



Esta obra está bajo una
[Licencia Creative Commons
Atribución - 4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)
Vea una copia de esta licencia en
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>





FACULTAD DE ECOLOGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA

Tesis

Eficiencia de la semilla de Moringa oleífera como coagulante para la remoción de turbidez y color en aguas, quebrada Rumiycu – Moyobamba

Para optar el título profesional de Ingeniero Sanitario

Autor:

Landry Rojas Fernández

<https://orcid.org/0000-0001-8091-3907>

Asesor:

Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza

<https://orcid.org/0000-0003-1396-9745>

Moyobamba, Perú

2025



FACULTAD DE ECOLOGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA

Tesis

Eficiencia de la semilla de Moringa oleífera como coagulante para la remoción de turbidez y color en aguas, quebrada Rumiycu – Moyobamba

Para optar el título profesional de Ingeniero Sanitario

Autor:

Landry Rojas Fernández

Sustentado y aprobado el 15 de setiembre del 2025, ante el honorable jurado:

Presidente de Jurado
Ing. Santiago Alberto Casas
Luna

Secretario de Jurado
Ing. M.Sc. Mirtha Felicita
Valverde Vera

Vocal de Jurado
Blgo. M.Sc. Luis Eduardo
Rodríguez Pérez

Asesor
Ing. Dr. Yrwin Francisco
Azabache Liza

Moyobamba, Perú

2025



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN
FACULTAD DE ECOLOGÍA
Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DEL INFORME FINAL DE TESIS CONDUCENTES A
TÍTULO PROFESIONAL N° 040-2025-UNSM/EPIS/UI**

Jurado reconocido con Resolución N° 242-2021-UNSM/CFT/FE, de fecha 01 de setiembre del 2021.

**FACULTAD DE ECOLOGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA
PROGRAMA DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA SANITARIA**

A las 14:00 horas, del día lunes 15 de setiembre de 2025, inició el acto público de sustentación del informe final de tesis “Eficiencia de la semilla de Moringa oleífera como coagulante para la remoción de turbidez y color en aguas, quebrada Rumiyaçu– Moyobamba”, para optar el título profesional de Ingeniero Sanitario, presentado por **Landry Rojas Fernández**, con la asesoría del **Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza**.

Instalada la Mesa Directiva conformada por el **Ing. M.Sc. Santiago Alberto Casas Luna** (Presidente del jurado), **Ing. M.Sc. Mirtha Felícita Valverde Vera** (Secretario), **Blgo. M.Sc. Luis Eduardo Rodríguez Pérez** (Vocal) y acompañado por el **Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza** (Asesor), el presidente del jurado dirige brevemente unas palabras y a continuación el secretario dio lectura a la **Resolución N° 574-2023-UNSM/CF/FE, de fecha 29 de diciembre de 2023**.

Seguidamente el autor expuso el informe final de tesis y el jurado realizó las preguntas pertinentes, respondida por la sustentante y eventualmente, con la venia del jurado, por el asesor.

Una vez terminada la ronda de preguntas el jurado procedió a deliberar para determinar la calificación final, para lo cual dispuso un receso de quince (15) minutos, con participación del asesor con voz, pero sin voto; sin la presencia de la sustentante y otros participantes del acto público.

Luego de aplicar los criterios de calificación con estricta observancia del principio de objetividad y de acuerdo con los puntajes en escala vigesimal (de 0 a 20), según el Anexo 4.2 del RG-CTI, la nota de sustentación otorgada resultante del promedio aritmético de los calificativos emitidos por cada uno de los miembros del jurado fue **DIÉCISEIS.....(16)**, tal como se deja constar en la siguiente descripción.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN
FACULTAD DE ECOLOGÍA
Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria



De acuerdo con el Artículo 40° del RG-CTI, la nota obtenida es APROBATORIA y correspondiente a la calificación de BUENO. Leído este resultado en presencia de todos los participantes del acto de sustentación, el secretario dio lectura a las observaciones subsanables al informe final que el autor deberá corregir y alcanzar al jurado en un plazo máximo de treinta (30) días calendarios.

Se deja constancia que la presente acta se inscribe en el Libro de Sustentaciones N° 002 del Programa de Estudios de Ingeniería Sanitaria de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ecología de la UNSM.

Firman los integrantes de la Mesa Directiva y el autor del informe final tesis en señal de conformidad, dando por concluido el acto a las 16:40 horas, el mismo día 15 de setiembre de 2025.

Ing. M.Sc. Santiago Alberto Casas Luna
Presidente del Jurado

Ing. M.Sc. Mirtha Felicitá Valverde Vera
Secretario del Jurado

Blgo. M.Sc. Luis Eduardo Rodríguez Pérez
Vocal del Jurado

Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza
Asesor

Landry Rojas Fernández
Autor

Declaratoria de autenticidad

Landry Rojas Fernández, con DNI N° 72910902, egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria, Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín, autor de la tesis titulada: **Eficiencia de la semilla de Moringa oleífera como coagulante para la remoción de turbidez y color en aguas, quebrada Rumiycu – Moyobamba.**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencia de las fuentes bibliográficas consultadas, siguiendo las normas APA actuales
3. Toda información que contiene la tesis no ha sido plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín.

Moyobamba, 15 de setiembre del 2025.



Landry Rojas Fernández
DNI N° 72910902

Ficha de identificación

<p>Título:</p> <p>Eficiencia de la semilla de Moringa oleífera como coagulante para la remoción de turbidez y color en aguas, quebrada Rumiyacu-Moyobamba.</p>	<p>Área de investigación: Ciencia y Tecnología Ambiental</p> <p>Línea de investigación: Saneamiento Ambiental</p> <p>Sublínea de investigación: Tratamiento de agua</p> <p>Grupo de investigación: Tecnologías de Tratamiento del Agua, Resolución N° 251-2022-UNSM/CFT/FE</p> <p>Tipo de investigación: Básica <input type="checkbox"/>, Aplicada <input checked="" type="checkbox"/>, Desarrollo experimental <input type="checkbox"/></p>
<p>Autor:</p> <p>Bach. Landry Rojas Fernández</p>	<p>Facultad de Ecología Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria https://orcid.org/0000-0001-8091-3907</p>
<p>Asesor:</p> <p>Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza</p>	<p>Dependencia local de soporte:</p> <p>Facultad de Ecología Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria Unidad o Laboratorio Ingeniería Sanitaria https://orcid.org/0000-0003-1396-9745</p>

Dedicatoria

Este trabajo de investigación es una meta más cumplida en mi ámbito profesional que siempre soñé, planeé y lo realicé; me siento bendecida, agradezco infinitamente:

A Dios por jamás abandonarme, por demostrarme que me ama, que está en todas partes, le pido sabiduría para seguir adelante.

