

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**Eficiencia de la semilla de *Moringa oleifera* en la remoción de la turbidez
de aguas superficiales a nivel de laboratorio, Huamanga, 2025.**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN UNAH:

Ciencias del medio ambiente

TESISTA:

Jayo Meneses, Fiorella Karla

ASESOR:

Dr. Santos Clemente Herrera Díaz

COASESOR:

Ing. Michael Huisa Taipe

HUANTA – PERÚ

2026

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

Informe final tesis_Fiorella Karla Jayo Meneses.pdf

RECuento DE PALABRAS

34463 Words

RECuento DE CARACTERES

200360 Characters

RECuento DE PÁGINAS

185 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

4.3MB

FECHA DE ENTREGA

Aug 2, 2026 6:58 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Aug 2, 2026 7:01 PM GMT-5

● 17% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 14% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 12% Base de datos de trabajos entregados
- 6% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)



Firmado digitalmente por
HERRERA DIAZ Santos Clemente FAU
20574653798 soft
Fecha: 2026.08.10
20:51:00 -05'00'

“Eficiencia de la semilla de *Moringa oleifera* en la remoción de la turbidez de aguas superficiales a nivel de laboratorio, Huamanga, 2025.”

TESISTA

Fiorella Karla Jayo Meneses

ASESOR

Dr. Santos Clemente Herrera Díaz

COASESOR

Ing. Michael Huisa Taipe



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA
Creada por Ley N° 29658

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
"Año la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

En la ciudad de Huanta, en el auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental del campus universitario de la Universidad Nacional Autónoma de Huanta, ubicado en la autopista Carlos Ch. Hiraoka, desvío a Ccollana, a los 15 días del miércoles de julio de 2026, siendo las 15:00 horas, se dio inicio al acto académico de sustentación de tesis con la presencia de los miembros del jurado calificador:

Ph.D. Walter Víctor Castro Aponte
Mtro. Yomer Cisneros Aguirre
Dr. Santos Clemente Herrera Diaz

Miembro Titular 1 (Presidente)
Miembro titular 2
Miembro titular 3

Acto seguido se procedió a dar lectura a la Resolución de Vicepresidencia Académica N° 110-2026-CO-UNAH, en la que señala fecha, hora y designación de jurado evaluador para la sustentación de tesis de la **Bach. Fiorella Karla Jayo Meneses**, con la tesis titulada: **"Eficiencia de la semilla de Moringa Oliefera en la remoción de la turbidez de aguas superficiales a nivel de laboratorio, Huamanga, 2025"** asesorado por la Dr. Santos Clemente Herrera Diaz y Coasesor al Ing. Michael Huisa Taipe, para optar el Título profesional de: Ingeniera Ambiental.

Observaciones:

Terminada la sustentación se procedió a la formulación de preguntas por los miembros del jurado evaluadores, los mismos que fueron defendidos y absueltos por la tesista. Acto seguido se procedió a calificar con el resultado siguiente:

Aprobado Regular	()
Aprobado Bueno	(4)
Aprobado Muy Bueno	()
Aprobado Excelente	()

Con la calificación de **D.VINCE** (15)

Siendo las **4:04 p.m.** se da por finalizada el acto académico de sustentación de tesis pasando a firmar los miembros del jurado evaluador.

MSc. Ph.D. Walter Víctor Castro Aponte
DOCENTE - INVESTIGADOR

Ph.D. Walter Víctor Castro Aponte
Miembro Titular 1 (Presidente)

Mtro. Yomer Cisneros Aguirre
INGENIERO EN AMBIENTE
Y DESARROLLO

Mtro. Yomer Cisneros Aguirre
Miembro Titular 2



Dr. Santos Clemente Herrera Diaz
DOCENTE ORDINARIO PRINCIPAL

Dr. Santos Clemente Herrera Diaz
Miembro Titular 3

MSc. Ph.D. Walter Víctor Castro Aponte
DOCENTE - INVESTIGADOR

DEDICATORIA

A mi madre, Vilma Meneses Enciso, quien es mi más grande inspiración, mi motor y motivo para luchar día a día. Por acompañarme en cada momento, tanto en las alegrías como en las dificultades, brindándome el apoyo emocional indispensable para llegar al final de este proceso. A mi padre, Miguel Edwin Jayo Fernández, por enseñarme que la verdadera riqueza no está en lo material, sino en el conocimiento, los valores, la educación y en el esfuerzo constante para ser mejor cada día.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por acompañarme en cada etapa de mi formación profesional, brindándome fuerza y sabiduría para culminar este proceso.

A mi familia, en especial a mis padres, por el apoyo constante, paciencia, confianza y por siempre motivarme a superarme cada día.

A mis asesores, el Ing. Michael Huisa Taipe y el Dr. Santos Clemente Herrera Díaz, por sus orientaciones académicas, disposición, aportes y paciencia durante el desarrollo de esta investigación.

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que, de alguna manera contribuyeron y brindaron su apoyo a lo largo de esta investigación.

RESUMEN

El proceso de coagulación constituye un proceso clave en el tratamiento de aguas; sin embargo, de manera convencional se emplean coagulantes sintéticos como el sulfato de aluminio, cuyo uso puede generar lodos con potenciales efectos negativos para la salud y el ambiente. En este contexto, surge la necesidad de evaluar alternativas sostenibles que reduzcan la dependencia de coagulantes sintéticos, promoviendo alternativas naturales. La presente investigación tuvo por objetivo evaluar la eficiencia de la semilla de *Moringa oleifera* en la remoción de la turbidez de aguas superficiales a nivel de laboratorio, determinar la dosis óptima, analizar la influencia de la granulometría y comparar su desempeño con el sulfato de aluminio. Se aplicó un diseño experimental factorial de 6×3 con tres repeticiones, considerando como factores la dosis (10, 30, 50, 70, 90 y 110 mg/L) y la granulometría de la semilla (0.55, 0.63 y 0.90 mm). Los resultados mostraron que la eficiencia de remoción de turbidez osciló entre 52.8 % y 90.8 % para los tratamientos con semilla de *Moringa oleifera*, alcanzando una eficiencia promedio de 84.2 % con una dosis óptima de 30 mg/L. En cuanto a la granulometría, no se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas, aunque el tamaño más fino de 0.55 mm presentó el promedio descriptivo más alto de eficiencia, con 77.68 %. Asimismo, al comparar coagulantes, la semilla de *Moringa oleifera* alcanzó una eficiencia media de 76.49 % mientras que el sulfato de aluminio alcanzó una eficiencia media de 95.38 %. Concluyendo, que la semilla de *Moringa oleifera* presenta alta eficiencia en la remoción de turbidez. El ANOVA evidenció que la dosis es el factor determinante ($p < 0.001$), mientras que la granulometría no influye significativamente. Aunque, el sulfato de aluminio mostró mayor eficiencia, la moringa destaca como alternativa natural, eficaz y sostenible para el tratamiento de aguas.

Palabras claves: Turbidez, *Moringa oleifera*, coagulante natural, aguas superficiales.

ABSTRACT

The coagulation process is a key step in water treatment; however, synthetic coagulants such as aluminum sulfate are conventionally used, which can generate sludge with potential negative effects on health and the environment. In this context, the need arises to evaluate sustainable alternatives that reduce dependence on synthetic coagulants, promoting natural alternatives. This research aimed to evaluate the efficiency of *Moringa oleifera* seeds in removing turbidity from surface waters at the laboratory level, determine the optimal dosage, analyze the influence of particle size, and compare its performance with aluminum sulfate. A 6×3 factorial experimental design with three replicates was applied, considering the dosage (10, 30, 50, 70, 90, and 110 mg/L) and seed particle size (0.55, 0.63, and 0.90 mm) as factors. The results showed that turbidity removal efficiency ranged from 52.8 % to 90.8 % for the treatments using *Moringa oleifera* seeds, reaching an average efficiency of 84.2 % with an optimal dose of 30 mg/L. Regarding particle size, no statistically significant differences were observed, although the finest size of 0.55 mm showed the highest average efficiency, at 77.68 %. Similarly, when comparing coagulants, *Moringa oleifera* seeds achieved an average efficiency of 76.49 %, while aluminum sulfate reached an average efficiency of 95.38 %. In conclusion, *Moringa oleifera* seeds exhibit high efficiency in turbidity removal. The ANOVA analysis showed that the dose is the determining factor ($p < 0.001$), while particle size did not significantly influence the results. Although aluminum sulfate showed greater efficiency, moringa stands out as a natural, effective and sustainable alternative for water treatment.

Keywords: Turbidity, *Moringa oleifera*, natural coagulant, surface waters.

ÍNDICE

RESUMEN	ix
ABSTRACT.....	x
INTRODUCCIÓN	19
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
1.1. Descripción del problema	21
1.2. Formulación del problema de investigación	24
1.2.1. Problema general.....	24
1.2.2. Problemas específicos	24
1.3. Objetivos de la investigación	24
1.3.1. Objetivo general	24
1.3.2. Objetivos específicos	25
1.4. Justificación	25
1.5. Hipótesis de la investigación	28
1.5.1. Hipótesis general.....	28
1.5.2. Hipótesis específicas	28
1.6. Variables	28
II. MARCO TEÓRICO	32
2.1. Antecedentes	32
2.1.1. Internacionales	32

2.1.2.	Nacionales	37
2.1.3.	Locales	43
2.2.	Bases teóricas.....	44
2.2.1.	Calidad de las aguas superficiales.....	44
2.2.2.	Aguas superficiales	44
2.2.3.	Turbidez del agua.....	44
2.2.4.	Importancia de la remoción de turbidez.....	45
2.2.5.	Partículas coloidales.....	46
2.2.6.	Coagulación.....	52
2.2.7.	Floculación.....	63
2.2.8.	Proceso de Sedimentación.....	67
2.2.9.	Coagulantes naturales.....	67
2.2.10.	Moringa oleifera	69
2.2.11.	Factores que influyen en la eficiencia del coagulante	79
2.2.12.	Preparación del coagulante de Moringa oleifera	81
2.2.13.	Coagulante sintético	82
2.2.14.	Método de la evaluación de eficiencia	86
2.3.	Definición de términos.....	88
2.3.1.	Turbidez	88
2.3.2.	Coagulación.....	88

2.3.3.	Floculación.....	88
2.3.4.	Semilla de Moringa oleifera.....	89
2.3.5.	Granulometría	89
2.3.6.	Dosis optima.....	89
2.3.7.	pH.....	89
2.3.8.	Control positivo.....	90
2.3.9.	Colides.....	90
2.3.10.	Flóculo.....	90
2.3.11.	Gradiente de velocidad	90
III.	METODOLOGÍA	91
3.1.	Tipo y nivel de investigación.....	91
3.1.1.	Tipo de investigación	91
3.1.2.	Nivel de investigación.....	91
3.1.3.	Diseño de la investigación	91
3.2.	Ámbito temporal y espacial	93
3.2.1.	Ámbito Temporal	93
3.2.2.	Ámbito Espacial	93
3.3.	Población y muestra.....	94
3.3.1.	Población.....	94
3.3.2.	Muestra.....	94

3.4.	Instrumentos y técnicas.....	95
3.5.	Procedimientos.....	100
3.5.1.	Toma de muestra de agua superficial del río Huatatas	101
3.5.2.	Obtención y preparación del coagulante natural.....	104
3.5.3.	Preparación de la solución coagulante sintético.....	112
3.5.4.	Determinación de la concentración de coagulante.....	118
3.5.5.	Determinación de la dosis del coagulante	118
3.5.6.	Protocolo de prueba de jarras con el coagulante natural	120
3.5.7.	Protocolo de prueba de jarras con el coagulante sintético	127
3.6.	Análisis de datos	130
3.6.1.	Estadística descriptiva.....	130
3.6.2.	Estadística inferencial	130
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	132
4.1.	Resultados.....	132
4.2.	Discusiones	150
V.	CONCLUSIONES	155
VI.	RECOMENDACIONES.....	156
VII.	REFERENCIAS.....	157
VIII.	ANEXOS.....	176

Lista de tablas

Tabla 1 <i>Matriz de operacionalización de variables</i>	29
Tabla 2 <i>Tipo de partícula según su tamaño</i>	48
Tabla 3 <i>Tipos y características de los coloides</i>	49
Tabla 4 <i>Uso y aplicación del árbol de Moringa oleifera</i>	70
Tabla 5 <i>Clasificación taxonómica de la Moringa oleifera</i>	71
Tabla 6 <i>Composición proximal de la semilla de Moringa oleifera</i>	74
Tabla 7 <i>Coordenadas del punto de muestreo</i>	103
Tabla 8 <i>Dosis a adicionar del coagulante (sulfato de aluminio)</i>	117
Tabla 9 <i>Dosis del coagulante natural (Moringa oleifera)</i>	120
Tabla 10 <i>Condiciones operacionales del ensayo de prueba de jarras</i>	123
Tabla 11 <i>Estadísticos descriptivos por dosis de Moringa oleifera</i>	132
Tabla 12 <i>Resultados del ANOVA de una vía por dosis</i>	135
Tabla 13 <i>Resultados de la prueba de Tukey para comparación de medias por dosis</i>	135
Tabla 14 <i>Estadísticos descriptivos por granulometría de la semilla de Moringa oleifera</i>	137
Tabla 15 <i>Resultados del ANOVA por granulometría</i>	141
Tabla 16 <i>Resultados de la prueba de Tukey para la variable granulometría</i>	141
Tabla 17 <i>Estadísticos descriptivos por tipo de coagulante</i>	143
Tabla 18 <i>Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk según tipo de coagulante</i>	145
Tabla 19 <i>Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene</i>	146
Tabla 20 <i>Resultados de la prueba t de Welch</i>	146
Tabla 21 <i>Resultados de la prueba de Mann-Whitney</i>	147
Tabla 22 <i>Análisis ANOVA de la remoción de la turbidez</i>	149

Tabla 23 <i>Tabla de Matriz de consistencia</i>	176
Tabla 24 <i>Tabla de base de datos</i>	185

Lista de figuras

Figura 1 <i>Distribución de tamaño de partículas en el agua</i>	46
Figura 2 <i>Interacción entre dos coloides</i>	54
Figura 3 <i>Coagulación por adsorción</i>	56
Figura 4 <i>Coagulación de barrido</i>	58
Figura 5 <i>Desestabilización de coloides mediante polímeros</i>	61
Figura 6 <i>Modelo esquemático del proceso de coagulación</i>	63
Figura 7 <i>Mecanismos de floculación</i>	65
Figura 8 <i>Mecanismo de neutralización de cargas</i>	77
Figura 9 <i>Modelo de neutralización de cargas con el coagulante sulfato de aluminio</i>	84
Figura 10 <i>Mapa del punto de muestreo</i>	95
Figura 11 <i>Equipo de prueba de jarras</i>	96
Figura 12 <i>Turbidímetro</i>	96
Figura 13 <i>Equipo multiparámetro</i>	97
Figura 14 <i>Balanza de precisión</i>	97
Figura 15 <i>Tamizador eléctrico</i>	98
Figura 16 <i>Licuada industrial</i>	98
Figura 17 <i>Agitador magnético</i>	99
Figura 18 <i>Toma de muestra de agua superficial del río Huatatas</i>	102
Figura 19 <i>Obtención del coagulante natural de semilla de Moringa oleifera</i>	106

Figura 20 Triturado de la semilla de <i>Moringa oleifera</i>	107
Figura 21 Tamizado del coagulante natural	108
Figura 22 Tamices de: 0,55; 0,63 y 0,9 mm.	108
Figura 23 Peso de 20g de <i>Moringa oleifera</i> para cada granulometría	109
Figura 24 Mezcla de la solución coagulante con solución salina.	110
Figura 25 Mezcla de <i>Moringa oleifera</i> con NaCl.	111
Figura 26 Envasado del coagulante natural	111
Figura 27 Preparación de la solución coagulante sulfato de aluminio al 2%	113
Figura 28 Transferencia de sulfato de aluminio a la fiola	115
Figura 29 Adición de agua destilada a la fiola.....	115
Figura 30 Solución coagulante de sulfato de aluminio.....	116
Figura 31 Proceso de prueba de jarras con el coagulante natural	121
Figura 32 Medición de las dosis a aplicar.....	122
Figura 33 Prueba de jarras.....	123
Figura 34 Programación de agitación rápida	124
Figura 35 Agitación lenta	125
Figura 36 Proceso de sedimentación	125
Figura 37 Extracción de muestra para su análisis.....	126
Figura 38 Análisis de las muestras	126
Figura 39 Proceso de prueba de jarras con sulfato de aluminio.....	128
Figura 40 Prueba de jarras con sulfato de aluminio- antes	129
Figura 41 Prueba de jarras con sulfato de aluminio - después	129
Figura 42 Boxplot de eficiencia según dosis de <i>Moringa oleifera</i>	133

Figura 43	<i>Distribución general de la eficiencia – Moringa oleifera.....</i>	133
Figura 44	<i>Tendencia de eficiencia según dosis – Moringa oleifera.</i>	134
Figura 45	<i>Comparación de medias de eficiencia según dosis de Moringa oleifera (Tukey)....</i>	136
Figura 46	<i>Boxplot de eficiencia según la granulometría de Moringa oleifera</i>	138
Figura 47	<i>Distribución general de la eficiencia según la granulometría.....</i>	139
Figura 48	<i>Tendencia de eficiencia según la granulometría de la semilla de Moringa oleifera</i>	140
Figura 49	<i>Comparación de medias de eficiencia según la granulometría de Moringa Oleifera (Tukey)</i>	142
Figura 50	<i>Comparación de la eficiencia de remoción de turbidez según tipo de coagulante...</i>	144
Figura 51	<i>Distribución de la eficiencia según tipo de coagulante</i>	145
Figura 52	<i>Asesoría de mi coasesor en laboratorio de SEDA</i>	186
Figura 53	<i>Asesoría del encargado del laboratorio SEDA.....</i>	186

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, es un derecho fundamental de toda la población el acceso al agua potable segura (Organización Mundial de la Salud, 2011). En este contexto, el tratamiento de aguas superficiales destinadas al consumo humano representa un aspecto importante en la gestión sostenible de los recursos hídricos. La turbidez es un parámetro clave en la evaluación de la calidad del agua, ya que indica la presencia de partículas suspendidas (Al Hanaktah et al., 2025). Asimismo, la turbidez elevada no solo afecta la calidad del agua, sino que también reduce la eficiencia de los procesos de potabilización, convirtiéndose en un problema recurrente, especialmente en temporadas de lluvia.

El principal proceso del tratamiento de agua para consumo humano es la coagulación, para lo cual se utiliza coagulantes convencionales, como el sulfato de aluminio, debido a su alta eficacia en la remoción de turbidez. Sin embargo, su uso puede generar la introducción de metales en el agua, situación que puede agravarse ante la adición de dosis elevadas o un manejo inadecuado del proceso. Algunos estudios han sugerido una posible asociación entre el uso de sulfato de aluminio y enfermedades neurodegenerativas, como el Alzheimer (Carvalho Costa y Ferreira Fioravante, 2024), debido a su potencial asociación con efectos neurotóxicos crónicos (Ferreira Rocha et al., 2020). Además, los lodos residuales generados por estos coagulantes sintéticos pueden presentar características tóxicas, lo que representa un riesgo para la salud humana y el medio ambiente (Ariza Ruiz y Gutiérrez Vargas, 2020).

Por otra parte, en las zonas rurales, centros poblados, entre otros lugares alejados de las áreas urbanas, el tratamiento adecuado del agua para consumo humano suele verse limitado por la falta de infraestructura, tecnologías y recursos económicos necesarios, si bien en algunas

comunidades cercanas a cabeceras el agua puede requerir únicamente procesos de desinfección, en otras localidades el recurso hídrico se encuentra expuesta a múltiples fuentes de contaminación a lo largo de su recorrido, situación que se intensifica durante periodos de precipitaciones frecuentes (Martínez Huaira y Yauri Felipe, 2023).

En consecuencia, la búsqueda de alternativas de tratamiento que sean eficientes, accesible y ambientalmente segura resulta prioritaria. En este sentido, el uso de coagulantes naturales se presenta como una opción para el proceso de coagulación, debido a su origen renovable, menor toxicidad y reducida generación de residuos que puedan tener repercusiones en la salud humana o ambiental. Esta presente investigación aportará conocimientos que van a enriquecer la literatura científica, incentivando a investigaciones futuras en la utilización de los recursos naturales aplicadas al tratamiento de aguas.

Por tanto, el objetivo principal de este estudio es evaluar la eficiencia de la semilla de *Moringa oleifera* en la remoción de la turbidez de aguas superficiales a nivel de laboratorio, bajo el supuesto de que este coagulante natural puede presentar una eficiencia significativa en la remoción de la turbidez de aguas superficiales a nivel de laboratorio.

Finalmente, para una mejor comprensión de esta investigación, la tesis se organiza en ocho capítulos: el primero aborda el planteamiento del problema, el segundo desarrolla el marco teórico, el tercero describe la metodología, el cuarto presenta los resultados y discusiones, el quinto formula las conclusiones, el sexto presenta las recomendaciones, el séptimo incluye las referencias y el octavo contiene los anexos.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

A nivel mundial, el acceso al agua potable segura constituye un derecho fundamental y un componente esencial para la salud y el desarrollo sostenible. No obstante, más de 2 000 millones de personas carecen de acceso al servicio de agua potable gestionado de forma segura y aproximadamente 771 millones no cuentan con acceso a los servicios básicos de abastecimiento (OMS, 2023). En este contexto, el tratamiento de las aguas superficiales destinadas al consumo humano sigue siendo un desafío prioritario, especialmente en zonas rurales y épocas de lluvia donde los niveles de turbidez se incrementan.

El proceso principal del tratamiento de agua potable es la coagulación y floculación, en donde los coagulantes sintéticos predominan, siendo el sulfato de aluminio el más utilizado debido a su eficiencia en la remoción de turbidez. Sin embargo, su uso constante puede generar preocupaciones en temas sanitarias, ambientales y económicas. Diversas investigaciones han señalado que la aplicación inadecuada o el empleo de dosis elevadas pueden originar mayores concentraciones residuales de aluminio en el agua tratada, lo cual ha sido asociado en la literatura científica con posibles efectos adversos en la salud humana, especialmente en poblaciones vulnerables (Hussein et al., 2021). Asimismo, se ha reportado la posible relación entre el sulfato de aluminio y los efectos neurotóxicos vinculados a enfermedades como el Alzheimer (Nieto Yanac, 2021). En este contexto, Trejo Vázquez y Hernández Montoya (2004) mencionan que, en los 88 distritos de Inglaterra y Gales, hay una relación entre la enfermedad del Alzheimer y los niveles promedio del aluminio en el agua potable que ingieren, aunque estos vínculos continúan siendo objeto de debate científico. Adicionalmente, el empleo de coagulantes sintéticos genera lodos químicos en gran cantidad, cuyo manejo y disposición final implica mayores costos y

potenciales impactos en la salud y en el medio ambiente (Martínez Huaira y Yauri Felipe, 2023). Esta problemática se vincula directamente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente con el ODS 6 (agua limpia y saneamiento), el ODS 3 (salud y bienestar) y el ODS 12 (producción y consumo responsable), los cuales promueven el acceso a agua segura, la reducción de riesgos para la salud y la implementación de tecnologías sostenibles en el tratamiento del agua (Naciones Unidas, 2015).

En el contexto nacional, la problemática del acceso al agua potable continúa siendo una problemática relevante. En Perú, el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), reporta que aproximadamente el 10,2% de la población no cuenta con acceso al servicio de agua por red pública, situación que se agrava en zonas rurales, donde la brecha alcanza cerca al 27,8% (INEI, 2023), evidenciando limitaciones económicas, geográficas y tecnológicos que dificultan la implementación de tratamientos adecuados. En este sentido, la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (2004), señala que la calidad del agua potable depende en gran medida de la eficiencia de los procesos de tratamiento aplicados en las plantas de potabilización. Sin embargo, en las zonas rurales y altoandinas del Perú, el abastecimiento de agua es gestionada principalmente por las Juntas Administradoras de Servicio de Saneamiento (JASS), las cuales, si bien están reconocidas legalmente, presentan limitaciones en el control de la calidad del agua, ya que el monitoreo suele restringirse a parámetros básicos como el cloro residual, evaluado por centros de salud o municipales. Esta situación genera un limitado conocimiento sobre la composición real del agua destinada al consumo humano, lo que evidencia la necesidad de fortalecer los procesos de tratamiento y control de calidad en estos sistemas (D. Choque Quispe et al., 2021).

En este escenario, el uso de coagulantes sintéticos como el sulfato de aluminio en zonas rurales es difícil de implementar, ya que, implica dependencia de insumos externos, costos y gestiones adecuadas. Por ello, surge la necesidad de investigar alternativas naturales que sean eficientes y permitan reducir la dependencia a los coagulantes sintéticos para tratamientos de agua potable.

A nivel local, en la provincia de Huamanga, las fuentes de aguas superficiales presentan turbidez debido a contaminantes por diferentes vertimientos, procesos de erosión, escorrentía superficial y otros aportes externos, situación que se incrementa significativamente en temporada de lluvias (León Palacios, 2025). Para su tratamiento, la reducción de la turbidez se enmarca principalmente en el proceso de coagulación y floculación, empleándose de forma predominante el sulfato de aluminio como coagulante sintético (Rumín, 2016). No obstante, el incremento de la turbidez en épocas lluviosas exige la aplicación de altas de este compuesto, lo que puede generar mayores costos operativos y posibles impactos a la salud y el medio ambientes (Rumín, 2016). En este sentido, los coagulantes naturales han cobrado interés por su potencial para ofrecer soluciones más amigables con el medio ambiente, biodegradables, no tóxicos y menor generación de residuos, por ende menor contaminación ambiental y mejoran la calidad de vida (Banchón et al., 2016).

En este sentido, una alternativa de coagulante natural es la semilla de *Moringa oleifera* debido a su capacidad coagulante, siendo una alternativa natural. Sin embargo, en Huamanga existe limitadas investigaciones sobre la eficiencia de remoción de turbidez con el coagulante natural *Moringa oleifera* y su comparación con el sulfato de aluminio el cual se utiliza de forma convencional.

En base a lo mencionado anteriormente, surge la necesidad de investigar alternativas naturales que permitan reducir la dependencia del sulfato de aluminio o complementar su uso en

el tratamiento de aguas superficiales, para reducir los riesgos sanitarios y los impactos ambientales negativos y de este modo generar evidencia científica que contribuya a reducir la dependencia de coagulantes sintéticos, promoviendo alternativas naturales y eco amigables para el tratamiento de agua potable. Asimismo, la presente investigación se realizó en laboratorio donde se evaluó la eficiencia de la semilla de *Moringa oleifera* bajo condiciones controladas, asegurando resultados confiables antes de su posible aplicación en campo.

1.2. Formulación del problema de investigación

1.2.1. Problema general

- ¿Cuál es la eficiencia de la semilla de *Moringa oleifera* en la remoción de la turbidez de aguas superficiales a nivel de laboratorio, Huamanga, 2025?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la dosis optima de la semilla de *Moringa oleifera* en la remoción de la turbidez de aguas superficiales a nivel de laboratorio, Huamanga, 2025?
- ¿Cómo influye la granulometría de la semilla de *Moringa oleifera* es la remoción de la turbidez de aguas superficiales, a nivel de laboratorio, Huamanga, 2025?
- ¿Existen diferencias en la eficiencia de remoción de la turbidez de aguas superficiales entre el uso de la semilla de *Moringa oleifera* y sulfato de aluminio a nivel de laboratorio, Huamanga, 2025?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar la eficiencia de la semilla de *Moringa oleifera* en la remoción de la turbidez de aguas superficiales a nivel de laboratorio, Huamanga, 2025.

1.3.2. *Objetivos específicos*

- Determinar la dosis óptima de la semilla de *Moringa oleifera* en la remoción de la turbidez de aguas superficiales a nivel de laboratorio, Huamanga 2025.
- Determinar la influencia de la granulometría de la semilla de *Moringa oleifera* en la remoción de la turbidez de aguas superficiales a nivel de laboratorio, Huamanga, 2025.
- Comparar la eficiencia de remoción de la turbidez de aguas superficiales entre el uso de la semilla de *Moringa oleifera* y sulfato de aluminio a nivel de laboratorio, Huamanga, 2025.

1.4. Justificación

- **Práctico:**

Esta investigación evalúa experimentalmente la eficiencia de la semilla de *Moringa oleifera* como coagulante en la remoción de turbidez, permitiendo determinar la dosis óptima y la influencia de la granulometría de la semilla de moringa, generando información útil para la mejora del proceso de tratamiento de agua a escala doméstica o comunitaria. Además, se realizó la comparación del coagulante natural de semilla de *Moringa oleifera* con el coagulante sintético sulfato de aluminio, facilitando la valoración objetiva de su rendimiento bajo condiciones controladas. Asimismo, los resultados obtenidos pueden constituir un soporte técnico para futuras decisiones orientadas a la implementación, optimización o adaptación de esta alternativa en sistemas de tratamiento operados por entidades prestadoras de servicios de agua potable y saneamiento.

- **Teórica:**

Desde el enfoque teórico, la *Moringa oleífera* presenta propiedades coagulantes debido a sus proteínas catiónicas solubles, las cuales desestabilizan las partículas coloidales y favorecen su sedimentación, contribuyendo a la reducción de la turbidez, estudios previos han evidenciado su efectividad como alternativa a coagulantes químicos tradicionales (Yin, 2010). En este sentido, la presente investigación busca ampliar el conocimiento sobre su comportamiento bajo condiciones controladas, evaluando variables como dosis y granulometría, con el fin de analizar su aplicabilidad en el tratamiento de aguas superficiales.

- **Social:**

Desde el punto de vista social, la investigación se enmarca en la problemática del acceso al agua potable de calidad, especialmente en zonas rurales que presentan limitaciones tecnológicas y económicas. En este contexto, la evaluación de un coagulante natural potencialmente accesible, que podría ser cultivada y de bajo costo, pueda contribuir al desarrollo de alternativas apropiadas para contextos de recursos limitados, favoreciendo el fortalecimiento de estrategias orientadas a reducir brechas en el acceso a agua potable.

- **Ambiental:**

Desde la perspectiva ambiental, la investigación propone el uso de la semilla de *Moringa oleífera* como coagulante para el proceso de coagulación, este es un coagulante de origen natural que no trae significativas repercusiones sobre el medio ambiente, ya que es un elemento biodegradable. Además, el lodo residual resultante del proceso de coagulación y floculación con semilla de moringa viene a ser orgánico, ello podría ser utilizada como compost, dándole así un valor agregado a los residuos generados. En comparación con el sulfato de aluminio que al ser un insumo químicos asociado a la generación de lodos con presencias de químicos sintéticos y altas

concentraciones de metales, requieren de un tratamiento especial (Sandoval Arreola y Laines Canepa, 2013). De esta manera, el estudio se vincula con la búsqueda de prácticas de tratamiento que minimicen impactos ambientales y promuevan enfoques más sostenibles.

- **Salud pública:**

El contar con agua de calidad es fundamental para la salud pública, por ello la turbidez alta del agua para consumo humano es un riesgo, especialmente en temporadas de lluvia donde la turbidez aumente considerablemente y para su tratamiento podría requerir de dosis más altas de coagulantes químicos como el sulfato de aluminio. En este sentido, el consumo prolongado de agua tratada con coagulantes a base de aluminio ha sido objeto de controversia debido a su potencial asociación con efectos neurotóxicos crónicos y posible relación con enfermedades neurodegenerativas (Ferreira Rocha et al., 2020). En este contexto, la evaluación de alternativas naturales como el coagulante natural de semilla de moringa constituye una aproximación preventiva dentro de las estrategias de gestión de la calidad del agua.

- **Científica y académica:**

Esta investigación aportará datos experimentales sobre el comportamiento de un coagulante natural bajo condiciones controladas en laboratorio, contribuyendo al desarrollo de conocimientos que van a enriquecer la literatura científica, incentivando a investigaciones futuras en la utilización de los recursos naturales ecoamigables aplicadas al tratamiento de aguas. Asimismo, los resultados podrían servir como base para futuras investigaciones relacionadas con el tema.

- **Viabilidad:**

Esta investigación es viable ya que se desarrolla a nivel de laboratorio, haciendo uso de equipos disponibles en los laboratorios, tanto de la universidad como el laboratorio de SEDA

Huanta. Asimismo, el costo, y el tiempo para la ejecución son accesibles y permiten la realización dentro del periodo establecido.

1.5. Hipótesis de la investigación

1.5.1. Hipótesis general

- La semilla de *Moringa oleifera* presenta una eficiencia significativa en la remoción de la turbidez de aguas superficiales a nivel de laboratorio, Huamanga, 2025.

1.5.2. Hipótesis específicas

- Existe una dosis optima de la semilla de *Moringa oleifera* que permite alcanzar la mayor eficiencia de remoción de la turbidez de aguas superficiales a nivel de laboratorio, Huamanga, 2025.
- La granulometría de la semilla de *Moringa oleifera* influye significativamente en la eficiencia de remoción de turbidez de aguas superficiales, a nivel de laboratorio, Huamanga, 2025.
- Existen diferencias significativas en la eficiencia de remoción de la turbidez de aguas superficiales entre el uso de la semilla de *Moringa oleifera* y sulfato de aluminio a nivel de laboratorio, Huamanga, 2025.

1.6. Variables

- **Variable independiente:** Semilla de *Moringa oleifera*
- **Variable dependiente:** Eficiencia de remoción de turbidez
- **Variable interviniente:** Sulfato de aluminio

Tabla 1

Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	Técnica e instrumentos
Variable independiente: Semilla de <i>Moringa oleifera</i>	La semilla de <i>Moringa oleifera</i> actúa como coagulante natural debido a su contenido proteico catiónico soluble en agua, las cuales tienen la capacidad de neutralizar cargas de las partículas coloidales, ayudando a la aglomeración y sedimentación, llevando a una	Es la aplicación del coagulante natural a base de semilla de <i>Moringa oleifera</i> , en ensayos de coagulación-floculación mediante prueba de jarras, esto se ha evaluado mediante dos factores: dosis y granulometría para determinar el efecto en la remoción de la turbidez.	Parámetros de coagulación	Dosis (10, 30, 50, 70, 90 y 110 mg/L)	mg/L	Técnica: ➤ Dosificación ➤ Prueba de jarras Instrumentos: ➤ Equipo de prueba de jarras
				Granulometría (0.55, 0.63 y 0.90 mm)	mm	Técnica: ➤ Análisis granulométrico Instrumentos: ➤ Tamizador eléctrico

	reducción de la turbidez (Ribeiro et al., 2019).					
Variable dependiente: Eficiencia de remoción de turbidez	La turbidez viene a ser la medida de la claridad relativa del agua, la cual se desarrolla por el material suspendido y coloidal en el agua, mientras que la eficiencia de remoción viene a ser el porcentaje de reducción de turbidez después del proceso de coagulación y	Es la determinación de la eficiencia de remoción de turbidez del agua superficial, para ello se mide la turbidez inicial y final de agua después de aplicar el coagulante natural de semilla de <i>Moringa Oleifera</i> a nivel de laboratorio, mediante prueba de jarras.	Remoción de turbidez	Turbidez inicial	NTU	Técnica: ➤ Turbidimetría Instrumento: ➤ Turbidímetro ➤ Ficha de registro de datos
				Turbidez final	NTU	Técnica: ➤ Turbidimetría Instrumento: ➤ Turbidímetro ➤ Ficha de registro de datos
				Porcentaje de remoción	%	Técnica: ➤ Cálculo matemático Instrumento: ➤ Hoja de cálculo
				$(\%RT) = \frac{T.inicial - T.final}{T.inicial} * 100$		

	floculación (APHA, 2017).					
Variable interveniente:	El sulfato de aluminio es un coagulante químico que es usado comúnmente en el tratamiento de aguas debido a su capacidad de reducir la turbidez, atrapando partículas suspendidas en el agua, las cuales son responsables de la turbidez (Ratnayaka et al., 2009)	Se refiere al uso del coagulante sintético (sulfato de aluminio) en el tratamiento de agua, aplicado en condiciones controladas mediante la prueba de jarras, con el fin de comparar su efecto en la remoción de turbidez respecto al coagulante natural de semilla de <i>Moringa oleifera</i> .	Tipo de coagulante	• Sulfato de aluminio	Cualitativ o nominal	Técnica: ➤ Prueba de jarras Instrumentos: ➤ Equipo de prueba de jarras

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Internacionales

Chemeda & Fitamo (2025), en este artículo titulado “*Análisis comparativo del polvo de semilla de Moringa stenopetala y el sulfato de aluminio para la turbidez y la eliminación de E. coli en aguas superficiales: el caso del estanque de horneado, zona de Borana, Etiopía*”, realizado en Etiopía, tuvo por objetivo evaluar la efectividad del polvo de semilla de *Moringa stenopetala* para reducir la turbidez y los niveles de *Escherichia coli* en aguas de estanques comparando con el coagulante sulfato de aluminio(alumbre). El estudio se caracterizó por ser de tipo aplicada y experimental, bajo un diseño de cuasiexperimental de laboratorio. Para esta investigación la población está constituida por fuentes de agua turbia de la región rural de Borana. Se trabajo con dosis de 0 a 130mg/l, pH inicial de 1,5 a 10,5; sedimentación de 30 a 180 min y la turbidez inicial de 55 a 319 NTU. El resultado de este estudio evidenció que tanto el alumbre como la semilla pulverizada de *Moringa stenopetala* (MSP) fueron eficaces en la reducción de turbidez del agua, cumpliendo con los estándares de la OMS. El alumbre con dosis de 70mg/L logró una remoción del 99,16% de una turbidez inicial de 216 a 1,8 NTU y la moringa con dosis de 80 mg/L redujo a 4,2 NTU teniendo un 98,05%. No obstante, la MSP destacó en la eliminación de E. coli, alcanzando una reducción del 95,74%, frente al 29,78% del alumbre. Además, la MSP no alteró significativamente el pH del agua tratada. Concluyendo que, la MSP se presenta como una alternativa efectiva, sostenible y de bajo costo frente al alumbre, especialmente útil en comunidades rurales con acceso limitado a agua potable y recursos tecnológicos.

Shah et al. (2024), en este artículo titulado “*Efecto del tamaño de partícula de las semillas de Moringa oleifera Lam. sobre la eliminación de la turbidez y la actividad antibacteriana para*

el tratamiento del agua potable”, tuvo por objetivo determinar el efecto del tamaño de partícula de la semilla de *Moringa oleifera* molida sobre su capacidad de coagulación en el tratamiento de agua. El estudio se caracterizó por tener un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, nivel experimental, bajo un diseño experimental de laboratorio. Las semillas de moringa fueron secadas, molidas, tamizadas y para el experimento se preparó una solución de la proteína al 2% (p/v), adicionando 6 dosis diferente entre 100 y 350 mg/L a 6 vasos diferentes con muestras de 80 NTU. Teniendo como resultado que, los 5 tamaños evaluados las semillas de *Moringa oleifera* con tamaños de 0,8 - 0,4 mm y 0,4 - 0,25 mm presentaron mayor eficacia coagulante para reducir la turbidez a 5 UNT obteniendo un 90 - 95% de reducción en la turbidez y eliminando el 100% de *E. coli* con dosis de 200 – 300 mg/L, teniendo una sedimentación de 3 horas. Los resultados fueron consistentes ($p < 0,05$) y cumplieron con los estándares de la OMS. Se concluye que *Moringa oleifera* es una alternativa natural, efectiva y aplicable a nivel doméstico para el tratamiento de agua en contextos con recursos limitados.

Soares de Oliveira et al. (2024), este artículo titulado “*Mejorar la accesibilidad al tratamiento del agua: un método económico y sostenible para producir un coagulante a base de Moringa oleifera mediante filtración con papel*”, realizado en Brasil, tuvo por objetivo estudiar la eficiencia de un método rápido y sencillo para obtener un coagulante natural a partir de semillas de *Moringa oleifera*, sin emplear reactivos especiales ni métodos complicados. El proceso consiste en retirar la cáscara, triturar las semillas, mezclarlas con agua y luego filtrar la preparación con filtros de papel, obteniendo el coagulante en menos de 30 minutos. Como resultado se tuvo que a una dosis de 5mL (coagulante de *Moringa oleifera*) por litro suficiente para eliminar por completo la turbidez en agua con 100 NTU, sedimentación por 50 minutos, logrando una reducción de la turbidez del 100%. Concluyendo, a este coagulante natural un método práctico, económico y

ambiental sostenible para mejorar el tratamiento del agua para comunidades con recursos limitados.

