ERIS.
15. MENDOZA, I., FERNÁNDEZ, N., ETTIENE, G., & DÍAZ, A. (2000). Uso de la Moringa Oleifera como coagulante en la potabilizacion de las aguas. Maracaibo, Venezuela.

16. PEDROZA, N., & CRUZ, W. (2012). Evaluacion de la semilla de Moringa Oleifera como coagulante natural para el tratamiento de agua en el departamento del Meta. BOGOTA, COLOMBIA.
17. PITCHARD, M., CRAVEN, T., MKANDAWIRE, T., EDMONSON, T., & O'NEIL, A. (2010). A comparison between Moringa Oleifera and chemical coagulants in the purification of drinking water.
18. SAEZ, R., MARTINEZ, S., & JULIÁN, I. (2003). *Diccionario de Química*. Madrid: Oxford University Press.
19. TURCIOS FLORES, E. G. (2017). Uso de la semilla de Moringa como coagulante organico en el tratamiento de agua para consumo humano. Guatemala. ERIS.



## **ANEXOS**

**Anexo 1:** Prueba de Shapiro Wilk para la remoción porcentual de la turbiedad utilizando moringa Oleifera

**Descriptivos**

		Estadístico	Error estándar
% de Remoción de Turbiedad aplicando Moringa	Media	96.1180	2.00528
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior 90.5504 Límite superior 101.6856	
	Media recortada al 5%	96.3811	
	Mediana	98.0900	
	Varianza	20.106	
	Desviación estándar	4.48395	
	Mínimo	88.42	
	Máximo	99.08	
	Rango	10.66	
	Rango intercuartil	6.86	
	Asimetría	-1.839	.913
	Curtosis	3.366	2.000

**Pruebas de normalidad**

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
% de Remoción de Turbiedad aplicando Moringa	.287	5	.200*	.761	5	.038

**Anexo 2:** Prueba de Shapiro Wilk para la remoción porcentual de la turbiedad utilizando moringa oleífera al retirar el dato menor.

### Descriptivos

	Estadístico	Error estándar
% de Remoción de Media	98.0425	.72739
Turbiedad aplicando 95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior 95.7276 Límite superior 100.3574	
Media recortada al 5%	98.1000	
Mediana	98.5600	
Varianza	2.116	
Desviación estándar	1.45477	
Mínimo	95.97	
Máximo	99.08	
Rango	3.11	
Rango intercuartil	2.57	
Asimetría	-1.477	1.014
Curtosis	1.800	2.619

### Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
% de Remoción de Turbiedad aplicando Moringa	.263	4	.	.829	4	.164

**Anexo 3:** Prueba de Shapiro Wilk para la remoción porcentual de la turbiedad utilizando aluminio.

### Descriptivos

	Estadístico	Error estándar
% de Remoción de Turbiedad aplicando Sulfato de Aluminio	Media	99.8680
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior
		99.7551 99.9809
	Media recortada al 5%	99.8739
	Mediana	99.9200
	Varianza	.008
	Desviación estándar	.09094
	Mínimo	99.71
	Máximo	99.92
	Rango	.21
	Rango intercuartil	.13
	Asimetría	-1.952
	Curtosis	2.000

### Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
% de Remoción de Turbiedad aplicando Sulfato de Aluminio	.316	5	.114	.695	5	.009

**Anexo 4:** Prueba de Shapiro Wilk para la producción de lodos utilizando moringa oleífera.

**Descriptivos**

		Estadístico	Error estándar	
CC de lodo producido con Moringa	Media	5.3000	1.29035	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1.7174	
		Límite superior	8.8826	
	Media recortada al 5%	5.2778		
	Mediana	4.5000		
	Varianza	8.325		
	Desviación estándar	2.88531		
	Mínimo	2.00		
	Máximo	9.00		
	Rango	7.00		
	Rango intercuartil	5.50		
	Asimetría	.330	.913	
	Curtosis	-1.862	2.000	

**Pruebas de normalidad**

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
CC de lodo producido con Moringa	.209	5	.200*	.948	5	.721

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

**Anexo 5:** Prueba de Shapiro Wilk para la producción de lodos utilizando aluminio.

**Descriptivos**

		Estadístico	Error estándar
CC de lodo producido con Sulfato de Aluminio	Media	4.4600	.39064
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior 3.3754 Límite superior 5.5446	
	Media recortada al 5%	4.4778	
	Mediana	4.5000	
	Varianza	.763	
	Desviación estándar	.87350	
	Mínimo	3.10	
	Máximo	5.50	
	Rango	2.40	
	Rango intercuartil	1.40	
	Asimetría	-.845	.913
	Curtosis	1.886	2.000

**Pruebas de normalidad**

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
CC de lodo producido con Sulfato de Aluminio	.273	5	.200*	.938	5	.650