A mis padres, por siempre apoyarme a pesar de todo, por haber puesto su fe en mí, por jamás abandonarme en la situación que viví, especialmente a mi mamá por ser mi mano derecha y dedicarme su incondicional apoyo.

A mis dos hijos, un amor incondicional, quienes me enseñan a ser una mejor madre y ser humano cada día, son mi motor y motivo de vida.

A mi pareja y padre de mis hijos, agradecimiento infinito por ser mi fortaleza desde siempre y continuar en todo conmigo hasta el final.

A mis dos hermanas y sobrinos por siempre estar para mí cuando más lo necesito, son todo para mí.

Agradecimientos

Primeramente, agradecer a Dios por derramar en mí su sabiduría y permitirme ser su humilde seguidora.

Agradezco a la UNSM por existir, por darme la oportunidad de ejercer una carrera profesional.

A mis padres estaré eternamente agradecida por confiar en mí en todo momento.

Al Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza, por su apoyo antes, durante y después de la ejecución de mi tesis.

A mis jurados de tesis, por ser pacientes y hacer mejorar mi trabajo y poder hacer realidad el cumplimiento de la misma.

A mis amigas de la universidad, S. Milagros Casique Guevara, Rocío Cubas Altamirano y Fiorella C. López Barbarán, por su sincera amistad y apoyo brindado durante todo este tiempo.

A mi compañera de trabajo Juleyssi Rubio Becerra, por su amistad y apoyo incondicional en los momentos que más necesité.

Índice general

Ficha de identificación.....	6
Dedicatoria.....	7
Agradecimientos	8
Índice general.....	9
Índice de tablas	11
Índice de figuras.....	13
RESUMEN	14
ABSTRACT	15
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN	16
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	18
2.1. Antecedentes de la investigación.....	18
2.1.1. A nivel internacional.....	18
2.1.2. A nivel nacional	18
2.1.3. A nivel local	19
2.2. Fundamentos teóricos.....	20
2.2.1. Agua	20
2.2.2. Coagulación.....	21
2.2.3. Moringa	26
2.2.4. Definición de términos básicos	28
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS	31
3.1. Ámbito y condiciones de la investigación	31
3.1.1. Contexto de la investigación	31
3.1.2. Periodo de ejecución	31
3.1.3. Autorizaciones y permisos	31
3.1.4. Control ambiental y protocolos de bioseguridad	31
3.1.5. Aplicación de principios éticos internacionales	31
3.2. 3.2. Sistema de variables.....	32

	10
3.2.1. Variables principales	32
3.2.2. Variables secundarias	32
3.3. Procedimientos de la investigación	32
3.3.1. Objetivo específico 1	32
3.3.2. Objetivo específico 2	34
3.3.3. Objetivo específico 3	35
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
4.1. Obtención del coagulante de la semilla de <i>Moringa Oleífera</i> a través de métodos físicos.....	37
4.2. Determinación de la dosis óptima, velocidad de agitación y tiempo de mezcla en el tratamiento mediante la prueba de jarras.....	37
4.3. Evaluación de los turbidez y color ante el efecto del coagulante antes y después del tratamiento.....	46
4.4. Discusión de resultados	51
CONCLUSIONES	53
RECOMENDACIONES	54
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
ANEXOS	59
Anexo 1. Proceso de obtención de polvo de <i>Moringa Oleífera</i>	59
Anexo 2. Panel fotográfico.....	63
Anexo 3. Ficha de toma de datos.	65
Anexo 4. Boleta de pago para autorización de ingreso al Laboratorio de Ingeniería Sanitaria.	66
Anexo 5. Registro de asistencia al Laboratorio de Ingeniería Sanitaria.	67

Índice de tablas

Tabla 1 Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica	21
Tabla 2 Variables descritas por objetivos	32
Tabla 3 Velocidad de agitación y concentración del coagulante	34
Tabla 4 Concentraciones iniciales de la quebrada Rumiyacu - Muestreo N° 1.....	37
Tabla 5 Dosificación de prueba de jarras – Muestreo N° 1	38
Tabla 6 Parámetros de operación – Escenario N° 1 (Muestreo N° 1)	38
Tabla 7 Resultados de prueba de jarras – Escenario N° 1 (Muestreo N° 1).....	38
Tabla 8 Parámetros de operación – Escenario N° 2 (Muestreo N° 1)	38
Tabla 9 Resultados de prueba de jarras – Escenario N° 2 (Muestreo N° 1).....	39
Tabla 10 Parámetros de operación – Escenario N° 3 (Muestreo N° 1).....	39
Tabla 11 Resultados de prueba de jarras – Escenario N° 3 (Muestreo N° 1).....	39
Tabla 12 Concentraciones iniciales de la quebrada Rumiyacu - Muestreo N° 2.....	40
Tabla 13 Dosificación de prueba de jarras – Muestreo N° 2.....	40
Tabla 14 Parámetros de operación – Escenario N° 1 (Muestreo N° 2).....	40
Tabla 15 Resultados de prueba de jarras – Escenario N° 1 (Muestreo N° 2).....	41
Tabla 16 Parámetros de operación – Escenario N° 2 (Muestreo N° 2).....	41
Tabla 15 Resultados de prueba de jarras – Escenario N° 2 (Muestreo N° 2).....	41
Tabla 18 Parámetros de operación – Escenario N° 3 (Muestreo N° 2).....	41
Tabla 19 Resultados de prueba de jarras – Escenario N° 3 (Muestreo N° 2).....	42
Tabla 20 Concentraciones iniciales de la quebrada Rumiyacu – Muestreo N° 3.....	42
Tabla 21 Dosificación de prueba de jarras – Muestreo N° 3.....	43
Tabla 22 Parámetros de operación – Escenario N° 1 (Muestreo N° 3).....	43
Tabla 23 Resultados de prueba de jarras – Escenario N° 1 (Muestreo N° 3).....	43
Tabla 24 Parámetros de operación – Escenario N° 2 (Muestreo N° 3).....	43
Tabla 25 Resultados de prueba de jarras – Escenario N° 2 (Muestreo N° 3).....	44
Tabla 26 Parámetros de operación – Escenario N° 3 (Muestreo N° 3).....	44
Tabla 27 Resultados de prueba de jarras – Escenario N° 3 (Muestreo N° 3).....	44
Tabla 28 Concentraciones iniciales de la quebrada Rumiyacu - Muestreo N° 3.....	45
Tabla 29 Dosificación de prueba de jarras – Muestreo N° 3.....	45