Carvalho Costa y Ferreira Fioravante (2024), esta tesis titulada “*Evaluación de la eficiencia de coagulantes orgánicos individuales y asociados al sulfato de aluminio en la remoción de sustancias coloidales del río Doce, Brasil*”, realizado en Brasil, tuvo como objetivo evaluar y comparar la eficiencia de un coagulante químico y dos coagulantes naturales en la remoción de turbidez para la mejora de la calidad del río Doce. Esta investigación es de tipo aplicada, nivel experimental comparativo, bajo un diseño experimental de laboratorio, en donde la población estuvo conformada por agua superficial del río Doce y la muestra fue de 10L litros de agua. En cuanto a la metodología experimental consistió en la recolección y caracterización como turbidez, pH y color de la muestra, la preparación de los coagulantes, prueba de jarras, sedimentación y análisis. Los resultados evidenciaron que Tanfloc SG a una dosis de 4mg/L logró eficiencia de remoción de turbidez en un 83% y de color en un 69%, para el coagulante sulfato de aluminio se evidenció que la dosis optima es de 18mg/L alcanzando una remoción de turbidez de un 92% y de color del 83% mientras que para la *Moringa oleifera* su dosis optima es de 30mg/L, presentando una remoción del 75% de turbidez y de color 65%. Pero, lo más relevante de los resultados fue la aplicación combinada de coagulantes: sulfato de aluminio(10mg/L) con *Moringa oleifera* (30mg/L) teniendo una remoción de turbidez y color en un 99% y tiempo de sedimentación rápido. De esta manera se concluye que, el uso conjunto del coagulante químico y natural incrementa la eficiencia del tratamiento para reducir la turbidez, asimismo reduce la dosis requerida del sulfato de aluminio, ello podría contribuir al medio ambiente, pero aún se deben hacer más investigaciones para una mejor eficiencia a gran escala.

Rifi et al. (2022), en este artículo titulado “*Optimización del proceso de coagulación para el tratamiento de aguas residuales de almazaras utilizando Moringa oleifera como coagulante natural, CCD combinado con RSM para la optimización del tratamiento*”, tuvo por objetivo estudiar el tratamiento de las aguas residuales de las Almazaras mediante coagulación utilizando *Moringa oleifera* como coagulante natural. La optimización del proceso se llevó a cabo utilizando herramientas estadísticas avanzadas, integrando el diseño de experimentos con un modelo compuesto central (CCD) y técnicas de superficie de respuesta (RSM). Este enfoque permitió evaluar cuatro variables operativas como: la cantidad de *Moringa oleifera*, el pH, la velocidad de agitación y el tiempo de mezcla influyen en tres indicadores clave del tratamiento: la turbidez, la DQO y el contenido de polifenoles. El análisis ANOVA, con la prueba de Fisher, confirmó que los modelos desarrollados presentaban significancia estadística. Se identificó que las mejores condiciones para tratar agua marina mediante *Moringa oleifera* lo óptimo es: una concentración de 65 g/L, un pH de 6, una agitación de 35 rpm y un tiempo de operación de 25 minutos. Bajo estos parámetros, la remoción de turbidez, DQO y polifenoles alcanzó 96%, 88% y 86%, respectivamente. Concluyendo que, el método de tratamiento propuesto constituye un aporte relevante para el desarrollo de alternativas sostenibles en el campo de las tecnologías ambientales.

El Gaayda et al. (2022), este artículo titulado “*Optimización de la turbidez y la eliminación de colorantes en aguas residuales sintéticas mediante la metodología de superficie de respuesta: Efectividad del polvo de semilla de Moringa oleifera como coagulante verde*”, tuvo por objetivo evaluar la eficiencia del polvo de semilla de *Moringa oleifera* (MOSP) para la remoción de turbidez y del colorante aniónico de aguas residuales sintéticas. El estudio se caracterizó por tener un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, nivel experimental, bajo un diseño compuesto central. Teniendo como resultado que, el polvo de la semilla de *Moringa oleifera* (MOSP) es altamente

eficaz como coagulante natural para tratar aguas residuales sintéticas. Teniendo una eficiencia de remoción de turbidez de 98,5% y remoción de colorantes 92,2 %. Sin embargo, bajo condiciones óptimas determinadas mediante análisis estadístico, se logró una remoción del 100% de la turbidez y del colorante Amido Black 10B. Las mejores condiciones incluyeron una dosis de 0,34 mg/L de MOSP y pH de 6.93. Concluyendo, el MOSP se presenta como una alternativa natural y eficiente frente a coagulantes químicos, con gran potencial para el tratamiento sostenible de aguas residuales.

Desta y Bote (2021), en este artículo titulado “*Tratamiento de aguas residuales mediante un coagulante natural (semillas de Moringa oleifera): optimización mediante la metodología de superficie de respuesta*”, realizado en Etiopia, tuvo por objetivo confirmar la eficiencia de la extracción de polvo de semilla de *Moringa oleifera*. Es una investigación experimental, basada en un diseño aleatorio: 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 y 0,6 g de *Moringa oleifera* por cada 500 ml de muestra con el fin de evaluar su desempeño en el tratamiento de aguas residuales. En las soluciones con pH ácido y básico se midieron parámetros claves de calidad, como la turbidez, el color y la demanda química de oxígeno (DQO). Los resultados mostraron que la dosis más eficiente para disminuir color y turbidez fue de 0,4 g/500 ml en ambos tipos de agua. Con esta concentración, las aguas ácidas registraron reducciones máximas del 98 % en turbidez; 90,76 % en color y 65,8 % en DQO. En las aguas básicas, las remociones alcanzaron 99,5 % para turbidez; 97,7 % para color y 65,82 % para DQO. Además, se determinó que el desempeño del coagulante es más eficiente dentro de un intervalo de pH de 7 a 9. El estudio también estableció que una dosificación de 0,1 g favorece el equilibrio de adsorción y la fijación de partículas contaminantes. Concluyendo que, el polvo de semillas de *Moringa oleifera* actúa como un biocoagulante altamente efectivo para la eliminación de impurezas en aguas residuales.

2.1.2. Nacionales

De La Grecca De La Cruz (2025), en su tesis titulada “*Evaluación de la eficiencia de la Moringa oleifera como coagulante natural para el tratamiento de aguas superficiales proveniente del río Rímac*”, realizado en Lima, tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de la *Moringa oleifera* (M.O.) como coagulante natural para el tratamiento del agua. El estudio se caracterizó por ser una investigación aplicada, bajo un diseño experimental, con un enfoque cuantitativo. Para esta investigación la población es el agua fluvial del río Rímac, con una muestra de 33L y se hace uso del Test de Jarras, comparando el coagulante de la semilla de moringa con aceite y sin aceite a distintas concentraciones (150, 225 y 300 mg/L), asimismo, se evaluaron los siguientes parámetros: turbidez, sólidos totales, conductividad eléctrica y pH. Como resultado se obtuvo que, el coagulante con aceite redujo la turbidez en un 95.38%, 46.15% los sólidos totales y el coagulante sin aceite redujo la turbidez en un 97.88%, 60.02% de sólidos totales, ello, con una dosis óptima de 150mg/L, para las dosis 225 y 300mg/l el porcentaje de reducción va disminuyendo, en cuanto al pH y la conductividad eléctrica no hay variación significativa. De acuerdo a los resultados se concluye que la semilla de *Moringa oleifera* se puede usar como un coagulante natural y tiene una mayor eficiencia al usar el coagulante sin aceite, además es económico y ecoamigable.

Gomez y Marin (2024), esta tesis titulada “*Reducción de la turbiedad con coagulantes orgánicos utilizando semillas de Moringa oleifera y mucilago foliar de Opuntia ficus-indica en muestras de agua del sedimentador de la planta de tratamiento de agua potable Huacho, Huánuco*”, realizado en Huánuco, tuvo como objetivo evaluar la reducción de la turbiedad utilizando dos tipos de coagulantes orgánicos. El estudio se caracterizó por tener un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, nivel explicativo, bajo un diseño de experimental. Para esta investigación la población es agua del sedimentador de la planta de tratamiento de agua potable

Huacho, con una muestra de 190L, y se identificó que en la aplicación para el recojo de la información se utilizó la técnica de prueba de jarras, evaluando dos factores, dosis del coagulante (10,20 y 30mg/L) y tiempo de sedimentación (20 y 30min.). Como resultado se obtuvo que el extracto de semillas de *Moringa oleifera* logró una reducción del 91.95%, mientras que el mucílago de *Opuntia ficus-indica* alcanzó un 87.77%. La mayor eficiencia en ambos casos se obtuvo aplicando una dosis de 30 mg/L y un tiempo de sedimentación de 30 minutos. Bajo estas condiciones, la turbiedad inicial de 60 UNT se redujo a 2.86 UNT con *Moringa* y a 5.37 UNT con *Opuntia*, concluyendo que ambos coagulantes son alternativas viables, siendo la *Moringa oleifera* la más efectiva.

Quintana Calizaya (2024), esta tesis titulada “*Evaluación del efecto del uso de Moringa oleifera como coagulante natural para la clarificación del agua del río Caplina en Tacna*”, realizado en Tacna, tuvo como objetivo evaluar el efecto del uso de *Moringa oleifera* como coagulante natural para clarificar el agua del río Caplina. El estudio se caracterizó por una tipología explicativa y experimental, diseño factorial 2³. Para esta investigación la población es el agua del río Caplina y la muestra viene a ser 88L. La metodología para esta investigación fue recolectar las semillas de moringa, descascarillar, moler, tamizar y secar, para luego extraer el coagulante natural con solvente salado (NaCl), asimismo se llevó a cabo un estudio que incluyó la caracterización fisicoquímica de la muestra. Se realizó mediante un diseño factorial, empleando dosis de 5, 15, 20 y 30 mL. Los resultados mostraron que la dosis óptima fue de 5 mL del extracto al 5 %, logrando una reducción de turbidez del 99,84 %. Concluyendo que, el uso de *Moringa oleifera* resultó altamente efectivo para disminuir la turbidez del agua del río Caplina. Ni el tamaño de partícula ni la humedad del coagulante afectaron su desempeño. Tras el tratamiento, el agua alcanzó parámetros que cumplen con los estándares de calidad para su potabilización.

Diaz Pilco y Estrada Cardenas (2024), este artículo titulado “*Efecto de la semilla de la Moringa oleifera en polvo como coagulante natural para la remoción de la turbidez del agua del río Caplina, Perú*”, realizado en Tacna, tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de la *Moringa oleifera* como coagulante alternativo en el tratamiento primario de aguas superficiales. La investigación es de tipo aplicada, nivel explicativo, bajo un diseño factorial 2x3. La muestra es obtenida del río Caplina. En cuanto a la metodología experimental primero se hizo la caracterización fisicoquímica de aguas, luego la preparación del coagulante y la prueba de jarras. Se tuvo como resultado que la dosis optima es 150mg por 400 ml de agua; con concentración de NaOH de 0,004 M, teniendo una eficiencia máxima de remoción de turbidez de un 97,77%. Los resultados mantienen los parámetros fisicoquímicos dentro de los Estándares de Calidad Ambiental para el agua de consumo humano. Llegando a la conclusión que el coagulante natural moringa es una alternativa eficaz y ambientalmente sostenible, pero requiere mayores estudios a mayor escala.

Calizaya Vizcarra et al. (2024), en su artículo titulado “*Evaluación comparativa del efecto de las semillas de Moringa oleífera y sulfato de aluminio sobre la remoción de turbidez del agua del río Caplina*”, realizado en Tacna, tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de las semillas de *Moringa oleifera* frente al sulfato de aluminio en la remoción de turbidez. Esta investigación es de tipo aplicada, nivel explicativo, bajo un diseño experimental, en donde la población estuvo conformada por agua superficial del río Caplina y se empleó dosis de 20,40 y 60 mg/L. En cuanto a la metodología experimental consistió en la elaboración del coagulante natural, medición de la turbidez al inicio y finalizando la prueba de jarras, establecer las dosis correspondientes a los dos coagulantes, terminado con el análisis estadístico mediante ANOVA y prueba de Tykey. Los resultados mostraron que la semilla de *Moringa oleifera* logró una eficiencia de remoción máxima

de un 96,01% y el sulfato de aluminio una eficiencia de 97,08%, en cuanto a la dosis optima fue de 20g/L. Concluyendo que, a pesar de la mínima diferencia entre la eficiencia de los dos coagulantes, la más segura ambientalmente es el coagulante de la semilla de moringa y podría ser utilizada en zonas rurales con recursos limitados.

Oré Cierito et al. (2023), en su artículo titulado “*Efecto de coagulantes y floculantes en la remoción de turbidez de aguas de ríos contaminados*”, realizado en Huánuco, tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de distintos coagulantes y floculantes en la remoción de la turbidez de aguas provenientes de distintos ríos. La muestra obtenida para el estudio es de las Quebradas Naranjal, Córdova y Cocheros, con turbidez inicial de 193, 122, y 106 NTU, respectivamente. El estudio se caracterizó por tener un enfoque aplicado, nivel explicativo y un diseño experimental. En cuanto a la metodología experimental se empleó la técnica de prueba de jarras y comparó como actúa los tres coagulantes naturales (semilla de *Moringa oleifera*, médula de plátano y mucilago de cacao); asimismo, un coagulante sintético, que es el sulfato de aluminio, con todas se trabajó con dosis de 50mg/L. El proceso de coagulación y floculación se dio bajo las siguientes regimos: 1min. de mezcla rápida a 200rpm, 15 minutos de mezcla lenta a 45 rpm y sedimentación por 15 minutos. Para la parte estadística de los tratamientos se utilizó la prueba de Duncan e identificar la eficiencia de remoción. Los resultados mostraron que la semilla de *Moringa oleifera* es la más eficiente en remoción de turbidez con un promedio de 92,15%, por debajo está el coagulante sintético sulfato de aluminio con 90.70% y los demás coagulantes naturales tienen resultados inferiores a los anteriores. Concluyendo que, la semilla de moringa puede sustituir al coagulante sintético sulfato de aluminio más utilizado, además que la moringa no es tóxica y amigable con el medio ambiente.

Enríquez Nateros et al. (2023), en su artículo titulado “*Evaluación de la Moringa oleifera como coagulante en el agua de una quebrada altoandina en la ciudad de Huancavelica, Perú*”,

realizado en Huancavelica, este artículo tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de la *Moringa oleifera* como coagulante natural en la clarificación de aguas superficiales. Esta investigación es de tipo aplicada, nivel explicativo, bajo un diseño experimental de tipo cuasi experimental, en donde la población estuvo conformada por agua superficial de la quebrada Taczanapampa y la muestra fue 528L. En cuanto a la metodología experimental consistió en la elaboración del coagulante natural, que se basa en el secado, molido, tamizado y la medición de la turbidez, pH, temperatura, asimismo se hizo uso de la prueba de jarras, con distintas dosis y concentraciones. Los resultados mostraron que, las dosis óptimas para turbidez menores a 50 UNT es de 10 a 50 mg/L y para turbidez mayores a 50 pero menores de 150 UNT la dosis óptima va de 80 a 100 mg/L; en cuanto a la concentración esta entre 2 y 3% para turbidez hasta 150 UNT. Concluyendo que, al coagulante de la semilla de moringa presenta una eficiencia significativa y no genera variación en la temperatura, pero si una ligera variación en el pH, en este sentido puede ser aplicada para procesos de tratamiento de agua potable.

Martínez Huaira y Yauri Felipe (2023), en su tesis titulada “*Eficiencia de la remoción de la turbidez en aguas sintéticas a nivel de laboratorio, aplicando como coagulante natural la moringa oleífera con y sin extracción lipídica de la semilla - 2022*”, realizado en Huancavelica, tuvo como objetivo determinar la eficiencia de remoción de las turbiedades al aplicar el coagulante natural *Moringa oleifera* con y sin extracción lipídica de la semilla en aguas turbias sintéticas. El estudio es de tipo aplicada, nivel explicativo, método científico, bajo un diseño experimental. Para esta investigación la población y la muestra es lo mismo, se utilizó 216 litros de agua en donde se agregó 0.5g de caolín por cada 6 litros para simular tener agua turbia. En este estudio se trabajó con dos rangos de turbidez: menor de 50 NTU y mayores a 50 NTU hasta 150 NTU, donde el procedimiento incluyó el triturado del coagulante, retirado de la parte lipídica de la semilla de

moringa y pruebas de jarras con diferentes dosis. En turbiedades menores de 50 NTU, el mejor rendimiento se obtuvo sin eliminar los lípidos, reduciendo 34 NTU a 6.057 NTU (82.18 % de remoción). En turbideces de 50 hasta 150 NTU, la eficiencia superó el 95 % en ambos casos, con valores finales menores de 5 NTU, cumpliendo la normativa sanitaria vigente. Concluyendo que la *Moringa oleifera* es más efectiva cuanto mayor es la turbidez inicial, y la extracción lipídica no aporta mejoras significativas, ya que los resultados son similares con o sin este proceso.

Cañari Porras y Leon Lopez (2022), esta tesis titulada “*Reducción de turbidez mediante los coagulantes naturales (moringa oleífera) y (opuntia ficus-indica) en aguas superficiales de la quebrada Huaycoloro, 2022*”, realizado en Lima, tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de dos coagulantes naturales en remoción de turbidez para mejorar la calidad de aguas superficiales. Esta investigación es de tipo aplicada, nivel explicativo, bajo un diseño experimental, en donde la población estuvo conformada por agua superficial de la quebrada Huaycoloro y la muestra fue 32L. En cuanto a la metodología experimental consistió en la recolección y caracterización de la muestra, la preparación de los dos coagulantes y la aplicación del test de jarras. Los resultados mostraron que, a una turbidez de 126 NTU se redujo a valores aproximados a 64 NTU, la *Moringa oleifera* tiene una eficiencia de remoción de 49% con dosis optima de 40 mg/L, pero en el caso del coagulante de *Opuntia ficus indica* la eficiencia de remoción es de un 48% con dosis optima de 65mg/L. Concluyendo que, ambos coagulantes reducen la turbidez y son ecoamigables con el medio ambiente, aunque la moringa es ligeramente más eficiente.

Aranda Tipismana y Esquia Zelaya (2021), en su tesis titulada “*Aplicación del polvo de moringa (Moringa oleifera) como coagulante natural en el tratamiento de agua turbia sintética*”, realizado en Callao, tuvo como objetivo aplicar el polvo de la semilla de moringa como coagulante natural, en el tratamiento de agua turbia sintética preparada en el laboratorio. El estudio se

caracterizó por tener un tipo de investigación aplicado, bajo un diseño experimental. Para esta investigación la población y muestra es lo mismo, 156 litros de agua sintética. Asimismo, trabajó con una turbidez de 150, 300 y 600 NTU, concentraciones de 5, 20 y 40 ppm, a una granulometría de 100 y 140um, utilizando la prueba de jarras para las pruebas experimentales con tiempo de mezcla rápida a 200 RPM y mezcla lenta a 40 RPM. Como resultado se obtuvo que, la más eficiente fue la granulometría de 140um, con una concentración de 40ppm obteniendo un 98% de remoción de la turbidez de 600 NTU. Llegando a la conclusión que, la semilla de moringa tiene una alta eficiencia en la remoción de turbidez.

2.1.3. Locales

León Palacios (2025), esta tesis titulada “*Tratamiento de aguas meteóricas con coagulantes orgánicos y calidad del agua para consumo humano, provincia de Huamanga, 2023*”, tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de la *Moringa oleifera* como coagulante orgánico en aguas meteóricas. El estudio se caracterizó por ser de tipo experimental, prospectivo, longitudinal, analítico, de un nivel explicativo, bajo un diseño experimental. Para esta investigación la población es agua recolectada en temporada de lluvia y la muestra es de 120L realizando 120 experimentos con 10 concentraciones y 4 repeticiones. Como resultado se obtuvo que, la *Moringa oleifera* logró una reducción de turbidez del 56.71%, reduciendo hasta 3.29 NTU con una dosis optima de 15mg/L y del 91.48% en color, respecto a los parámetros evaluados como pH, SDT, conductividad eléctrica tienen resultados en un rango aceptable. Se concluye mencionando que el coagulante natural de *Moringa oleifera* es sostenible y eficaz frente a otros coagulantes de origen sintético, proponiendo la implementación en comunidades rurales para mejorar el tratamiento del agua potable que ingieren.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Calidad de las aguas superficiales

La calidad del agua superficial se define como el conjunto de características físicas, químicas y biológicas que determinan su composición, incluyendo la presencia de sustancias orgánica e inorgánica. En este sentido, la contaminación se genera por la introducción directa o indirecta de sustancias contaminantes a las fuentes de aguas, lo que afecta tanto a los ecosistemas acuáticos como a la calidad del agua. Por ello, la evaluación de la calidad del agua se realiza mediante la medición de parámetros físicos, químicos y biológicos, los cuales determinan su estado y tipo de uso (Sierra, 2011).

2.2.2. Aguas superficiales

Las aguas superficiales según Arellano Díaz (2002), se denominan a aquellas masas hídricas localizadas sobre la corteza terrestre, abarcando sistemas lóticos como los ríos y sistemas lénticos como lagos y lagunas. Asimismo, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2024), menciona que la formación de las aguas superficiales está vinculada principalmente a la escorrentía originada por las precipitaciones y, en menor medida, al aporte de aguas subterráneas mediante surgencias naturales. Estos recursos pueden presentarse como sistemas de flujo continuo con dirección definida, como ríos y manantiales, o como cuerpos de agua con dinámica reducida o prácticamente estacionaria, tales como lagos y otras masas de agua lénticas.

2.2.3. Turbidez del agua

La turbidez se describe como el agua que no se ve transparente, presentando una apariencia opaca o “sucia” debido a la reducción de la transmisión de la luz. Puede ser generada por diversos agentes, entre ellos arcillas y otras partículas inorgánicas diminutas, así como algas y materia

orgánica. En el tratamiento del agua potable, la turbidez es un parámetro crucial que no solo afecta la aceptación visual, sino que también las diminutas partículas coloidales pueden dificultar la eliminación o inactivación de patógenos. Por ello, se realiza la medición de la turbidez con un turbidímetro, este instrumento fotométrico cuantifica la luz dispersa por las partículas suspendidas en el agua. Actualmente, la calibración de turbidímetros se realiza principalmente con el polímero de formalina, y los valores se reportan en unidades nefelométricas de turbidez (NTU) (Weiner y Matthews, 2003).

2.2.4. Importancia de la remoción de turbidez

Para el agua destinada al consumo humano, los valores de turbidez deben mantenerse en niveles bajos, estableciéndose como límite máximo aceptable 5 unidades nefelométricas de turbidez (UNT). Sin embargo, mantener a 1 UNT resultan más adecuados, ya que una menor presencia de partículas en suspensión contribuye a optimizar la acción de los desinfectantes y reduce la probabilidad de supervivencia de microorganismos patógenos (Organización Mundial de la Salud, 2017).

La remoción de la turbidez es un objetivo prioritario en los sistemas de tratamiento de agua potable, debido a su influencia directa en la calidad física, microbiológica y operacional del agua. La disminución de partículas suspendidas mejora significativamente la claridad del agua y reduce la carga microbiana asociada a sólidos coloidales, los cuales pueden actuar como refugio para microorganismos patógenos. Adicionalmente, el control de la turbidez incrementa la eficiencia de los procesos de desinfección, al reducir el consumo de agentes desinfectantes y minimizar la formación de subproductos indeseables. Desde el punto de vista operativo, niveles adecuados de turbidez previenen la acumulación de sedimentos, la obstrucción de conducciones y el deterioro

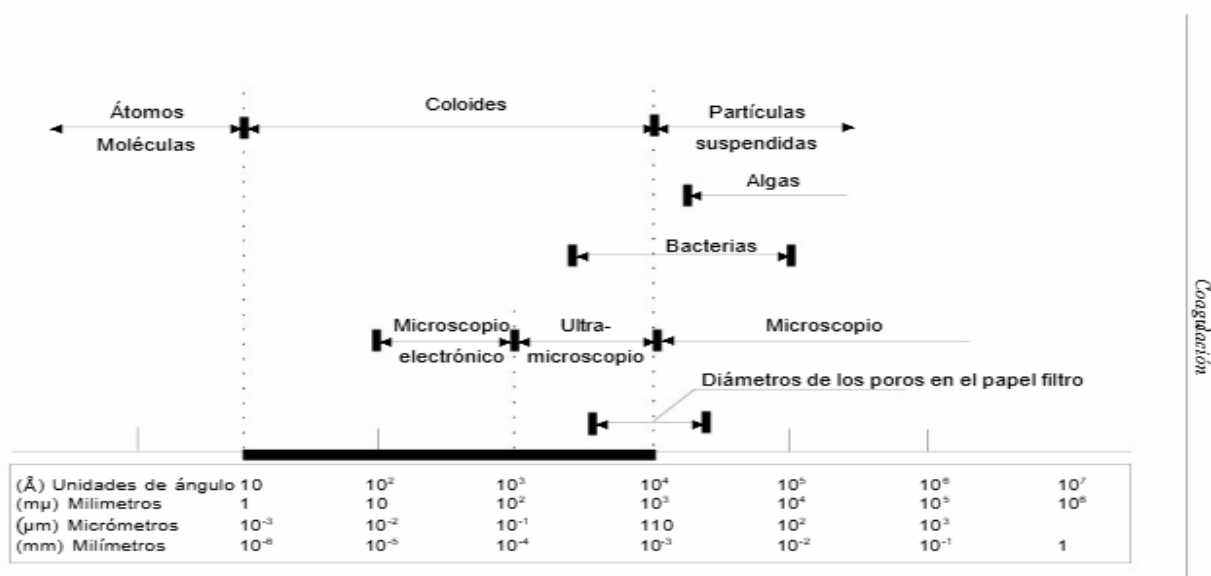
de los sistemas de distribución, asegurando el cumplimiento de los criterios sanitarios exigidos para el abastecimiento de agua destinada al consumo humano (Edzwald, 2011).

2.2.5. *Partículas coloidales*

Las partículas coloidales presentes en el agua se caracterizan por poseer dimensiones pequeñas, entre 1 y 1000 milímetros, estas partículas constituyen uno de los principales factores responsables de la turbidez en cuerpos de agua, desde el punto de vista del tamaño, los coloides se sitúan en un rango intermedio entre las sustancias en solución verdadera y las partículas en suspensión. No obstante, debe considerarse que las dimensiones de los coloides no son estrictamente uniformes, sino que dependen de las propiedades intrínsecas del material que lo conforma (Barrenechea Martel, 2004). La figura 1 muestra la distribución y el tamaño aproximado de las partículas presentes en el agua desde átomos hasta partículas suspendidas de mayor dimensión.

Figura 1

Distribución de tamaño de partículas en el agua



Nota. Adaptado de Barrenechea Martel (2004).

2.2.5.1. Tipos de partículas

Según Martínez Andrés (2019), divide a las partículas según los siguientes criterios:

- **Según su naturaleza:**

- **Orgánica:** Son partículas que suelen proceder de la erosión del suelo, en la que se encuentran la arcilla, fango y óxidos minerales.

- **Inorgánica:** coloides húmicos y ácidos fúlvicos.

- **Según su tamaño:** El coloide tiene la particularidad de tener una velocidad de sedimentación muy baja que es casi imposible separarlos del agua por sedimentación natural, por lo que resulta indispensable la aplicación de tratamientos de coagulación y floculación para promover la desestabilización y posterior sedimentación de las partículas. En la siguiente tabla 2 se muestra el tipo de partícula con su diámetro y el tiempo de sedimentación en la que puede llegar a sedimentar aproximadamente, evidenciando que los coloides pueden llegar a sedimentar en varios años.

Tabla 2*Tipo de partícula según su tamaño*

Diámetro	Tipo de partícula	Tiempo de sedimentación por 1 metro
10	Grava	1 segundo
1	Arena	10 segundos
0.1	Arena fina	2 minutos
0,01	Arcilla	2 horas
0,001	Bacteria	8 días
0, 0 001	Coloide	2 años
0, 00 001	Coloide	20 años
0, 000 001	Coloide	63 años

Nota. Adaptado de Martínez Andrés (2019).

- **Según sus propiedades**

- Partículas hidrófobos: Estas no reaccionan con el agua, presentan un comportamiento termodinámicamente inestable, lo que favorece su tendencia a agregarse con el tiempo. Por lo general, son de origen inorgánico, destacando materiales como la arcilla y óxidos metálicos.

- Partículas hidrófilas: Estas interactúan activamente con el agua y mayormente son de origen orgánico, destacando compuestos de naturaleza proteica, almidones y otros carbohidratos. Dentro de este grupo se incluye una gran variedad de biocoloides, tales como los ácidos húmicos y fúlvicos, así como, microorganismos vivos o muertos que permanecen en suspensión entre las que se encuentran bacterias, hongos y algas. Según Aguilar et al. (2002), en la siguiente tabla 3 se muestra algunas diferencias entre hidrófobos e hidrófilas.

Tabla 3*Tipos y características de los coloides*

Características	Liofóbico (Hidrofóbico)	Liofilico (Hidrofílico)
Tensión superficial	Similar al medio	Menor que el medio
Viscosidad	Es muy similar a la de la fase dispersante sola.	Mayor que la de la fase dispersante sola.
Reacción a los electrolitos	Adición de pequeñas cantidades de electrolito pueden producir la agregación.	Se requiere mayor cantidad de electrolito para producir la agregación.
Aplicación de un campo eléctrico	Las partículas migran en una dirección bajo la acción de un campo eléctrico.	Pueden migrar en ambas direcciones o no bajo la acción de un campo eléctrico.
Ejemplos	Óxidos metálicos, sulfuros, plata, metales.	Proteínas, almidones, gomas, virus, bacterias.

Nota. Adaptado de Aguilar et al. (2002).

2.2.5.2. Fuerza de London-Van der Waals

Las fuerzas de Van der Waals constituyen interacciones en toda la materia y su magnitud está determinada por la naturaleza de las partículas, las características del medio en que se encuentra, de la forma y de la separación existente entre sus superficies. Las fuerzas de London se consideran de baja magnitud y son originadas a partir de fluctuaciones temporales en la distribución electrónica de los átomos, las cuales inducen momentos dipolares instantáneos que provocan la polarización mutua, en consecuencia, genera una atracción (Aguilar et al., 2002), estas fuerzas son interacciones que representan un factor relevante, ya que constituyen la principal fuerza de atracción entre las partículas coloidales, caracterizadas por ser siempre atractivas y por disminuir de manera significativa a medida que aumenta la distancia entre las partículas, como

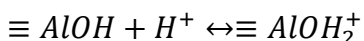
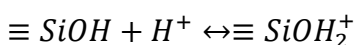
resultado de la interacción entre dipolos permanentes presentes en sus estructuras (Barrenechea Martel, 2004).

2.2.5.3. Carga eléctrica de los coloides y fuerzas de estabilización

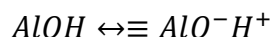
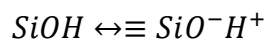
Según Barrenechea Martel (2004), en sistemas acuosos, las partículas coloidales como las sustancias húmicas, arcillas y compuestos orgánicos en su mayoría presentan, carga eléctrica superficial, generalmente negativa. Esta carga es fundamental porque genera fuerzas de repulsión electrostática que impiden la agregación de partículas, contribuyendo así a la estabilidad de la suspensión coloidal. Desde el punto de vista químico, la carga superficial de los coloides se origina principalmente a través de tres mecanismos:

a) Grupos presentes en la superficie sólida: Los grupos presentes en la superficie de las partículas pueden donar o aceptar protones (H^+) mediante reacciones ácido-base, lo que modifica su carga eléctrica. Este proceso está directamente controlado por el pH del medio, lo que implica un equilibrio químico dinámico (Barrenechea Martel, 2004).

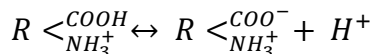
Protonación (medio ácido):

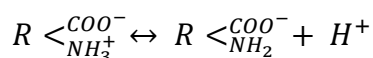


Desprotonación (medio básico):



- Sustancias orgánicas con grupos carboxílicos y aminas en compuestos orgánicos, como ácidos carboxílicos y aminas:





A medida que el pH aumenta (disminuye la concentración de H^+), el equilibrio se desplaza hacia la formación de especies negativamente cargadas, incrementando la repulsión entre partículas (Barrenechea Martel, 2004).

b) Grupos superficiales

Los grupos funcionales también pueden reaccionar con otros iones presentes en la solución, formando complejos superficiales mediante reacciones químicas específicas. Por ejemplo:

- $\equiv SiOH + Ca^{2+} \leftrightarrow \equiv SiOCa^+ + H^+$
- $\equiv SiOH + HPO_4^{2-} \leftrightarrow \equiv SiPO_4H^- + OH^-$

Estas reacciones implican una relación estequiométrica definida entre los grupos superficiales y los iones adsorbidos, lo que influye directamente en la magnitud y signo de la carga. Además, su extensión depende del pH (Barrenechea Martel, 2004).

c) Sustituciones estructurales e imperfecciones cristalinas

En materiales como las arcillas, la carga puede originarse por sustituciones isomórficas dentro de la estructura cristalina. Por ejemplo:

- Sustitución de Si^{4+} por Al^{3+} en estructuras tetraédricas
- Sustitución de Al^{3+} por Mg^{2+} o Fe^{2+} en estructuras octaédricas

Estas sustituciones generan un déficit de carga positiva, resultando en una carga neta negativa permanente. A diferencia de los mecanismos anteriores, esta carga no depende del pH, ya que está determinada por la estructura del sólido (Barrenechea Martel, 2004).

Independientemente del origen de la carga, su presencia genera fuerzas de repulsión electrostática entre partículas, lo que evita su agregación. Desde un enfoque fisicoquímico, esta estabilidad es el resultado del equilibrio entre las fuerzas de repulsión debidas a la carga superficial y a las fuerzas de atracción como las de Van der Waals. Por ello, en procesos como la coagulación, se busca neutralizar estas cargas mediante la adición de coagulantes, alterando el equilibrio químico y favoreciendo la agregación de partículas (Barrenechea Martel, 2004).

2.2.6. Coagulación

La coagulación constituye uno de los principales procesos en el tratamiento de agua, viene a ser el proceso mediante el cual se induce la desestabilización de partículas presentes en una suspensión que se mantiene estable debido a las fuerzas de repulsión y mecanismos de estabilización superficial. Al desestabilizar dichas fuerzas son neutralizadas, favoreciendo la disminución de la estabilidad del sistema y permitiendo la posterior agregación de las partículas (Aguilar et al., 2002).

2.2.6.1. Proceso de coagulación

En las aguas naturales las cargas suelen ser siempre negativa y muy poco de cargas eléctricas positivas. Las cargas eléctricas de las partículas generan fuerza de repulsión entre ellas, por lo cual se encuentran suspendidas y separadas en el agua, estas es la razón por la que las partículas no pueden ser sedimentadas. Este conjunto formado por estas partículas es denominado sistema coloidal. En este sentido, el proceso de coagulación agrupa partículas pequeñas convirtiéndose en grandes, siendo más sólidas, las cuales son llamadas flóculos, para que pueda ser más fácil separarlas del líquido (Bolaños Alvear, 2014).

Asimismo, según otro autor el proceso de coagulación es un fenómeno de desestabilización de las partículas coloidales a través de la neutralización de cargas eléctricas con lo que dejan de

actuar las fuerzas de repulsión, anulación del potencial Z y los colides tienden a agregarse por acción de masas, formando los llamados flóculos los cuales ya son visibles y fáciles de separarlos (Pradana Pérez y García, 2019).

2.2.6.2. Mecanismos de la coagulación

Los mecanismos de desestabilización se explican mediante la participación de cuatro mecanismos principales:

- **Comprensión de doble capa**

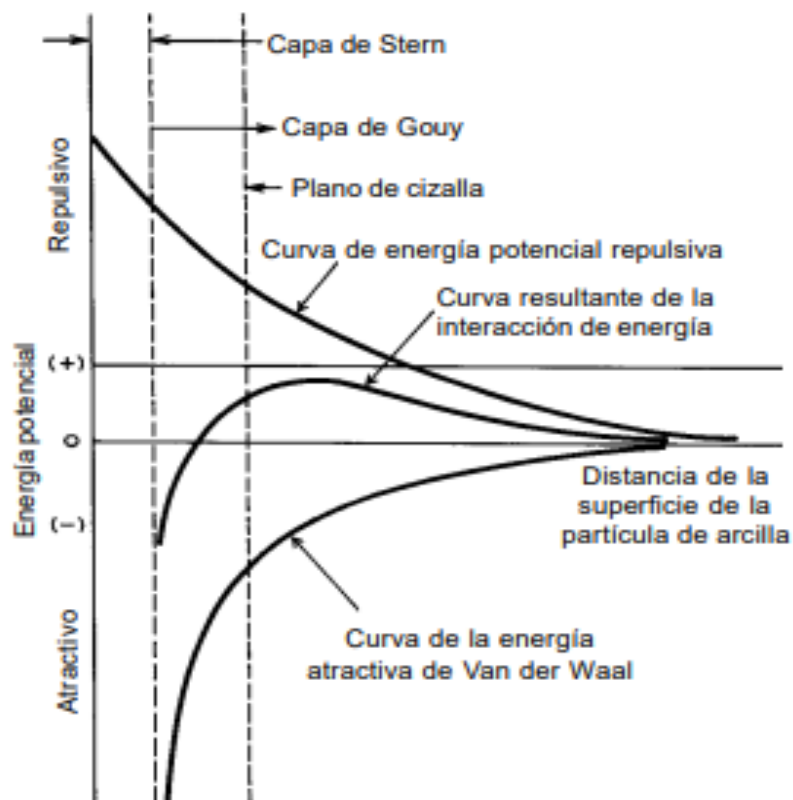
El modelo físico de la doble capa eléctrica permite comprender cómo un coagulante provoca la desestabilización de las partículas coloidales presentes en el agua, las fuerzas de atracción de tipo Van der Waals permanecen constantes, mientras que las fuerzas de repulsión eléctrica disminuyen cuando aumenta la concentración de iones con carga opuesta en la solución. Como resultado, el potencial repulsivo entre las partículas se reduce y, en consecuencia, la energía total de interacción disminuye. Esta condición facilita que las partículas se aproximen entre sí hasta una distancia en la que las fuerzas atractivas predominan, produciéndose así la desestabilización del sistema coloidal (Barrenechea Martel, 2004). En la siguiente Figura 2 ayuda a explicar el proceso de desestabilización coloidal que ocurre cuando la repulsión eléctrica entre partículas disminuye, reduciendo el potencial repulsivo, decreciendo la curva resultante de interacción.

La coagulación del mecanismo de doble capa se produce al adicionar electrolitos indiferentes a un sistema coloidal incrementando la fuerza iónica del medio, lo que provoca la compresión de la capa difusa que rodea a las partículas y reduce el potencial zeta. Como consecuencia, disminuyen las fuerzas de repulsión entre los coloides y predominan las fuerzas atractivas de Van der Waals, favoreciendo la agregación y formación de flóculos. Este mecanismo

se manifiesta comúnmente cuando aguas de baja fuerza iónica entran en contacto con aguas salinas, favoreciendo la agregación y sedimentación de partículas. En este proceso, la cantidad de electrolito requerida para inducir la desestabilización es prácticamente independiente de la concentración de coloides, y la adición excesiva de sales no conduce al restablecimiento, debido a la inversión de la carga superficial de las partículas. La eficiencia de la coagulación depende del tipo de ion presente, denominados contraiones, siendo mayor para aquellos de mayor valencia, lo que explica las diferencias significativas en las concentraciones necesarias a aplicar (Barrenechea Martel, 2004).