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

**Anexo 6:** Prueba de Shapiro Wilk para la DQO de lodos con moringa

**Descriptivos**

	Estadístico	Error estándar
mg/l DQO en lodo producido con Moringa	18352.0000	3594.87747
Media	18352.0000	
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior: 8371.0201 Límite superior: 28332.9799	
Media recortada al 5%	18264.4444	
Mediana	13700.0000	
Varianza	64615720.00	
Desviación estándar	8038.39039	
Mínimo	10880.00	
Máximo	27400.00	
Rango	16520.00	
Rango intercuartil	15130.00	
Asimetría	.534	.913
Curtosis	-3.182	2.000

**Pruebas de normalidad**

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
mg/l DQO en lodo producido con Moringa	.319	5	.108	.791	5	.068

a. Corrección de significación de Lilliefors

**Anexo 7: Prueba de Shapiro Wilk para la DQO de lodos con sulfato de aluminio**

**Descriptivos**

		Estadístico	Error estándar	
mg/l DQO en lodo producido con Sulfato de Aluminio	Media	5490.0000	253.04809	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	4684.6881	
		Límite superior	6295.3119	
	Media recortada al 5%	5507.7778		
	Mediana	5650.0000		
	Varianza	256133.333		
	Desviación estándar	506.09617		
	Mínimo	4760.00		
	Máximo	5900.00		
	Rango	1140.00		
	Rango intercuartil	900.00		
	Asimetría	-1.564	1.014	
	Curtosis	2.565	2.619	

**Pruebas de normalidad**

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
mg/l DQO en lodo producido con Sulfato de Aluminio	.305	4	.	.861	4	.264

a. Corrección de significación de Lilliefors

**Anexo 8:** Prueba de Shapiro Wilk para la DBO5 de lodos con moringa

**Descriptivos**

	Estadístico	Error estándar
mg/l DBO en lodo producido con Moringa	10949.4000	3813.80365
Media		
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior 360.5835 Límite superior 21538.2165	
Media recortada al 5%	10774.6111	
Mediana	6629.0000	
Varianza	72725491.300	
Desviación estándar	8527.92421	
Mínimo	2814.00	
Máximo	22231.00	
Rango	19417.00	
Rango intercuartil	15957.00	
Asimetría	.641	.913
Curtosis	-2.295	2.000

**Pruebas de normalidad**

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
mg/l DBO en lodo producido con Moringa	.294	5	.183	.871	5	.272

a. Corrección de significación de Lilliefors

**Anexo 9:** Prueba de Shapiro Wilk para la DBO5 de lodos con sulfato de aluminio

**Descriptivos**

		Estadístico	Error estándar
mg/l DBO en lodo producido con Sulfato de Aluminio	Media	1907.4000	332.58797
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior 983.9877 Límite superior 2830.8123	
	Media recortada al 5%	1921.5556	
	Mediana	1937.0000	
	Varianza	553073.800	
	Desviación estándar	743.68932	
	Mínimo	860.00	
	Máximo	2700.00	
	Rango	1840.00	
	Rango intercuartil	1400.00	
	Asimetría	-.499	.913
	Curtosis	-.891	2.000

**Pruebas de normalidad**

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
mg/l DBO en lodo producido con Sulfato de Aluminio	.187	5	.200*	.956	5	.783

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

**Anexo 10:** Prueba de Shapiro Wilk para la Biodegradabilidad de lodos con moringa

**Descriptivos**

		Estadístico	Error estándar
Índice de Media		2.2260	.46373
Biodegradabilidad utilizando Moringa	95% de intervalo de confianza para la media	.9385	
	Límite inferior Límite superior	3.5135	
	Media recortada al 5%	2.1900	
	Mediana	2.0700	
	Varianza	1.075	
	Desviación estándar	1.03693	
	Mínimo	1.23	
	Máximo	3.87	
	Rango	2.64	
	Rango intercuartil	1.80	
	Asimetría	1.152	.913
	Curtosis	1.266	2.000

**Pruebas de normalidad**

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Índice de Biodegradabilidad utilizando Moringa	.211	5	.200*	.917	5	.513

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

**Anexo 11:** Prueba de Shapiro Wilk para la Biodegradabilidad de lodos con sulfato de aluminio

**Descriptivos**

	Estadístico	Error estándar
Índice de Media	3.6800	.54962
Biodegradabilidad utilizando Sulfato de Aluminio		
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior 2.1540 Límite superior 5.2060	
Media recortada al 5%	3.6539	
Mediana	3.8300	
Varianza	1.510	
Desviación estándar	1.22898	
Mínimo	2.30	
Máximo	5.53	
Rango	3.23	
Rango intercuartil	2.12	
Asimetría	.714	.913
Curtosis	.642	2.000

**Pruebas de normalidad**

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Índice de Biodegradabilidad utilizando Sulfato de Aluminio	.239	5	.200*	.944	5	.694

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.  
a. Corrección de significación de Lilliefors