Tabla 30 Parámetros de lmmoperación – Escenario N° 1 (Muestreo N° 4)	46
Tabla 31 Resultados de prueba de jarras – Escenario N° 1 (Muestreo N° 4).....	46
Tabla 32 Mejores resultados muestreo 1	47
Tabla 33 Mejores resultados muestreo 2	48
Tabla 34 Mejores resultados muestreo 3	48
Tabla 35 Mejores resultados muestreo 4	49
Tabla 36 Resultados de la prueba t para muestras relacionadas	50

Índice de figuras

Figura 1 Usos potenciales de las diferentes partes de la planta de Moringa oleífera ..	28
Figura 2 Procesos adecuados para obtener el coagulante.....	33

RESUMEN

Eficiencia de la semilla de Moringa oleífera como coagulante para la remoción de turbidez y color en aguas, quebrada Rumiyacu – Moyobamba.

El incremento de actividades humanas e industrialización ha intensificado la contaminación del agua, exigiendo métodos de tratamiento más eficientes y sostenibles. Este estudio evaluó la eficacia de las semillas de Moringa oleífera como coagulante natural para la remoción de turbidez y color en las aguas de la quebrada Rumiyacu, Moyobamba, Perú; durante los meses de junio y julio del 2024. Las muestras de agua fueron recolectadas y trasladadas al Laboratorio de Ingeniería Sanitaria. El objetivo general fue evaluar la eficacia del coagulante de Moringa oleífera, con tres objetivos específicos: Obtener el coagulante mediante métodos físicos, determinar la dosis óptima y condiciones de mezcla, y evaluar los parámetros fisicoquímicos antes y después del tratamiento. Siguiendo un diseño experimental con pruebas de jarras, se variaron concentraciones del coagulante (1%, 3% y 5%), dosis del coagulante (20-120 mg/L), velocidades de mezcla (150 RPM para mezcla rápida y 38 RPM para mezcla lenta) y tiempos de sedimentación. Se realizaron cuatro muestreos, midiendo turbidez, color, pH, conductividad y sólidos totales disueltos. Los mejores resultados se obtuvieron con una concentración del 5%, logrando una reducción de turbidez del 97,88% (de 90 UNT a 1,91 UNT) y de color del 95,05% (de 303 Pt/Co a 15 Pt/Co). Las dosis óptimas oscilaron entre 60 y 100 mg/L. Se concluye que Moringa oleífera es un coagulante natural altamente efectivo, sostenible y económico para el tratamiento de aguas con alta turbidez y color en la región, manteniendo estables otros parámetros como pH, conductividad y sólidos totales disueltos, mejorando la calidad del agua.

Palabras clave: coagulante, color, moringa oleífera, tratamiento de agua, turbidez.

ABSTRACT

Efficiency of *Moringa oleifera* seed as a coagulant for the removal of turbidity and color in waters, Rumiyacu Stream – Moyobamba.

The increase in human activities and industrialization has intensified water pollution, requiring more efficient and sustainable treatment methods. This study evaluated the effectiveness of *Moringa oleifera* seeds as a natural coagulant for the removal of turbidity and color in the waters of the Rumiyacu stream, Moyobamba, Peru, during the months of June and July 2024. Water samples were collected and transferred to the Sanitary Engineering Laboratory. The overall objective was to evaluate the effectiveness of the *Moringa oleifera* coagulant, with three specific objectives: to obtain the coagulant using physical methods, to determine the optimal dose and mixing conditions, and to evaluate physicochemical parameters before and after treatment. Following an experimental design with jar tests, variations were made in coagulant concentrations (1%, 3%, and 5%), coagulant doses (20-120 mg/L), mixing speeds (150 RPM for fast mixing and 38 RPM for slow mixing), and sedimentation times. Four samples were taken, measuring turbidity, color, pH, conductivity, and total dissolved solids. The best results were obtained with a concentration of 5%, achieving a 97.88% reduction in turbidity (from 90 UNT to 1.91 UNT) and a 95.05% reduction in color (from 303 Pt/Co to 15 Pt/Co). The optimal doses ranged from 60 to 100 mg/L. It is concluded that *Moringa oleifera* is a highly effective, sustainable, and economical natural coagulant for the treatment of water with high turbidity and color in the region, maintaining other parameters such as pH, conductivity, and total dissolved solids stable, thereby improving water quality.

Keywords: coagulant, color, *moringa oleifera*, water treatment, turbidity.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

Es un derecho humano fundamental acceder al agua potable, por lo que deben cumplirse estrictamente los estándares de calidad establecidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano – DS N.º 031-2010-SA, el cual regula parámetros físicos, químicos y bacteriológicos (MINSA, 2011). El agua dirigida para uso personal y doméstico debe estar sin contaminantes que representen riesgos para la salud y, además, cumplir con condiciones organolépticas adecuadas, como color, olor y sabor (MVCS, 2017).

En los últimos años, la búsqueda de tecnologías sostenibles para el tratamiento de agua ha promovido la evaluación de coagulantes naturales como una alternativa a los productos químicos convencionales, debido a su bajo costo, disponibilidad local y menor impacto ambiental. La *Moringa oleífera*, planta tropical ampliamente distribuida en regiones del Perú, ha demostrado poseer proteínas con carga positiva capaces de aglutinar partículas coloidales en suspensión, facilitando su sedimentación y reduciendo significativamente parámetros como turbidez y color.