Figura 2

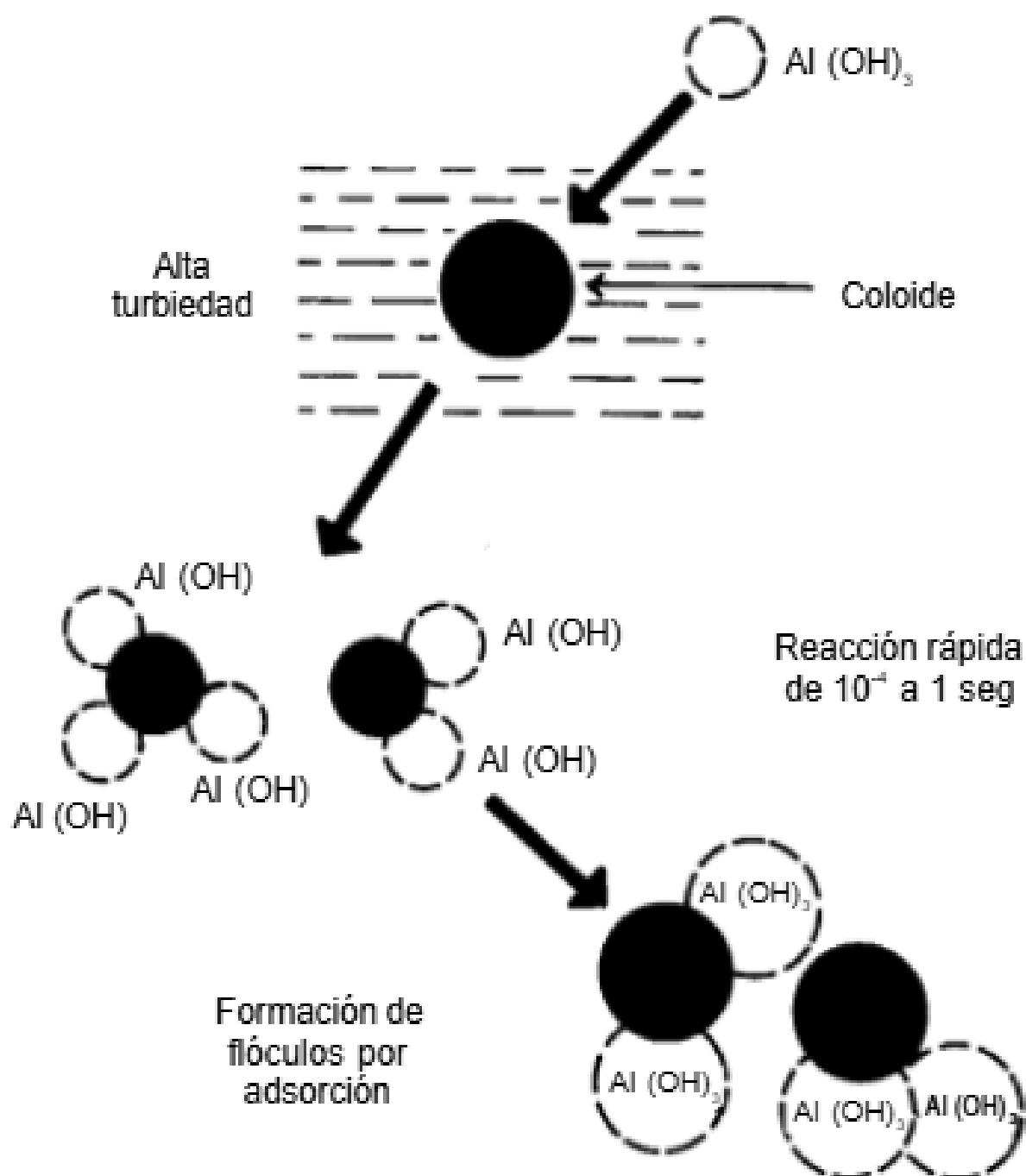
Interacción entre dos coloides



Nota. Adaptado de Barrenechea Martel (2004).

- **Adsorción y neutralización de la carga**

La adsorción y neutralización de cargas constituye un mecanismo de coagulación en el que las especies químicas generadas por el coagulante se adhieren a la superficie de los coloides, provocando la disminución o anulación de su carga superficial. En medios acuosos, las partículas coloidales como arcillas, compuestos orgánicos y microorganismos suelen presentar carga superficial negativa, lo que genera fuerzas de repulsión que dificultan su unión. La adición de coagulantes, tales como sales metálicas o biopolímeros con carga positiva, introduce especies catiónicas que se adsorben en la superficie de dichas partículas, neutralizando su carga negativa superficial. Como resultado, la potencial zeta disminuye debilitando las fuerzas de repulsión eléctrica que mantienen a las partículas en suspensión, lo que facilita su desestabilización y la formación de agregados. La efectividad de este mecanismo está determinada por el tipo de interacción entre el coagulante y el coloide, así como por las propiedades químicas y la valencia de las especies involucradas (Barrenechea Martel, 2004). En la siguiente figura 3 se aprecia un ejemplo de coagulación por adsorción con sulfato de aluminio, al agregar este coagulante bajo condiciones adecuadas de pH y dosificación, origina la formación de diversas especies hidrolizadas solubles. En el caso del aluminio, se generan diferentes formas iónicas que representan el equilibrio del sistema en solución. Estas especies reaccionan con los grupos funcionales presentes en la superficie de las partículas coloidales, estableciendo complejos superficiales que reducen la estabilidad eléctrica del coloide, favoreciendo a la formación de flóculos.

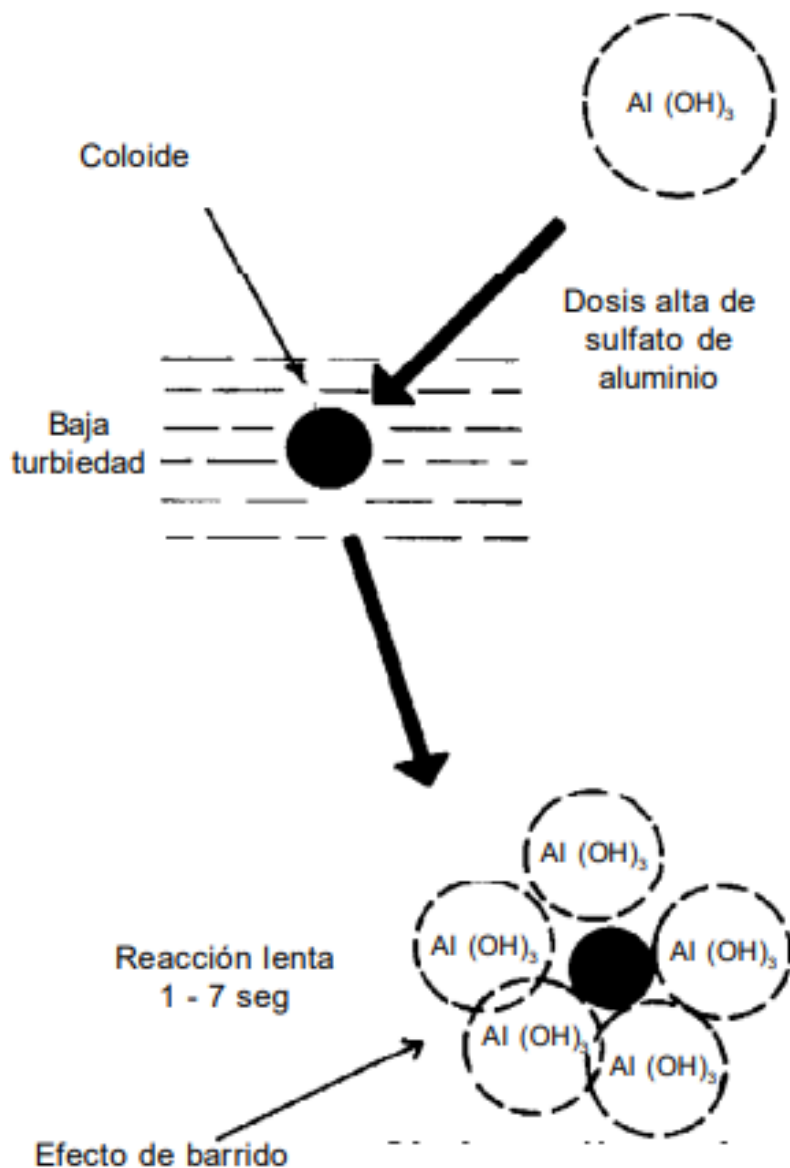
Figura 3*Coagulación por adsorción*

Nota. Adaptado de Barrenechea Martel (2004).

- **Atrapamiento en precipitado o captura por barrido**

El atrapamiento en precipitado corresponde a un mecanismo de coagulación en el cual las partículas coloidales y los sólidos en suspensión son eliminados al quedar ocluidos dentro de los precipitados que se generan durante la hidrólisis de coagulantes metálicos, por ejemplo: las sales de aluminio o de hierro. Durante este proceso, se forman hidróxidos metálicos insolubles que, al agregarse y sedimentar, incorporan físicamente las partículas presentes en el agua, sin que la carga superficial de estas constituya un factor determinante (Barrenechea Martel, 2004).

Diversos autores indican que este mecanismo se presenta principalmente cuando se emplean altas concentraciones de coagulante, lo que promueve la generación de flóculos voluminosos con elevada capacidad de retención de partículas finas (Tchobanoglous et al., 2003). Asimismo, se ha señalado que la eficiencia del atrapamiento en precipitado no se basa exclusivamente en la neutralización electrostática, sino en fenómenos de coprecipitación y adsorción física de las impurezas dentro de la estructura de los flóculos formados (Letterman, 1999). En la Figura 4 se muestra un ejemplo de manera esquemática que la coagulación en el tratamiento de agua está determinada principalmente por las reacciones asociadas al hidróxido de aluminio y a sus especies hidrolizadas precursoras. Este mecanismo suele presentarse en aguas de baja turbidez, donde la concentración de partículas coloidales es reducida. En tales condiciones, la mayor separación entre partículas disminuye las fuerzas de atracción, por lo que se requiere una dosificación más elevada de coagulante y mayor aporte de energía para lograr su desestabilización. Como consecuencia, el proceso puede demandar un mayor tiempo de reacción y generar sobresaturación con precipitación de hidróxido de aluminio, el cual contribuye al atrapamiento de las partículas y a la formación de flóculos (Barrenechea Martel, 2004).

Figura 4*Coagulación de barrido*

Nota. Adaptado de Barrenechea Martel (2004).

- **Puente y adsorción**

Este mecanismo de coagulación puede efectuarse mediante el uso de polímeros orgánicos de origen natural o sintético, los cuales se caracterizan por poseer cadenas macromoleculares con

grupos ionizables capaces de interactuar con partículas coloidales. Según la carga predominante de estos grupos, los polímeros se clasifican en catiónicos, aniónicos y anfóteros. Se ha comprobado que, en ciertos sistemas, los polímeros aniónicos pueden desestabilizar coloides con carga negativa, comportamiento que no se explica por la simple neutralización electrostática. Para describir este proceso se propone el mecanismo de puentes, el cual explica la acción coagulante de los polímeros (Barrenechea Martel, 2004).

Reacción 1. Adsorción inicial:

El polímero se fija parcialmente a la superficie de la partícula coloidal mediante algunos de sus grupos activos, mientras el resto de la cadena permanece extendido en la fase líquida (Barrenechea Martel, 2004).

Reacción 2. Formación del puente:

Una segunda partícula coloidal, con sitios disponibles, entra en contacto con los segmentos extendidos del polímero, generándose una unión dentro de la partícula donde el polímero actúa como enlace (Barrenechea Martel, 2004).

Reacción 3. Restablecimiento por ausencia de puentes:

Si no existe una segunda partícula cercana, los segmentos libres del polímero pueden adsorberse nuevamente sobre la misma partícula, impidiendo la formación de puentes y provocando el restablecimiento del sistema. El uso de polímeros como la poliacrilamida hidrolizada permite inducir la coagulación a menores concentraciones que coagulantes inorgánicos; sin embargo, un exceso de polímero puede conducir nuevamente a la estabilidad del sistema. Este efecto no se debe a una inversión de carga, sino a la forma de interacción polímero y partícula (Barrenechea Martel, 2004).

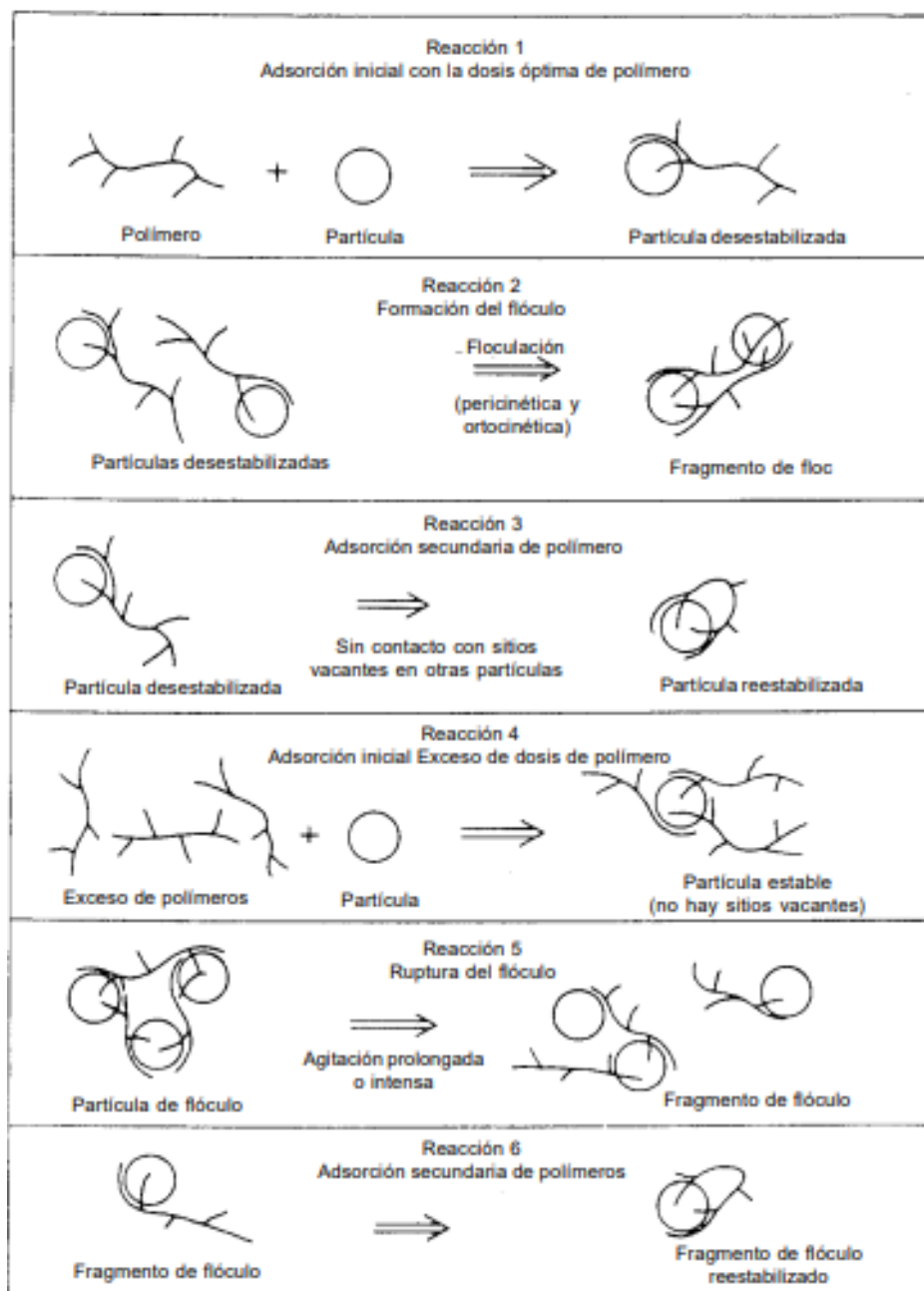
Reacción 4. Saturación superficial:

El restablecimiento ocurre cuando la superficie coloidal queda completamente cubierta por el polímero, lo que limita la posibilidad de establecer enlaces entre partículas (Barrenechea Martel, 2004).

Reacciones 5 y 6. El restablecimiento inducido por agitación:

En algunos casos, la aplicación de agitación intensa rompe las uniones entre el polímero y las partículas, favoreciendo la redistribución del polímero y el restablecimiento del sistema coloidal (Barrenechea Martel, 2004).

En la Figura 5 se muestra el mecanismo de desestabilización de partículas coloidales mediante polímeros, en la reacción 1 el polímero se adsorbe de forma parcial sobre la superficie de las partículas, dejando segmentos libres de la cadena que permiten la interacción con otras partículas, esta acción disminuye la estabilidad del sistema coloidal. Por ello, en la reacción 2 las cadenas poliméricas facilitan la unión entre varias partículas formando flóculos de mayor tamaño. Sin embargo, cuando ocurre una adsorción adicional de polímeros sin contacto entre partículas o se aplica una dosis excesiva, la superficie coloidal puede llegar a saturarse, impidiendo la formación de nuevos puentes e incentivando a la reestabilización del sistema, como se muestra en la reacción 3 y 4. Asimismo, al realizar una agitación excesiva puede ocasionar la ruptura de los flóculos formados, conllevando a tener flóculos más pequeños. En este contexto, si se quiere una eficiencia del proceso de floculación depende del control adecuado de la dosis y las condiciones de mezcla, que son factores determinantes para la formación de flóculos estable y una efectiva remoción de la turbidez.

Figura 5*Desestabilización de coloides mediante polímeros*

Nota. Adaptado de Barrenechea Martel (2004).

2.2.6.3. Etapas de la coagulación

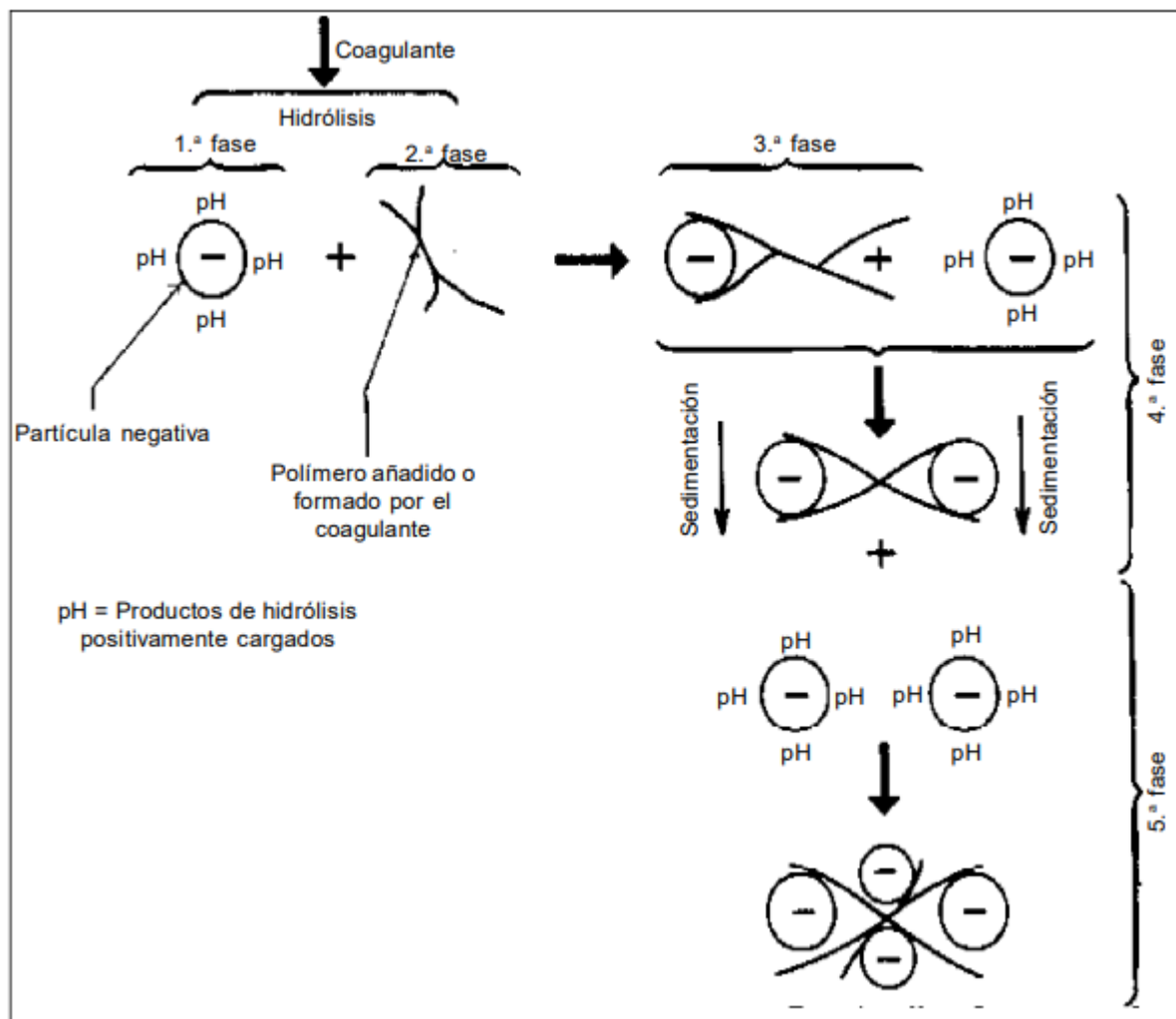
Según Barrenechea Martel (2004), en el proceso de coagulación se presentan varias etapas, entre ellas se tiene:

- a. **Hidrólisis y formación de especies polinucleares:** Los iones metálicos multivalentes presentes en el coagulante reaccionan con el agua, generando especies hidrolizadas que pueden asociarse entre sí y formar estructuras de mayor complejidad.
- b. **Adsorción y desestabilización del coloide:** Las especies hidrolizadas se fijan en la superficie de las partículas coloidales, modificando su carga superficial y reduciendo la estabilidad eléctrica del sistema.
- c. **Agregación por formación de puentes:** Las partículas desestabilizadas comienzan a unirse mediante mecanismos que implican transporte por agitación y la formación de enlaces o puentes entre ellas.
- d. **Agregación por fuerzas intermoleculares:** Además del puenteo, intervienen fuerzas de atracción de corto alcance, como las fuerzas de Van der Waals, que favorecen la unión entre partículas cercanas.
- e. **Desarrollo de flóculos:** Como consecuencia de las interacciones anteriores, se forman agregados de mayor tamaño y peso, denominados flóculos.
- f. **Precipitación de hidróxidos metálicos:** En determinadas condiciones, se produce la formación y sedimentación de hidróxidos metálicos, que contribuyen al atrapamiento de partículas en el proceso.

Estas etapas pueden desarrollarse de manera sucesiva, parcial o simultánea, dependiendo de las características químicas del medio y de las condiciones operativas del tratamiento, en la siguiente figura 6 se muestra el proceso de una coagulación.

Figura 6

Modelo esquemático del proceso de coagulación



Nota. Adaptado de Barrenechea Martel (2004).

2.2.7. Floculación

En el proceso de floculación, desarrollada bajo condiciones de agitación suave, las partículas que han perdido su estabilidad durante la coagulación interactúan entre sí y se agrupan, formando agregados de mayor tamaño. El crecimiento de estos agregados se produce por el contacto continuo entre los sólidos suspendidos, lo que hace necesario promover colisiones

eficientes entre las partículas. A medida que los flóculos incrementan su volumen y peso, y debido a que presentan una densidad mayor que la del agua, se facilita su separación en las etapas posteriores mediante sedimentación (González Alvarado y Sinchi Payana, 2024).

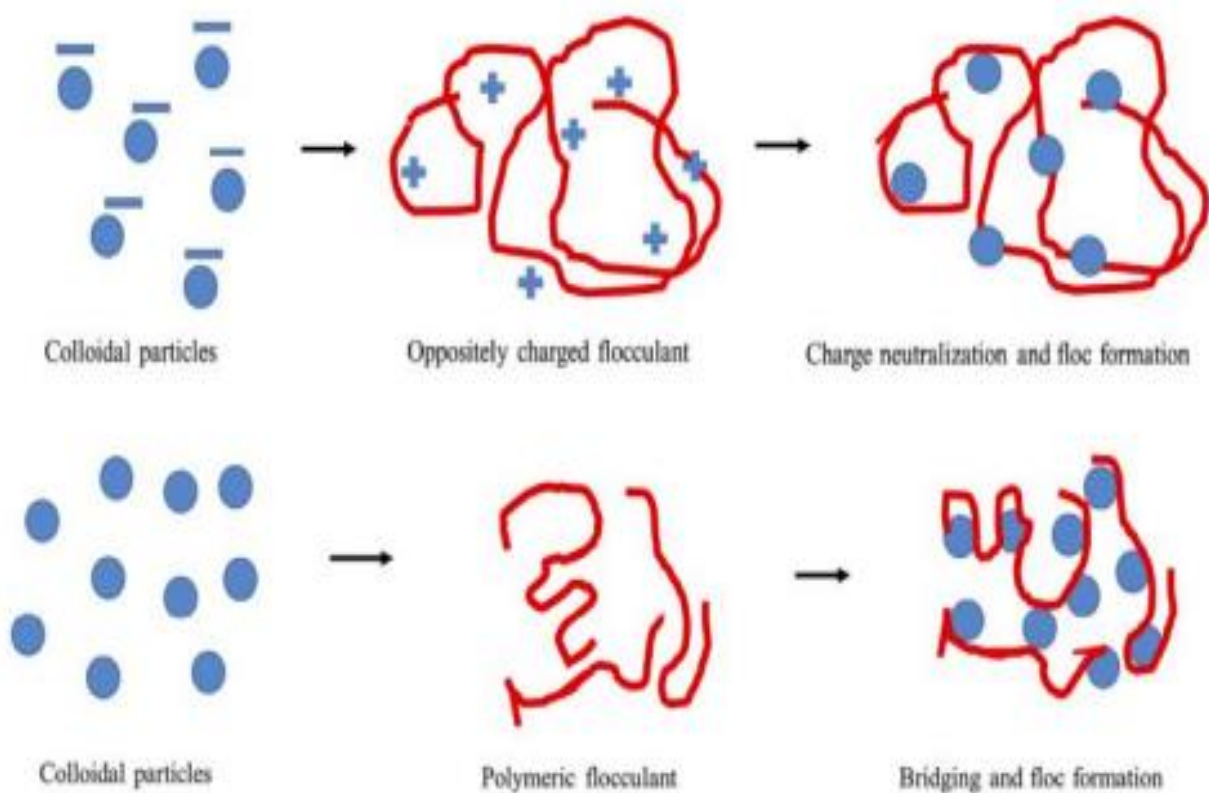
La floculación puede dividirse en pericinética y ortocinética. En las plantas de tratamiento de agua superficial, la floculación pericinética ocurre inmediatamente después de la coagulación y está relacionada con el movimiento aleatorio de las partículas bajo condiciones de mezcla más intensa. Posteriormente, la floculación ortocinética se desarrolla mediante una agitación lenta y controlada, permitiendo la formación de flóculos más grandes y estructuralmente estables.

- **Floculación pericinética:** Las colisiones entre partículas pueden originarse por la agitación térmica de las moléculas del fluido, fenómeno conocido como movimiento browniano. Este mecanismo resulta relevante únicamente para partículas de dimensiones inferiores a $1\ \mu\text{m}$ y tiene efecto principalmente en las etapas iniciales del proceso, durante los primeros segundos de interacción. Su acción no depende de la masa de las partículas, sino de la dinámica microscópica del medio líquido (Restrepo Osorno, 2009).
- **Floculación ortocinética:** Las colisiones entre partículas también se generan como consecuencia de la turbulencia del fluido, la cual induce desplazamientos a distintas velocidades y en múltiples direcciones. Esta condición incrementa significativamente la frecuencia de contacto entre los sólidos en suspensión. Dicho mecanismo resulta eficaz principalmente para partículas con tamaños superiores a $1\ \mu\text{m}$ y predomina durante las etapas posteriores del proceso, con tiempos de acción del orden de 20 a 30 minutos (Restrepo Osorno, 2009).

La floculación puede desarrollarse principalmente a través de dos mecanismos (Restrepo Osorno, 2009, citado en Varjani et al., 2020). El primero corresponde al mecanismo de puente, en el cual moléculas de alto peso molecular se adsorben sobre distintas partículas simultáneamente, creando enlaces físicos que las conectan y favorecen la formación de agregados de mayor tamaño. El segundo mecanismo es la neutralización de cargas, que consiste en la adición de un agente con carga eléctrica opuesta a la de las partículas suspendidas, disminuyendo así la repulsión electrostática entre ellas y permitiendo su acercamiento y posterior unión (Joshi et al., 2020), como se puede apreciar en la siguiente Figura 7.

Figura 7

Mecanismos de floculación



Nota. Adaptado de Joshi et al. (2020).

- **Clasificación de floculantes**

Con el propósito de optimizar la velocidad y eficiencia de la floculación, se pueden incorporar agentes denominados floculantes, los cuales pueden clasificarse en dos grandes grupos: de origen químico y de origen natural, estas a su vez, pueden ser de carácter aniónico, cuando poseen carga negativa, o catiónico, cuando predominan cargas positivas en su estructura (Bulatovic, 2007).

- **Floculantes químicos:** Los floculantes de naturaleza química se caracterizan por presentar elevado peso molecular, baja densidad de carga y capacidad de actuación en un amplio intervalo de pH, lo que favorece su aplicación en diversos procesos de tratamiento. Además, suelen ser accesibles desde el punto de vista comercial. Dentro de este grupo, los compuestos inorgánicos se emplean principalmente cuando se requiere aportar carga positiva al sistema, destacando las sales de calcio, aluminio y hierro como las más utilizadas. En menor proporción, también se recurre a polímeros con carga negativa, dependiendo de las características del agua a tratar y del mecanismo de agregación buscado (Bulatovic, 2007).

- **Floculantes naturales:** Los floculantes naturales son compuestos obtenidos a partir de materias primas de origen vegetal, animal y microbiano. Estos materiales presentan propiedades coagulantes y floculantes que favorecen la aglomeración de partículas suspendidas en medios acuosos, facilitando su posterior sedimentación. En términos comparativos, los biopolímeros de origen bacteriano suelen requerir menores dosis para lograr efectos similares, debido a su elevada capacidad de interacción superficial. En los procesos de floculación selectiva, se emplean con frecuencia sustancias de origen vegetal como los taninos y ciertos derivados de la celulosa; asimismo, entre los compuestos de origen animal destaca el quitosano (Bulatovic, 2007).

2.2.8. *Proceso de Sedimentación*

La sedimentación es una operación unitaria de tipo físico que se basa en la acción de la gravedad, la cual provoca que las partículas con una densidad superior a la del agua describan un movimiento descendente hasta depositarse en el fondo del tanque sedimentador. La eficiencia de este proceso aumenta conforme se incrementan el tamaño y la densidad de los sólidos a separar, ya que estos factores determinan la velocidad de caída de las partículas, parámetro fundamental para el diseño y dimensionamiento de los sedimentadores, esta operación también es conocida como decantación (Barrenechea Martel, 2004).

La presencia de partículas sólidos finos y de baja densidad están presentes, este reduce la eficacia del proceso de sedimentación directa. Por esta razón, resulta necesario implementar previamente un proceso de coagulación y floculación, que promueven la aglomeración de partículas, incrementando su tamaño y densidad (Y. Choque Quispe et al., 2023).

2.2.9. *Coagulantes naturales*

Los coagulantes naturales son compuestos bioactivos de extractos de plantas que contienen mucilagos, gomas o proteínas que actúan generalmente por un proceso de neutralización de cargas, permitiendo la desestabilización coloidal de sólidos disueltos y suspendidos, de tal manera que generan la ruptura del equilibrio termodinámico por la comprensión de la capa eléctrica de las partículas (Banchón et al., 2016).

- **Coagulante natural de origen animal:**

Entre los metabolitos de origen animal utilizados en el tratamiento de agua destaca el quitosano, un biopolímero obtenido a partir de la quitina presente en los exoesqueletos de organismos como crustáceos y moluscos. Este compuesto ha sido aplicado como agente coagulante

y floculante principalmente en efluentes industriales y, en menor proporción, en procesos de potabilización de agua. Estudios a escala de laboratorio han demostrado que el quitosano puede alcanzar eficiencias de remoción de turbidez cercanas al 98 %, especialmente cuando se trabaja con aguas de baja turbidez, inferiores a 90 NTU (Murillo Montoya et al., 2020).

- **Coagulante natural de origen vegetal:**

La mayor parte de los extractos vegetales utilizados como agentes coagulantes y floculantes se obtienen a partir de distintos órganos de las plantas, tales como hojas, flores, semillas y raíces. Estas sustancias corresponden a polímeros de origen natural, los cuales han sido aplicados en procesos de tratamiento de agua en diversas regiones del mundo, empleando una amplia variedad de especies vegetales como fuente coagulante (Murillo Montoya et al., 2020).

2.2.9.1. Ventajas de los coagulantes naturales de origen vegetal

En contraste con los coagulantes químicos convencionales, los coagulantes naturales de origen vegetal constituyen una alternativa técnicamente viable y ambientalmente favorable, ya que se caracterizan por su baja toxicidad, seguridad de uso y reducido impacto ecológico. Diversos estudios han evidenciado que su aplicación en el tratamiento de agua conduce a una disminución significativa en la generación de lodos, pudiendo alcanzar volúmenes considerablemente inferiores a los producidos por coagulantes basados en sales metálicas. Además, los lodos resultantes presentan una naturaleza orgánica y biodegradable, lo que facilita su manejo, tratamiento y disposición final, contribuyendo a la reducción de los costos operativos asociados. Desde el punto de vista ambiental y sanitario, estos coagulantes no incorporan metales potencialmente tóxicos al agua tratada, minimizando los riesgos para la salud humana. Asimismo, al proceder de recursos renovables y, en muchos casos, disponibles para su cultivo local, favorecen la sostenibilidad del proceso de tratamiento. Otra ventaja relevante es su escasa influencia sobre el pH del agua, dado

que generalmente no provocan variaciones significativas en este parámetro. Finalmente, se ha reportado que ciertos coagulantes naturales presentan propiedades complementarias, como actividad antimicrobiana, lo que puede potenciar la eficiencia global del tratamiento del agua (Choy et al., 2014).

2.2.10. *Moringa oleifera*

La Moringa oleifera es una especie vegetal originaria del norte de la India que, en la actualidad, se encuentra ampliamente distribuida en regiones tropicales y subtropicales del mundo. La diversidad de denominaciones comunes, tanto en inglés como en lenguas locales, refleja la multiplicidad de usos asociados a esta especie y a sus diferentes partes. En determinados países es denominada “árbol del palo de tambor”, en referencia a la forma alargada de sus vainas, las cuales constituyen un importante recurso alimenticio en zonas de Asia y África. Asimismo, es conocida como “árbol del rábano picante” debido al sabor característico de sus raíces, utilizadas históricamente como sustituto del rábano en la gastronomía. Desde el punto de vista agronómico, *Moringa oleifera* puede propagarse tanto por vía sexual, mediante semillas, como por reproducción vegetativa a través de estacas. La especie presenta una elevada tolerancia a condiciones de estrés hídrico, siendo capaz de desarrollarse en ambientes áridos y semiáridos. Además, se caracteriza por su rápido crecimiento y su escasa demanda de manejo hortícola, alcanzando alturas cercanas a los cuatro metros en periodos cortos de tiempo (Folkard y Sutherland, 1996). En este contexto, en la tabla 4 se explica el uso y las aplicaciones más relevantes de cada parte de la *Moringa oleifera* según varios autores.

Tabla 4*Uso y aplicación del árbol de Moringa oleifera*

Parte	Usos y aplicaciones
Semillas	- La cascara de la semilla puede emplearse para la preparación de carbón activado. - Pueden emplearse como coagulante natural para el tratamiento de aguas. - El aceite de las semillas puede emplearse en la dieta humana, la producción de biodiesel, lubricante de maquinaria fina y la elaboración de productos de cuidado personal.
Hojas	- Rica en proteína, vitaminas y minerales.
Raíces	- Poseen actividad antiinflamatoria.
Flores	- Propiedades para reducir la hipocolesterolemia. - Gran fuente de néctar aprovechada por los criadores de abejas.

Nota. Adaptado de Arenas Diaz (2019).

Semilla de *Moringa oleifera* como coagulante natural: Estas semillas pueden ser utilizadas para purificar el agua, ya que está compuesta de proteínas que son solubles en agua con carga neta positiva, por ello tiene la capacidad de llevar a cabo el proceso de coagulación en el tratamiento del agua. Además, tienen una semejanza con el sulfato de aluminio, debido a su capacidad coagulante, pero con la ventaja de tener un costo reducido, no alterar significativamente el pH del agua y el lodo producido es biodegradable (Prat del Río et al., 2015).

2.2.10.1. Características botánicas

- ***Taxonomía:***

Moringa oleifera Lam. es una especie perteneciente a la familia Moringaceae, la cual se caracteriza por estar representada taxonómicamente por un solo género, *Moringa*, que comprende

cerca de trece especies distribuidas principalmente en regiones de África y Asia occidental. Entre ellas, *Moringa oleifera* Lam. destaca por ser la más ampliamente cultivada y utilizada a nivel global.

Tabla 5

Clasificación taxonómica de la Moringa oleifera

Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
Super División	Spermatophyta
División	Magnoliophyta
Clase	Eudicots
Subclase	Rosids
Orden	Brassicales
Familia	Moringaceae
Género	<i>Moringa</i>
Especie	<i>Moringa oleifera</i>

Nota. Adaptado de Arenas Diaz (2019).

- **Morfología:**

La moringa es una especie arbórea de rápido crecimiento, de hábito perenne o caducifolio, que puede alcanzar entre 7 y 12 m de altura y presenta una vida útil aproximada de 20 años. Se caracteriza por una copa abierta, ramificación frágil, una corteza gruesa de color claro y textura suberosa. Sus hojas son compuestas, tripinnadas y dispuestas en espiral, con folíolos pequeños de forma elíptica u obovada, con margen entero y ligera pubescencia, además de glándulas foliares localizadas en el pecíolo y el raquis. Las flores son hermafroditas, fragantes y de tonalidad blanco y amarillenta, dispuestas en panículas axilares o terminales, con una estructura floral típica que incluye cinco pétalos desiguales, estambres funcionales y estaminodios. El fruto es una cápsula

alargada y colgante que se abre longitudinalmente al madurar, liberando semillas de forma trigonal provistas de alas papiráceas. Las semillas contienen reservas lipídicas y, al hidratarse, generan una capa mucilaginosa que favorece su dispersión (Mendoza et al., 2015).

- **Condiciones ecológicas:**

La *Moringa oleifera* se ha dispersado desde su área de origen hacia amplias regiones de la zona tropical mundial, principalmente dentro del intervalo latitudinal de 0 a 25° en ambos hemisferios. Actualmente se cultiva en áreas de África, América y la región del Pacífico, donde se desarrolla bajo distintos regímenes climáticos tropicales, incluyendo ambientes húmedos, de sabana y áridos. La elevada plasticidad ecológica de la especie le permite adaptarse a condiciones climáticas diversas, extendiendo su cultivo incluso a zonas con climas ecuatoriales, tropicales secos y monzónicos, más allá de su distribución natural (González Minero, 2018).

- **Suelo:** La *Moringa oleifera* presenta amplia adaptabilidad a distintos tipos de suelos y rangos de pH. Su desarrollo es más eficiente en sustratos de textura suelta y buen drenaje, pudiendo establecerse incluso en terrenos de baja calidad o con leve salinidad; no obstante, es susceptible a suelos mal drenados y con alta compactación (González Minero, 2018).

- **Temperatura:** La especie se encuentra fisiológicamente adaptada a ambientes tropicales de altas temperaturas, tanto en condiciones húmedas como secas. Su desempeño óptimo ocurre en climas cálidos, mientras que la exposición continua a temperaturas bajas afecta negativamente su crecimiento y viabilidad (González Minero, 2018).

- **Precipitaciones:** Puede desarrollarse bajo condiciones de precipitación muy variables, desde zonas con baja disponibilidad hídrica hasta regiones lluviosas (González Minero, 2018).

- **Altitud:** Su cultivo es viable desde zonas costeras hasta altitudes intermedias; sin embargo, a medida que aumenta la elevación, se observa una disminución progresiva en la velocidad de crecimiento y en el rendimiento del cultivo (González Minero, 2018).
- **Siembra:** La propagación puede realizarse por vía sexual o vegetativa. El uso de semillas favorece la formación de un sistema radicular profundo, lo que mejora la resistencia a la sequía, mientras que los esquejes permiten una implantación más rápida del cultivo (González Minero, 2018).
- **Espaciamiento de siembra:** El marco de plantación se ajusta según el objetivo productivo, debido a su alta sensibilidad a la radiación solar. Los sistemas intensivos utilizan altas densidades, en contraste con los sistemas arbóreos, donde se aplican mayores distancias entre plantas para favorecer su arquitectura (González Minero, 2018).
- **Crecimiento:** Se caracteriza por un crecimiento rápido y una respuesta positiva a prácticas de manejo como el riego, la fertilización orgánica y las podas periódicas. En condiciones adecuadas, puede generar biomasa y fructificar en más de un ciclo anual, aunque su periodo productivo es limitado (González Minero, 2018).

2.2.10.2. Composición de la *Moringa oleifera*

Está compuesto por diecisiete aminoácidos, entre los que se incluyen el ácido aspártico, ácido glutámico, serina, glicina, histidina, arginina, treonina, alanina, prolina, tirosina, valina, metionina, cistina, isoleucina, leucina, fenilalanina y lisina. Este último aminoácido podría intervenir en los procesos de neutralización y desestabilización de las partículas coloidales responsables de la turbidez del agua, favoreciendo su posterior coagulación. Asimismo, los aminoácidos polares de carácter hidrofílico, tales como el ácido glutámico, ácido aspártico,

arginina, histidina y lisina, se encuentran presentes en el componente coagulante activo de las semillas de *Moringa oleifera*. En consecuencia, se infiere que dicho coagulante está constituido por proteínas o cadenas polipeptídicas solubles en agua, lo que facilita una mayor interacción con las partículas coloidales presentes en aguas turbias y contribuye a mejorar la eficiencia del proceso de coagulación (Olivero Verbel et al., 2020). En la tabla 6, se muestra el análisis proximal de la semilla de *Moringa oleifera*.

Tabla 6

Composición proximal de la semilla de Moringa oleifera

Parámetro	Abdulkarim et al. (2005) Malasia	Leone et al., (2016)	Adegbe et al. (2016) (Nigeria)
Grasa / Aceite	30.8 $\pm$ 2.19	36.7 $\pm$ 2.8	32.50 $\pm$ 7.78
Proteínas	38.3 $\pm$ 1.03	31.4 $\pm$ 1.3	39.57 $\pm$ 3.23
Carbohidratos	16.5	18.4	7.44 $\pm$ 10.30
Fibra	4.5 $\pm$ 0.38	6.8 - 8.0	5.00 $\pm$ 0.00
Ceniza	6.5 $\pm$ 0.15	4.4 – 6.9	5.00 $\pm$ 0.00
Humedad	7.9 $\pm$ 1.00	5.7 – 8.9	10.50 5.00 $\pm$ 0.71

Nota. Adaptado de Arenas Diaz (2019).

Según Arenas Diaz (2019) en la semilla de *Moringa oleifera* se encuentran variedad de proteínas que tienen capacidad coagulante, tales como:

- **MO.2.1:** Esta es una proteína con peso molecular de 6.5 kDA aproximadamente, compuesto por 60 aminoácidos y que se distingue por su mayor concentración de carga positiva, conteniendo solo un aminoácido negativo que no es tan significativo. Además, contiene 14 glutaminas que son causantes de la oligomerización de esta proteína MO2.1 gracias a la forma

hoja beta plegada entre ellas, esta oligomerización podría explicar el potencial coagulante de esta proteína (Broin et al., 2002).

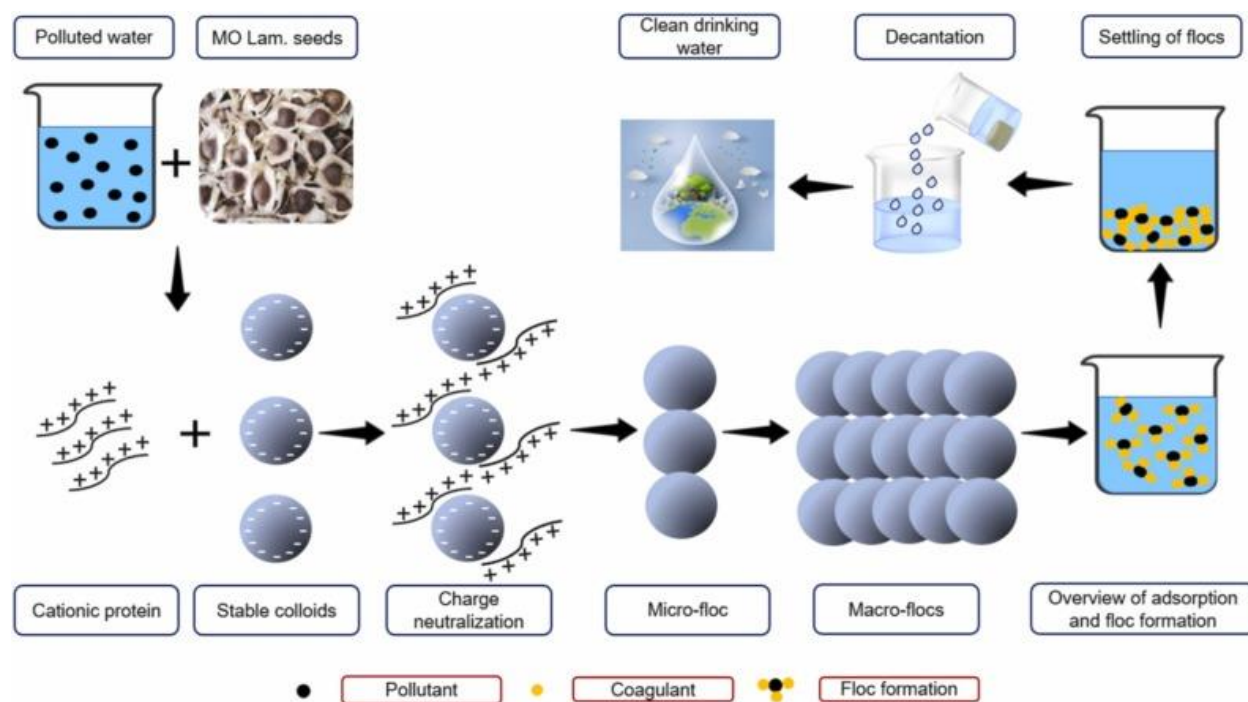
- **Lectinas:** Estas lectinas están presentes en las semillas de la moringa, como proteínas heterogéneas que están en interacción específica y reversible a determinados carbohidratos. Asimismo, se identifica lectinas con potencial coagulante de dos tipos, lectinas cMol (coagulant *Moringa oleifera* lectin) y lecticas WSMol (Water soluble *Moringa oleifera* lectin), entre estas dos la lectina cMol es similar al sulfato de aluminio, es una proteína monomérica de 30kDa mientras tanto la WSMol viene a ser ácida (Santos et al., 2005).
- **Ceeropin A:** Viene a ser un péptido antimicrobiano de 4Kda con capacidad coagulante, similar al efecto coagulante del sulfato de aluminio (Ghebremichael et al., 2005).
- **MO 3.1. y MO 4.1:** Diversas investigaciones han señalado la presencia de fracciones proteicas con capacidad floculante, particularmente péptidos derivados de proteínas específicas aisladas de la semilla. Se ha reportado que secuencias cortas de aminoácidos correspondientes a las proteínas denominadas MO 3.1 y MO 4.1 presentan similitud estructural con la proteína MO 2.1, lo que sugiere una posible relación funcional entre ellas. Estas homologías podrían estar asociadas a la actividad coagulante observada, atribuida a la interacción electrostática entre las regiones cargadas de dichas proteínas y las partículas suspendidas en el agua (Broin et al., 2002).
- **Polielectrolito orgánico:** Según lo reportado por Okuda et al. (2001), durante la purificación del principio activo presente en el extracto salino (NaCl) de semillas de *Moringa oleifera*, se determinó que la sustancia responsable de la actividad coagulante es de un polielectrolito orgánico de aproximadamente 3 kDa de peso molecular. Este compuesto mostró eficacia en el tratamiento de aguas con baja turbidez sin generar incrementos significativos en el

carbono orgánico residual después del proceso de coagulación. Mediante análisis de espectroscopía infrarroja, identificó como los principales grupos funcionales del polielectrolito como grupos amino e hidroxilo, así como una menor proporción de grupos carboxilo, tienen esa capacidad de interacción con partículas suspendidas en el agua.

- **Proteína 66kDa:** Es una proteína de peso molecular de 66 kDa con propiedades coagulantes, esta capacidad se midió en una muestra de agua de 30 unidades derivada de partículas del suelo, y su comparación fue hecha con la del sulfato de aluminio. La proteína 66 kDa redujo la opacidad de la muestra en un 51% y el sulfato de aluminio en un 61%. La proteína 66 kDa presenta propiedades únicamente coagulantes y no antimicrobianas; al igual que otros péptidos catiónicos (Agrawal et al., 2007).

2.2.10.3. Mecanismos de coagulación de *Moringa oleifera*

En el caso de la semilla de *Moringa oleifera*, predomina el mecanismo de adsorción y neutralización de carga, debido al contenido de proteínas catiónicas encargadas de neutralizar las cargas negativas de las partículas coloidales, el proceso se da cuando se adhieren a superficies con carga opuesta, reduciendo la potencial zeta a valores próximos a cero, con la intervención de interacciones electrostáticas, enlaces de hidrógeno y diversos grupos funcionales para finalmente puedan agregarse y formar flóculos. Asimismo, la coagulación se puede dar por el mecanismo de puente y adsorción, en este caso las proteínas de la semilla de *Moringa oleifera* se fijan parcialmente a una partícula coloidal y, a través de sus cadenas libres, se enlaza con otra, promoviendo la agregación y formación de flóculos (Shah, Arjunan, Batool, Chike, et al., 2025).

Figura 8*Mecanismo de neutralización de cargas*

Nota. Adaptado de Shah, Arjunan, et al. (2024).

2.2.10.4. Mecanismo Bioquímico de Coagulación

Según Kakkar et al. (2025), las proteínas catiónicas presentes en *Moringa oleifera* contienen residuos de aminoácidos básicos, los cuales aportan carga positiva en solución acuosa debido a la protonación de sus grupos funcionales. Entre los más importantes se encuentran:

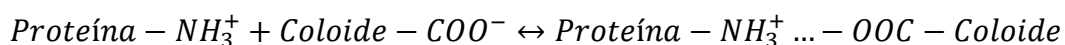
- Lisina (Lys): grupo amino protonado ($-NH_3^+$)
- Arginina (Arg): $(-C(NH_2)_2 NH^+)$
- Histidina (His): Anillo imidazol protonado ($-C_3H_3N_2H^+$)

Estos grupos funcionales permiten la interacción con superficies coloidales cargadas negativamente, tales como grupos carboxilato ($-COO^-$) o hidroxilos desprotonados ($-O^-$).

Según Okuda et al. (2001) el mecanismo de coagulación se basa principalmente en:

- **Neutralización de carga por adsorción electrostática:** donde los grupos protonados de la proteína interactúan con los sitios negativos de las partículas coloidales, reduciendo las fuerzas de repulsión y favoreciendo la agregación.

La ecuación representativa del proceso es:

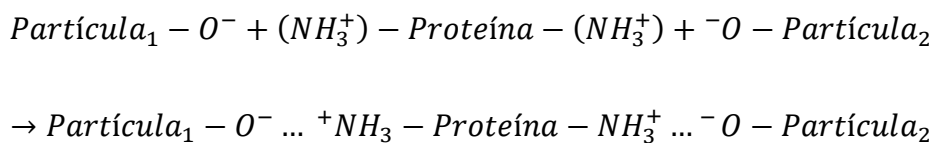


- **Formación de puentes moleculares:** Además de la neutralización de carga, las proteínas de *Moringa oleifera* actúan mediante un mecanismo de puenteo polimérico, donde una misma cadena proteica se une a múltiples partículas.

Este proceso ocurre gracias a la presencia de enlaces y fuerzas intermoleculares:

- Enlaces electrostáticos: entre grupos $-\text{NH}_3^+$ (protonados) de la proteína y superficies coloidales con carga negativas ($-\text{O}^-$, $-\text{COO}^-$).
- Puentes de hidrógeno ($-\text{OH} \cdots \text{O} =$ y $-\text{NH} \cdots \text{O} =$)
- Interacciones de Van der Waals, que contribuye a la estabilidad del agregado.

Desde un enfoque químico, el mecanismo de puenteo puede representarse como:



2.2.10.5. Uso de la semilla de *Moringa oleifera* en tratamiento de agua

La semilla de *Moringa oleifera* destaca por su uso extendido en el tratamiento de aguas, atribuible a la presencia de proteínas catiónicas solubles en agua capaces de inducir la agregación

y posterior sedimentación de partículas mediante mecanismos de neutralización de cargas o puente (Goncalves et al., 2024). De igual manera, otro autor menciona que la capacidad de *Moringa oleifera* para el tratamiento de aguas es debido a compuestos proteicos activos en sus semillas, los cuales actúan como coagulantes naturales. Estas proteínas poseen carga positiva, lo que les permite interactuar con partículas y microorganismos de carga negativa presentes en el agua, promoviendo su aglomeración en flóculos de mayor tamaño que se eliminan por sedimentación. Se ha observado que las semillas maduras presentan una mayor eficiencia en la reducción de la turbidez en comparación con las semillas inmaduras. En términos de desempeño, este coagulante natural presenta una eficacia comparable a la de los coagulantes químicos tradicionales empleados en el tratamiento de aguas (Shah, Arjunan, Batool, Chike, et al., 2025).

2.2.10.6. Ventajas del coagulante natural de la semilla de *Moringa oleifera*

Moringa oleifera es un árbol de rápido crecimiento que puede cultivarse con facilidad en zonas rurales, esto le convierte en una alternativa accesible para el tratamiento de agua en comunidades con recursos limitados. Además, presenta generación de menores volúmenes de lodo, por ende, baja toxicidad y pueden ser reutilizados con fines agrícolas. De manera complementaria, se ha observado que puede contribuir a la disminución parcial de la dureza del agua al interactuar con iones de calcio y magnesio. El uso de sus semillas como coagulante natural ha demostrado ser eficaz en la reducción de la turbidez, especialmente en aguas con alta concentración de sólidos suspendidos (Okuda et al., 2001).

2.2.11. Factores que influyen en la eficiencia del coagulante

2.2.11.1. Dosis de coagulante

La dosis es un factor que influye en la eficiencia del coagulante, puesto que, al adicionar una mínima cantidad de coagulante, no neutraliza en su totalidad las cargas, por ende, la formación

de flóculos es mínima y no hay una óptima reducción de turbidez, de igual manera se da cuando se adiciona una alta cantidad de coagulante, esto ocasiona una inversión de la carga de partículas, produciendo demasiados microflóculos y esto lleva a una sedimentación lenta. Por ello, es sumamente importante la selección optima de la dosis a aplicar, la cual se va determinar al realizar ensayos de test de jarras (Andia Cárdenas, 2000).

2.2.11.2. Granulometría del coagulante

La granulometría también es un factor importante en la evaluación de la eficiencia de la semilla de *Moringa oleifera*, ya que al adicionar coagulantes de menor diámetros trabaja mejor, porque no precipita rápidamente y tampoco se mantienen en la superficie de las muestras, a comparación de coagulantes de mayor diámetro, que precipitan rápido y no realizan bien el trabajo de coagulación y floculación (Astudillo Loyola y Mera Orlando, 2017).

2.2.11.3. Influencia de la turbiedad

Es de gran importancia evaluar la turbidez inicial de la muestra, ya que para cada turbidez se da una cantidad optima de coagulante y esta permite obtener la turbidez residual más baja. Cuando la turbidez del agua es alta se debe aumentar también la dosis del coagulante, pero cuando la turbiedad es baja se adiciona casi igual como si tuviera una turbidez alta, debido a que la coagulación es baja (Andia Cárdenas, 2000).

2.2.11.4. pH del agua

Este es uno de los factores que más se debe tener en cuenta al realizar la coagulación, el rango del pH que se debe tener va en función de la naturaleza del agua y del tipo de coagulante a usar, en caso no se siga esta recomendación y el rango del pH no es óptimo se tiene que aumentar el coagulante, lo cual quiere decir una dosis más alta. En este sentido, cada coagulante químico tiene un rango de pH, por ejemplo, para sales de aluminio el pH optimo va en el rango de 6.5 y

8.0, pero para sales de hierro está en el rango de 5.5 y 8.5 unidades (Andia Cárdenas, 2000). En caso de un coagulante natural como la semilla de *Moringa oleifera*, requiere de un pH óptimo entre 6,5 y 8,0; fuera de este rango, la eficiencia del coagulante natural disminuye (Meza Leones et al., 2018).

2.2.11.5. Parámetros operacionales

- **Mezcla rápida:** Esta mezcla rápida se da para comenzar con la prueba de jarras, después de haber adicionado los coagulantes, da paso a la coagulación al minimizar las fuerzas repulsivas entre partículas. El tiempo para esta mezcla viene a ser de 1 a 3 minutos (Trujillo et al., 2014).
- **Mezcla lenta:** Esta mezcla como su propio nombre lo dice, es un proceso lento que le sigue a la mezcla rápida, en donde trata de mantener los componentes mezclados para promover la formación de flóculos y dar pase al proceso de floculación (Trujillo et al., 2014).

2.2.12. Preparación del coagulante de *Moringa oleifera*

2.2.12.1. Preparación de la semilla

- **Secado:** Las semillas deben someterse a un proceso de deshidratación completa, preferentemente en condiciones de sombra o a temperaturas controladas y moderadas, con el fin de conservar la actividad funcional de las proteínas responsables del efecto coagulante (Kakkar y Dharavat, 2025).
- **Descascarillado:** La remoción de la cubierta externa de las semillas permite exponer el endospermo o núcleo con mayor contenido proteico, lo que facilita y optimiza el proceso de extracción de los compuestos activos (Kakkar y Dharavat, 2025).
- **Molienda:** Los granos previamente descascarados se trituran hasta obtener un material pulverizado de granulometría fina, incrementando el área superficial disponible. Esto favorece la

solubilización de las proteínas y acelera su interacción con las partículas presentes en el agua, mejorando la eficiencia del proceso de coagulación (Kakkar y Dharavat, 2025).

2.2.12.2. Método de extracción

- **Extracción salina (NaCl):** La aplicación de soluciones salinas, comúnmente utilizado el cloruro de sodio a concentraciones cercanas a 1 M, incrementa de manera notable la eficiencia en la solubilización y recuperación de proteínas coagulantes. Como resultado, se obtiene un extracto con mayor capacidad para la remoción de turbidez, en comparación con los extractos preparados únicamente con agua (Kakkar y Dharavat, 2025).
- **Extracción acuosa:** Este procedimiento emplea exclusivamente agua como solvente, lo que lo convierte en una alternativa de ejecución sencilla. No obstante, generalmente presenta una menor eficiencia en la extracción de los compuestos activos, por lo que se requieren dosis más elevadas del extracto para alcanzar niveles de coagulación similares a los obtenidos mediante métodos salinos (Kakkar y Dharavat, 2025).

2.2.13. Coagulante sintético

Esta sustancia es la más utilizada para reducir la turbidez del agua, debido a que actúa como coagulante y floculante (González Alvarado y Sinchi Payana, 2024). Asimismo, tienen una alta efectividad para reducir la turbidez, actúan de manera rápida y requiere menos tiempo de contacto con el agua por ello es mayormente utilizado para el tratamiento de agua potable y actividades agropecuarias (Marin Marquez y Gomez Timoteo, 2024).

Desventaja: El uso de coagulantes de origen inorgánico o sintético puede alterar las condiciones químicas del agua, particularmente el pH. Si bien es cierto, presentan alta eficiencia, su empleo genera residuos que no son biodegradables y pueden provocar impactos ambientales,

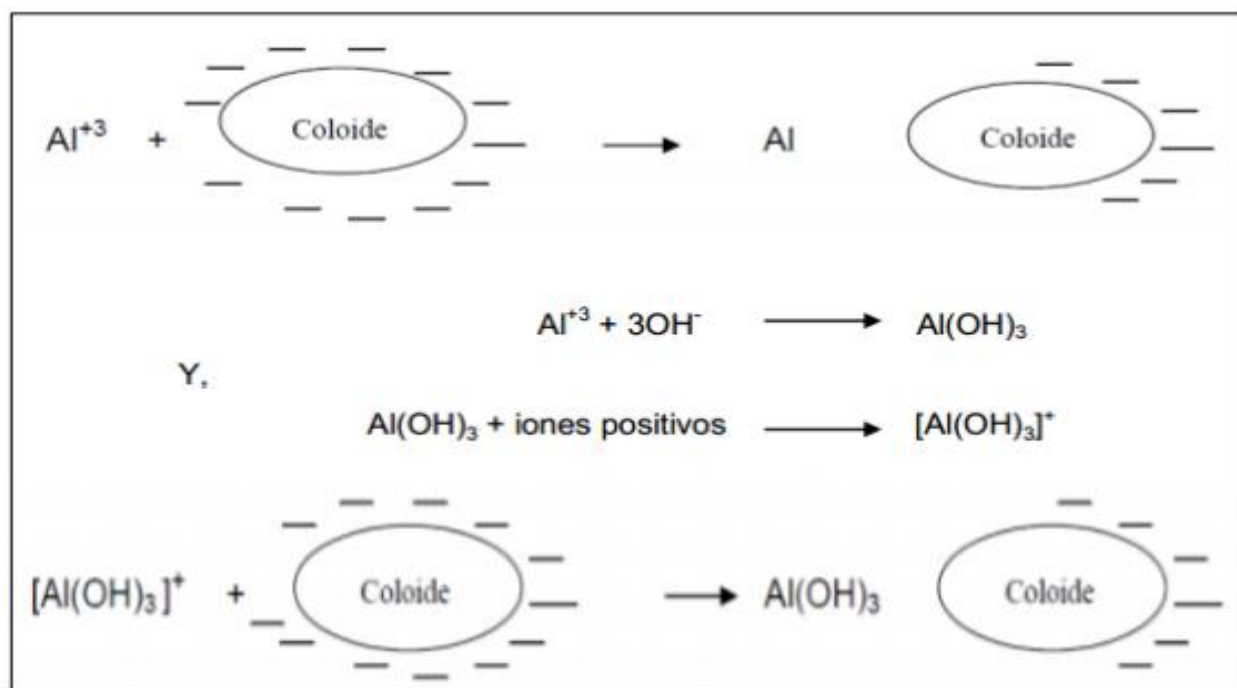
afectando a los ecosistemas acuáticos y dejar remanentes metálicos, como el aluminio, con posibles implicancias en la salud humana (Ariza Ruiz y Gutiérrez Vargas, 2020).

2.2.13.1. Sales de Aluminio

Entre los coagulantes sintéticos más representativos se encuentran el sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), comúnmente conocido como alumbre. Este es el más ampliamente utilizado en los procesos de tratamiento de agua, debido a su bajo costo, alta disponibilidad y facilidad de dosificación y operación (Restrepo Osorno, 2009). En la siguiente figura 9 se puede apreciar el proceso de la neutralización de cargas con el coagulante sulfato de aluminio. El ion aluminio trivalente (Al^{3+}) puede reaccionar con los iones hidroxilo presentes en el agua, dando lugar a la formación de hidróxido de aluminio $\text{Al}(\text{OH})_3$. Este compuesto se genera en forma coloidal y tiene la capacidad de incorporar especies cargadas positivamente en el medio, adquiriendo así una carga superficial neta positiva. Como consecuencia, puede interactuar con partículas coloidales de carga negativa, reduciendo su estabilidad eléctrica y favoreciendo su agregación en el proceso de coagulación (Cerón Pérez, 2016).

Figura 9

Modelo de neutralización de cargas con el coagulante sulfato de aluminio



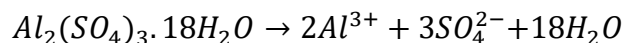
Nota. Adaptado de Cerón Pérez (2016).

El sulfato de aluminio es el coagulante de mayor uso en los sistemas de potabilización de agua, desde el punto de vista químico, corresponde a una sal inorgánica hidratada cuya fórmula teórica es $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$. Comercialmente, este reactivo se distribuye en distintas calidades, entre las que se incluyen el sulfato de aluminio de color claro o bajo contenido de hierro, una variante de tonalidad amarilla que representa la opción más utilizada por su disponibilidad y costo reducido, y una presentación de color oscuro que resulta de la combinación de diferentes grados del producto (Araque Arellano, 2022).

- **Química del sulfato de aluminio**

El sulfato de aluminio se presenta comercialmente en forma hidratada como: $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, cuyo peso molecular varía aproximadamente entre 594 y 666 g/mol,

dependiendo de su grado de hidratación. Al disolverse en agua, este compuesto se disocia completamente, liberando iones aluminio y sulfato:

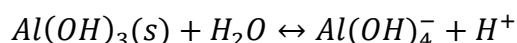
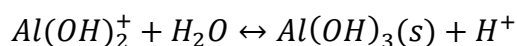
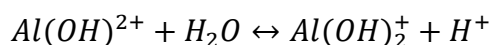
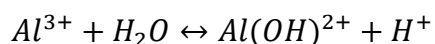


Los iones Al^{3+} generados constituyen la especie activa que inicia una serie de transformaciones químicas en el medio acuoso (Salvatierra Flores, 2024).

Según Salvatierra Flores (2024) las reacciones estequiométricas en medio acuoso se presenta de la siguiente manera:

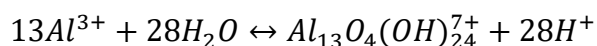
- Hidrólisis del aluminio

En solución acuosa, el ion aluminio (Al^{3+}) sufre un proceso de hidrólisis progresiva, en el cual reacciona con moléculas de agua formando especies hidroxiladas y liberando protones (H^+):



- Formación de especies polinucleares

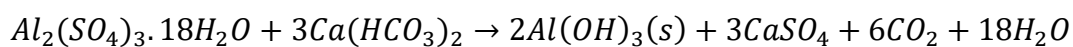
En un rango de pH aproximado entre 5.5 y 7.5, las especies monoméricas de aluminio pueden polimerizarse, formando complejos polinucleares de mayor tamaño y carga. Un ejemplo representativo es:



Este complejo, conocido como ion Al_{13} , presenta una elevada densidad de carga positiva, lo que lo convierte en una especie altamente eficiente para la neutralización de cargas negativas presentes en partículas coloidales (Loiseau et al., 2015).

- Reacción con la alcalinidad natural

Según Crittenden et al. (2012), la eficacia del sulfato de aluminio está estrechamente relacionada con la presencia de alcalinidad en el agua, especialmente en forma de bicarbonatos. En este contexto, ocurre la siguiente reacción global:



Desde el punto de vista estequiométrico:

- 1 mol de $Al_2(SO_4)_3$ consume 3 moles de alcalinidad expresada como $CaCO_3$
- Se generan 2 moles de $Al(OH)_3(s)$, que actúan como flóculos
- Se producen 6 moles de CO_2

2.2.13.2. Sales de hierro

En los procesos de coagulación también se emplean sales de hierro como el cloruro férrico ($FeCl_3$) y los sulfatos de hierro en su forma férrico ($Fe_2(SO_4)_3$) y ferroso ($FeSO_4$). Estos coagulantes se caracterizan por generar flóculos de mayor densidad, los cuales presentan una velocidad de sedimentación superiores en comparación a los flóculos producidos por las sales de aluminio (Restrepo Osorno, 2009).

2.2.14. Método de la evaluación de eficiencia

2.2.14.1. Prueba de jarras

La prueba de jarras es una técnica que es usada ampliamente para determinar una dosis optima y otros parámetros para la potabilización del agua. En esta prueba se simula los procesos

de coagulación, floculación y sedimentación a un nivel de laboratorio que permite obtener agua de excelente calidad (Bolaños Alvear, 2014).

La prueba de jarras viene a ser un método experimental donde se denomina las dosis optima empíricamente, viene a ser principalmente una simulación de las condiciones y procesos que toma lugar a una clarificación del agua (Bolaños Alvear, 2014).

2.2.14.2. Medición de turbidez

La turbidez en el agua viene a ser causada por coloides, que tienen un tamaño diminuto y logran estar en suspensión causando la reducción de la claridad del agua, ya sea en alto o bajo grado. Por ello, se realiza la medición de la turbidez usando un turbidímetro que va medir en unidades nefelométricas de turbiedad (UNT) (Arenas Diaz, 2019). Para su cuantificación se usa la nefelometría, que determina la turbidez mediante la medición de la luz dispersada por una muestra y su comparación con un patrón de referencia bajo condiciones controladas. A mayor intensidad de luz, mayor es el nivel de turbidez (Barisoni & Ghione, 2022).

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017), menciona que para que el agua ingrese al proceso de desinfección, tiene que tener una turbidez baja, puede estar entre 1 NTU y 5 NTU, pero no superar este valor.

2.2.14.3. Cálculo de la remoción de turbidez

Según Arango Mesa et al. (2017), para el cálculo de la remoción de turbidez se toma en cuenta esta fórmula:

$$\% \text{ Remoción Turbidez } (\%RT) = \frac{\text{Turbidez inicial} - \text{Turbidez final}}{\text{Turbidez inicial}} * 100$$

2.3. Definición de términos

2.3.1. Turbidez

La turbidez del agua es la apariencia que tiene y está es debido a la presencia de partículas, como contaminantes que están en el aire, siendo todos de un tamaño microscópicos. Asimismo, la turbidez de las aguas no es de igual intensidad en todas, esto es debido a que algunas están expuestas a más contaminación que otras, también puede intervenir el tipo de clima de la zona, puesto que si se da más precipitaciones existe mayor turbidez a comparación de aguas donde existe mayor radiación solar causando estratificación en sus aguas y, por lo tanto, una menor turbidez. La importancia de medir la turbidez que tiene el agua es de vital importancia, ya que esto designa si el agua va servir para el consumo de una población o no (IDEAM, 2007).

2.3.2. Coagulación

La coagulación es un proceso donde las partículas coloidales de un agua determinada se desestabilizan, de manera que se agrupan y llegue a caer por gravedad (Sifuentes Iparraguirre, 2019), existen muchísimos coagulantes, de los cuales, las que causan más daños son los coagulantes químicos ya que estos causan una alteración en el pH del agua (Díaz Aliaga y Tatur Izquierdo, 2020).

2.3.3. Floculación

La floculación es la fase donde las partículas desestabilizadas son aglomeradas y forman flóculos de mayor peso, por ende, se genere la sedimentación más rápido (Joshi et al., 2020). En este contexto, la floculación es la aglomeración de particular en suspensión o micro flóculos formados en el proceso de la coagulación.

2.3.4. Semilla de *Moringa oleifera*

Las semillas de moringa contienen proteínas mayormente de carga positiva, creando una atracción electrostática con partículas cargadas negativamente en el agua. Los estudios han demostrado que la moringa no es tóxica, es más barata que los coagulantes químicos, biodegradable y, por tanto, respetuosa con el medio ambiente (Gandiwa et al., 2020).

2.3.5. Granulometría

Se refiere a la distribución de tamaño de partículas de un material sólido. En el caso de la semilla de *Moringa oleifera*, se refiere al tamaño de las partículas de polvo obtenidas por el proceso de molido y tamizado (Nkurunziza et al., 2009).

2.3.6. Dosis optima

La dosis optima se define como la mejor cantidad volumétrica aplicada a una concentración específica, por ende, la dosis optima del coagulante tiene que promover la formación de flóculos de mayor tamaño, densidad y grado de compactación, estas características favorecen una mayor velocidad de sedimentación de las partículas agregadas, lo que se traduce en una mayor eficiencia del proceso y en un incremento significativo en la remoción de la turbidez del agua (Canaza Chicasaca y Mamani Condori, 2020).

2.3.7. pH

Es un parámetro que también es conocido como potencial de hidrogeno, el cual mide la actividad de iones hidrogeno en solución (Astudillo Loyola y Mera Orlando, 2017). El $pH = -\log [H_3O^+]$ ($pOH = -\log [OH^-]$), por ello viene a ser un valor numérico, una magnitud cuantitativo, $pH > 7$ son básicas y si es $pH < 7$ son ácidas y si el pH está en valor de 7 es neutra (Jiménez Liso et al., 2000).

2.3.8. Control positivo

Es un tratamiento comparativo de eficacia comprobada, como el sulfato de aluminio usado como referencia comparativa en diferentes estudios experimentales (Montgomery, 2013).

2.3.9. Colides

Se trata de pequeñas partículas sólidas que no son capaces de sedimentar por gravedad, sino necesitan de procesos como la coagulación, filtración o acciones biológicas, estos coloides en una dispersión acuosa determinada tienen las mismas cargas, ya sea positiva o negativa, por ello, se genera la repulsión electrostática, lo que hace que se mantengan separados y exista dificultad para eliminarlos (Olivero Verbel et al., 2020).

2.3.10. Flóculo

Conjunto de partículas coloidales desestabilizadas que se unen para formar estructuras de mayor tamaño y densidad, las cuales son capaces de sedimentar, debido a su tamaño que oscila entre 0.1 y 10 mm (Gregorio y Duan, 2001).

2.3.11. Gradiente de velocidad

Viene a ser la variación de la velocidad de un fluido en función a la distancia espacial, si ocurre un incremento de este parámetro, se da una mayor frecuencia de colisión y aglomeración de partículas; pero, si estos valores se exceden pueden intensificar las fuerzas de cizallamiento hidrodinámico provocando fragmentos de flóculos formados. Por ello, este parámetro debe ajustarse progresivamente decreciente a lo largo de las etapas del floculador con el fin de evitar zonas intermedias con gradientes elevadas, no favorables para la estabilidad de los flóculos (González Alvarado y Sinchi Payana, 2024).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y nivel de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

La investigación de tipo aplicada tiene el propósito de transformar la teoría en herramientas o tecnologías que permiten resolver problemas concretos contribuir al progreso de los sectores productivos y de servicios sociales (Muñoz, 2011). En este contexto, esta investigación es de tipo aplicada, ya que busca generar soluciones prácticas y útiles a partir del conocimiento científico.

3.1.2. Nivel de investigación

El nivel explicativo tiene el objetivo de estudio, analizar un fenómeno en particular con el fin de comprender sus causas y efectos, interpretarlo y dar a conocer el reporte correspondiente. Siguiendo un método formal de investigación, tanto el planteamiento del problema, la forma y las técnicas de recopilar los datos, como el análisis y la explicación de sus resultados están encaminados hacia un mejor entendimiento del comportamiento del fenómeno que se estudia (Muñoz, 2011). En este caso, esta investigación es de tipo explicativo debido a que no se limita a la medición o descripción de la eficiencia del coagulante natural, sino que busca determinar y fundamentar la influencia de dos factores (dosis y la granulometría) en la eficiencia de remoción de turbidez mediante el coagulante natural *Moringa oleifera*. Asimismo, al realizar la comparación con el sulfato de aluminio, permite explicar el desempeño de un coagulante natural frente a un coagulante sintético, bajo condiciones controladas en laboratorio.

3.1.3. Diseño de la investigación

El presente estudio se llevó a cabo bajo un diseño experimental en condiciones de laboratorio, empleando un diseño completamente aleatorizado y las condiciones fueron controladas a lo largo de todo el procedimiento.

Con el propósito de analizar la influencia de la dosis y la granulometría de la semilla de *Moringa oleifera* en la eficiencia de remoción de la turbidez, se implementó un diseño factorial de 3 X 6 con tres repeticiones por cada tratamiento, lo que permitió realizar comparaciones estadísticas confiables entre los diferentes niveles de los factores.

- **Factor A (Granulometría):** 0.55, 0.63, 0.9 mm
- **Factor B (Dosis):** 10, 30, 50, 70, 90, 110 mg/L

La combinación de ambos factores con tres repeticiones por tratamiento constituyó un total de:

- 3 x 6 = 18 tratamientos
- 18 x 3 repeticiones = 54 unidades experimentales

Adicionalmente, se realizaron ensayos con sulfato de aluminio como tratamiento comparativo, aplicando tres repeticiones, lo que generó 18 unidades experimentales adicionales.

En total, se trabajó con 72 unidades experimentales. Cada unidad experimental estuvo representada por muestras individuales de agua superficial sometida a ensayos de coagulación y floculación mediante la prueba de jarras.

La distribución de los tratamientos se efectuó de manera aleatoria con el fin de minimizar posibles fuentes de variación no controladas y garantizar la independencia de las observaciones, en concordancia con los principios metodológicos del diseño experimental propuestos (Montgomery, 2012)

Según Montgomery (2012), para el diseño bifactorial, el modelo es:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta_{ij}) + \varepsilon_{ijk}$$

Para $i = 1, \dots, a$; $j = 1, \dots, b$; $k = 1, \dots, n$ donde:

- μ : es el efecto medio global
- α_i : efecto incremental sobre la medida causada por el nivel i del factor A.
- β_j : efecto incremental sobre la medida causada por el nivel j del factor B.
- $(\alpha\beta_{ij})$: el efecto incremental sobre la media causado por la interacción del nivel i del factor A y el nivel j del factor B.
- ε_{ijk} : el término de error

3.2. **Ámbito temporal y espacial**

3.2.1. **Ámbito Temporal**

La investigación se ejecutó a partir del mes de julio del 2025, hasta el mes de febrero del 2026, el cual se asignó en tres etapas distintas. La primera fase se concentró en la coordinación con la Universidad Nacional Autónoma de Huanta y la entidad SEDA Huanta para el uso de laboratorio. La segunda fase se centró en la recolección de muestras y la parte experimental, este incluye la elaboración del coagulante y diversas pruebas de jarras para determinar los objetivos de esta investigación. Por último, está la tercera fase, el cual se centró en el análisis de los datos recogidos, establecer los resultados, la formulación de conclusiones y recomendaciones que son basadas en los resultados obtenidos.

3.2.2. **Ámbito Espacial**

El estudio se realizó en tres diferentes espacios físicos, el primero fue los laboratorios de la Universidad Nacional Autónoma de Huanta, para la elaboración del coagulante natural a partir de semillas de *Moringa oleifera*. El segundo fue el río Huatatas del distrito de Huamanga,

provincia de Huamanga, región Ayacucho, Perú; de donde se obtuvo la muestra para la prueba de jarras. Por último, fue el laboratorio de SEDA- Huanta en donde se desarrolló los ensayos de prueba de jarras.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población viene a ser el conjunto total de unidades de análisis al cual se va estudiar, también llamado por otros autores como universo. La población se define de acuerdo a los objetivos planteados (Perez y Seca, 2020).

La población de estudio está constituida por aguas superficiales del río Huatatas presentes en el distrito de Huamanga, provincia de Huamanga, región Ayacucho, que presentan niveles de turbidez representativos de las condiciones habituales de la zona.

3.3.2. Muestra

La muestra solo viene a ser un subconjunto de los miembros de una población, ya que evaluar toda la población suele ser costosa y requiere de más tiempo. El método para seleccionar la muestra en una investigación cuantitativa suele ser probabilísticos, o también denominado representativo y/o aleatorio (Cruz del Castillo y Olivares Orozco, 2014).

La investigación se desarrolló a escala de laboratorio, utilizando agua superficial del río Huatatas del distrito de Huamanga. El agua fue recolectada en una sola jornada, la cual fue trasladada al laboratorio de SEDA Huanta. Se recolectó 150L para cubrir todos los tratamientos y réplicas previstos en las pruebas de jarras. Una vez en el laboratorio, la muestra es homogenizada en un recipiente para asegurar condiciones iniciales uniformes de turbidez y pH. La elección de un solo punto de muestreo busca garantizar la homogeneidad de las condiciones iniciales y reducir la

variabilidad que podría interferir en la evaluación. El almacenamiento de la muestra es en bidones, tapados y mantenidos en condiciones ambientales controladas, utilizándose en un plazo máximo de 48 horas después de la recolección para evitar alteraciones en sus características fisicoquímicas.