En el distrito de Moyobamba, región San Martín, la quebrada Rumiyacu constituye una fuente de agua natural que ha presentado un deterioro notable en su calidad. Se ha observado un aumento en los niveles de turbidez y color, lo cual supone un posible peligro para la salud de las personas y el equilibrio ecológico de la zona. Aunque se han implementado esfuerzos locales para mejorar el tratamiento del agua, la limitada eficiencia de los métodos convencionales de coagulación y floculación ha evidenciado la necesidad de investigar alternativas más sostenibles.

La situación se agrava en los centros poblados de la provincia de Moyobamba, donde muchas comunidades no cuentan con infraestructura adecuada para potabilizar el agua debido al alto costo de insumos químicos, dificultades logísticas y escasez de personal capacitado (EPS, 2005). Además, muchas SAP en zonas rurales son de Fuentes superficiales. Estos factores técnicos y económicos generan una brecha tecnológica importante en el tratamiento del agua, lo que limita el cumplimiento de los estándares de calidad.

Ante esta problemática, la semilla de *Moringa oleífera* ha captado el interés como una solución natural, accesible y de bajo impacto ambiental. Diversos estudios destacan sus propiedades como coagulante vegetal, pero aún se carece de información concluyente

sobre su eficacia en las condiciones específicas de la quebrada Rumiayacu, especialmente en lo que respecta a la remoción de turbidez y color.

En el contexto de esta investigación, se planteó el siguiente problema: ¿Cuál es la eficiencia de la semilla de Moringa oleífera como coagulante para la remoción de turbidez y color en aguas? Se formularon las siguientes hipótesis de investigación: Hipótesis alternativa (Hi): La eficiencia de la semilla de Moringa oleífera es eficiente en un 80% como coagulante para eliminar turbidez y color en aguas. Hipótesis nula (H0): La semilla de Moringa oleífera no es eficiente en un 80% como coagulante para eliminar turbidez y color en aguas. Los objetivos de este estudio fueron los siguientes: Objetivo general, Evaluar la eficiencia de la semilla de Moringa oleífera como coagulante para la remoción de turbidez y color en aguas. Objetivos específicos, Obtener el coagulante de la semilla de Moringa oleífera a través de métodos físicos, determinar la dosis óptima, velocidad de agitación y tiempo de mezcla en el tratamiento mediante la Prueba de Jarras y evaluar los parámetros físicoquímicos (turbidez, Color, pH, Conductividad, Sólidos Totales Disueltos y Temperatura) ante el efecto del coagulante antes y después del tratamiento. El método a utilizar es mediante la Prueba de Jarras, se determinará el Porcentaje de eficiencia del coagulante mediante fórmula después del procedimiento de la Prueba de Jarras.

Los datos procesados después de realizar los análisis físicos en la fase experimental de la investigación fueron comparados con la normativa vigente ambiental; Reglamento de la calidad de agua para consumo humano DS N° 031-2010-SA. Se utilizará la Estadística descriptiva; acerca del conjunto de datos que se obtuvo en la prueba de jarras haciendo uso de tablas numéricas (Excel) y cuadros comparativos por N° de muestreos y las diferentes dosis utilizadas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. A nivel internacional

García (2022) examina la aplicación de *Moringa oleífera* como agente coagulante para mitigar la turbidez en la planta de tratamiento de agua potable de Tundayme-Cantón el Pangui. Los resultados del estudio revelan la notable eficacia de la *Moringa oleífera* en la reducción de la turbidez durante el proceso de purificación del agua, destacando además su viabilidad económica frente a los coagulantes químicos convencionales. Este hallazgo no solo subraya el potencial de la *Moringa oleífera* como una opción natural y sostenible en el tratamiento de aguas, sino que también sugiere su posible implementación en otras instalaciones de purificación hídrica. La investigación de García contribuye significativamente al campo del tratamiento de aguas, ofreciendo una solución eco-amigable que podría revolucionar los métodos tradicionales de purificación, al combinar eficacia, sostenibilidad y rentabilidad en un único enfoque basado en recursos naturales.

Guamanga y García (2021) analizan la eficacia del coagulante obtenido de las semillas de *Moringa oleífera* como complemento en el proceso de purificación de aguas superficiales en la Cuenca río Molino. La investigación se centró en comparar la eficacia de una combinación innovadora: el coagulante natural derivado de *Moringa oleífera* y el tradicional coagulante químico sulfato de aluminio. Los hallazgos revelaron que esta sinergia entre ambos agentes coagulantes superó significativamente el rendimiento del sulfato de aluminio utilizado de manera aislada. Esta observación sugiere un potencial prometedor para el uso del biocoagulante de *Moringa oleífera* como un complemento valioso en los procedimientos de coagulación para purificar aguas superficiales. Los resultados de este estudio no solo destacan la eficacia de soluciones naturales en la purificación del agua, sino que también abren nuevas perspectivas para optimizar los métodos convencionales de tratamiento hídrico, combinando enfoques tradicionales con alternativas ecológicas y sostenibles.

2.1.2. A nivel nacional

Castro (2019) evaluó la eficacia del coagulante derivado de las semillas de *Moringa oleífera* en la clarificación de las aguas del canal Monsefú. El análisis inicial de las muestras reveló una turbidez de 413 NTU, pH 8 y conductividad de 818 $\mu\text{S./cm}$. El estudio empleó tres concentraciones distintas del coagulante (0,2 g, 0,4 g y 0,6 g) en

volúmenes de 500 mL, aplicando un protocolo de agitación rápida por 5 minutos seguido de 20 minutos de agitación lenta. Los resultados evidenciaron una notable reducción de la turbidez: 48,1 NTU con 0,2 g, 46,5 NTU con 0,4 g y 54,8 NTU con 0,6 g. La investigación concluyó que la dosis óptima de 0,4 g de polvo de semilla de Moringa oleífera alcanzó una eficiencia sobresaliente del 88,74% en la clarificación del agua. Este estudio no solo demuestra la capacidad de la Moringa oleífera para actuar como coagulante natural, sino que también establece parámetros precisos para su aplicación efectiva en el tratamiento de aguas superficiales.