Figura 10

Mapa del punto de muestreo



3.4. Instrumentos y técnicas

Para esta investigación, se hizo uso de los siguientes instrumentos:

- **Equipo de prueba de jarras:** Este equipo se encuentra en el laboratorio de SEDA-HUANTA, utilizado para simular los procesos de coagulación, floculación y sedimentación a un nivel de laboratorio para determinar la dosis y granulometría optima.

Figura 11

Equipo de prueba de jarras



- **Turbidímetro:** Este equipo se encuentra en el laboratorio de SEDA-HUANTA, el cual se hizo uso para medir la variación de la turbidez a lo largo de los experimentos.

Figura 12

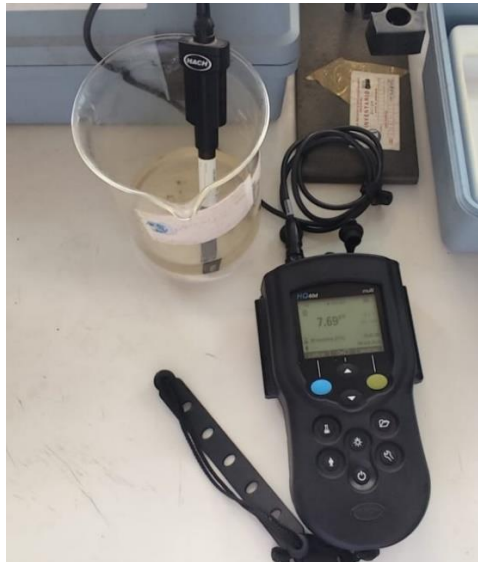
Turbidímetro



- **Equipo multiparámetro:** Este equipo se encuentra en el laboratorio de SEDA-HUANTA, la cual se hizo uso para medir la variación del pH a lo largo de los experimentos.

Figura 13

Equipo multiparámetro



- **Balanza de precisión:** Utilizado para el pesaje preciso al elaborar el coagulante natural para los experimentos.

Figura 14

Balanza de precisión



- **Tamizador eléctrico:** Es utilizado para el tamizado de la semilla de *Moringa oleifera* a 3 distintas granulometrías.

Figura 15

Tamizador eléctrico



- **Licuadora industrial:** Empleado para la trituración de la semilla de *Moringa oleifera*.

Figura 16

Licuadora industrial



- **Agitador magnético:** Este equipo es empleado para mezclar el coagulante natural *Moringa oleifera* con NaCl.

Figura 17

Agitador magnético



- **Ficha de recolección de datos:** Herramienta útil para registrar los datos obtenidos.

Técnicas:

- **Prueba de jarras:** Viene a ser una técnica experimental de laboratorio para simular el proceso de coagulación, floculación y sedimentación del agua. La cual consiste en someter varias muestras con el propósito de determinar la dosis optima del coagulante y evaluar la eficiencia de remoción de turbidez.
- **Dosificación del coagulante:** Esta técnica viene a ser la determinación de la cantidad de coagulante que es añadido al agua de estudio, permitiendo evaluar el efecto a distintas concentraciones sobre la eficiencia de remoción de turbidez.

- **Análisis granulométrico:** Esta técnica permite determinar el tamaño de partículas de un material sólido mediante el uso de tamices. Por ello, en el presente estudio se empleó para la semilla de *Moringa oleifera* con el fin de evaluar su influencia en la eficiencia del proceso de coagulación y floculación.
- **Turbidimetría:** Es una técnica que mide la turbidez del agua a partir de la dispersión de luz causada por las partículas suspendidas.
- **Cálculo matemático:** Consiste en el procedimiento de aplicar una expresión matemática para determinar el porcentaje de remoción de la turbidez, la cual permite evaluar la eficiencia del tratamiento.

3.5. Procedimientos

Es importante señalar que las dosis evaluadas para cada coagulante fueron seleccionadas en función de sus rangos reportados como efectivos en estudios previos y del criterio técnico proporcionado por el analista de SEDA-Huanta, Sabino Curo Condori. Según dicha recomendación, la dosis óptima del sulfato de aluminio se puede encontrar entre un intervalo de 10 a 35 mg/L para una turbidez de 50 NTU (S. Curo Condori, comunicación personal, 1 de octubre de 2025). Para el sulfato de aluminio, se seleccionó un rango de 10, 15, 20, 25,30 y 35 mg/L, lo cual es consistente con investigaciones que muestran su eficacia en concentraciones bajas a moderadas (Pérez Garay, 2015; Kalavathy y Giridhar, 2016). Por su parte, para *Moringa oleifera*, se consideró un rango más amplio de 10, 30, 50, 70, 90 y 110 mg/L, teniendo en cuenta su variabilidad de efectividad según la turbidez inicial, en concordancia con estudios previos, (Enríquez Nateros et al., 2023; Gomez y Marin, 2024). Por ello, la comparación entre ambos

coagulantes se realizó considerando la eficiencia de remoción obtenida por cada coagulante dentro de su respectivo rango operativo evaluado, y no bajo el criterio de equivalencia de dosis.

3.5.1. Toma de muestra de agua superficial del río Huatatas

La obtención de la muestra de agua superficial de río Huatatas se realizó conforme a los lineamientos establecidos por la (Autoridad Nacional del Agua, 2016), Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales emitido por la ANA/MINAM para recepción y conservación de la muestra. Se tomó muestra a 0.2 -0.5m de profundidad, empleando bidones previamente etiquetados, la muestra fue trasladada al laboratorio para los análisis correspondientes dentro de 48 horas como máximo permitido.

➤ Materiales

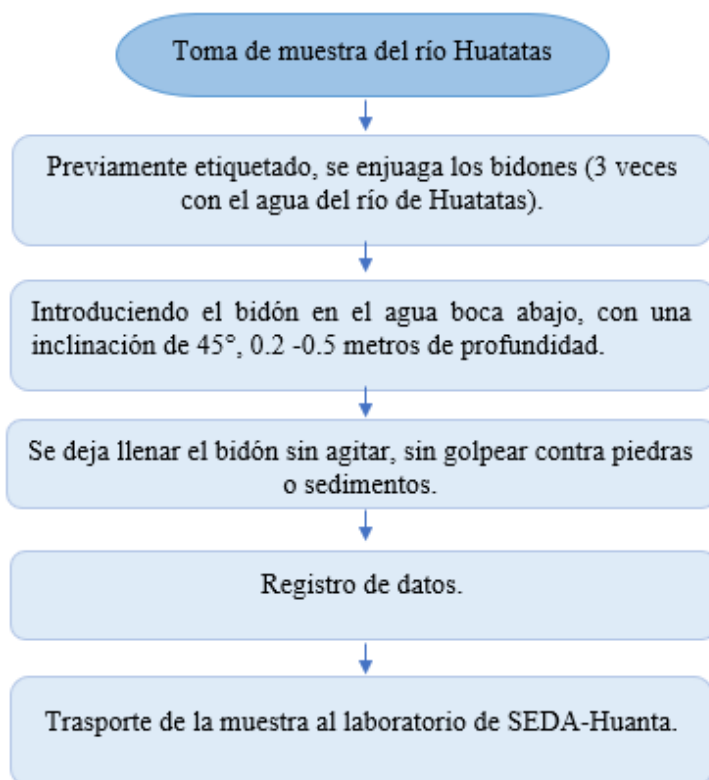
- 2 bidones de 70L
- 1 bidón de 5galones
- Rotulador
- Plumón indeleble
- Celular para georreferencia
- Chaleco
- Botas de jebe
- Guantes
- Libreta de campo

Diagrama de bloques sobre la toma de muestra de agua superficial del río Huatatas

Figura 18

Toma de muestra de agua superficial del río Huatatas

Proceso para la toma de muestra del río Huatatas



Nota. Basada en los lineamientos de la ANA (2016).

Protocolo para la toma de muestra de agua superficial del río Huatatas

a. Preparación inmediata:

- Se verificó los bidones, limpio, seco y previamente etiquetado con: código RHE1-AS-01-2025, fecha/hora, estación, coordenadas, tipo de muestra y responsable.
- Uso de los equipos de protección personal como: guantes, chaleco y botas.
- Preparar el celular para registrar coordenadas.

b. Toma de muestra de agua superficial del río Huatatas:

- Se enjuaga los galones por 3 veces con el agua del río Huatatas con la finalidad de eliminar cualquier residuo, impureza o contaminante que pueda haber y alterar la composición real que se va analizar.
- Para la toma de muestra se ingresa al río con el envase y la boca orientada a favor de la corriente, introduciendo el bidón en el agua boca abajo, con una inclinación de 45° , 0.2 -0.5 metros de profundidad.
- Se deja llenar el bidón sin agitar y sin golpear contra piedras o sedimentos.
- Por último, se retira el bidón de la corriente y se procede a cerrar firmemente sin tocar la parte interna del frasco ni la boca. Este mismo procedimiento se realizó para los todos los bidones, se obtenido 150 L de muestra del mismo lugar.

c. Recolección del agua superficial:

Se procedió a recolectar 150 litros de agua superficial de un punto de muestreo.

Tabla 7

Coordenadas del punto de muestreo

Código	Coordenadas UTM WGS 84 – ZONA 18S	
	Este (x)	Norte (y)
P1	587622.81	8543432.01

d. Registro en hoja de campo:

- Hora exacta del muestreo
- Coordenadas

- Condiciones del río
- Observaciones (color, presencia del algas y lluvias recientes)
- Nombre del colector

e. Transporte de la muestra:

La muestra fue tapada y transportada al laboratorio de SEDA- Huanta el mismo día que fue tomada.

3.5.2. Obtención y preparación del coagulante natural

Para la obtención y preparación del coagulante natural de las semillas de *Moringa oleifera* se aplicó un procedimiento similar al de Carril Flores Alana Del Rosario et al. (2020), en este sentido, las semillas de *Moringa oleifera* fueron obtenidas en el mercado “Nery”, ubicado en la ciudad de Huamanga, se compró teniendo en cuenta que la semilla se encuentre madura y seca. Se utilizó 500kg de semilla de *Moringa oleifera*, de los cuales en el proceso de descarrillado se pierde 120g y sobra 380g, posterior a ello es triturado en la licuadora industrial, perdiendo una cantidad de 2g, quedando 378g.

La selección de las granulometrías de 0,55 mm, 0,63 mm y 0,90 mm se realizó con fines experimentales, con el propósito de evaluar la influencia del tamaño de partícula de la semilla de *Moringa oleifera* en la eficiencia de remoción de turbidez. La elección de dichas granulometrías se sustentó en antecedentes científicos que mencionan que el tamaño de partícula influye remoción de turbidez. En este sentido, Shah, Manning, et al. (2024) estudiaron el efecto del tamaño de partícula de la semilla de *Moringa oleifera*, encontrando influencia significativa en la eficiencia de remoción de turbidez. Asimismo, Carril Flores Alana Del Rosario et al. (2020), en sus recomendaciones, sugieren realizar investigaciones empleando distintas granulometrías de semilla de Moringa, con la finalidad de analizar cómo influye el tamaño de partícula en el proceso de coagulación.

Durante la revisión bibliográfica se identificó limitada información respecto al uso específico de las granulometrías de 0,55 mm, 0,63 mm y 0,90 mm; por ello, la presente investigación incorpora la evaluación experimental de dichas granulometrías como parte del aporte científico del estudio. En ese contexto, el análisis de estos tamaños de partícula busca ampliar la literatura existente sobre coagulantes naturales a base de *Moringa oleifera* y generar evidencia experimental respecto al comportamiento de estas granulometrías en la remoción de turbidez de aguas superficiales.

➤ **Materiales**

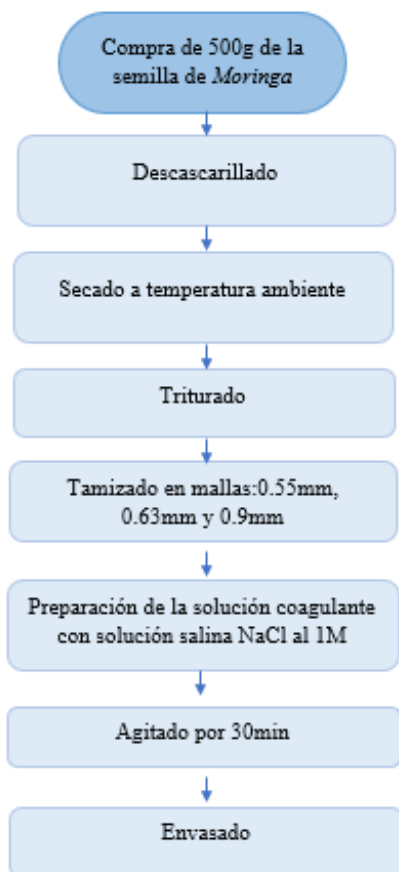
- Envase
- Papel
- Vaso precipitado
- Tamizador eléctrico
- Balanza analítica
- Semilla de *Moringa Oleifera*
- Agua destilada
- Licuadora industrial
- Cloruro de sodio NaCl
- Agitador magnético
- Varilla de vidrio
- Embudo
- Envase de 1L

Diagrama de bloques sobre la obtención del coagulante natural de semilla de *Moringa oleifera*.

Figura 19

Obtención del coagulante natural de semilla de Moringa oleifera.

de semilla de *Moringa oleifera*



Nota. Basada en la metodología de Carril Flores Alana Del Rosario et al. (2020).

- a. **Descascarillado y secado de la semilla de *Moringa oleifera*:** Se procedió a descascarillar y dejar secando a temperatura ambiente por una semana para que pueda ser tamizada.

b. **Triturado de la semilla de *Moringa oleifera*:** El triturado hasta pulverizar se realizó haciendo uso la licuadora industrial en el laboratorio de la Universidad Nacional Autónoma de Huanta.

Figura 20

*Triturado de la semilla de *Moringa oleifera**



- c. **Tamizado de la semilla de *Moringa oleífera* pulverizada en mallas:** El tamizado se realiza con el agitador magnético en tres distintas mallas: 0,55; 0,63 y 0,9 mm.

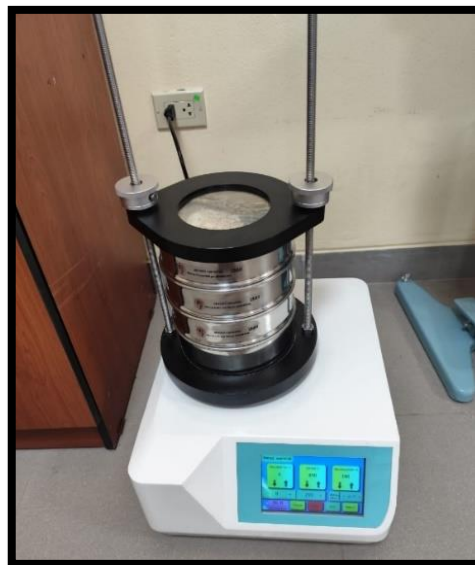
Figura 22

Tamices de: 0,55; 0,63 y 0,9 mm.



Figura 21

Tamizado del coagulante natural



- d. **Mezcla de la solución coagulante con solución salina:** Se preparó 20g de *Moringa oleífera* con cloruro de sodio NaCl al 1M ya que, se ha demostrado que la fuerza iónica de la solución mejora la eficiencia y aumenta la solubilidad en el agua de las proteínas presentes en la semilla de moringa. Este procedimiento se realizó para cada granulometría, es decir para: 0.55 mm, 0.63 mm y 0.9 mm.

Figura 23

Peso de 20g de Moringa oleífera para cada granulometría



- e. **Mezcla de *Moringa oleífera* con NaCl:** Para este pasó se utilizó el agitador magnético por un tiempo de 30 minutos, para cada granulometría.

Figura 24

Mezcla de la solución coagulante con solución salina.

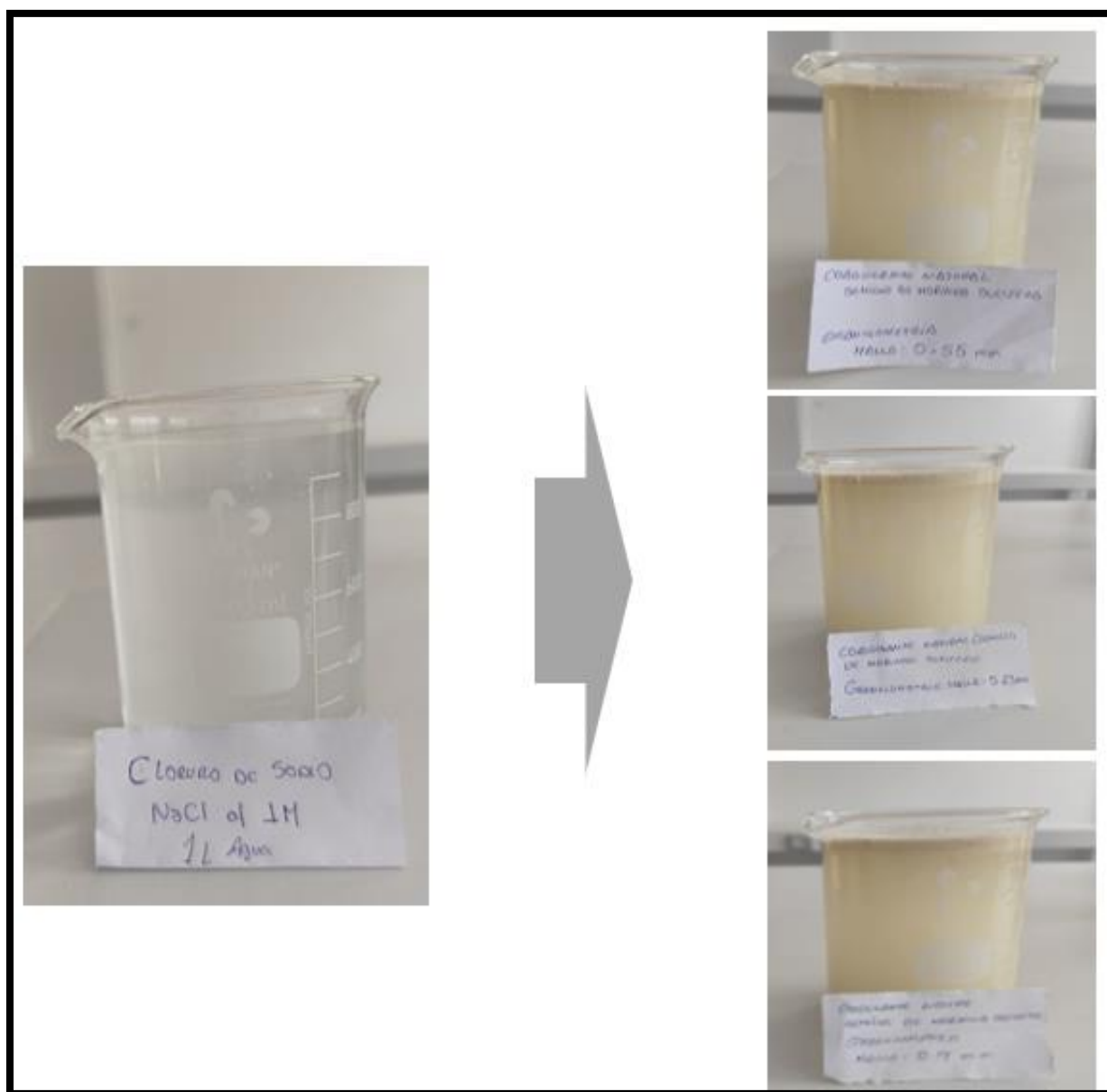


Figura 25

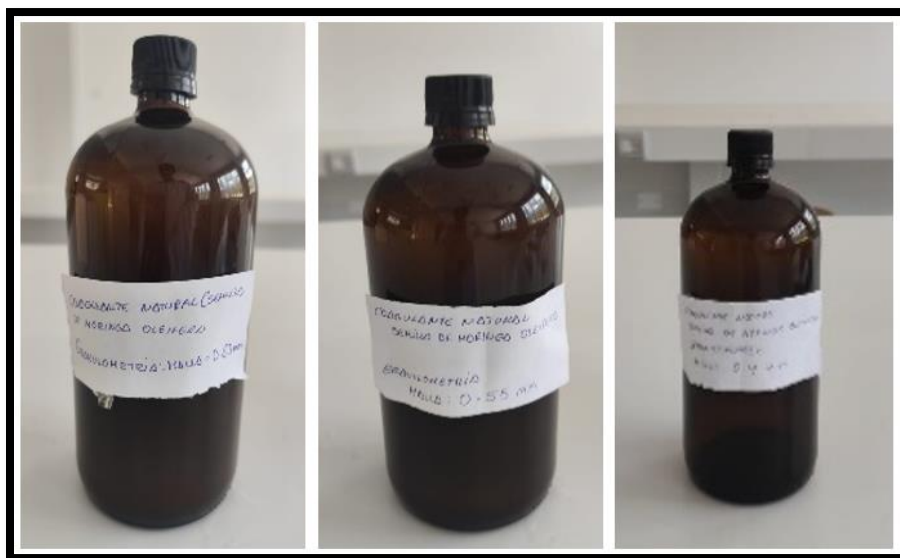
Mezcla de Moringa oleifera con NaCl.



d. Envasado del coagulante natural de semilla de *Moringa oleifera*:

Figura 26

Envasado del coagulante natural



3.5.3. Preparación de la solución coagulante sintético

Para la preparación de la solución coagulante sintético (sulfato de aluminio al 2%) se aplicó un procedimiento similar al de Pérez Garay (2015).

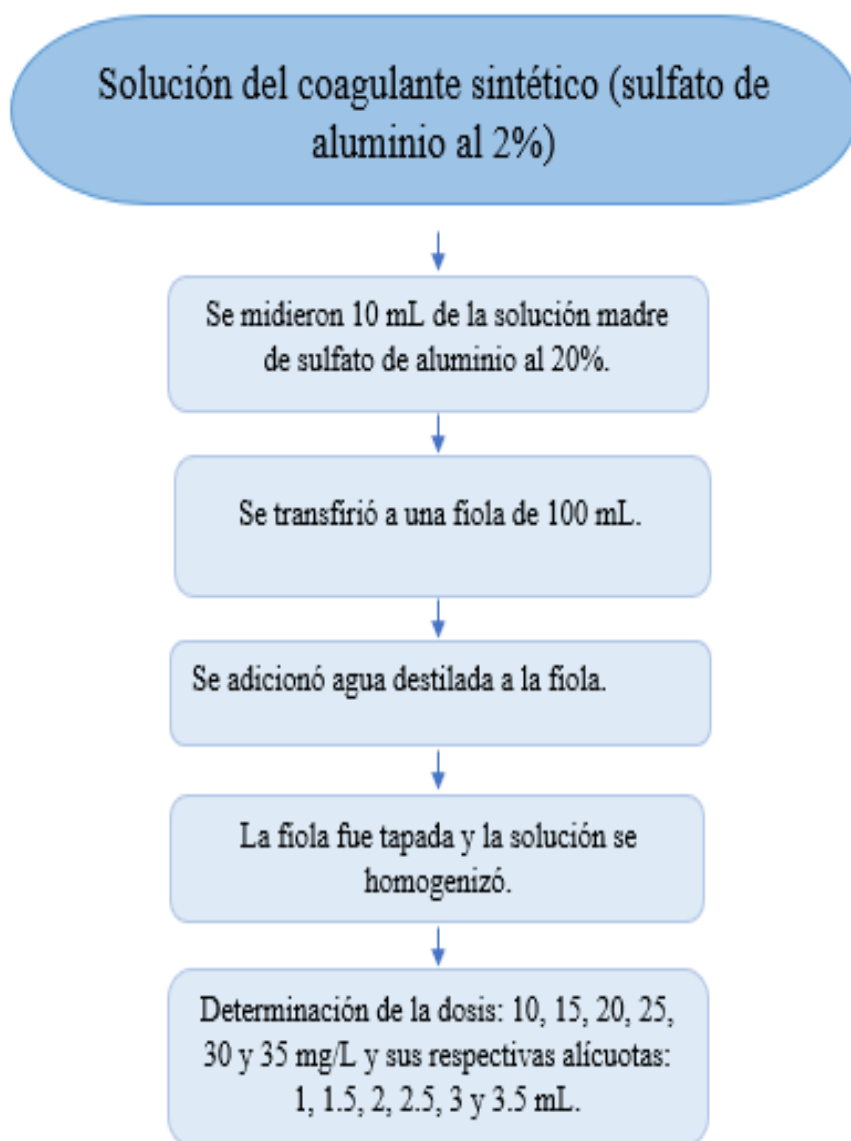
➤ Materiales

- Coagulante sintético sulfato de aluminio
- Pipeta graduada
- Bombilla de succión
- Fiola de 100 mL
- Guantes
- Guardapolvo
- Vaso precipitado
- Agua destilada

Diagrama sobre la preparación de la solución coagulante sintético (sulfato de aluminio al 2%).

Figura 27

Preparación de la solución coagulante sulfato de aluminio al 2%



Nota. Basada en la metodología de Pérez Garay (2015).

La solución coagulante de sulfato de aluminio empleada en los ensayos fue preparada a partir de una solución madre disponible en el laboratorio con una concentración del 20% (m/V). Para obtener una solución de trabajo al 2% (m/V) y un volumen final de 100 mL, se aplicó el principio dilución utilizando la siguiente ecuación:

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

Donde: C_1 corresponde a la concentración inicial (20%), C_2 a la concentración objetivo (2%), V_2 al volumen final requerido (100 mL) y V_1 al volumen de solución madre a emplear (mL). Al sustituir los valores, se tiene:

$$V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1} = \frac{2\% \cdot 100\text{mL}}{20\%} = 10\text{mL}$$

Por lo tanto, se determinó que se requerían 10 mL de la solución de sulfato de aluminio al 20%, siendo aforrado hasta 100mL con agua destilada para obtener una solución al 2%

El procedimiento se ejecutó de la siguiente manera:

- a. Se midieron 10 mL de la solución madre de sulfato de aluminio al 20% utilizando una pipeta graduada.
- b. El volumen medido se transfirió cuidadosamente a una fiola aforada de 100 mL.

Figura 28

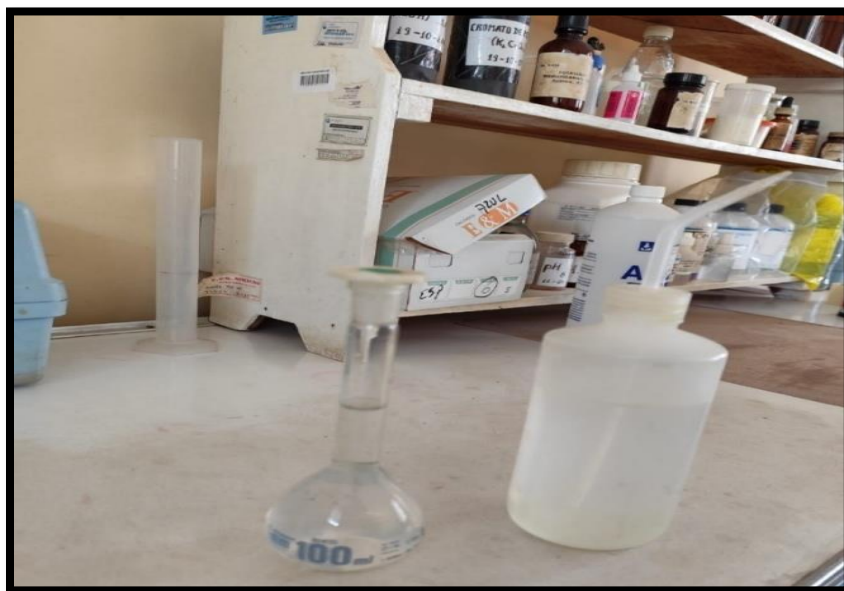
Transferencia de sulfato de aluminio a la fiola



c. Se adicionó agua destilada de la capacidad de la fiola, agitando suavemente.

Figura 29

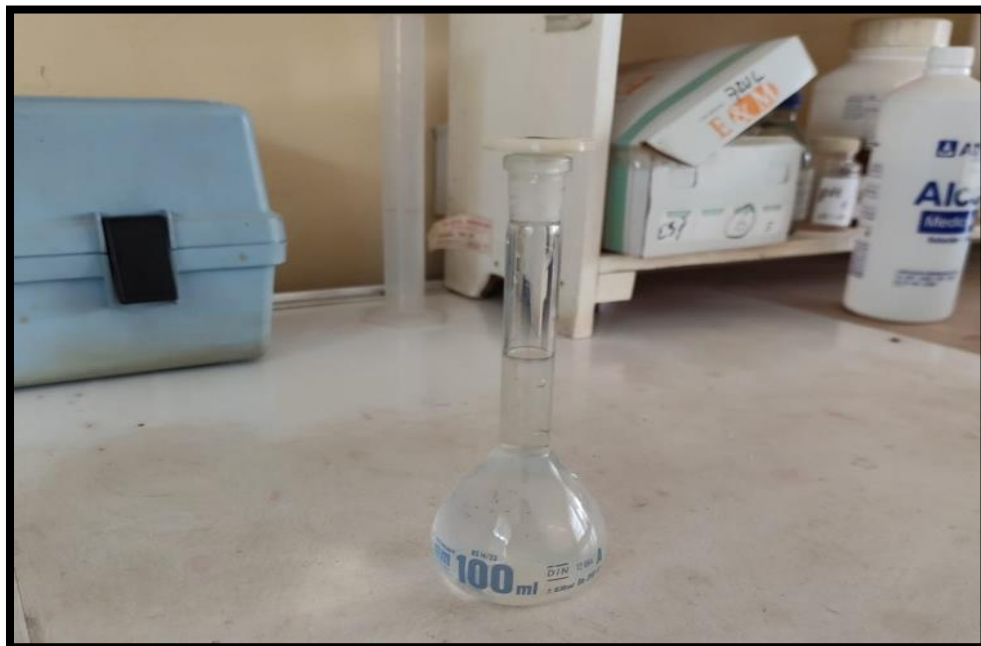
Adición de agua destilada a la fiola



d. Finalmente, la fiola fue tapada y la solución se homogenizó mediante inversión repetida.

Figura 30

Solución coagulante de sulfato de aluminio



Determinación de la dosis del coagulante sintético (sulfato de aluminio):

Las condiciones a tener en cuenta para la determinación de la dosis del coagulante sintético (sulfato de aluminio) son: una solución coagulante al 2% y volumen de agua tratada de 2L por jarra. Teniendo como referencia la metodología empleado por (Huamán Samaniego et al., 2020).

$$2\%(m/V) = 20g/L = 20\,000\,mg/L$$

Calcular la cantidad de coagulante para cada jarra por la ecuación de balance de masas:

$$P = D \times Q = q \times C$$

Donde:

P: masa de coagulante por aplicar

D: dosis de coagulante en mg/L

Q: capacidad de la jarra en litros

q: volumen de solución por aplicar (mL)

C: concentración de la solución en mg/L

- Para calcular la masa del coagulante requerida: $P = D \times Q$
- Para calcular el alícuota del coagulante a adicionar: $q = P \div C$

Entonces:

$$P = 10 \times 2 = 20mg \quad ; \quad q = 20 \div 20\,000 = 0.001L = 1mL$$

$$P = 15 \times 2 = 30mg \quad ; \quad q = 30 \div 20\,000 = 0.0015L = 1,5mL$$

$$P = 20 \times 2 = 40mg \quad ; \quad q = 40 \div 20\,000 = 0.002L = 2mL$$

$$P = 25 \times 2 = 50mg \quad ; \quad q = 50 \div 20\,000 = 0.0025L = 2,5mL$$

$$P = 30 \times 2 = 60mg \quad ; \quad q = 60 \div 20\,000 = 0.003L = 3mL$$

$$P = 35 \times 2 = 70mg \quad ; \quad q = 70 \div 20\,000 = 0.0035L = 3,5mL$$

Las dosis empleadas del coagulante sintético de sulfato de aluminio y sus respectivas alícuotas se menciona en la tabla 9:

Tabla 8

Dosis a adicionar del coagulante (sulfato de aluminio)

DOSIS (mg/l)	Alícuota del coagulante sintético (mL)
10	1
15	1,5
20	2
25	2,5
30	3
35	3,5

3.5.4. Determinación de la concentración de coagulante

Para el presente trabajo se ha establecido una concentración de 20, 000 mg/L (20,000 ppm) de coagulante de *Moringa oleifera*, equivalente a una solución al 2% para lo cual se tomará 20 gramos de polvo de semilla de moringa por 1 litro de solución NaCl a 1M, Considerando la metodología de Castellanos Beltrán y Martín Daza (2020), se procede a determinar la concentración.

$$C(ppm) = \frac{M}{V}$$

C: concentración inicial(mg/L), M: masa de la semilla de Moringa(g), V: volumen de la solución NaCl(L)

$$Concentracion = \frac{20gr}{1L_{NaCl}} \times \frac{1000mg}{1gr}$$

$$Concentracion = 20,000ppm = 20,000mg/L$$

3.5.5. Determinación de la dosis del coagulante

Para la determinación de la dosis de coagulante de semilla de *Moringa oleifera* se realizó una solución madre con concentración de 20, 000 mg/L y las dosis evaluadas se seleccionó teniendo en cuenta los datos de distintas investigaciones (10, 30 ,50 ,70 ,90 y 110mg/L), considerando un volumen de agua tratada de 2L por jarra. Asimismo, para determinar la dosis del coagulante se tiene en cuenta la metodología propuesta de (De La Grecca De La Cruz, 2025).

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

$$V_1 = \frac{C_2 * V_2}{C_1}$$

Donde:

C_1 : Concentración inicial/ concentración de la solución madre (mg/L)

V_1 : Volumen inicial/ volumen de solución madre a adicionar (ml)

C_2 : concentración final deseada (mg/L)

V_2 : volumen final/volumen de agua tratada en la jarra (L)

$$V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1} = \frac{10 \frac{mg}{l} * 2L * 1000mL}{20000 \frac{mg}{l}} = 1mL$$

$$V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1} = \frac{30 \frac{mg}{l} * 2L * 1000mL}{20000 \frac{mg}{l}} = 3mL$$

$$V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1} = \frac{50 \frac{mg}{l} * 2L * 1000mL}{20000 \frac{mg}{l}} = 5mL$$

$$V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1} = \frac{70 \frac{mg}{l} * 2L * 1000mL}{20000 \frac{mg}{l}} = 7mL$$

$$V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1} = \frac{90 \frac{mg}{l} * 2L * 1000mL}{20000 \frac{mg}{l}} = 9mL$$

$$V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1} = \frac{110 \frac{mg}{l} * 2L * 1000mL}{20000 \frac{mg}{l}} = 11mL$$

Tabla 9*Dosis del coagulante natural (Moringa oleifera)*

DOSIS (mg/l)	Alícuota del extracto del coagulante (mL)
10	1
30	3
50	5
70	7
90	9
110	11

3.5.6. Protocolo de prueba de jarras con el coagulante natural

Para el protocolo de prueba de jarras con el coagulante natural se aplicó un procedimiento similar al de Gomez y Marin (2024).

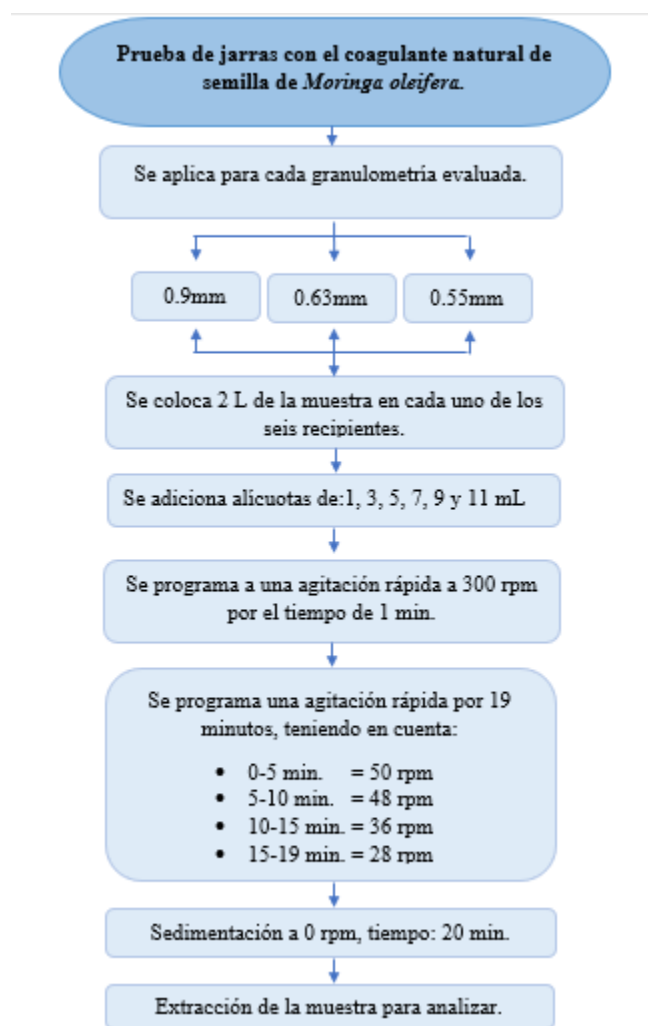
➤ **Materiales**

- Equipo de prueba de jarras
- Jeringas
- Coagulante natural de *Moringa oleifera*.
- Bombilla de succión
- Pipeta graduada
- Guantes
- Vasos descartables
- Guardapolvo

Diagrama sobre la prueba de jarras con el coagulante natural de semilla de *Moringa oleifera*.

Figura 31

Proceso de prueba de jarras con el coagulante natural



Nota. Basada en la metodología de Gomez y Marin (2024).

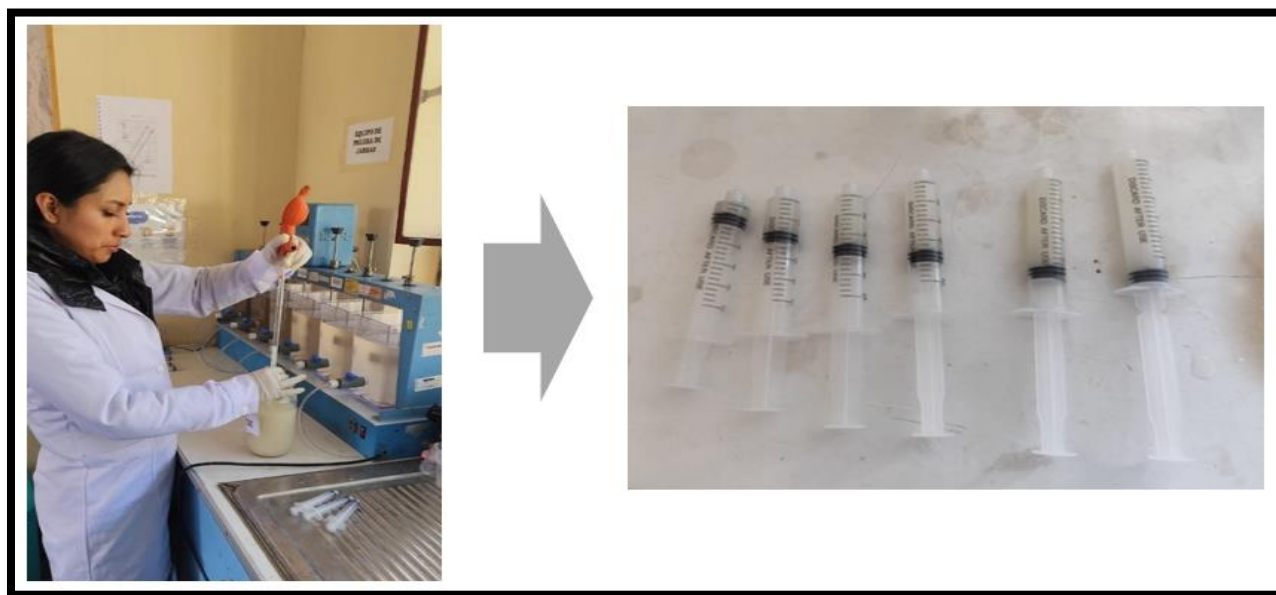
El coagulante natural obtenido a partir de semillas de *Moringa oleifera* fue evaluado mediante el ensayo de prueba de jarras, utilizando un equipo constituido por seis vasos precipitados con una capacidad individual de 2 L. Se evaluaron dosis de: 10, 30, 50, 70, 90 y 110 mg/L, las cuales correspondieron a alícuotas de: 1, 3, 5, 7, 9 y 11 mL, respectivamente. Además, se

consideraron tres granulometrías diferentes, las cuales correspondieron a 0,55 mm (tamiz N° 32), 0,63 mm (tamiz N° 28) y 0,90 mm (tamiz N° 20).