Cornejo (2018) examina la eficacia de las semillas de Moringa oleífera como coagulante orgánico en el proceso de purificación de aguas superficiales en la parte baja del río Caraveli, Arequipa. El estudio describe meticulosamente el proceso de obtención y preparación del coagulante a partir de estas semillas, así como su aplicación en muestras acuáticas del río mencionado. Los hallazgos revelan una notable capacidad de las semillas de Moringa oleífera para reducir la turbidez del agua, lo que las posiciona como una alternativa prometedora en el ámbito de la purificación hídrica. Esta investigación no solo aporta datos cruciales sobre el uso de un recurso natural en el tratamiento de aguas, sino que también abre nuevas perspectivas en la búsqueda de soluciones ecológicas y sostenibles. El trabajo de Cornejo contribuye significativamente al campo de la ingeniería ambiental, ofreciendo una opción viable y respetuosa con el entorno frente a los coagulantes químicos convencionales, especialmente relevante para regiones con recursos hídricos comprometidos.

2.1.3. A nivel local

Vidaurre (2021) explora el potencial de las semillas de *Moringa oleífera* como coagulante natural con el objetivo de optimizar la calidad del agua del río Ahuashiyacu, Tarapoto. El estudio describe el proceso de extracción y preparación del agente coagulante a partir de estas semillas, así como su aplicación en muestras acuáticas del mencionado río. Los resultados obtenidos evidencian la notable La efectividad de las semillas de Moringa oleífera en la disminución de la turbidez, lo que las posiciona como una alternativa en la depuración de aguas superficiales. Esta investigación no solo proporciona datos valiosos sobre el uso de un recurso natural y sostenible en la purificación del agua, sino que también abre nuevas perspectivas en la búsqueda de soluciones ecológicas para el tratamiento hídrico. El trabajo de Vidaurre contribuye significativamente al campo de la ingeniería ambiental, ofreciendo una opción viable y sostenible frente a los coagulantes químicos tradicionales.

Dávila (2018) analizó la eficacia de *Moringa oleifera* mediante el uso de un biocoagulante que se basa en su albúmina. En muestras de agua del arroyo Almendrillo, que se tomaron en la vereda Juningue, se llevaron a cabo seis tratamientos distintos: 0.10 g/L, 0.20 g/L, 0.30 g/L, 0.40 g/L, 0.50 g/L y 0.60 g/L. Para usar el Jar Test, se aplicó un periodo de mezcla rápida de 300 RPM a lo largo de 1.5 minutos, una mezcla lenta de 75 RPM durante 10 minutos y periodos de sedimentación de 20 y 40 minutos. Se determinó que los parámetros iniciales superaron la MPL establecida: 0,82 mg/L de concentración para el hierro, 23,7 UNT de turbidez y 190 UCV de color. Se observó que una concentración de coagulante de 0,60 g/L y un periodo de sedimentación de 40 minutos fueron capaces de disminuir el contenido de hierro en el agua hasta un 93,7% (eficiencia máxima) tras la implementación de los tratamientos. Con una concentración de 0,20 g/L y un periodo de sedimentación de 40 minutos, se alcanzó una eficacia del 73,2% en la disminución del parámetro turbidez. Se obtuvo una eficacia del 53,7% para el color, con un tiempo de sedimentación de 20 minutos y una concentración de 0,20 g/L. No obstante, no se alcanzaron resultados por debajo de los MPL fijados para los dos últimos indicadores mencionados.

2.2. Fundamentos teóricos

2.2.1. Agua

El agua es un recurso vital para la vida en el planeta. Es un líquido incoloro, inodoro e insípido compuesto por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Cubre una gran parte de la superficie terrestre, presente en océanos, casquetes polares, glaciares y fuentes hídricas tanto superficiales como subterráneas. Si se distribuyera de manera uniforme sobre la corteza terrestre, formaría una capa líquida de varios kilómetros de profundidad, destacando la abundancia y la importancia de este recurso esencial para la vida (Mercado y López, 2014; Castillo et al., 2022).

2.2.1.1. Tratamiento del agua cruda

Los proveedores serán responsables de suministrar agua apta para el consumo humano tras someter el agua cruda a un proceso de tratamiento. Este proceso estará determinado por la calidad del agua en su estado original y, en caso de provenir de una fuente subterránea que cumpla con los valores límite máximos permitidos (MLP), deberá ser desinfectada antes de ser distribuida a los consumidores (Araque, 2022).

Tabla 1*Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica*

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Olor	-----	Aceptable
Sabor	-----	Aceptable
Color	UCV escala Pt/Co	15
Turbiedad	UNT	5
ph	Valor de pH	6,5 a 8,5
Conductividad (25°)	µmho/cm	1 500
Sólidos totales disueltos	mgL-1	1.00
Cloruros	mg Cl-L-1	250
Sulfatos	mg SO4 = L-1	250
Dureza total	mg CaCO3 L-1	500
Amoniaco	mg N L-1	1,5
Hierro	mg Fe L-1	0,3
Manganeso	mg Mn L-1	0,4
Aluminio	mg Al L-1	0,2
Cobre	mg Cu L-1	2,0
Zinc	mg Zn L-1	3,0
Sodio	mg Na L-1	200

Fuente: Reglamento de la calidad de agua para consumo humano DS N° 031-2010-SA.

Agua cruda significa agua en el medio ambiente (lluvia, superficie, subterránea, océanos, etc.) que no ha recibido algún tratamiento o ha sido cambiada en su estado natural. Fenómenos naturales, como los sedimentos debido a la erosión, que modifican la calidad del agua de los ríos, arroyos, etc. Quizás la causa más importante de variación en la calidad inicial del agua de una fuente superficial es la actividad humana (AWWA, 2010).

2.2.2. Coagulación

El coagulante debe agregarse siempre como una solución, en la concentración óptima necesaria para la eficiencia del proceso antes de su aplicación. Esta concentración debe seleccionarse mediante pruebas de laboratorio. En caso de no haberse realizado estas pruebas, la concentración empleada debe ajustarse dentro de un rango adecuado (Crittenden y Montgomery, 2012).