Antes de iniciar el ensayo de prueba de jarras, se registró la turbidez inicial de la muestra, la cual fue de 50 NTU. Posteriormente, se preparó las alícuotas correspondientes, para ello, se utilizó una pipeta graduada, asistida por una bombilla de succión y transferida a recipientes descartables y posteriormente cargados en jeringas para su aplicación en el procedimiento experimental.

Figura 32

Medición de las dosis a aplicar



Las condiciones operacionales del ensayo de prueba de jarras fueron las siguientes, teniendo en cuenta las bibliográficas revisadas.

Tabla 10

Condiciones operacionales del ensayo de prueba de jarras

PARÁMETRO	VELOCIDAD (rpm)	TIEMPO
Agitación rápida	300	1 min.
Agitación lenta	58	0-5 min.
	48	5-10 min.
	36	10-15 min.
	28	15-19 min.
Sedimentación	0	20 min.

- Procedimiento experimental**

- Se colocaron 2 L de la muestra de agua en cada uno de los seis recipientes del equipo de prueba de jarras.
- Se adiciona las seis dosis correspondientes del coagulante natural de *Moringa oleifera* según la granulometría evaluada.

Figura 33

Prueba de jarras



- c. Se programó una agitación rápida a 300 rpm por el tiempo de un minuto para homogenizar las muestras de agua de las seis jarras.

Figura 34

Programación de agitación rápida



- d. Al terminar de la etapa de agitación rápida, se pasó a la etapa de agitación lenta, teniendo en cuentas las velocidades establecidas en la tabla 11.

Figura 35

Agitación lenta



e. Luego, se siguió con el proceso de sedimentación por 20 minutos.

Figura 36

Proceso de sedimentación



- f. Finalmente, se extrae la muestra en vasos descartables para su análisis.

Figura 37

Extracción de muestra para su análisis



Figura 38

Análisis de las muestras



Cabe resaltar que este proceso se llevó a cabo para cada una de las granulometrías evaluadas, siendo estas: 0,55 mm (tamiz N° 32), 0,63 mm (tamiz N° 28) y 0,90 mm (tamiz N° 20) y se realizó tres repeticiones para cada una de las granulometrías evaluadas.

3.5.7. Protocolo de prueba de jarras con el coagulante sintético

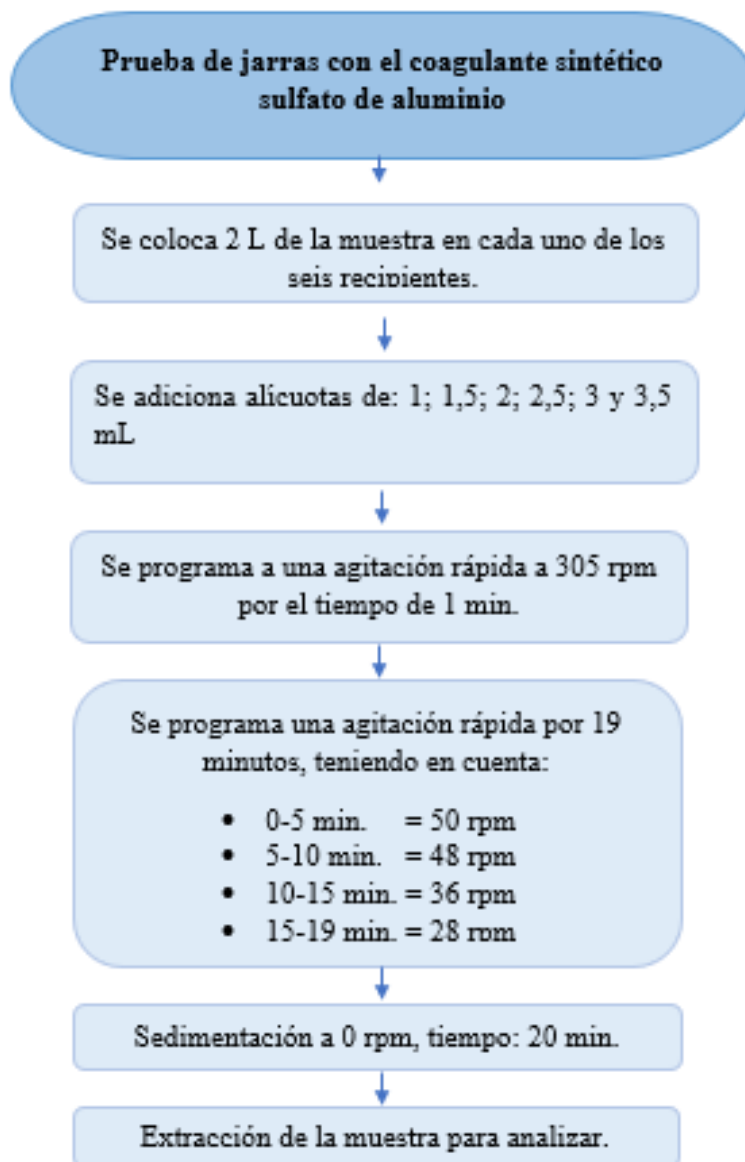
Para el protocolo de prueba de jarras con el coagulante natural se aplicó un procedimiento similar al de Gomez y Marin (2024). El sulfato de aluminio fue utilizado como un coagulante sintético de control en el ensayo de prueba de jarras. Aplicándose las dosis de: 10, 15, 20, 25, 30 y 35mg/L, correspondientes a alícuotas de 1; 1,5; 2; 2,5; 3 y 3,5 mL de la solución coagulante al 2% (m/V). Asimismo, la turbidez inicial fue de 50 NTU.

➤ Materiales

- Equipo de prueba de jarras
- Jeringas
- Coagulante sintético sulfato de aluminio
- Bombilla de succión
- Pipeta graduada
- Guantes
- Vasos descartables
- Guardapolvo
- Agua destilada

Figura 39

Proceso de prueba de jarras con sulfato de aluminio.



Nota. Basada en la metodología de Gomez y Marin (2024).

El procedimiento experimental fue el mismo descrito para el coagulante natural *Moringa oleifera*, se mantuvo las condiciones operacionales del ensayo de prueba de jarras descrita en la tabla 11. Asimismo, se realizó tres repeticiones.

Figura 40

Prueba de jarras con sulfato de aluminio- antes



Figura 41

Prueba de jarras con sulfato de aluminio - después



3.6. Análisis de datos

Los datos se procesaron utilizando el software estadístico RStudio.

3.6.1. Estadística descriptiva

El análisis descriptivo de los datos se aplicó con el fin de resumir y describir el comportamiento de la eficiencia de remoción de turbidez obtenida en los ensayos realizados con la semilla de *Moringa oleifera* y el sulfato de aluminio. Para este propósito, se determinaron medidas de tendencia central, como la media aritmética y medidas de dispersión, tales como la desviación estándar, los valores mínimo y máximo y el coeficiente de variación, lo que permitió apreciar la dispersión y la consistencia de los resultados experimentales.

Asimismo, se elaboraron gráficas, tales como diagramas de caja, histogramas, gráficos de tendencia, mapas de calor y gráficos de interacción, con el objetivo de visualizar el comportamiento de los datos, reconocer patrones de comportamiento y advertir posibles valores atípicos. Este análisis constituye una etapa inicial que facilita la comprensión del conjunto de datos antes de la aplicación de procedimientos inferenciales, de acuerdo con los principios metodológicos descritos por (Montgomery, 2012).

3.6.2. Estadística inferencial

El análisis inferencial se llevó a cabo con la finalidad de determinar el efecto de los factores evaluados como la dosis, la granulometría de la semilla y el tipo de coagulante, sobre la eficiencia en la remoción de la turbidez y contrastar las hipótesis planteadas en la investigación. Antes de realizar las pruebas estadísticas, se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la prueba de Levene, respectivamente, con el fin de asegurar la validez de los análisis paramétricos (Kutner et al., 2005). Cuando los supuestos

estadísticos no se cumplieron, se aplicaron pruebas robustas o no paramétricas, según correspondió. Se trabajó con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

- **Para el objetivo específico 1:** efecto de la dosis

Con el fin de determinar la influencia de la dosis en la eficiencia de remoción de turbidez, se efectuó un análisis de varianza de una vía considerando la dosis como factor fijo. Este procedimiento permitió identificar diferencias entre los niveles evaluados y aportar criterios para reconocer la dosis con mayor eficiencia. Posteriormente, se aplicó la prueba de Tukey para comparar las medias y establecer grupos homogéneos.

- **Para el objetivo específico 2:** efecto de la granulometría

La influencia de la granulometría de la semilla se evaluó mediante un análisis de varianza de una vía, con el propósito de determinar si el tamaño de partícula genera diferencias significativas en la eficiencia de remoción de turbidez y establecer su relevancia en el proceso de coagulación. Se utilizó la prueba de Tukey como análisis complementario para verificar la agrupación estadística de las granulometrías evaluadas.

- **Para el objetivo específico 3:** comparación de coagulantes

Para comparar la eficiencia de remoción de turbidez entre la semilla de *Moringa oleifera* y el sulfato de aluminio, se aplicó la prueba t de Welch, debido a que no se cumplieron completamente los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas entre los grupos evaluados. Esta prueba permitió comparar las medias de eficiencia de ambos coagulantes cuando las varianzas fueron desiguales y los tamaños muestrales diferentes. Asimismo, se aplicó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney como análisis complementario, con el propósito de corroborar los resultados sin asumir normalidad en los datos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

- **Determinación la dosis óptima de la semilla de *Moringa oleifera* en la remoción de la turbidez de aguas superficiales a nivel de laboratorio.**

Tabla 11

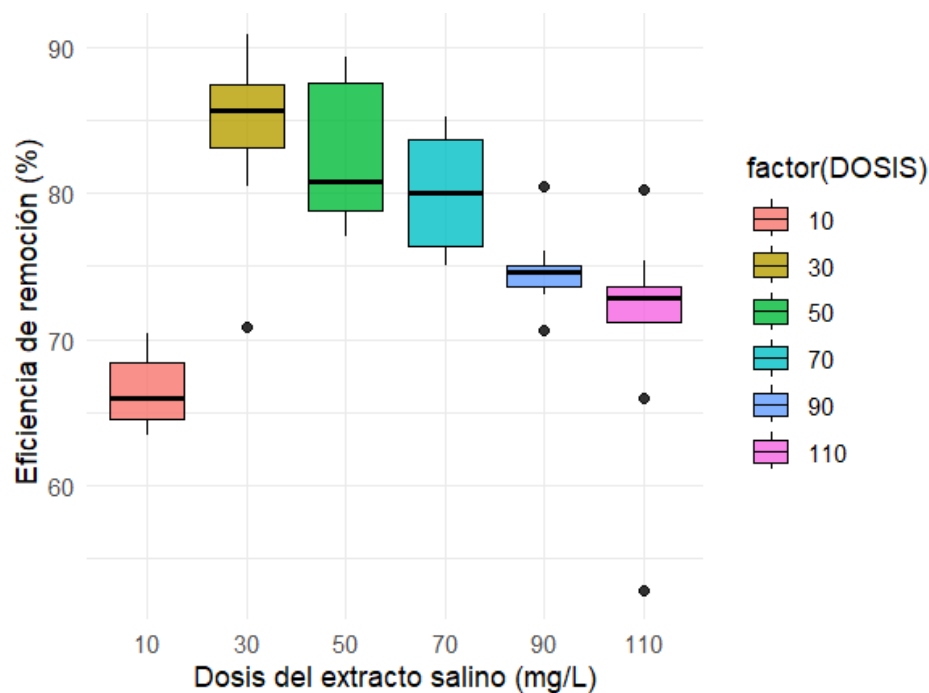
Estadísticos descriptivos por dosis de Moringa oleifera

Dosis (mg/L)	Media (%)	DE	Mínimo	Máximo	CV (%)	n
10	66.47	2.40	63.4	70.4	3.61	9
30	84.24	6.01	70.8	90.8	7.13	9
50	82.76	4.66	77.0	89.3	5.63	9
70	79.94	3.91	75.0	85.2	4.89	9
90	74.74	2.64	70.6	80.4	3.53	9
110	70.81	7.72	52.8	80.3	10.9	9

Se presentan los estadísticos descriptivos de la eficiencia de remoción de turbidez del agua tratada con el extracto salino de *Moringa oleifera*, considerando seis dosis (10, 30, 50, 70, 90 y 110 mg/L). Se observa que la eficiencia media de remoción varió entre 66.47 % y 84.24 %, con una tendencia creciente hasta la dosis de 30 mg/L, donde se alcanzó el valor máximo promedio (84.24 %), seguido de una leve disminución a concentraciones mayores.

Figura 42

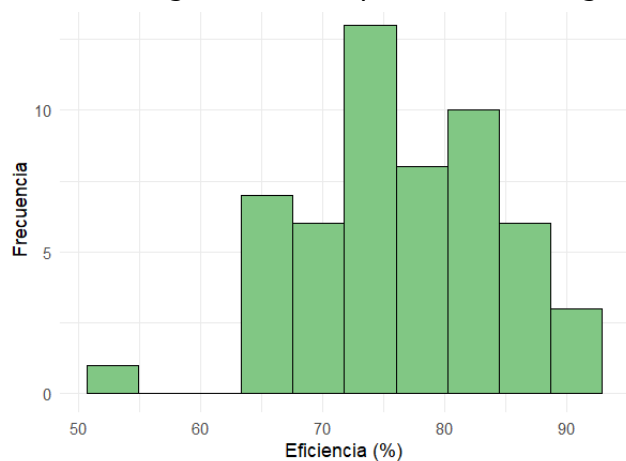
Boxplot de eficiencia según dosis de Moringa oleifera



Se muestra el boxplot de la eficiencia de remoción según las dosis aplicadas. Se evidencia una menor dispersión de valores en las dosis intermedias (50 y 70 mg/L), mientras que las dosis extremas (10 y 110 mg/L) presentan mayor variabilidad en sus resultados.

Figura 43

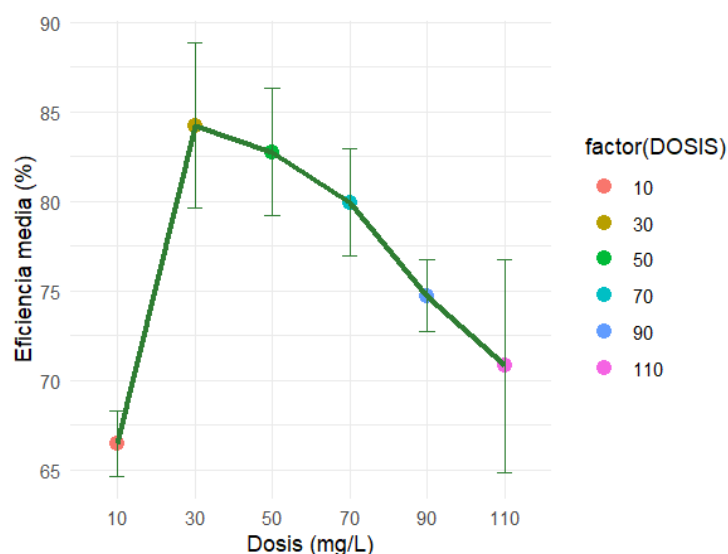
Distribución general de la eficiencia – Moringa oleifera



Se presenta la distribución general de los valores, donde se aprecia una concentración de frecuencias entre 70 % y 90 %, indicando un comportamiento relativamente homogéneo de los tratamientos intermedios.

Figura 44

Tendencia de eficiencia según dosis – Moringa oleifera.



Asimismo, se muestra la tendencia general de las medias de eficiencia en función de la dosis. Se observa un aumento progresivo de la eficiencia hasta la dosis de 30 mg/L, seguida de una disminución gradual, lo que sugiere la existencia de una dosis óptima a partir de la cual el incremento de coagulante no mejora el proceso de clarificación del agua.

La prueba de Shapiro–Wilk ($W = 0.9787$, $p = 0.4465$) confirmó que los datos siguen una distribución normal, mientras que la prueba de Levene ($F = 0.8977$, $p = 0.4904$) demostró homogeneidad de varianzas, cumpliéndose los supuestos para aplicar el análisis de varianza.

Tabla 12*Resultados del ANOVA de una vía por dosis*

Fuente de variación	gl	SC	CM	F	p
Dosis	5	2223.9	444.79	18.36	< 0.001
Error	48	1163.0	24.23		

El ANOVA de una vía mostró diferencias altamente significativas entre las dosis ($F(5,48) = 18.36$; $p < 0.001$), evidenciando que la dosis del extracto salino de *Moringa oleifera* influye significativamente en la eficiencia de remoción de turbidez.

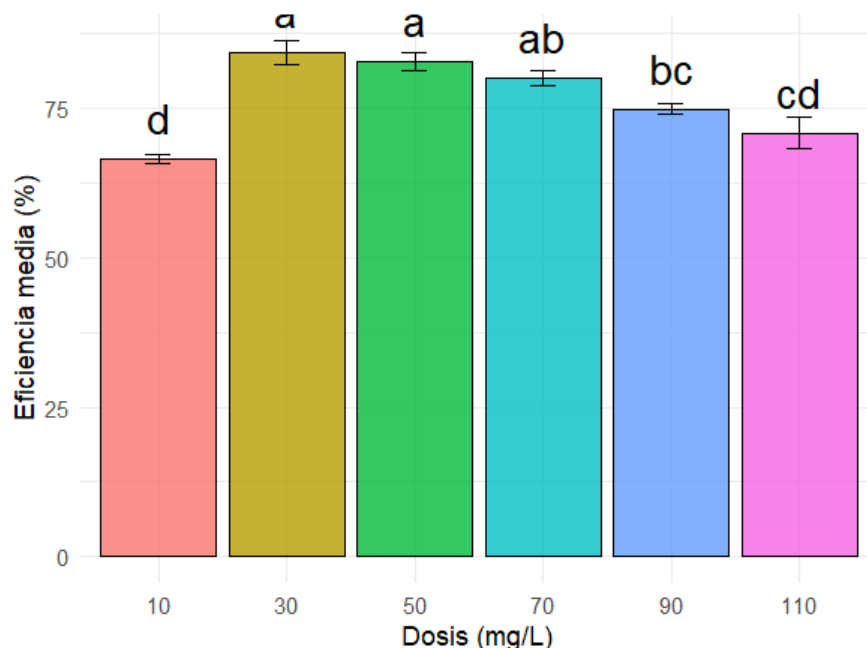
Tabla 13*Resultados de la prueba de Tukey para comparación de medias por dosis*

Dosis (mg/L)	Eficiencia media (%)	Grupo
30	84.24	a
50	82.76	a
70	79.94	ab
90	74.74	bc
110	70.81	cd
10	66.47	d

La prueba de Tukey permitió identificar los grupos de dosis con diferencias significativas en la eficiencia de remoción. Las dosis de 30 mg/L y 50 mg/L conformaron el grupo “a”, con las mayores eficiencias promedio (84.24 % y 82.76 %, respectivamente). Las dosis de 70 mg/L se ubicaron en el grupo “ab”, mientras que 90, 110 y 10 mg/L se agruparon en los niveles “bc”, “cd” y “d”, mostrando eficiencias significativamente menores.

Figura 45

Comparación de medias de eficiencia según dosis de *Moringa oleifera* (Tukey).



El presente gráfico comparativo de medias con las letras de agrupamiento de Tukey, se confirma visualmente que la dosis de 30 mg/L alcanzó la máxima eficiencia de remoción de turbidez, diferenciándose estadísticamente del resto de tratamientos.

Los resultados evidencian que la eficiencia de remoción de turbidez aumenta significativamente hasta los 30 mg/L, punto en el cual se alcanza la mayor remoción (84.24 %), para luego disminuir con el incremento de dosis. Este comportamiento responde al principio de sobredosificación de coagulantes, donde un exceso de extracto salino genera reestabilización coloidal y reduce la efectividad del proceso.

Por tanto, la semilla de *Moringa oleifera* presenta una alta eficiencia en la remoción de turbidez de aguas superficiales, alcanzando su máximo rendimiento con una dosis de 30 mg/L, con diferencias estadísticamente significativas respecto a las demás concentraciones ($p < 0.001$). El

extracto salino de *Moringa oleifera* demuestra así ser una alternativa natural viable y efectiva para el tratamiento de aguas turbias a nivel de laboratorio.

- **Determinar la influencia de la granulometría de la semilla de *Moringa oleifera* en la remoción de la turbidez de aguas superficiales a nivel de laboratorio.**

Tabla 14

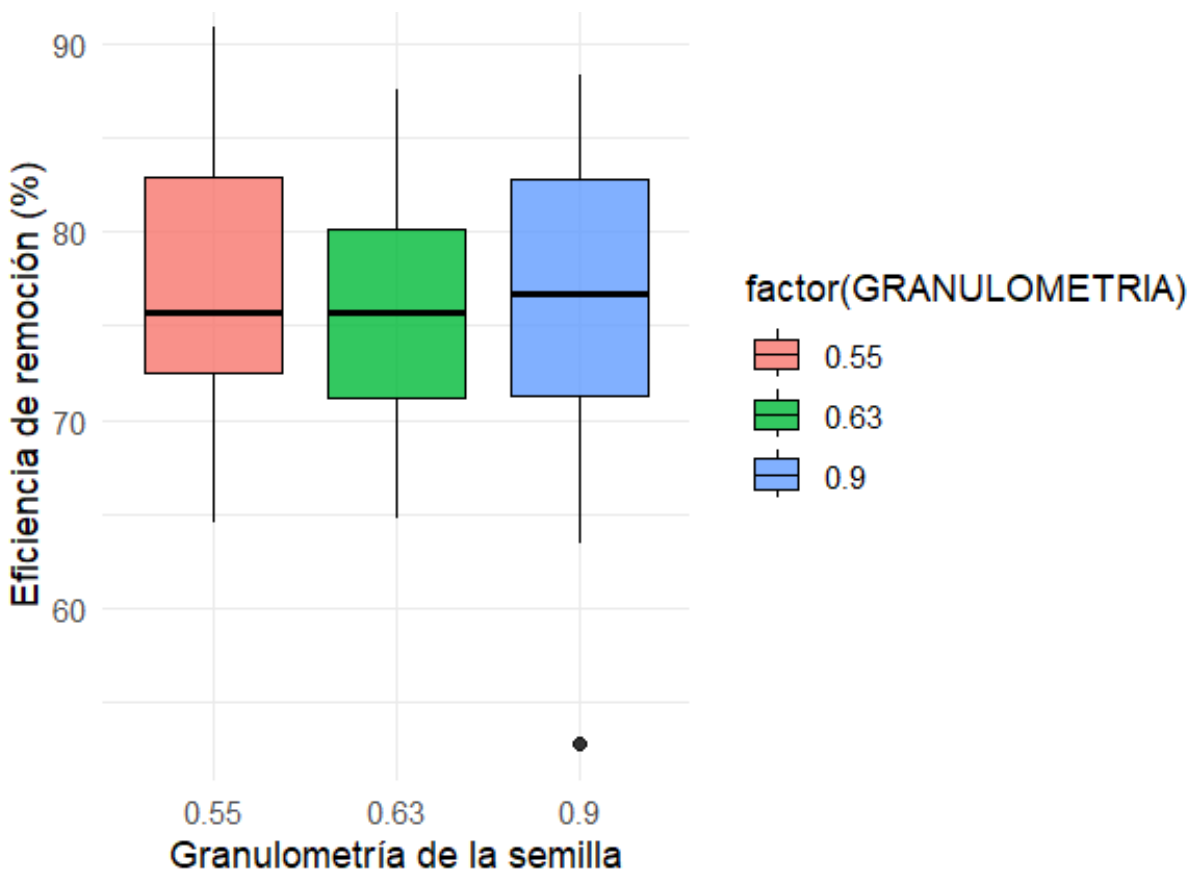
Estadísticos descriptivos por granulometría de la semilla de Moringa oleifera

Granulometría (mm)	Media (%)	DE	Min	Max	CV (%)	n
0.55	77.7	8.07	64.6	90.8	10.4	18
0.63	76.0	6.86	64.8	87.5	9.04	18
0.90	75.8	9.20	52.8	88.3	12.1	18

Se presentan los estadísticos descriptivos de la eficiencia de remoción de turbidez (%) obtenida con la semilla de *Moringa oleifera* en función de las diferentes granulometrías evaluadas (0.55 mm, 0.63 mm y 0.90 mm). Los valores promedio de eficiencia se encontraron entre 75.8 % y 77.7 %, con desviaciones estándar que oscilaron entre 6.86 % y 9.20 %, lo que evidencia una variabilidad moderada entre tratamientos. El coeficiente de variación (CV) varió entre 9.04 % y 12.1 %, indicando una adecuada homogeneidad de los datos experimentales.

Figura 46

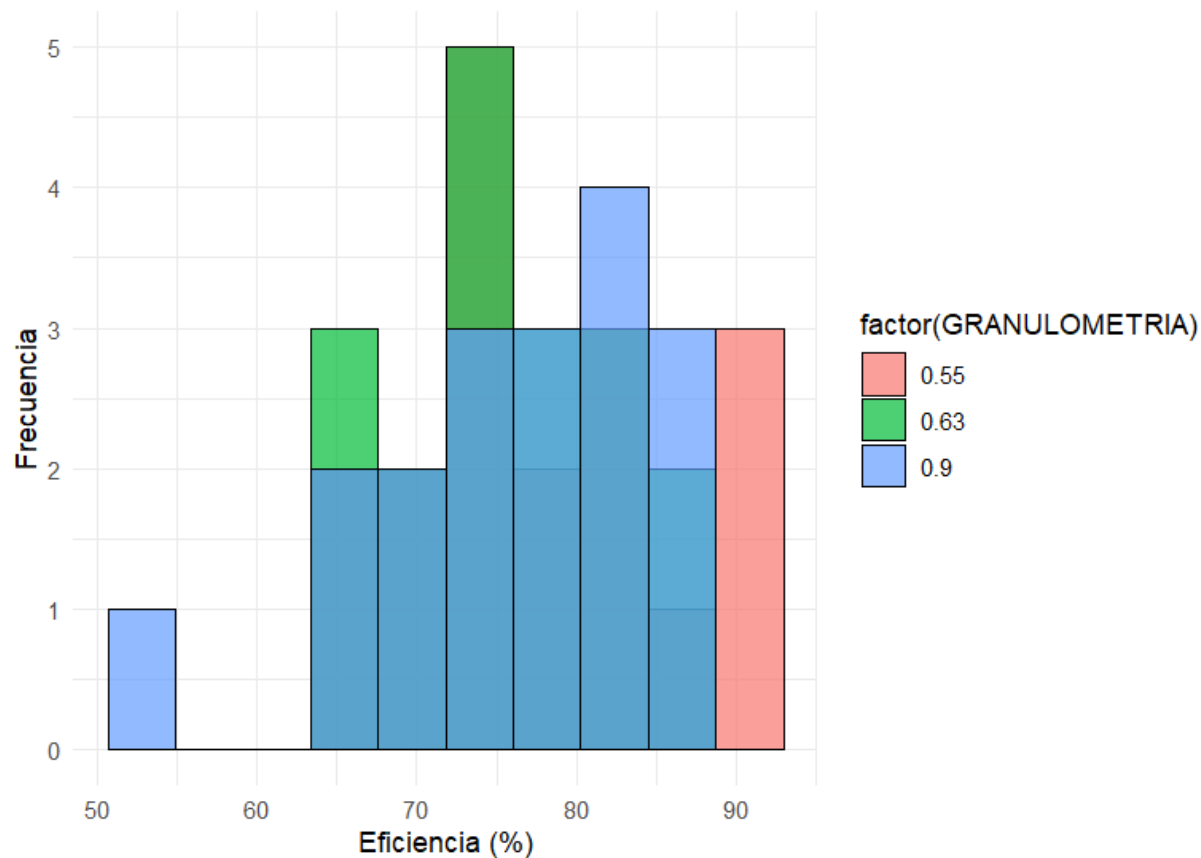
Boxplot de eficiencia según la granulometría de Moringa oleifera



En la Figura, se observa el comportamiento de la distribución de la eficiencia según la granulometría, donde las tres categorías presentan medianas similares y una dispersión moderada, sin evidenciar valores atípicos relevantes.

Figura 47

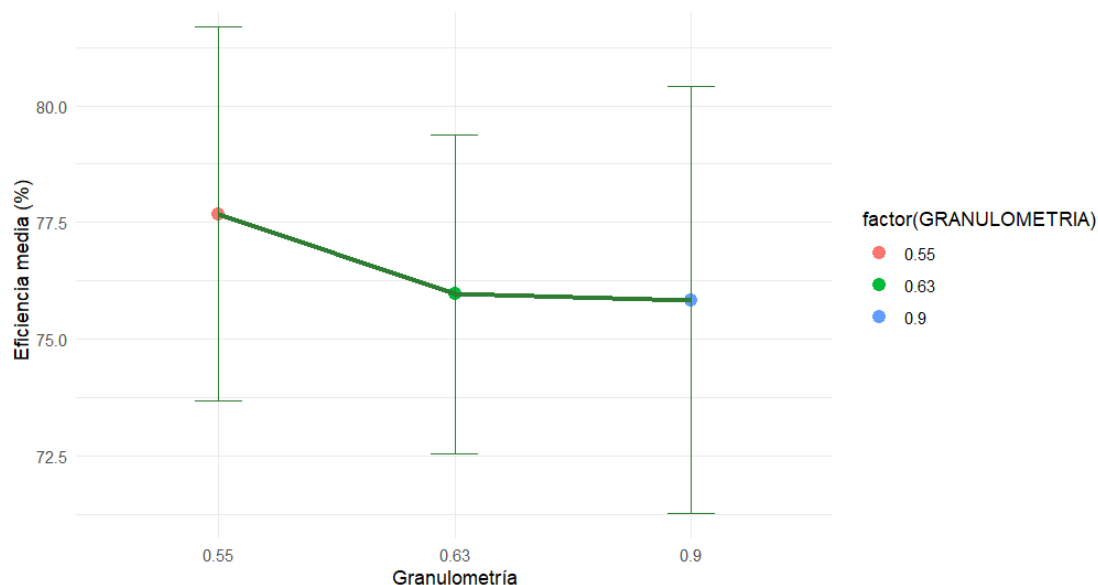
Distribución general de la eficiencia según la granulometría



Asimismo, se muestra la distribución general de frecuencias de la eficiencia, la cual presenta un patrón aproximadamente simétrico, reforzando la normalidad de los datos.

Figura 48

Tendencia de eficiencia según la granulometría de la semilla de Moringa oleifera



Por su parte, la Figura 48 evidencia la tendencia de las medias por granulometría, donde no se observa un incremento o disminución clara al aumentar el tamaño de partícula.

Previo al análisis inferencial, se verificaron los supuestos del modelo ANOVA. La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk ($W = 0.979$; $p = 0.4465$) indicó que los datos se distribuyen normalmente ($p > 0.05$). La prueba de normalidad se realizó sobre el conjunto total de observaciones correspondientes a la eficiencia de remoción con semilla de *Moringa oleifera* ($n = 54$), por lo que este mismo resultado fue empleado como verificación previa para los análisis unifactoriales relacionados con dicho coagulante. Asimismo, la prueba de homogeneidad de varianzas de Levene ($F = 0.5801$; $p = 0.5635$) mostró que las varianzas entre los grupos son homogéneas, cumpliéndose los supuestos para el análisis de varianza. El análisis de varianza (Tabla 15) reveló que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de eficiencia de remoción para las diferentes granulometrías evaluadas ($F = 0.291$; $p = 0.749$). Esto

sugiere que, dentro del rango analizado (0.55–0.90 mm), la granulometría de la semilla no influye de manera significativa en la eficiencia de remoción de turbidez.

Tabla 15

Resultados del ANOVA por granulometría

Fuente de variación	gl	SC	CM	F	p-valor
Granulometría	2	38.23	19.12	0.291	0.749
Residual	51	3349.07	65.66		

Tabla 16

Resultados de la prueba de Tukey para la variable granulometría

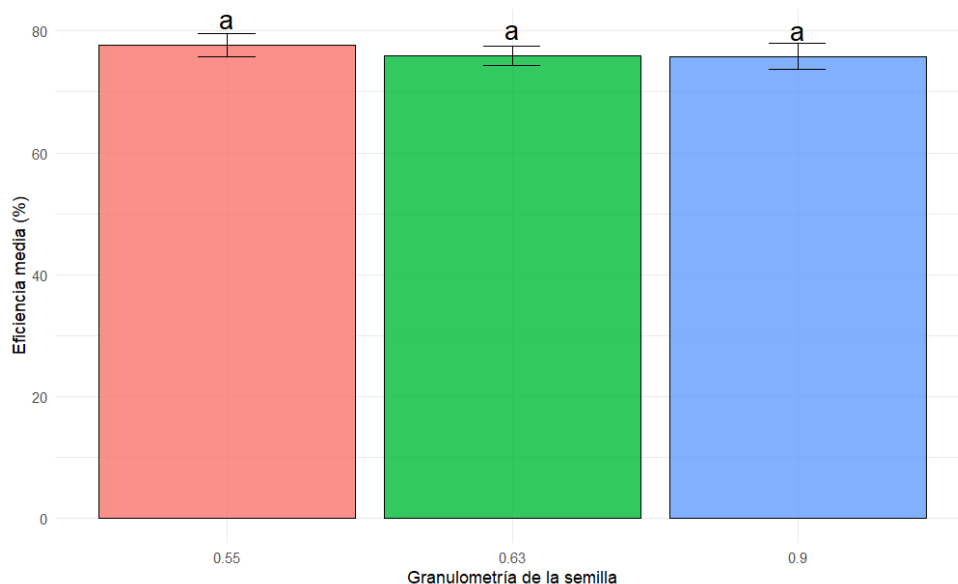
Granulometría (mm)	Eficiencia media (%)	Grupo
0.55	77.68	a
0.63	75.96	a
0.90	75.83	a

La prueba de Tukey (Tabla 16) confirmó los resultados del ANOVA, agrupando las tres granulometrías (0.55, 0.63 y 0.90 mm) dentro del mismo grupo estadístico (letra “a”), lo cual ratifica que no existen diferencias significativas entre ellas.

Se observa que las tres granulometrías pertenecen al mismo grupo estadístico (“a”), corroborando la ausencia de efecto significativo del tamaño de partícula sobre la eficiencia de coagulación de *Moringa oleifera* en la remoción de turbidez.

Figura 49

Comparación de medias de eficiencia según la granulometría de Moringa Oleifera (Tukey)



Los resultados indican que las variaciones en el tamaño de partícula de la semilla de *Moringa oleifera* (0.55 mm, 0.63 mm y 0.90 mm) no modifican significativamente la eficiencia de remoción de turbidez, manteniéndose valores promedio entre 75% y 78%. Este comportamiento sugiere que, dentro del rango analizado, la capacidad coagulante de la moringa es estable, posiblemente debido a la homogeneidad en la liberación de proteínas catiónicas responsables de la floculación.

La granulometría de la semilla de *Moringa oleifera* no ejerce una influencia significativa en la eficiencia de remoción de turbidez de aguas superficiales a nivel de laboratorio. Por tanto, cualquiera de las tres granulometrías evaluadas puede emplearse sin comprometer el desempeño coagulante del extracto salino de moringa.

- Comparar la eficiencia de remoción de la turbidez de aguas superficiales entre el uso de la semilla de *Moringa oleifera* y sulfato de aluminio a nivel de laboratorio, Huamanga, 2025.

Tabla 17

Estadísticos descriptivos por tipo de coagulante

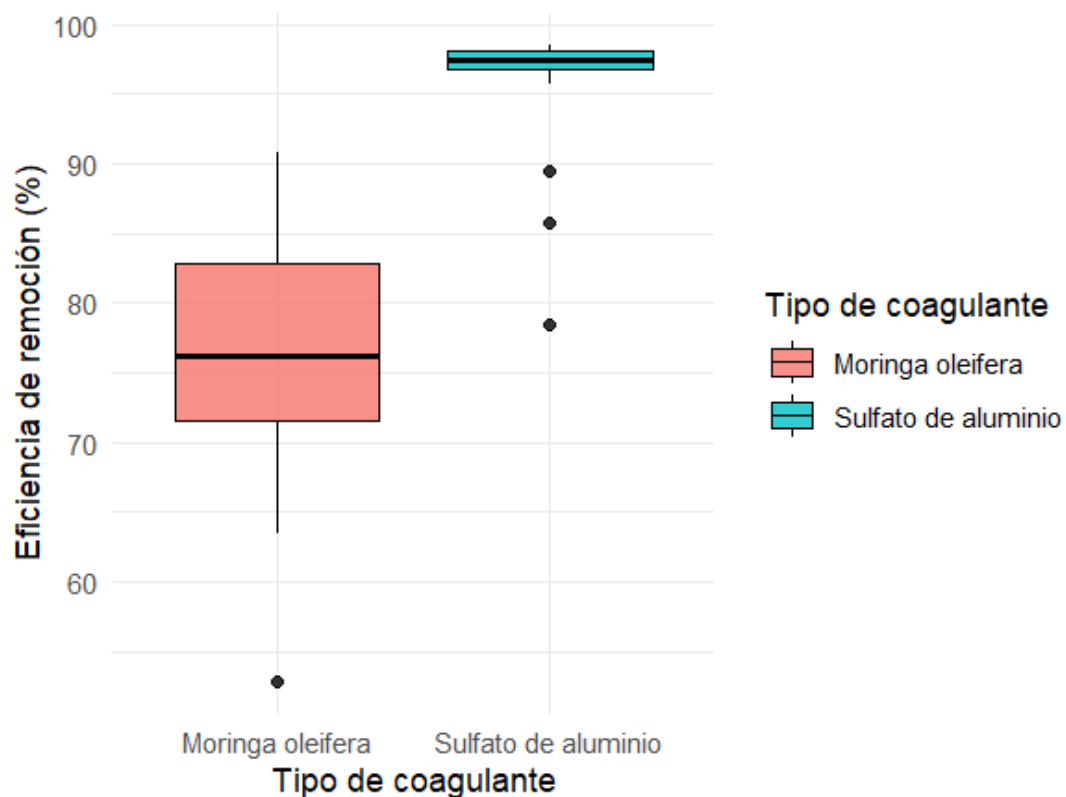
Tipo de coagulante	Media (%)	DE	Min	Max	CV (%)	n
<i>Moringa oleifera</i>	76.49	7.99	52.8	90.8	10.4	54
Sulfato de aluminio	95.38	5.40	78.4	98.5	5.66	18

Nota. DE = desviación estándar; CV = coeficiente de variación.

En la Tabla 17 se presentan los estadísticos descriptivos de la eficiencia de remoción de turbidez (%) obtenida para ambos coagulantes evaluados. El sulfato de aluminio presentó una eficiencia promedio de 95.38 %, mientras que la *Moringa oleifera* alcanzó una eficiencia media de 76.49 %. Asimismo, el coeficiente de variación (CV) fue de 5.66 % para el sulfato de aluminio y de 10.4 % para la *Moringa oleifera*, lo que indica una mayor estabilidad en el desempeño del coagulante químico.

Figura 50

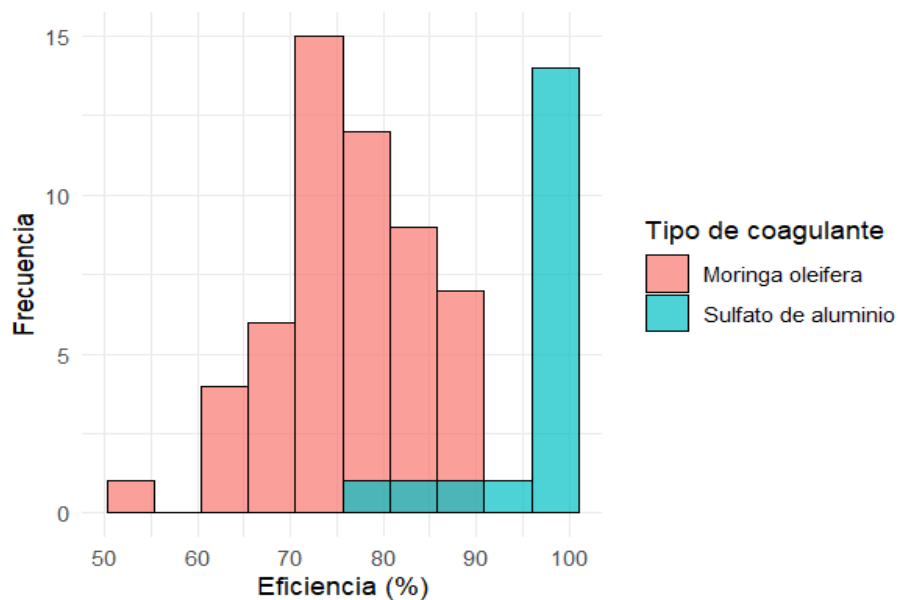
Comparación de la eficiencia de remoción de turbidez según tipo de coagulante



La Figura 50 muestra comparación de la eficiencia de remoción de turbidez según tipo de coagulante. El diagrama de cajas muestra que los valores de remoción obtenidos con sulfato de aluminio se concentran en niveles superiores a los registrados para *Moringa oleifera*. Asimismo, se observa una menor dispersión de los datos en el sulfato de aluminio, mientras que *Moringa oleifera* presenta una mayor variabilidad en su eficiencia de remoción. La separación entre ambas distribuciones evidencia visualmente las diferencias significativas detectadas mediante la prueba t de Welch.

Figura 51

Distribución de la eficiencia según tipo de coagulante



Por su parte, la Figura 51 presenta el histograma de distribución de la eficiencia, donde se aprecia una mayor concentración de valores altos en el tratamiento con sulfato de aluminio, mientras que la *Moringa oleifera* muestra una distribución más dispersa y centrada alrededor del 75 %.

Tabla 18

Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk según tipo de coagulante

Tipo de coagulante	W	p-valor
<i>Moringa oleifera</i>	0.9787	0.4465
Sulfato de aluminio	0.5934	0.0000058

Previo al análisis inferencial, se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. La prueba de Shapiro-Wilk aplicada según tipo de coagulante mostró que los datos

correspondientes a *Moringa oleifera* presentaron distribución normal, debido a que el valor p fue superior a 0.05. Sin embargo, para el sulfato de aluminio se obtuvo un valor p menor a 0.05, lo que evidencia una desviación significativa de la normalidad.

Posteriormente, se aplicó la prueba de Levene para evaluar la homogeneidad de varianzas.

Tabla 19

Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene

F	p-valor
7.8246	0.00665

El resultado obtenido ($p = 0.00665$) indica que las varianzas no son homogéneas entre los grupos evaluados, por lo que no se cumplen los supuestos requeridos para la aplicación del ANOVA clásico.

Comparación entre coagulantes mediante la prueba t de Welch

Debido al incumplimiento de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, se aplicó la prueba t de Welch, la cual constituye una alternativa robusta para comparar medias cuando las varianzas son desiguales.

Tabla 20

Resultados de la prueba t de Welch

Estadístico t	gl	p -valor	IC 95 %
-11.279	43.459	1.703×10^{-14}	[-22.264; -15.512]

Nota. gl = grados de libertad; IC = intervalo de confianza.

Los resultados de la prueba t de Welch evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre ambos coagulantes, con un valor $p = 1.703 \times 10^{-14}$. Asimismo, el intervalo de confianza al 95 % no incluyó el valor cero, lo que confirma la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las medias de remoción de turbidez obtenidas con ambos tratamientos.

El valor negativo del estadístico t indica que la media de eficiencia de remoción obtenida con *Moringa oleifera* fue menor que la media obtenida con sulfato de aluminio. En ese sentido, se confirma que el sulfato de aluminio presentó una eficiencia significativamente superior en la remoción de turbidez.

Con el propósito de corroborar este resultado mediante una prueba no paramétrica, se aplicó adicionalmente la prueba de Mann-Whitney. La prueba de Mann-Whitney confirmó la existencia de diferencias significativas entre ambos coagulantes ($p < 0.05$), respaldando los resultados obtenidos mediante la prueba t de Welch.

Tabla 21

Resultados de la prueba de Mann-Whitney

Estadístico W	p -valor
32	3.679×10^{-9}

Los resultados obtenidos demuestran que el sulfato de aluminio presenta una eficiencia de remoción de turbidez significativamente superior a la obtenida con *Moringa oleifera* bajo las condiciones experimentales evaluadas. Mientras que el sulfato de aluminio alcanzó una remoción

promedio de 95.38 %, *Moringa oleifera* obtuvo una remoción promedio de 76.49 %, observándose una diferencia aproximada de 18.89 puntos porcentuales entre ambos tratamientos.

A pesar de que el sulfato de aluminio mostró un desempeño estadísticamente superior, los resultados obtenidos con *Moringa oleifera* evidencian una capacidad considerable para reducir la turbidez del agua, lo que confirma su potencial como coagulante natural para el tratamiento de aguas superficiales.

- **Contrastación de hipótesis**

a) Formulación de hipótesis

Hipótesis general

La semilla de *Moringa oleifera* presenta una eficiencia significativa en la remoción de la turbidez de aguas superficiales a nivel de laboratorio en Huamanga, 2025.

- Hipótesis nula (H_0):

La semilla de *Moringa oleifera* no presenta una eficiencia significativa en la remoción de la turbidez de aguas superficiales a nivel de laboratorio, Huamanga, 2025.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_n$$

- Hipótesis alternativa (H_a):

La semilla de *Moringa oleifera* presenta una eficiencia significativa en la remoción de la turbidez de aguas superficiales a nivel de laboratorio, Huamanga, 2025.

$$H_1: \exists \mu_i \neq \mu_j$$

b) Nivel de significancia

Se estableció un nivel de significancia de:

$$\alpha = 0.05$$

c) Selección y cálculo del estadístico de prueba

Se empleó el análisis de varianza (ANOVA) bifactorial para evaluar el efecto de la dosis y la granulometría sobre la eficiencia de remoción de turbidez.

Tabla 22

Análisis ANOVA de la remoción de la turbidez

Fuente de variación	Df	Sum Sq	Mean Sq	F	p-valor
Dosis	5	2223.9	444.8	16.659	1.65E-08
Granulometría	2	38.2	19.1	0.716	0.495
Interacción	10	163.5	16.4	0.613	0.793
Error	36	961.2	26.7	—	—

d) Determinación del valor-p

$$p = 1.65106 \times 10^{-8}$$

e) Toma de decisión

Dado que:

$$p < \alpha$$

Se rechaza la hipótesis nula (H_0).

f) Valoración de la hipótesis

Se concluye que se rechaza la hipótesis nula (H_0), debido a que el factor dosis presentó un efecto estadísticamente significativo sobre la eficiencia de remoción de turbidez ($p = 1.65106 \times 10^{-8}$). Sin embargo, la granulometría no presentó efecto significativo ($p = 0.495$) y la interacción dosis $\times$ granulometría tampoco fue significativa ($p = 0.793$). Por tanto, la eficiencia de remoción de turbidez de la semilla de *Moringa oleifera* está determinada principalmente por la dosis aplicada, mas no por la granulometría ni por la interacción entre ambos factores.

4.2. Discusiones

Los resultados mostraron que la eficiencia de remoción de turbidez aumentó progresivamente con la dosis aplicada, alcanzando su valor máximo con 30 mg/L (84.2 %) y granulometría de 0.55 mm, mientras que dosis superiores como 90 y 110 mg/L redujeron ligeramente la eficiencia, probablemente debido a la sobresaturación del medio y la reestabilización de partículas. El análisis de varianza (ANOVA) confirmó diferencias altamente significativas entre las dosis ($p < 0.001$), coincidiendo con Carvalho Costa y Ferreira Fioravante (2024), quienes lograron su máxima eficiencia con dosis de 30mg/L obteniendo una remoción del 75% de turbidez. De igual manera, Gomez y Marin (2024), reportaron la mayor eficiencia con dosis de 30mg/L para una turbidez inicial de 60 NTU, reduciendo la turbidez hasta 2.86 NTU, equivalente a un 91.95%, resultados consistentes con los obtenidos en este estudio. Enríquez Nateros et al. (2023) mencionan que para turbidez menores a 50UNT, la dosis óptima se encuentra entre 10 y 50mg/L; sin embargo, para muestras con turbidez de 150 UNT, la dosis óptima varia y se sitúa entre 80 a 100mg/L, lo que indica que la dosis óptima varía con el nivel de turbidez inicial. A nivel local, los resultados se alinean con León Palacios (2025), quién realizó su investigación en Huamanga y determinó una eficiencia del 56.71 % con dosis de 15 mg/L, destacando la relación

directa entre la concentración del coagulante y la eficiencia del tratamiento. Estos resultados pueden explicarse por la acción de las proteínas catiónicas presentes en las semillas de *Moringa oleifera*, que desestabilización de las partículas coloidales, mediante mecanismos de adsorción y la neutralización de cargas, promoviendo la formación de flóculos para su posterior sedimentación (Shah et al., 2025). Por ello, la dosis de 30 mg/L representa un punto de operación adecuado que permite maximizar la eficiencia en aguas turbias con características similares a las de Huamanga.

Asimismo, para el segundo objetivo específico, el análisis estadístico mostró que la granulometría no tuvo un efecto significativo ($p = 0.749$) sobre la eficiencia de remoción, aunque se observaron ligeras variaciones: la granulometría más fina (0.55 mm) alcanzó una eficiencia media de 77.68 %, mientras que las granulometrías de 0.63 mm y 0.9 mm obtuvieron valores de 75.96 % y 75.83 %, respectivamente. Estos resultados coinciden con Vegas Tamayo et al. (2023), quienes reportan que el tamaño de partícula del coagulante tiene un efecto secundario respecto a la dosis, siendo las diferencias mínimas en la remoción total de turbidez. En ese mismo sentido, Oré Cierro et al. (2024), reporta que la molienda de las semillas no afecta significativamente la capacidad coagulante, siempre que el extracto mantenga su concentración proteica activa. Por otra parte, Castillo Cohaila y Avendaño Cáceres (2020), señalan que una molienda excesiva puede reducir la actividad coagulante por desnaturalización parcial de las proteínas catiónicas, lo que explica ligeras variaciones. En este sentido, la granulometría tuvo un efecto limitado en la eficiencia, siendo suficiente un molido fino (alrededor de 0.55 mm) para garantizar altos niveles de remoción, lo que coincide con las recomendaciones de tamaño de 0.25mm al 1.25 mm para aplicación en tratamiento de agua (Villaseñor Basulto et al., 2018).

La comparación entre coagulantes evidenció diferencias estadísticamente significativas en la eficiencia de remoción de turbidez. El sulfato de aluminio alcanzó una eficiencia media de

95.38 %, mientras que la semilla de *Moringa oleifera* obtuvo una eficiencia media de 76.49 %. Estos resultados indican que, bajo las condiciones experimentales evaluadas, el sulfato de aluminio presentó un desempeño superior en la remoción de turbidez de aguas superficiales. Desde el punto de vista estadístico, la aplicación de la prueba *t* de Welch fue pertinente debido a que los datos no cumplieron completamente los supuestos requeridos para aplicar una prueba *t* convencional o un ANOVA clásico. La prueba de Shapiro-Wilk evidenció que el grupo correspondiente a *Moringa oleifera* presentó distribución normal ($p = 0.4465$), mientras que el sulfato de aluminio mostró desviación significativa de la normalidad ($p = 0.0000058$). Asimismo, la prueba de Levene indicó que las varianzas entre ambos grupos no fueron homogéneas ($p = 0.00665$). Por ello, la prueba *t* de Welch fue adecuada, ya que permite comparar medias cuando existen varianzas desiguales y tamaños muestrales diferentes. Los resultados de la prueba *t* de Welch confirmaron diferencias estadísticamente significativas entre ambos coagulantes ($p = 1.703 \times 10^{-14}$). Asimismo, se aplicó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney como análisis complementario, ya que no requiere asumir normalidad en los datos. Esta prueba también evidenció diferencias significativas ($p = 3.679 \times 10^{-9}$), lo que respalda los resultados obtenidos mediante Welch y fortalece la consistencia estadística del análisis. Estos resultados concuerdan con Carvalho Costa y Ferreira Fioravante (2024), quienes reportaron una eficiencia de 92 % con sulfato de aluminio y 75 % con *Moringa oleifera*. Asimismo, Calizaya Vizcarra et al. (2024) encontraron eficiencias máximas de remoción de 97.08 % con sulfato de aluminio y del 96.01 % para *Moringa oleifera*. Aunque el sulfato de aluminio mostró una eficiencia significativamente superior, la semillas de *Moringa oleifera* destaca debido a su carácter biodegradable, lo que la convierte en una opción ambientalmente amigable en comparación con los coagulantes químicos (Pandey y Khan, 2022). Además, puede reducir potencialmente la generación de lodos y sustancias químicas (Okuda et al., 2001), lo que

constituye un beneficio para la salud pública, especialmente en comunidades vulnerables (Pritchard et al., 2010). Las semillas de *Moringa oleifera* son abundantes en muchas regiones tropicales y subtropicales, especialmente rurales, donde pueden ser cultivadas localmente, disminuyendo la dependencia de productos químicos importados y costosos (Okuda et al., 2001).

Además de la remoción de turbidez, diversos estudios han señalado que *Moringa oleifera* puede contribuir a la mejora de otros parámetros de calidad del agua como la reducción de color y demanda química de oxígeno (DQO) (Desta y Bote, 2021), así como la disminución de metales pesados como el arsénico y el plomo (Nadella y Nadella, 2024). También se ha reportado su potencial en la reducción microbiológica, incluyendo la inactivación de *E. coli*, bajo determinadas condiciones experimentales (Shah et al., 2024). No obstante, estos efectos deben interpretarse como beneficios complementarios, ya que la presente investigación se centró específicamente en la remoción de turbidez. En consecuencia, aunque el sulfato de aluminio presentó mayor eficiencia bajo condiciones de laboratorio, la semilla de *Moringa oleifera* representa una alternativa natural prometedora desde el punto de vista ambiental y social. Sin embargo, su aplicación práctica requiere mayor investigación para optimizar la dosis, estandarizar el método de preparación del coagulante natural y validar su eficiencia mediante estudios piloto o evaluaciones a escala comunitaria (Moreno et al., 2026).

En el contexto de los biocoagulantes naturales, la semilla de *Moringa oleifera* ha demostrado superioridad frente a otros coagulantes, como menciona Gomez y Marin (2024), quienes reportaron que el extracto de semillas de *Moringa oleifera* logró una reducción del 91.95%, mientras que el mucílago de *Opuntia ficus-indica* alcanzó un 87.77%, siendo la *Moringa* la más efectiva. De igual manera, Canaza Chicasaca Y Mamani Condori (2020b) identificó seis coagulantes de origen vegetal (*Opuntia ficus-indica*, *Moringa oleifera*, *Aloe vera*, *Tamarindus*

indica y *Caesalpinia spinosa*) y una de origen animal (quitosano), destacando a la *Moringa* por su eficiencia. Además, la combinación de *Moringa oleifera* con otros biocoagulantes, como *Opuntia ficus indica* puede mejorar la eficiencia de clarificación de agua (Olivero Verbel et al., 2017). También, Ntibrey et al. (2020), ha reportado que los extractos de *Moringa oleifera* pueden ejercer actividad antimicrobiana, en su estudio reporta la reducción significativamente de *Escherichia coli* en un 99% en aguas residuales y cargas de coliformes totales en un 91%.

La mayor parte de la investigación sobre *Moringa oleifera* se ha desarrollado en condiciones de laboratorio controladas, aunque se ha documentado uso comunitario en en Sudán, donde las semillas se utilizan tradicionalmente para clarificar agua domésticas y mejorar su calidad percibida (Gyasi y Annor, 2018; Jahn et al., 1979). No obstante, estas prácticas no corresponden a sistemas formales de tratamiento a gran escala, sino a prácticas locales adaptadas a necesidades inmediatas, por ello, no existe evidencia científica que respalde su aplicación sostenida en Plantas de Tratamiento de Agua Potable municipales (Shah et al., 2025).

Entre las desventajas y limitaciones de la semilla de *Moringa oleifera* se incluyen la falta de estandarización en la calidad del polvo, lo que puede generar la variabilidad en la eficiencia de coagulación (Awad et al., 2013), asimismo, el uso de coagulantes derivados de *Moringa oleifera* puede dejar materia orgánica residual (DOC) en el agua tratada (García Carlos et al., 2022). Otro factor a considerar es la sensibilidad de los coagulantes a la temperatura, humedad y tiempo de almacenamiento, por lo que requieren preparación fresca o métodos de conservación adecuados (Shah et al., 2024). Además, la eficiencia puede variar según la calidad del agua y la variedad de la planta, lo que implica la necesidad de ajustar la dosificación para cada fuente de agua, dificultando su integración en sistemas de tratamiento más complejos (Marzougui et al., 2021).

V. CONCLUSIONES

Al aplicar diferentes dosis, se observó que la eficiencia de remoción aumentó significativamente hasta los 30 mg/L, alcanzando 84.2 %, mientras que dosis mayores redujeron la eficiencia, atribuida a posibles fenómenos de sobredosificación. El análisis de varianza ANOVA mostró diferencias altamente significativas entre las dosis ($p < 0.001$), confirmando que la concentración del coagulante es el factor principal que determina la efectividad del proceso, cumpliéndose el primer objetivo específico.

Respecto a la influencia de la granulometría, se concluye que esta no influyó significativamente en la eficiencia de remoción de turbidez ($p = 0.749$), por lo que no se confirma la hipótesis específica 2. Este resultado constituye un hallazgo relevante, ya que demuestra que, dentro del rango evaluado, el tamaño de partícula no fue un factor determinante en la eficiencia del coagulante. Aunque la granulometría de 0.55 mm presentó el promedio descriptivo más alto de eficiencia, con 77.68 %, esta diferencia no fue estadísticamente significativa.

Al comparar ambos coagulantes, la semilla de *Moringa oleifera* alcanzó una eficiencia promedio de remoción de turbidez de 76.49 %, valor inferior al obtenida con sulfato de aluminio, que alcanzó 95.38 %. No obstante, los resultados evidencian que *Moringa oleifera* presenta potencial como alternativa natural para la reducción de turbidez en aguas superficiales bajo condiciones de laboratorio. Este resultado permite dar cumplimiento al tercer objetivo específico planteado.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda a los investigadores que mantengan concentraciones intermedias (≈ 30 mg/L) de la semilla de *Moringa oleífera* para turbidez inicial de 50 NTU, ya que dosis superiores pueden provocar la reestabilización coloidal y disminuir la eficiencia del proceso. Se sugiere además optimizar parámetros de agitación y sedimentación para garantizar la formación de flóculos estables.

Aunque la granulometría no tuvo un efecto significativo, puede considerarse el uso de una granulometría cercana a 0.55 mm como opción práctica de laboratorio, debido a que presentó el mayor promedio descriptivo de eficiencia. Sin embargo, cualquiera de las granulometrías evaluadas puede emplearse sin afectar significativamente la remoción de turbidez. Asimismo, no se aconseja una molienda excesiva, ya que podría desnaturalizar las proteínas activas de la *Moringa* y reducir la capacidad coagulante.

Se recomienda a las autoridades locales y entidades vinculadas al tratamiento de agua promover estudios piloto sobre el uso de la semilla de *Moringa oleífera* como coagulante natural en comunidades rurales, especialmente donde el acceso a coagulantes químicos es limitado. Aunque el sulfato de aluminio presentó mayor eficiencia, *Moringa oleífera* mostró una capacidad considerable de remoción. Asimismo, se recomienda a los estudiantes de la UNAH desarrollar investigaciones orientadas a evaluar la combinación de la semilla de *Moringa oleífera* con otros coagulantes naturales, con el propósito de analizar posibles efectos sinérgicos que permitan mejorar la eficiencia de remoción de turbidez y optimizar las condiciones de tratamiento.

VII. REFERENCIAS

- Agrawal, H., Shee, C., & Sharma, A. K. (2007). *Isolation of a 66 kDa Protein with Coagulation Activity from Seeds of Moringa oleifera*. 3(5), 418-421.
- Aguilar, M. I., Sáez, J., Lloréns, M., Soler, A., & Ortuño, J. F. (2002). *Tratamineto físico químico de aguas residuales*. Editum. <https://goo.su/yyUhm>
- Al Hanaktah, A., , Al Rafayia, R. A., Al Ghbabsheh, A. H., Al Rawajfeh, A. Eid, Mainali, B., & Shahid, M. (2025). *Un análisis comparativo del extracto de semilla de calabaza desgrasada y coagulantes convencionales para la reducción sostenible de la turbidez en el tratamiento de agua y aguas residuales*. 4.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2950263225000523>
- Andia Cárdenas, Y. (2000). *Tratamiento de agua: Coagulación y floculación*.
- APHA, (American Public Health Association). (2017). *Métodos estándar para el análisis de agua y aguas residuales*. <https://www.standardmethods.org/>
- Aranda Tipismana, E. O., & Esquia Zelaya, I. F. (2021). *Aplicación del polvo de moringa(Moringa oleífera) como coagulante natural en el tratamiento de agua turbia sintética* [Tesis para optar título profesional, Universidad Nacional del Callao].
<https://repositorio.unac.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/1a030caa-a72b-4497-aa3c-7e7ab323113b/content>
- Arango Mesa, S., Ortega González, W. P., Álvarez Vanegas, A., & Medina Arroyave, J. D. (2017). *Evaluación del extracto de semillas de Moringa oleífera como agente coagulante en el tratamiento de aguas residuales de una industria textil*.
<https://repository.eafit.edu.co/entities/publication/8a21a571-eff4-41c1-b373-fc6800ed23f5>

- Araque Arellano, M. (2022). *Diseño hidráulico de plantas de tratamiento de agua potable*. Abya-Yala. <https://doi.org/10.7476/9789978108208>
- Arellano Díaz, J. (2002). *Introducción a la ingeniería ambiental*. ALFAOMEGA.
https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/instituto_de_investigacion_y_gestion_territorial_047777.pdf
- Arenas Diaz, E. (2019). *Efecto de la remoción del aceite de las semillas de Moringa oleifera en el tratamiento de aguas por coagulación-floculación* [Universidad Agraria La Molina. Para optar título profesional.].
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/server/api/core/bitstreams/99178b82-8981-456a-81a4-c3a7a562cc88/content>
- Ariza Ruiz, M. F., & Gutiérrez Vargas, L. L. (2020). *Revisión bibliográfica del uso de coagulantes naturales como alternativa para el tratamiento de aguas residuales*. 5, 95-108.
- Astudillo Loyola, C. A., & Mera Orlando, C. A. (2017). *Dosificación de pasta de Moringa oleífera como coagulante-floculante natural para el pretratamiento de aguas superficiales*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Autoridad Nacional del Agua. (2016). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales*. <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/1475.pdf>
- Awad, M., Wang, H., & Fengting, L. (2013). *Weaknesses of Moringa oleifera use in water treatment*. 5(5).
https://www.researchgate.net/publication/281629560_WEAKNESSES_OF_Moringa_oleifera_USE_IN_WATER_TREATMENT

- Banchón, C., Baquerizo, R., Muñoz, D., & Zambrano, L. (2016a). *Coagulación natural para la descontaminación de efluentes industriales*. 7(4).
<https://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/article/view/118>
- Banchón, C., Baquerizo, R., Muñoz, D., & Zambrano, L. (2016b). *Coagulación natural para la descontaminación de efluentes industriales*. 7(4), 111-126.
- Barisoni, G., & Ghione, A. (2022). *Determinación de turbidez en agua de consumo y estabilidad de una solución control de calidad en el tiempo*. 13(1).
https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/217821/CONICET_Digital_Nro.c7934a44-35a4-43e0-a3c4-90752b305274_C.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- Barrenechea Martel, Quím. A. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. <https://goo.su/b9HIKDI>
- Bolaños Alvear, D. V. (2014). *Protocolo para el funcionamiento, control y operación del nuevo equipo de prueba de jarras del laboratorio de hidráulica y saneamiento*.
<https://sired.udenar.edu.co/3041/>
- Broin, M., Santaella, C., Cuine, S., Kokou, K., Peltier, G., & Joët, T. (2002). *Actividad floculante de una proteína recombinante de semillas de Moringa oleifera Lam.* 60.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00253-002-1106-5#citeas>
- Bulatovic, S. M. (2007). *Handbook of flotation reagents*. Elsevier Science & Technology Books.
<https://goo.su/cbEf4Z3>
- Calizaya Vizcarra, R. E., Atencio Layme, C. Y., Alferez Escobar, D. I., Saira Huaycani, J., & Gomez Vizcacho, L. A. (2024). *Evaluación comparativa del efecto de las semillas de Moringa oleífera y sulfato de aluminio sobre la remoción de turbidez del agua del río*

Caplina.

<https://revista.sciencevolution.com/index.php/sciencevolution/article/view/94/66>

Canaza Chicasaca, G. J., & Mamani Condori, Y. (2020a). *Revisión del uso de coagulantes naturales para remoción de turbidez de agua* [Universidad Peruana Unión].

<https://repositorio.upeu.edu.pe/server/api/core/bitstreams/c2ae1413-6d94-44b5-ac33-ba60577dce5c/content>

Canaza Chicasaca, G. J., & Mamani Condori, Y. (2020b). *Revisión del uso de coagulantes naturales para remoción de turbidez del agua* [Universidad Peruana Unión].

<http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3334>

Cañari Porras, A. S., & Leon Lopez, K. N. (2022). *Reducción de turbidez mediante los coagulantes naturales (moringa oleífera) y (opuntia ficus-indica) en aguas superficiales de la quebrada Huaycoloro, 2022* [Universidad Privada del Norte].

<https://repositorio.upn.edu.pe/item/c4827a31-3baa-4c60-bfde-7179982ae2fc>

Carril Flores Alana Del Rosario, B. O., Gómez García, Y. J., & Vásquez Mendoza, H. (2020). *Efecto coagulante—Floculante del cladodio de tuna (opuntia ficus indica) y del endospermo de moringa (moringa oleífera lam) en el tratamiento primario de aguas residuales domesticas de la PTAR del sector 9, distrito de Manantay, 2018*. Universidad Nacional De Ucayali.

Carvalho Costa, L. R., & Ferreira Fioravante, I. (2024). *Evaluación de la eficiencia de coagulantes orgánicos individuales y asociados al sulfato de aluminio en la remoción de sustancias coloidales del río Doce, Brasil*.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.clce.2024.100134>

- Castellanos Beltrán, L., & Martín Daza, M. (2020). *Desarrollo de un coagulante orgánico a partir de la semilla de moringa para la empresa comercial DACETEX LTDA* [Fundación Universidad de América]. <https://surl.li/hvbywu>
- Castillo Cohaila, M. A., & Avendaño Cáceres, E. Ó. (2020). *Efecto de las semillas de Moringa (Moringa oleifera Lam.) sobre las condiciones de clarificación del agua del río Sama de Tacna*.
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/REVSQP_f019f432b381a83482e20f3cd15bf624/Details?utm_source=chatgpt.com
- Cerón Pérez, V. A. (2016). *Estudio para la determinación y dosificación óptima de coagulantes en el proceso de clarificación de aguas crudas en la potabilización de aguas de la empresa EMPOOBANDO E.SP*. Universidad de Nariño.
- Chemeda, D. D., & Fitamo, D. (2025). Comparative analysis of Moringa stenopetala seed powder and aluminum sulfate for turbidity and E. coli removal from surface water: The case of bake pond, Borana zone, Ethiopia. *Chinese Journal of Analytical Chemistry*, 53(7), 100539. <https://doi.org/10.1016/j.cjac.2025.100539>
- Choque Quispe, D., Froehner, S., Ligarda Samanez, C. A., Ramos Pacheco, B. S., Peralta Guevara, D. E., Palomino Rincón, E., Choque Quispe, Y., Solano Reynoso, A. M., Barboza Palomino, G. I., & Zamalloa Puma, L. M. (2021). *Perspectivas de la calidad del agua de manantiales altoandinos para consumo humano en el Perú*. 13(19).
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/w13192650>
- Choque Quispe, Y., Choque Quispe, D., Solano Reynoso, A., Masco Arriola, M. L., Sumarriva Bustinza, L. A., Aguirre Landa, J., Agreda Cerna, H., Choque Quispe, K., Mojo Quisani,

- A., & Loayza Céspedes, J. (2023). *Coagulantes naturales extraídos por liofilización aplicación en el tratamiento de aguas*. Atena. <https://goo.su/GtKb8W>
- Choy, S. Y., Prasad, K., Wu, T. Y., Raghunandan, M. E., & Ramanan, Ramakrishnan Nagasundara. (2014). *Utilización de coagulantes naturales de origen vegetal como alternativas futuras para la clarificación sostenible del agua*. *Revista de Ciencias Ambientales*. 26(11), 2178-2189.
- Crittenden, J. C., Trussell, R. R., Hand, D. W., Howe, K. J., & Tchobanoglous, G. (2012). *MWH's Water Treatment: Principles and Design* (3.^a ed.). Wiley. <https://goo.su/hNda>
- Cruz del Castillo, C., & Olivares Orozco, S. (2014). *Metodología de la investigación*. <https://elibro.net/es/ereader/bibliotecaunah/39410?page=1>
- De La Grecca De La Cruz, N. J. (2025). *Evaluación de la eficiencia de la Moringa oleífera como coagulante natural para el tratamiento de aguas superficiales proveniente del río Rímac* [Tesis para optar título profesional, Universidad Científica del Sur]. <https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/4216>
- Desta, W. M., & Bote, M. de E. (2021). *Tratamiento de aguas residuales mediante un coagulante natural (semillas de Moringa oleifera): Optimización mediante la metodología de superficie de respuesta*. 7(11). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08451>
- Díaz Aliaga, S., & Tatur Izquierdo, V. I. (2020). *Análisis de la eficiencia de mucílagos y almidones naturales como coagulantes-foculantes en el tratamiento de agua* [Universidad Privada del Norte]. <https://goo.su/xCD9sCW>

- Diaz Pilco, G., & Estrada Cardenas, F. (2024). *Efecto de la semilla de la Moringa oleífera en polvo como coagulante natural para la remoción de la turbidez del agua del río Caplina, Perú*. 90(1), 55-64. <https://doi.org/https://doi.org/10.37761/rsqp.v90i01.463>
- Edzwald, J. k. (2011). *Calidad y tratamiento del agua: Manual sobre agua potable* (6.^a ed.). McGraw-Hill. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071630115>
- El Gaayda, J., Titchou, F., Barra, I., Karmal, I., Afanga, H., Zazou, H., Yap, P.-S., Abidin, Z., Hamdani, M., & Akbour, R. (2022). *Optimización de la turbidez y la eliminación de colorantes en aguas residuales sintéticas mediante la metodología de superficie de respuesta: Efectividad del polvo de semilla de Moringa oleifera como coagulante verde*. 10. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343721019655>
- Enríquez Nateros, N. A., Carrizales Condori, R. L., Toribio Román, F. M., Gonzales, T., Contreras López, E., & Posadas, R. (2023). *Evaluación de la Moringa oleífera como coagulante en el agua de una quebrada altoandina en la ciudad de Huancavelica, Perú*. <https://revistatyca.org.mx/index.php/tyca/libraryFiles/downloadPublic/232>
- Ferreira Rocha, V. V., Santos, I. F., Lopes Silva, A. M., & Ornaghi Sant'Anna, D. (2020). *Clarificación de aguas de alta turbidez: Una comparación de Moringa oleifera y coagulantes vírgenes y recuperados a base de sulfato de aluminio*. 22, 4551-4562. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10668-019-00397-2>
- Folkard, G., & Sutherland, J. (1996). *Moringa oleifera un árbol con enormes potencialidades*. 8(3), 5-8.
- Gandiwa, B., Mayo, L., Ncube, S., Mamvura, T., Mguni, L., & Hlabangana, N. (2020). *Optimización del uso de una mezcla de coagulantes naturales y sintéticos de origen*

- vegetal para el tratamiento del agua: (Mezcla de Moringa Oleifera-Cactus Opuntia-alumbre)*. 34, 158-164. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sajce.2020.07.005>
- García Carlos, G., Siqueira Tihameri, B., Moreira Milhan, N. V., Yumi, C., Pereira Antunes, M. L., & Gongalves dos Reis, A. (2022). *Impacto de las etapas de procesamiento de los coagulantes derivados de semillas de Moringa oleifera en las propiedades fisicoquímicas, orgánicas residuales y de citotoxicidad del agua tratada*. 14(13). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/w14132058>
- Ghebremichael, K. A., Gunaratna, K. R., Henriksson, H., Brumer, H., & Dalhammar, G. (2005). *Un ensayo simple de purificación y actividad de la proteína coagulante de la semilla de Moringa oleifera*. 39(11), 2338-2344. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.04.012>
- Gomez, L., & Marin, E. (2024). *Reducción de la turbiedad con coagulantes orgánicos utilizando semillas de Moringa oleífera y mucilago foliar de Opuntia ficus-indica en muestras de agua del sedimentador de la planta de tratamiento de agua potable Huachog, Huánuco*. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/683575>
- Goncalves, I. L., Menezes Filho, F. C., Morais, E., Castro, V., & Canales, F. (2024). *Optimización del uso de Moringa oleifera en el tratamiento de aguas residuales mediante diseño compuesto central rotacional*. 320. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100765>
- González Alvarado, C. M., & Sinchi Payana, J. F. (2024). *Optimización de los procesos de Coagulación y Floculación para potenciar la eficiencia en la Planta de Tratamiento de agua cruda de una industria cerámica [Universidad de cuenca]*. <https://goo.su/ULIPJk>

- González Minero, F. J. (2018). *Un estudio transversal de Moringa oleifera Lam. (Moringaceae)*. 34(1). <https://www.dominguezia.org/volumen/articulos/34101.pdf>
- Gregorio, J., & Duan, J. (2001). *Hydrolyzing metal salts as coagulants*. 5(2), 49-56.
- Gyasi, R. M., & Annor, S. (2018). *Traditional use of Moringa oleifera seed powder for drinking water clarification in rural communities*. 14(2).
- Huamán Samaniego, H., Arauco Esquivel, S. E., Rojas Bujaico, R. W., & Rojas Bujaico, J. F. (2020). *Optimización de la cantidad de coagulantes para la producción de agua potable en zonas de la sierra del Perú*. 12(1).
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7885963>
- Hussein, A. M., Mahmoud, R. K., Sillanpää, M., & Abdel Wahed, M. S. (2021). *Impactos de la descarga de lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales de alumbre y cambios en el régimen de flujo del río Nilo sobre la calidad de las aguas superficiales y los suelos cultivados en la cuenca hidrográfica de Fayum, Egipto*. 766.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720378645>
- IDEAM, I. de H., Meteorología y Estudios Ambientales. (2007). *Turbiedad por nefelometría (Método B)*. <https://goo.su/F4q6d>
- INEI. (2023). *Formas de acceso al agua y al saneamiento básico*.
https://m.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_agua_2023.pdf
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2024). *Aguas superficiales*.
- Jahn, S. A. A., Lawton, L. A., & Axtell, B. L. (1979). *Studies on natural water coagulants in the Sudan, with particular reference to the use of Moringa oleifera seeds as a primary coagulant*. 5(3). https://journals.co.za/doi/pdf/10.10520/AJA03784738_2011

- Jiménez Liso, M., De Manuel Torres, E., Gonzales García, F., & Salinas López, F. (2000). *La utilización del concepto de pH en la publicidad y su relación con las ideas que manejan los alumnos: Aplicaciones en el aula*. 18(3), 451-461.
- Joshi, N., Kumar, M. A., & Mody, K. (2020). *Aguas residuales industriales biofloculadas para mejorar la producción de biofloculantes*. 91-114.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64321-6.00005-7>
- Kakkar, S., & Dharavat, N. (2025). *Moringa oleifera, un coagulante natural, como posible enfoque futuro para la purificación sostenible del agua: Un estudio basado en una patente*. 27. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590123025026970>
- Kakkar, S., Dharavat, N., & Pammi, S. V. N. (2025). *Moringa oleifera, un coagulante natural, como posible solución futura para la purificación sostenible del agua: Un estudio basado en patentes*. 27. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.106630>
- Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., & Li, W. (2005). *Applied Linear Statistical Models* (5.^a ed.). McGraw-Hill/Irwin.
- León Palacios, E. (2025). *Tratamiento de aguas meteóricas con coagulantes orgánicos y calidad del agua para consumo humano, provincia de Huamanga, 2023* [Universidad Nacional Federico Villarreal]. <https://repositorio.unfv.edu.pe/server/api/core/bitstreams/4b2e2faa-af39-4f13-b40b-6d8d47056b26/content>
- Letterman, R. D. (1999). *Calidad de agua y tratamiento* (5.^a ed.). McGraw-Hill.
<https://goo.su/206yRac>
- Loiseau, T., Volkringer, C., Haouas, M., Taulelle, F., & Férey, G. (2015). *Química cristalina de los carboxilatos de aluminio: Desde especies moleculares hasta redes tridimensionales*

infinitas porosas. 18(12), 1350-1369.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.crci.2015.08.006>

Marin Marquez, E. E., & Gomez Timoteo, L. (2024). *Reducción de la turbiedad con coagulantes orgánicos utilizando semillas de Moringa oleífera y mucilago foliar de Opuntia ficus-indica en muestras de agua del sedimentador de la planta de tratamiento de agua potable Huachog, Huánuco* [Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas].

<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/683575>

Martínez Andrés, C. J. (2019). *Potabilización del agua*. Elearning S.L.

https://www.google.com.pe/books/edition/Potabilizaci%C3%B3n_del_agua/-XfIDwAAQBAJ?hl=es&gbpv=0

Martínez Huaira, A., & Yauri Felipe, K. (2023). *Eficiencia de la remoción de la turbidez en aguas sintéticas a nivel de laboratorio, aplicando como coagulante natural la Moringa Oleífera con y sin extracción lipídica de la semilla—2022* [Tesis para optar título profesional, Universidad Nacional de Huancavelica].

<https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/b167685b-dac1-417b-87f7-3de20fcb169b/content>

Marzougui, N., Guasmi, F., Dhouioui, S., Bouhlel, M., Hachicha, M., Berndtsson, R., & Sleimi, N. (2021). *Efficiency of Different Moringa oleifera (Lam.) Varieties as Natural Coagulants for Urban Wastewater Treatment*. 13(23).

<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su132313500>

Mendoza, J., Muñoz, C., & Prat, L. (2015). *La Moringa (Moringa oleifera Lam)*. Universidad de Chile. file:///C:/Users/HP/Downloads/La-moringa%20(1).pdf

Meza Leones, M., Riaños Donado, K., Mercado Martínez, I., Olivero Verbal, R., & Jurado

Eraso, M. (2018). *Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de Moringa oleífera en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo, Atlántico*. 17(2).