2.2.2.1. Principales de coagulantes

- Coagulantes inorgánicos (metálicos): Las sustancias para precipitar las partículas son: Sulfato de Aluminio, Sulfato Férrico, Sulfato ferroso, Cloruro de férrico, Cloruro de aluminio, Aluminato de Sodio (Pizzi y Lauer, 2013).
- Coagulante Orgánicos: Los coagulantes orgánicos son compuestos poliméricos que se disuelven en agua y están compuestos por repeticiones de diversos monómeros, como la acrilamida y el ácido acrílico. En la mayor parte de los casos, estos provienen de materias primas no renovables y son derivados del petróleo (Pizzi y Lauer, 2013).

- **Coagulantes naturales:** Los coagulantes naturales se pueden dividir en dos categorías principales: los que proceden de animales y los que provienen de plantas. Los coagulantes de origen vegetal han ganado especial atención debido a su efectividad y propiedades ecológicas en el tratamiento de aguas. Estos coagulantes naturales tienen la ventaja de clarificar el agua sin afectar significativamente parámetros como el pH y la conductividad, lo que los convierte en una alternativa sostenible y eficiente para el tratamiento de aguas (Bratby, 2016).

2.2.2.2. Mecanismos de Coagulación

Los elementos en suspensión en el agua, como los coloides, En medios acuosos, algunos microorganismos y las sustancias húmicas poseen una carga eléctrica negativa, lo que crea una barrera natural que dificulta la agregación espontánea de estas partículas. Para superar este desafío en los procesos de purificación del agua, se ha diseñado una estrategia que consiste en modificar la fuerza iónica del medio. Esto se logra mediante la adición controlada de compuestos específicos, como sales metálicas de aluminio o hierro, o polímeros sintéticos desarrollados para tal fin. La introducción de estos agentes desencadena una serie de reacciones físico-químicas que culminan en el proceso de coagulación, un paso fundamental para la clarificación y potabilización del agua. Actualmente, se reconocen cuatro mecanismos clave que inducen la coagulación:

1. Compresión de la capa difusa
2. Adsorción y neutralización
3. Barrido
4. Adsorción y formación del puente (Bratby, 2016).

2.2.2.3. Compresión de la doble capa

El modelo físico de doble capa explica el proceso de desestabilización coloidal mediante coagulantes. En este fenómeno, la atracción de Van der Waals permanece constante, mientras que la repulsión eléctrica disminuye con el aumento de la concentración de iones de carga opuesta en la solución. Esta reducción del potencial impulsor genera una curva de interacción menor, lo que permite que las partículas se aproximen lo suficiente para que la energía atractiva de Van der Waals prevalezca, desestabilizando el sistema coloidal. La adición de un electrolito a una suspensión coloidal incrementa la densidad de carga en la capa dispersa y reduce el radio de influencia de las partículas. Este proceso induce la coagulación al comprimir la capa dispersa. En condiciones de alta fuerza iónica, con elevada concentración de iones, la capa de difusión se contrae para mantener la neutralidad eléctrica. Como resultado, las fuerzas de Van der Waals

superan las electrostáticas, desestabilizando y eliminando la estabilización coloidal. Un ejemplo de este mecanismo es la precipitación que ocurre cuando se mezcla agua de baja fuerza iónica con agua marina en su punto de confluencia (Tetteh y Rathilal, 2020).

Hay dos aspectos importantes de este proceso de coagulación:

- a) La eficacia del electrolito en la coagulación demuestra una sorprendente independencia respecto a la densidad de partículas coloidales en el medio acuoso. Esta independencia indica que el mecanismo de acción no se basa únicamente en la proporción entre la concentración del agente coagulante y el número de coloides; también incluye interacciones más complejas dentro del sistema coloidal (Tetteh y Rathilal, 2020).
- b) Tras la coagulación, las partículas coloidales experimentan una inversión total de su carga superficial, pasando de negativa a positiva. Esta alteración es irreversible bajo las condiciones estándar del proceso, lo que significa que cualquier intento posterior de reestabilizar la suspensión coloidal mediante la adición de más electrolito resultaría ineficaz, destacando la naturaleza definitiva de esta transición en el sistema coloidal (Tetteh y Rathilal, 2020).

2.2.2.4. Adsorción y neutralización de la carga

La desestabilización de una dispersión coloidal implica interacciones entre el coagulante y el coloide, el coagulante y el solvente, así como el coloide y el solvente. Los efectos de adsorción y neutralización de carga están directamente vinculados a la compresión de la bicapa (Tetteh y Rathilal, 2020).

2.2.2.5. Formación de Hidróxidos Metálicos

El proceso de formación de hidróxidos metálicos en la coagulación se centra en la reacción de un coagulante metálico, como el sulfato de aluminio, con el agua. Esta reacción da lugar a la formación de hidróxidos de aluminio insolubles. Estos hidróxidos actúan como centros de adsorción, capturando partículas suspendidas en el agua y formando agregados llamados flóculos. Los flóculos resultantes son lo suficientemente grandes como para sedimentar o ser filtrados del agua, lo que facilita la separación efectiva de las partículas y mejora la calidad del agua tratada (Tetteh y Rathilal, 2020).

2.2.2.6. Adsorción y puente interparticular

La coagulación también puede llevarse a cabo utilizando diversos compuestos orgánicos, ya sean sintéticos o naturales, que se distinguen por poseer cadenas moleculares extensas capaces de ionizar sitios en la cadena y funcionar como coagulantes. Estos polímeros se pueden clasificar de la siguiente manera:

- a) Catiónicos: presentan sitios ionizables positivos
- b) Aniónicos: presentan sitios ionizables negativos
- c) No iónicos: no presentan sitios ionizables
- d) Anfóliticos: presentan sitios ionizables positivos y negativos (Bratby, 1980).

2.2.2.7. Factores de mayor influencia en el desarrollo del proceso de coagulación

Los factores de proceso más comunes son la naturaleza del agua cruda y las variables químicas.

- **La calidad del agua cruda:** Las características del agua cruda que más afectan el rendimiento del proceso son el contenido de coloides (generalmente medido por la cantidad de turbidez o color del agua), el pH, el tamaño de las partículas y la temperatura.
- **Temperatura:** Esto es importante en lugares con un clima muy fuerte, especialmente en las heladas.
- **Variables químicas:** Los parámetros químicos más importantes del proceso son la dosificación óptima, el pH óptimo y la concentración óptima de coagulante (Tetteh y Rathilal, 2020).

2.2.2.8. Coagulación y floculación

Los procesos de coagulación y floculación desempeñan un papel fundamental en el tratamiento del agua. La coagulación se inicia con la introducción de agentes coagulantes, cuyo propósito es alterar la estabilidad de las partículas coloidales, facilitando su posterior remoción. Esta reacción ocurre en intervalos de tiempo extremadamente breves, y su eficacia está directamente relacionada con la concentración del coagulante empleado y el pH resultante de la mezcla. En contraste, la floculación es un proceso subsiguiente donde las partículas desestabilizadas interactúan entre sí, formando aglomeraciones más grandes conocidas como flóculos. La sinergia de estos dos métodos no solo es efectiva en la disminución de la turbidez y el color del líquido, sino que también contribuye significativamente a la eliminación de microorganismos como bacterias, virus y patógenos, así como algas y, en determinadas circunstancias, compuestos responsables de sabores u olores indeseables en el agua (Bratby, 1980).

2.2.2.9. Dosis óptima

Para determinar la cantidad óptima de coagulante se realizó un ensayo de prueba de jarras para simular las condiciones de coagulación-floculación de fábrica, cuyo objetivo es obtener un flóculo pesado y denso que se mantenga fácilmente en el sedimento, sea filtrable y no se rompa (Bratby, 1980).

2.2.2.10. Prueba de Jarras

El tamaño de los flóculos producidos en la prueba de jarras está determinado por el índice de Wilcomb, el tiempo de inicio de la formación de flóculos y la turbidez residual después de un período de sedimentación de no menos de 10 minutos; se usa la jarra como dosis óptima el cual tenga el floc más grande, mayor velocidad de sedimentación y con la turbidez menor (Pivokonský et al., 2022).

2.2.2.11. Turbidez

La turbidez, es un fenómeno causado por una amplia gama de materiales en suspensión, abarcando desde dispersiones coloidales hasta partículas de mayor tamaño. Este espectro incluye elementos como arcilla, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, plancton y diversos microorganismos. La cuantificación de la turbidez juega un papel crucial en la determinación del grado de tratamiento requerido para una fuente de agua cruda, así como en la evaluación de su filtrabilidad y la selección de la tasa de filtración óptima. Además, estos parámetros son indicadores clave de la efectividad de los procesos de coagulación, sedimentación y filtración, influyendo directamente en la potabilidad del agua. En la actualidad, el método nefelométrico se ha establecido como el estándar para la medición de turbidez, empleando un nefelómetro que proporciona resultados expresados en unidades nefelométricas de turbidez (NTU), ofreciendo así una medida precisa y reproducible de este importante atributo del agua (Ahmad y Mohd, 2013).

2.2.2.12. Color

La coloración del agua puede ser causada por diversos factores, siendo los más comunes la presencia de metales como el hierro y el manganeso, tanto en estado coloidal como en solución. Además, la descomposición de materia orgánica, como restos vegetales y desechos, así como la presencia de taninos, ácidos húmicos y ciertos efluentes industriales, contribuyen de manera significativa a esta característica. El tono natural del agua es causado fundamentalmente por partículas coloidales cargadas negativamente, las cuales se pueden eliminar añadiendo sales que tengan iones metálicos trivalentes, como los coagulantes de hierro (Fe^{3+}) o aluminio (Al^{3+}). Para cuantificar este fenómeno, se define una unidad de color como la tonalidad producida por un miligramo de platino por litro en forma de ion cloroplatino, estableciendo un

estándar para la medición y tratamiento de la coloración en sistemas acuáticos (Ritter, 2010).

2.2.3. Moringa

La moringa es una planta leñosa que abarca desde arbustos hasta árboles y se distingue por su gran versatilidad. Todas sus partes son comestibles, incluyendo las hojas, raíces y vainas verdes, lo que le otorga un valor nutricional significativo. Esta planta es de gran relevancia económica, especialmente en regiones tropicales, donde se cultiva ampliamente debido a su adaptabilidad. La *Moringa oleífera*, la especie más conocida, es un árbol de crecimiento rápido, con un sistema radicular tuberoso y robusto, y una característica floración. Sus frutos son alargados y oscuros, similares a las vainas de frijol. Esta especie es altamente resistente a la sequía y se adapta bien a climas cálidos y con precipitaciones limitadas, destacando en temperaturas entre 25 y 35°C, aunque puede tolerar descensos hasta los 8°C (Figueroa, 2021).

2.2.3.1. Características

La *Moringa oleífera*, único miembro de la familia Moringaceae, es un árbol perenne de crecimiento veloz y vida relativamente corta, pudiendo subsistir hasta dos décadas. Este vegetal ruderal alcanza alturas de 5 a 10 metros, con un desarrollo sorprendente en solo seis meses. Destaca por su resiliencia ante podas, rebrotando con vigor. Sus flores bisexuales, aromáticas, ostentan pétalos blancos y estambres dorados, dando lugar a frutos en forma de cápsulas trilobuladas dehiscentes de 20 a 60 cm, que albergan entre 12 y 25 semillas cada una, con algunas variedades produciendo vainas aún más largas. La propagación de la moringa se logra tanto por estacas como por semillas, siendo las primeras idealmente de 2,5 cm de diámetro y 30 cm de longitud, requiriendo riego constante. Los ejemplares originados de esquejes exhiben un crecimiento notable y fructifican rápidamente. Su sistema radicular adaptable le permite tolerar condiciones de estrés hídrico, prosperando en suelos con pH entre 4,5 y 9,0, lo que demuestra su extraordinaria versatilidad y robustez (Figueroa, 2021).

2.2.3.2. Composición química del árbol *Moringa oleífera* Lam

La *Moringa oleífera* destaca por su diversa composición bioquímica en distintas partes de la planta. Sus semillas, ricas en aceite (30-40%), albergan compuestos como glicósidos, pterigospermina y 4-benzilisocianato, además de trazas de alcaloides. La corteza radicular contiene beta-sitosterol y espiroquina, mientras que hojas y flores son fuentes de vitaminas, minerales y aminoácidos, incluyendo quercetina. El tallo produce una goma compuesta por basorina, dextrina y enzimas como emulsina y mirosina, junto con el alcaloide moringenina. Un análisis de las hojas secas revela un perfil nutricional complejo: 8,40% de humedad, 12,50% de cenizas, 3,30% de nitrógeno total, 20,60% de

proteínas, 3,80% de fibra cruda, 9,0% de extracto etéreo y 45,60% de extracto no nitrogenado, subrayando el potencial nutricional y farmacológico de esta planta robustez (Figueroa, 2021).