<https://www.redalyc.org/journal/5537/553756965010/553756965010.pdf>

Montgomery, D. (2012). *Design and Analysis of Experiments* (8.^a ed.). John Wiley & Sons, Inc.

https://faculty.ksu.edu.sa/sites/default/files/Lecturs_text%20book.pdf

Montgomery, D. (2013). *Design and Analysis of Experiments* (Vol. 8). John Wiley & Sons.

https://faculty.ksu.edu.sa/sites/default/files/douglas_c._montgomery-design_and_analysis_of_experiments-wiley_2012_edition_8.pdf

Moreno, D. J., Romero, C. C., & Lovera, D. F. (2026). *Applications and Uses of Moringa oleifera Seeds for Water Treatment, Agricultural Fertilization, and Nutraceuticals*. 18(1).

<https://www.mdpi.com/2071-1050/18/1/3>

Muñoz, C. (2011). *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis* (PEARSON EDUCACIÓN).

Murillo Montoya, S. A., Pacheco Gonzáles, S. I., & Galvis, G. (2020). *Manual técnico para la elaboración de coagulantes / floculantes a partir de productos naturales*.

<https://goo.su/I8XU3W>

Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo*

Sostenible (A/RES/70/1). https://unctad.org/system/files/official-document/ares70d1_es.pdf

- Nadella, S., & Nadella, L. (2024). *Heavy metal and bacterial water filtration using Moringa oleifera and coconut shell-activated carbon*. 7. <https://emerginginvestigators.org/articles/23-021>
- Nieto Yanac, M. S. (2021). *Utilización de tuna (opuntia ficus-indica) como coagulante orgánico en el tratamiento de aguas turbias* [Universidad Nacional José Faustino Sanchez Carrión]. <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/5132>
- Nkurunziza, T., Nduwayezu, J. B., Banadda, E. N., & Nhapi, I. (2009). *The effect of turbidity levels and Moringa oleifera concentration on the effectiveness of coagulation in water treatment*. 58(8), 15511-1558.
- Ntibrey, R. A. K., Kuranchie, F. A., & Gyasi, S. F. (2020). *Potencial antimicrobiano y coagulante del polvo de semillas de Moringa oleifera combinado con filtración de arena para el tratamiento de aguas residuales de baños de escuelas secundarias públicas en Ghana*. 6(8). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04627>
- Okuda, T., Baes, A., Nishijima, W., & Okada, M. (2001a). *Mecanismo de coagulación del componente activo extraído mediante solución salina en semillas de Moringa oleifera*. 35(3). [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00296-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00296-7)
- Okuda, T., Baes, A. U., Nishijima, W., & Okada, M. (2001b). *Aislamiento y caracterización del coagulante extraído de la semilla de moringa oleifera mediante solución salina*. 35(2), 404-410. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00290-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00290-6)
- Olivero Verbel, R. E., Florez Vergara, A., Vega Fellizola, L., & Villegas de Aguas, G. (2017). *Evaluación de una mezcla para coagulantes naturales, Opuntia ficus y Moringa oleífera en clarificación de aguas*. (2), 71-79. <https://doi.org/10.22507/pml.v12n2a6>

- Olivero Verbel, R. E., Vega Felizzola, L. M., & Villegas De Agua, G. P. (2020). *Opuntia Ficus y Moringa oleifera y sus efectos como clarificantes en aguas turbias*. Universidad del Atlantico. <https://repositorio.uniatlantico.edu.co/server/api/core/bitstreams/e6167dff-2abb-4f6b-9868-731e8b320d07/content>
- OMS. (2011). *Guía para la calidad del agua potable*.
<https://www.who.int/publications/i/item/9789241548151>
- OMS. (2023). *Agua potable*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Oré Cierito, L. E., Evangelista Medina, E. M., Aróstegui Poma, J. M., Carolina Loarteliga, W., Oré Cierito, J. D., & Quispe Trinidad, M. Á. (2024). *Efecto de coagulantes y floculantes en la remoción de turbidez de aguasde ríos contaminadas*. 13(3), 20-23.
- Oré Cierito, L. E., Evangelista Medina, E. M., Arostegui Poma, J. M., Loarte Aliaga, W. C., Oré Cierito, J. D., & Quispe Trinidad, M. Á. (2023). *Efecto de coagulantes y floculantes en la remoción de turbidez de aguas de ríos contaminados*. 13(3). <https://goo.su/11U1o5>
- Organización Mundial de la Salud, O. (2017). *Guías para la calidad del agua de consumo humano* (4.^a ed.). <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/89633b31-b58e-41e9-913a-a47c37713290/content>
- Pandey, P., & Khan, F. (2022). *Moringa oleifera plant as potent alternate to chemical coagulant in water purification*. 58.
<https://www.scielo.br/j/bjps/a/r7xBbtyjjvkCfGqRNgRSG5M/?lang=en>
- Pérez Garay, I. F. (2015). *Optimización de la dosificación de sulfato de aluminio para el tratamiento de agua potable del distrito de Vilcacoto*. Universidad Nacional Del Centro Del Perú.

Perez, L., & Seca, M. (2020). *Metodología de la investigación científica*.

<https://elibro.net/es/ereader/bibliotecaunah/138497?page=230>

Pradana Pérez, J. Á., & García, J. (2019). *Criterios de calidad y gestión del agua potable*.

<https://elibro.net/es/lc/bibliotecaunah/titulos/111749>

Prat del Río, L., Mendoza Ortiz, J., & Muñoz Schick, C. (2015). *LA MORINGA (Moringa oleifera Lam.)*. Universidad de Chile.

Pritchard, M., Craven, T., Mkandawire, T., Edmondson, A. S., & O'Neill, J. G. (2010). *A comparison between Moringa oleifera and chemical coagulants in the purification of drinking water: An alternative sustainable solution for developing countries*. 35(13-14).

<https://doi.org/10.1016/j.pce.2010.07.014>

Quintana Calizaya, D. S. (2024). *Evaluación del efecto del uso de Moringa oleífera como coagulante natural para la clarificación del agua del río Caplina en Tacna* [Título para optar título profesional., Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.].

<https://repositorio.unjbg.edu.pe/server/api/core/bitstreams/1571a55c-23bc-45b2-8ee7-0c3c65e06c2b/content>

Ratnayaka, D., Brandt, M., & Johnson, M. (2009). *Abastecimiento de agua* (6.^a ed.).

<https://www.sciencedirect.com/science/chapter/monograph/abs/pii/B9780750668439000159>

Restrepo Osorno, H. A. (2009). *Evaluación del proceso de coagulación-floculación de una planta de tratamiento de agua potable*. [Universidad Nacional de Colombia].

<https://bffrepositorio.unal.edu.co/server/api/core/bitstreams/8e4d68d0-89a3-40a7-bc30-422fd147d884/content>

- Ribeiro, J. V., Vega, P., & Reis, A. (2019). *Semilla de Moringa oleifera como coagulante natural para tratar agua de baja turbidez mediante filtración en línea*. 14(6).
<https://goo.su/Zz4u9TV>
- Rifi, S. K., Souabi, S., El Fels, L., Driouich, A., Nassri, I., Haddaji, C., & Hafidi, M. (2022). *Optimización del proceso de coagulación para el tratamiento de aguas residuales de almazaras utilizando Moringa oleífera como coagulante natural, CCD combinado con RSM para la optimización del tratamiento*. 162.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582022003147?via%3Dihub>
- Rumín, A. (2016). *Tratamiento de agua potable en Ayacucho (SEDA)* [Informe académico]. Universidad Nacional San Cristobal de Huamanga.
- Salvatierra Flores, A. L. (2024). *Influencia de la concentración de sulfato de aluminio en la calidad del agua potable obtenida a partir del agua superficial con alta carga de arcilla* [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico, Universidad Nacional San Luis Gonzaga]. <https://repositorio.unica.edu.pe/server/api/core/bitstreams/63f996b3-c395-4e62-996f-49083714059f/content>
- Sandoval Arreola, M. M., & Laines Canepa, J. R. (2013). *Moringa oleifera una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales*. 17(2).
<https://www.redalyc.org/pdf/467/46730913001.pdf>
- Santos, A. F. S., Argolo, A. C. C., Coelho, L. C. B. B., & Paiva, P. M. G. (2005). *Detección de lectina soluble en agua y componente antioxidante en semillas de Moringa oleifera*. 39(6), 975-980. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.12.016>
- Shah, A., Arjunan, A., Batool, M., Chike, O., Dhir, A., Arafat, A., Manning, G., Zakharova, J., Abbas, N., Mehran, M. T., Rubab, R., & Husnain, M. (2025). *Verde pero limitado:*

Reevaluación del papel de Moringa oleifera en el tratamiento del agua potable y de las aguas residuales. 5.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2950263225001401>

Shah, A., Arjunan, A., Batool, M., Oduoza, C., Dhir, A., Arafat, A., Manning, G., Zakharova, J.,

Abbas, N., Mehran, M. T., Rubab, R., & Husnain, M. (2025). *Verde pero con*

limitaciones: Reevaluando el papel de la Moringa oleifera en el tratamiento de agua

potable y aguas residuales. 5. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.clwat.2025.100202>

Shah, A., Arjunan, A., Manning, G., Batool, M., Zakharova, J., Hawkins, A. J., Ajani, F.,

Androulaki, I., & Thumma, A. (2024). *Uso novedoso y secuencial de Moringa oleifera*

Lam., biocarbón y arena para eliminar la turbidez, E. coli y metales pesados del agua

potable. 2. <https://doi.org/10.1016/j.clwat.2024.100050>

Shah, A., Manning, G., Zakharova, J., Arjunan, A., Batool, M., & Hawkins, A. J. (2024). Efecto

del tamaño de partícula de las semillas de Moringa oleifera Lam. Sobre la eliminación de

la turbidez y la actividad antibacteriana para el tratamiento del agua potable.

Environmental Chemistry and Ecotoxicology, 6, 370-379.

<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.07.008>

Sierra, C. (2011). *Calidad de agua: Evaluación y diagnóstico.*

<https://elibro.net/es/ereader/bibliotecaunah/70981?page=28>

Sifuentes Iparraguirre, J. K. (2019). *Evaluación del coagulante natural obtenido de la semilla de*

maracuyá (passiflora edulis) en la remoción de la turbidez de una solución modelo

[Universidad Privada del Norte]. <https://goo.su/Q3OkpM>

Soares de Oliveira, D., Souza do Nascimento, R., & Bravin Donadel, C. (2024). *Mejorar la*

accesibilidad al tratamiento del agua: Un método económico y sostenible para producir

un coagulante natural a base de moringa oleifera mediante filtración con papel. 13.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mex.2024.103060>

Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. (2004). *La calidad del agua potable en el Perú*. SUNASS.

https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1115225/Sunass__JICA__2004_.La_calidad_del_agua_potable_en_el_Per%C3%BA..pdf?v=1596205266

Tchobanoglous, G., Burton, F., & Stensel, H. D. (2003). *Ingeniería de aguas residuales:*

Tratamiento, vertido y reutilización (3.^a ed., Vol. 2). McGraw-Hill. <https://goo.su/Sovu>

Trejo Vázquez, R., & Hernández Montoya, V. (2004). *Riesgos a la salud por presencia del aluminio en el agua potable.* (25).

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6483666>

Trujillo, D., Duque, L., Arcila, J. S., Rincón, A., & Herrera, S. (2014). *Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano.* 27(1), 17-34.

Vegas Tamayo, J. A., Muñoz Leyva, M. A., & Velásquez Marin, M. (2023). *Uso de la Moringa oleífera como coagulante natural para la remoción de turbidez en aguas superficiales en los últimos 10 años: Una revisión de la literatura científica.*

<https://research.upn.edu.pe/es/publications/uso-de-la-moringa-ole%C3%ADfera-como-coagulante-natural-para-la-remoci/>

Villaseñor Basulto, D., Astudillo Sánchez, P., Real Olvera, J., & Bandala, E. (2018). *Wastewater treatment using Moringa oleifera Lam seeds: A review.* 23.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214714418300990>

Weiner, R., & Matthews, R. (2003). *Environmental Engineering* (4.^a ed.).

Yin, C. Y. (2010). *Uso emergente de coagulantes de origen vegetal para el tratamiento de agua y aguas residuales*. 45(9), 1437-1444.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.05.030>

VIII.ANEXOS

ANEXO A: Matriz de consistencia

Tabla 23

Tabla de Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
P. General: ¿Cuál es la eficiencia de la semilla de <i>Moringa oleifera</i> en la remoción de la turbidez de aguas superficiales a nivel de laboratorio, Huamanga, 2025?	O. General: Evaluar la eficiencia de la semilla de <i>Moringa oleifera</i> en la remoción de la turbidez de aguas superficiales a nivel de laboratorio, Huamanga, 2025.	Antecedentes Bases teóricas • Calidad de las aguas superficiales • Aguas superficiales • Turbidez del agua • Importancia de la remoción de turbidez	Hipótesis general: La semilla de <i>Moringa oleifera</i> presenta una eficiencia significativa en la remoción de la turbidez de aguas superficiales a nivel de laboratorio, Huamanga, 2025.	Variable independiente: Semilla de <i>Moringa oleifera</i> Parámetros de coagulación Dosis (10, 30, 50, 70, 90 y 110 mg/L) Granulometría (0.55, 0.63 y 0.90 mm)	Tipo de investigación Aplicativa Nivel de investigación Explicativo Diseño: Diseño factorial 6x3 Enfoque: Transversal Población: Agua superficial del río Huatatas Muestra: 150L de agua superficial
P. Específico:	O. Específicos:		Hipótesis específicas:		

- ¿Cuál es la dosis óptima de la semilla de <i>Moringa oleifera</i> en la remoción de la turbidez de aguas superficiales a nivel de laboratorio, Huamanga, 2025?	- Determinar la dosis óptima de la semilla de <i>Moringa oleifera</i> en la remoción de la turbidez de aguas superficiales a nivel de laboratorio, Huamanga 2025.	• Partículas coloidales • Coagulación • Floculación • Proceso de Sedimentación • Coagulantes naturales • <i>Moringa oleifera</i> • Factores que influyen en la eficiencia del coagulante • Preparación del coagulante de <i>Moringa oleifera</i> • Coagulante sintético	- Existe una dosis óptima de la semilla de <i>Moringa oleifera</i> que permite alcanzar la mayor eficiencia de remoción de la turbidez de aguas superficiales a nivel de laboratorio, Huamanga, 2025.	Variable dependiente: Eficiencia de remoción de turbidez. Remoción de turbidez - Turbidez inicial - Turbidez final - Porcentaje de remoción $(\%RT) = \frac{T.inicial - T.final}{T.inicial} * 100$	recolectada del río Huatatas Muestreo: Muestreo no probabilístico por conveniencia Técnicas: - Prueba de jarras - Dosificación del coagulante - Análisis granulométrico - Turbidimetría - Cálculo matemático Instrumentos: - Equipo de prueba de jarras - Turbidímetro
- ¿Cómo influye la granulometría de la semilla de <i>Moringa oleifera</i> en la remoción de la turbidez de aguas superficiales, a nivel de	- Determinar la influencia de la granulometría de la semilla de <i>Moringa oleifera</i> en la remoción de la turbidez de aguas superficiales a nivel de		- La granulometría de la semilla de <i>Moringa oleifera</i> influye significativamente en la eficiencia de remoción de turbidez de aguas superficiales, a nivel de laboratorio, Huamanga, 2025.		
			- Existen diferencias significativas en la		

laboratorio, Huamanga, 2025?	laboratorio, Huamanga, 2025. - Comparar la eficiencia de remoción de la turbidez de aguas superficiales entre el uso de la semilla de <i>Moringa oleifera</i> y sulfato de aluminio a nivel de laboratorio, Huamanga, 2025	• Método de la evaluación de eficiencia. Definiciones Conceptuales • Turbidez • Coagulación • Floculación • Semilla de Moringa oleifera • Granulometría • Dosis optima • pH • Control positivo • Coloides • Flóculo • Gradiente de velocidad	eficiencia de remoción de la turbidez de aguas superficiales entre el uso de la semilla de <i>Moringa oleifera</i> y sulfato de aluminio a nivel de laboratorio, Huamanga, 2025.	- Equipo multiparámetro - Balanza de precisión - Tamizador eléctrico - Licuadora industrial - Agitador magnético - Ficha de recolección de datos
---------------------------------	---	--	---	---

ANEXO B:

Cargo de solicitudes para el uso de laboratorios

SEDA AYACUCHO - GERENCIA HUANTA
 Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Ayacucho S.A.
 Llevamos Vida a tu Hogar
MESA DE PARTES
RECIBIDO
 11 SEP 2025
 N° EXP: 0749 FOLIO: 07
 HORA: 15:37 FIRMA: [Firma]

Solicitud: El uso de laboratorio para
 investigación de tesis.

SEÑOR GERENTE DE LA SUCURSAL HUANTA SEDA AYACUCHO.

DR. JUAN CARLOS MUNAYLLA QUISPE

Yo, FIORELLA KARLA JAYO
 MENESES, identificado con DNI N°
 61778726, domicilio en JR. José Santos
 Atahualpa s/n, del distrito de San Juan Bautista,
 provincia de Huamanga, departamento de
 Ayacucho.

Estimados señor gerente, me dirijo a ustedes con el fin de solicitar permiso para utilizar sus instalaciones de laboratorio y realizar experimentos relacionados con mi tesis titulada "Eficiencia de la semilla de Moringa Oleifera en la remoción de la turbidez de aguas superficiales a nivel de laboratorio, Huamanga, 2025". Este estudio busca evaluar el potencial de la semilla de moringa como coagulante natural en el tratamiento de aguas superficiales.

La investigación consistirá en realizar pruebas de laboratorio utilizando semillas de moringa para evaluar su eficiencia en la remoción de turbidez de aguas superficiales.

Detalles de la solicitud.

- Duración del uso del laboratorio: La investigación se llevará a cabo durante un período de aproximadamente 3 meses, iniciando en setiembre.

- Equipo y materiales necesarios: Se requerirá acceso a equipo de laboratorio estándar para análisis de agua, incluyendo turbidímetro, pHmetro, equipo de coagulación, prueba de jarras y conductímetro

Me comprometo a respetar todas las normas éticas y legales vigentes, sin alterar ni difundir la información sin la debida autorización.

Esperando su aprobación de la presente solicitud, agradeciendo de antemano. Quedo atento a su amable respuesta.

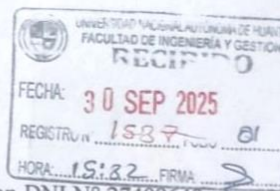
Huanta, 11 de setiembre del 2025

[Firma]
 Fiorella K. Jayo Meneses
 DNI: 61778726

SOLICITA: BRINDAR FACILIDADES PARA USO DE LABORATORIOS

Dr. Juan Quispe Rodríguez
Coordinador de la Facultad de Ingeniería y Gestión de la UNAH

ATENCIÓN : Lic. Adm. Ana Y. Hurtado Ruiz
Jefe de la unidad de abastecimiento



Yo SANTOS CLEMENTE HERRERA DÍAZ, identificado con DNI N° 27409649, con domicilio en Jr. Arica S/N- ciudad de Huanta, docente ordinario principal de la Universidad Nacional Autónoma de Huanta, escuela profesional de Ingeniería y Gestión Ambiental. Ante usted, expongo.

Que siendo asesor de tesis de la egresada FIORELLA KARLA JAYO MENESES, de la Escuela Profesional Ingeniería y Gestión Ambiental. Cuyo proyecto de investigación autofinanciado, denominado *"Eficiencia de la semilla de Moringa Oleifera en la remoción de la turbidez de aguas superficiales a nivel de laboratorio, Huamanga, 2025"*, registrado con código: CUI-UIFIG2025.014

Por lo que recurro a su despacho con la finalidad de solicitarle gestionar el uso de los siguientes **laboratorios con fines de investigación**:

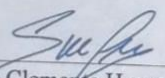
- Laboratorio de Suelos, Tecnología de la Madera, Topografía y Edafología.
- Laboratorio de Física.
- Laboratorio de Investigación Biología y Bromatología.
- Laboratorio de Química

La fecha programada para el uso del laboratorio es desde el 01 de octubre hasta el 30 de noviembre de 2025.

POR LO TANTO

Ruego a usted, señor Coordinador, a acceder petición por ser de justicia.

Huanta, 30 de setiembre de 2025


Dr. Santos Clemente Herrera Díaz
Docente-Asesor

ANEXO C:

Ficha de recolección de datos

PRUEBA DE JARRAS DE COAGULANTE NATURAL (semilla de *Moringa Oleifera*)

FECHA: 07-10-2025 y 08-10-2025

N° de vasos	DOSIFICACIÓN (mL/L)				FLOCULACION LENTA			SEDIMENTACIÓN			
	TURBIEDAD Agua Cruda: 50 UNT				Tiempos	Gradiente	RPM	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN 20 min.			
	MEZCLA RÁPIDA TIEMPO: 1min.				0 - 5 min.	80 s ⁻¹	58				
	VELOCIDAD: 305 rpm G 760 ^{s⁻¹}				5 - 10 min.	60 s ⁻¹	48				
	Moringa oleifera	Dosis en mg/L	ml a aplicar	Granulometría	10 - 15 min	40 s ⁻¹	36	Turbiedad NTU		PH	
					15 - 19 min	30 s ⁻¹	28	inicial	final	Inicial	Final
1		10	1.0	0.55				50	15.4	7.60	7.85
2		30	3.0	0.55				50	6.31	7.60	7.60
3		50	5.0	0.55				50	9.62	7.60	7.35
4		70	7.0	0.55				50	11.6	7.60	7.32
5		90	9.0	0.55				50	13.2	7.60	7.30
6		110	11.0	0.55				50	13.8	7.60	7.27

N° de vasos	DOSIFICACIÓN (mL/L)				FLOCULACION LENTA			SEDIMENTACIÓN			
	TURBIEDAD Agua Cruda: 50 UNT				Tiempos	Gradiente	RPM	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN 20 min.			
	MEZCLA RÁPIDA TIEMPO: 1min.				0 - 5 min.	80 s ⁻¹	58				
	VELOCIDAD: 305 rpm G 760 ^{s⁻¹}				5 - 10 min.	60 s ⁻¹	48				
	Moringa oleifera	Dosis en mg/L	ml a aplicar	Granulometría	10 - 15 min	40 s ⁻¹	36	Turbiedad NTU		PH	
					15 - 19 min	30 s ⁻¹	28	inicial	final	Inicial	Final
1		10	1.0	0.55				50	17.7	7.60	7.62
2		30	3.0	0.55				50	4.58	7.60	7.37
3		50	5.0	0.55				50	5.33	7.60	7.31
4		70	7.0	0.55				50	8.19	7.60	7.29
5		90	9.0	0.55				50	12.7	7.60	7.23
6		110	11.0	0.55				50	13.2	7.60	7.18

N° de vasos	DOSIFICACIÓN (mL/L)				FLOCULACION LENTA			SEDIMENTACIÓN			
	TURBIEDAD Agua Cruda: 50 UNT				Tiempos	Gradiente	RPM	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN 20 min.			
	MEZCLA RÁPIDA TIEMPO: 1min.				0 - 5 min.	80 s ⁻¹	58				
	VELOCIDAD: 305 rpm G 760 ^{s⁻¹}				5 - 10 min.	60 s ⁻¹	48				
	Moringa oleifera	Dosis en mg/L	ml a aplicar	Granulometría	10 - 15 min	40 s ⁻¹	36	Turbiedad NTU		PH	
					15 - 19 min	30 s ⁻¹	28	inicial	final	Inicial	Final
1		10	1.0	0.55				50	16.6	7.60	8.12
2		30	3.0	0.55				50	5.06	7.60	7.81
3		50	5.0	0.55				50	9.72	7.60	7.47
4		70	7.0	0.55				50	9.97	7.60	7.38
5		90	9.0	0.55				50	13.5	7.60	7.36
6		110	11.0	0.55				50	14.4	7.60	7.31

N° de vasos	DOSIFICACIÓN (mL/L)				FLOCULACION LENTA			SEDIMENTACIÓN			
	TURBIEDAD Agua Cruda: 50 UNT				Tiempos	Gradiente	RPM	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN 20 min.			
	MEZCLA RÁPIDA TIEMPO:1min.				0 - 5 min.	80 s ⁻¹	58				
	VELOCIDAD:305 rpm G 760 ^{S-1}				5 - 10 min.	60 s ⁻¹	48				
	Moringa oleifera	Dosis en mg/L	ml a aplicar	Granulometría	10 - 15 min	40 s ⁻¹	36	Turbiedad NTU		PH	
					15 - 19 min	30 s ⁻¹	28	inicial	final	Inicial	Final
1		10	1.0	0.63				50	14.8	7.60	7.59
2		30	3.0	0.63				50	8.30	7.60	7.25
3		50	5.0	0.63				50	6.23	7.60	7.23
4		70	7.0	0.63				50	7.92	7.60	7.19
5		90	9.0	0.63				50	12.0	7.60	7.18
6		110	11.0	0.63				50	12.3	7.60	7.14

N° de vasos	DOSIFICACIÓN (mL/L)				FLOCULACION LENTA			SEDIMENTACIÓN			
	TURBIEDAD Agua Cruda: 50 UNT				Tiempos	Gradiente	RPM	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN 20 min.			
	MEZCLA RÁPIDA TIEMPO:1min.				0 - 5 min.	80 s ⁻¹	58				
	VELOCIDAD:305 rpm G 760 ^{S-1}				5 - 10 min.	60 s ⁻¹	48				
	Moringa oleifera	Dosis en mg/L	ml a aplicar	Granulometría	10 - 15 min	40 s ⁻¹	36	Turbiedad NTU		PH	
					15 - 19 min	30 s ⁻¹	28	inicial	final	Inicial	Final
1		10	1.0	0.63				50	17.6	7.60	7.56
2		30	3.0	0.63				50	9.75	7.60	7.39
3		50	5.0	0.63				50	10.6	7.60	7.32
4		70	7.0	0.63				50	12.5	7.60	7.31
5		90	9.0	0.63				50	14.7	7.60	7.27
6		110	11.0	0.63				50	17.0	7.60	7.26

N° de vasos	DOSIFICACIÓN (mL/L)				FLOCULACION LENTA			SEDIMENTACIÓN			
	TURBIEDAD Agua Cruda: 50 UNT				Tiempos	Gradiente	RPM	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN 20 min.			
	MEZCLA RÁPIDA TIEMPO:1min.				0 - 5 min.	80 s ⁻¹	58				
	VELOCIDAD:305 rpm G 760 ^{S-1}				5 - 10 min.	60 s ⁻¹	48				
	Moringa oleifera	Dosis en mg/L	ml a aplicar	Granulometría	10 - 15 min	40 s ⁻¹	36	Turbiedad NTU		PH	
					15 - 19 min	30 s ⁻¹	28	inicial	final	Inicial	Final
1		10	1.0	0.63				50	17.0	7.60	7.64
2		30	3.0	0.63				50	6.72	7.60	7.42
3		50	5.0	0.63				50	10.7	7.60	7.35
4		70	7.0	0.63				50	11.8	7.60	7.31
5		90	9.0	0.63				50	12.8	7.60	7.28
6		110	11.0	0.63				50	13.6	7.60	7.25

N° de vasos	DOSIFICACIÓN (mL/L)				FLOCULACION LENTA			SEDIMENTACIÓN			
	TURBIEDAD Agua Cruda: 50 UNT				Tiempos	Gradiente	RPM	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN 20 min.			
	MEZCLA RÁPIDA TIEMPO:1min.				0 - 5 min.	80 s ⁻¹	58				
	VELOCIDAD:305 rpm G 760 ^{S-1}				5 - 10 min.	60 s ⁻¹	48				
	Moringa oleifera	Dosis en mg/L	ml a aplicar	Granulometría	10 - 15 min	40 s ⁻¹	36	Turbiedad NTU		PH	
					15 - 19 min	30 s ⁻¹	28	inicial	final	Inicial	Final
1		10	1.0	0.9				50	17.7	7.60	7.62
2		30	3.0	0.9				50	14.6	7.60	7.46
3		50	5.0	0.9				50	11.5	7.60	7.37
4		70	7.0	0.9				50	11.8	7.60	7.34
5		90	9.0	0.9				50	12.5	7.60	7.29
6		110	11.0	0.9				50	23.6	7.60	7.24

N° de vasos	DOSIFICACIÓN (mL/L)				FLOCULACION LENTA			SEDIMENTACIÓN			
	TURBIEDAD Agua Cruda: 50 UNT				Tiempos	Gradiente	RPM	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN 20 min.			
	MEZCLA RÁPIDA TIEMPO:1min.				0 - 5 min.	80 s ⁻¹	58				
	VELOCIDAD:305 rpm G 760 ^{S-1}				5 - 10 min.	60 s ⁻¹	48				
	Moringa oleifera	Dosis en mg/L	ml a aplicar	Granulometría	10 - 15 min	40 s ⁻¹	36	Turbiedad NTU		PH	
					15 - 19 min	30 s ⁻¹	28	inicial	final	Inicial	Final
1		10	1.0	0.9				50	18.3	7.60	7.53
2		30	3.0	0.9				50	8.42	7.60	7.33
3		50	5.0	0.9				50	8.03	7.60	7.28
4		70	7.0	0.9				50	9.09	7.60	7.24
5		90	9.0	0.9				50	12.5	7.60	7.21
6		110	11.0	0.9				50	13.6	7.60	7.19

N° de vasos	DOSIFICACIÓN (mL/L)				FLOCULACION LENTA			SEDIMENTACIÓN			
	TURBIEDAD Agua Cruda: 50 UNT				Tiempos	Gradiente	RPM	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN 20 min.			
	MEZCLA RÁPIDA TIEMPO:1min.				0 - 5 min.	80 s ⁻¹	58				
	VELOCIDAD:305 rpm G 760 ^{S-1}				5 - 10 min.	60 s ⁻¹	48				
	Moringa oleifera	Dosis en mg/L	ml a aplicar	Granulometría	10 - 15 min	40 s ⁻¹	36	Turbiedad NTU		PH	
					15 - 19 min	30 s ⁻¹	28	inicial	final	Inicial	Final
1		10	1.0	0.9				50	15.8	7.60	7.48
2		30	3.0	0.9				50	7.20	7.60	7.24
3		50	5.0	0.9				50	5.84	7.60	7.21
4		70	7.0	0.9				50	7.38	7.60	7.18
5		90	9.0	0.9				50	9.78	7.60	7.16
6		110	11.0	0.9				50	9.87	7.60	7.13

N° de vasos	DOSIFICACIÓN (mL/L)				FLOCULACION LENTA			SEDIMENTACIÓN			
	TURBIEDAD Agua Cruda: 50 UNT				Tiempos	Gradiente	RPM	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN 20 min.			
	MEZCLA RÁPIDA TIEMPO: 1min.				0 - 5 min.	80 s ⁻¹	58				
	VELOCIDAD: 305 rpm G 760 ^{s-1}				5 - 10 min.	60 s ⁻¹	48				
		Dosis en mg/L	ml a aplicar		10 - 15 min	40 s ⁻¹	36	Turbiedad NTU		PH	
					15 - 19 min	30 s ⁻¹	28	inicial	final	Inicial	Final
1		10	1.0					50	7.15	7.60	7.50
2		15	1.5					50	1.02	7.60	7.18
3		20	2.0					50	1.05	7.60	6.99
4		25	2.5					50	1.38	7.60	6.91
5		30	3.0					50	1.40	7.60	6.86
6		35	3.5					50	1.59	7.60	6.80

N° de vasos	DOSIFICACIÓN (mL/L)				FLOCULACION LENTA			SEDIMENTACIÓN			
	TURBIEDAD Agua Cruda: 50 UNT				Tiempos	Gradiente	RPM	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN 20 min.			
	MEZCLA RÁPIDA TIEMPO: 1min.				0 - 5 min.	80 s ⁻¹	58				
	VELOCIDAD: 305 rpm G 760 ^{s-1}				5 - 10 min.	60 s ⁻¹	48				
		Dosis en mg/L	ml a aplicar		10 - 15 min	40 s ⁻¹	36	Turbiedad NTU		PH	
					15 - 19 min	30 s ⁻¹	28	inicial	final	Inicial	Final
1		10	1.0					50	5.26	7.60	7.27
2		15	1.5					50	2.15	7.60	7.20
3		20	2.0					50	0.85	7.60	6.95
4		25	2.5					50	1.61	7.60	6.86
5		30	3.0					50	1.57	7.60	6.80
6		35	3.5					50	0.91	7.60	6.72

N° de vasos	DOSIFICACIÓN (mL/L)				FLOCULACION LENTA			SEDIMENTACIÓN			
	TURBIEDAD Agua Cruda: 50 UNT				Tiempos	Gradiente	RPM	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN 20 min.			
	MEZCLA RÁPIDA TIEMPO: 1min.				0 - 5 min.	80 s ⁻¹	58				
	VELOCIDAD: 305 rpm G 760 ^{s-1}				5 - 10 min.	60 s ⁻¹	48				
		Dosis en mg/L	ml a aplicar		10 - 15 min	40 s ⁻¹	36	Turbiedad NTU		PH	
					15 - 19 min	30 s ⁻¹	28	inicial	final	Inicial	Final
1		10	1.0					50	10.8	7.60	7.46
2		15	1.5					50	1.23	7.60	7.19
3		20	2.0					50	0.76	7.60	7.03
4		25	2.5					50	0.82	7.60	6.92
5		30	3.0					50	0.94	7.60	6.85
6		35	3.5					50	1.09	7.60	6.60

ANEXO D:

Tabla 24

Tabla de base de datos

N°	Tipo de coagulante	NULON	DOSIS	EPETIC	BIDEZ IN	BIDEZ	REMO	PH INIC	PH FIN
1	Moringa oleifera	0.55	10	R1	50	15.4	69.2	7.60	7.85
2	Moringa oleifera	0.55	30	R1	50	6.31	87.38	7.60	7.60
3	Moringa oleifera	0.55	50	R1	50	9.62	80.76	7.60	7.35
4	Moringa oleifera	0.55	70	R1	50	11.6	76.8	7.60	7.32
5	Moringa oleifera	0.55	90	R1	50	13.2	73.6	7.60	7.30
6	Moringa oleifera	0.55	110	R1	50	13.8	72.4	7.60	7.27
7	Moringa oleifera	0.55	10	R2	50	17.7	64.6	7.60	7.62
8	Moringa oleifera	0.55	30	R2	50	4.58	90.84	7.60	7.37
9	Moringa oleifera	0.55	50	R2	50	5.33	89.34	7.60	7.31
10	Moringa oleifera	0.55	70	R2	50	8.19	83.62	7.60	7.29
11	Moringa oleifera	0.55	90	R2	50	12.7	74.6	7.60	7.23
12	Moringa oleifera	0.55	110	R2	50	13.2	73.6	7.60	7.18
13	Moringa oleifera	0.55	10	R3	50	16.6	66.8	7.60	8.12
14	Moringa oleifera	0.55	30	R3	50	5.06	89.88	7.60	7.81
15	Moringa oleifera	0.55	50	R3	50	9.72	80.56	7.60	7.47
16	Moringa oleifera	0.55	70	R3	50	9.97	80.06	7.60	7.38
17	Moringa oleifera	0.55	90	R3	50	13.5	73	7.60	7.36
18	Moringa oleifera	0.55	110	R3	50	14.4	71.2	7.60	7.31
19	Moringa oleifera	0.63	10	R1	50	14.8	70.4	7.60	7.59
20	Moringa oleifera	0.63	30	R1	50	8.30	83.4	7.60	7.25
21	Moringa oleifera	0.63	50	R1	50	6.23	87.54	7.60	7.23
22	Moringa oleifera	0.63	70	R1	50	7.92	84.16	7.60	7.19
23	Moringa oleifera	0.63	90	R1	50	12.0	76	7.60	7.18
24	Moringa oleifera	0.63	110	R1	50	12.3	75.4	7.60	7.14
25	Moringa oleifera	0.63	10	R2	50	17.6	64.8	7.60	7.56
26	Moringa oleifera	0.63	30	R2	50	9.75	80.5	7.60	7.39
27	Moringa oleifera	0.63	50	R2	50	10.6	78.8	7.60	7.32
28	Moringa oleifera	0.63	70	R2	50	12.5	75	7.60	7.31
29	Moringa oleifera	0.63	90	R2	50	14.7	70.6	7.60	7.27
30	Moringa oleifera	0.63	110	R2	50	17.0	66	7.60	7.26
31	Moringa oleifera	0.63	10	R3	50	17.0	66	7.60	7.64
32	Moringa oleifera	0.63	30	R3	50	6.72	86.56	7.60	7.42
33	Moringa oleifera	0.63	50	R3	50	10.7	78.6	7.60	7.35
34	Moringa oleifera	0.63	70	R3	50	11.8	76.4	7.60	7.31
35	Moringa oleifera	0.63	90	R3	50	12.8	74.4	7.60	7.28
36	Moringa oleifera	0.63	110	R3	50	13.6	72.8	7.60	7.25
37	Moringa oleifera	0.9	10	R1	50	17.7	64.6	7.60	7.62
38	Moringa oleifera	0.9	30	R1	50	14.6	70.8	7.60	7.46
39	Moringa oleifera	0.9	50	R1	50	11.5	77	7.60	7.37
40	Moringa oleifera	0.9	70	R1	50	11.8	76.4	7.60	7.34
41	Moringa oleifera	0.9	90	R1	50	12.5	75	7.60	7.29
42	Moringa oleifera	0.9	110	R1	50	23.6	52.8	7.60	7.24
43	Moringa oleifera	0.9	10	R2	50	18.3	63.4	7.60	7.53
44	Moringa oleifera	0.9	30	R2	50	8.42	83.16	7.60	7.33
45	Moringa oleifera	0.9	50	R2	50	8.03	83.94	7.60	7.28
46	Moringa oleifera	0.9	70	R2	50	9.09	81.82	7.60	7.24
47	Moringa oleifera	0.9	90	R2	50	12.5	75	7.60	7.21
48	Moringa oleifera	0.9	110	R2	50	13.6	72.8	7.60	7.19
49	Moringa oleifera	0.9	10	R3	50	15.8	68.4	7.60	7.48
50	Moringa oleifera	0.9	30	R3	50	7.20	85.6	7.60	7.24
51	Moringa oleifera	0.9	50	R3	50	5.84	88.32	7.60	7.21
52	Moringa oleifera	0.9	70	R3	50	7.38	85.24	7.60	7.18
53	Moringa oleifera	0.9	90	R3	50	9.78	80.44	7.60	7.16
54	Moringa oleifera	0.9	110	R3	50	9.87	80.26	7.60	7.13
55	Sulfato de aluminio		10	R1	50	7.15	85.7	7.60	7.50
56	Sulfato de aluminio		15	R1	50	1.02	97.96	7.60	7.18
57	Sulfato de aluminio		20	R1	50	1.05	97.9	7.60	6.99
58	Sulfato de aluminio		25	R1	50	1.38	97.24	7.60	6.91
59	Sulfato de aluminio		30	R1	50	1.40	97.2	7.60	6.86
60	Sulfato de aluminio		35	R1	50	1.59	96.82	7.60	6.80
61	Sulfato de aluminio		10	R2	50	5.26	89.48	7.60	7.27
62	Sulfato de aluminio		15	R2	50	2.15	95.7	7.60	7.20
63	Sulfato de aluminio		20	R2	50	0.85	98.3	7.60	6.95
64	Sulfato de aluminio		25	R2	50	1.61	96.78	7.60	6.86
65	Sulfato de aluminio		30	R2	50	1.57	96.86	7.60	6.80
66	Sulfato de aluminio		35	R2	50	0.91	98.18	7.60	6.72
67	Sulfato de aluminio		10	R3	50	10.8	78.4	7.60	7.46
68	Sulfato de aluminio		15	R3	50	1.23	97.54	7.60	7.19
69	Sulfato de aluminio		20	R3	50	0.76	98.48	7.60	7.03
70	Sulfato de aluminio		25	R3	50	0.82	98.36	7.60	6.92
71	Sulfato de aluminio		30	R3	50	0.94	98.12	7.60	6.85
72	Sulfato de aluminio		35	R3	50	1.09	97.82	7.60	6.60

ANEXO E:**Panel fotográfico****Figura 52**

Asesoría de mi coasesor en laboratorio de SEDA

**Figura 53**

Asesoría del encargado del laboratorio SEDA