2.2.3.3. Semillas de Moringa

Dado que la moringa tiene un alto potencial para el uso como materia prima para la industria tecnológica de la elaboración de alimentos, en la presente tabla se describe la composición proximal de la semilla, a continuación, se presentan algunos de los componentes que resaltan y son necesarios mencionar (Figueroa, 2021).

2.2.3.4. Uso de la semilla de Moringa oleífera como coagulante en agua.

El árbol de *Moringa oleífera* produce semillas ricas en proteínas positivas hidrosolubles de bajo peso que funcionan como polímeros sintéticos utilizados industrialmente para la purificación del agua. Cuando el polvo de semilla se agrega al agua cruda, estas proteínas se adhieren a las partículas coloidales cargadas negativamente en la suspensión, neutralizándolas y aglutinándolas, facilitando su posterior eliminación por sedimentación o filtración (Figueroa, 2021).

Los coagulantes derivados como la *Moringa oleífera* ofrecen excelentes ventajas a los coagulantes químicos tales como $Al_2(SO_4)_3$.

- El efecto de coagulación de las semillas no afecta los valores de pH natural del agua.
- Se reduce la producción de lodos y puede convertirse en un acondicionador del suelo porque no contiene residuos metálicos (Figueroa, 2021).

La exploración de floculantes derivados de plantas tradicionales ha revelado descubrimientos prometedores en el campo de la purificación del agua. Particularmente, los compuestos extraídos de las semillas de Moringa han demostrado una notable eficacia como coagulantes primarios, posicionándose como una solución viable y económica para el tratamiento doméstico del agua en zonas rurales de África y Asia. Este hallazgo ha catalizado un interés renovado en la botánica aplicada y la agronomía selectiva. La investigación taxonómica profunda de estas especies vegetales, combinada con técnicas avanzadas de reproducción selectiva, ofrece el potencial de identificar y desarrollar variedades con propiedades floculantes aún más potentes. Este enfoque multidisciplinario no solo permite optimizar la eficiencia de los agentes floculantes naturales, sino que también abre la posibilidad de adaptar estos cultivos a las condiciones específicas de cada región, promoviendo así soluciones de purificación de agua más sostenibles y contextualizadas (Figueroa, 2021).

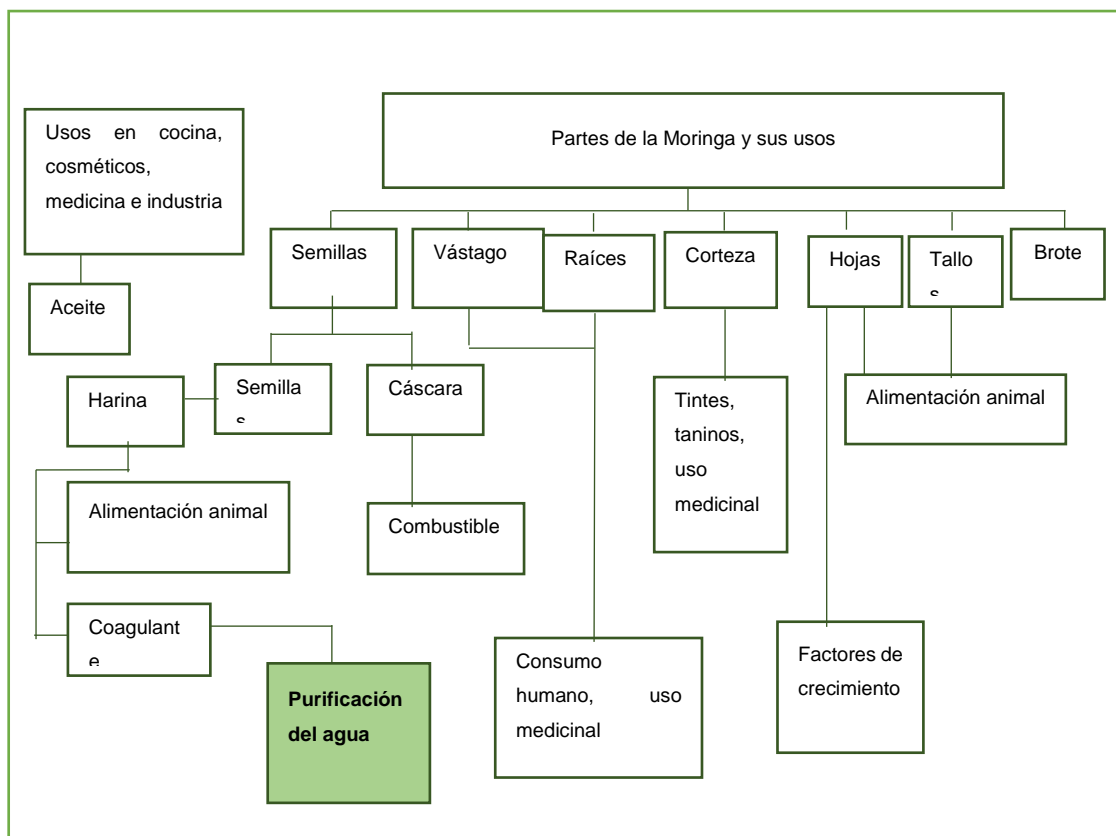


Figura 1

Usos potenciales de las diferentes partes de la planta de Moringa oleífera

Fuente: (Figueroa, 2021)

2.2.4. Definición de términos básicos

Agua cruda: El agua cruda es el recurso hídrico en su estado natural, proveniente de fuentes como ríos o lagos, sin haber sido tratada. Puede contener contaminantes como sedimentos, microorganismos y materia orgánica, y se utiliza como base en los procesos de tratamiento para hacerla apta para el consumo humano (Koch, 2010).

Agua tratada: Se caracteriza por haber sido sometida a una serie de procesos de purificación que incluyen métodos físicos, químicos y, en ocasiones, biológicos. Estos tratamientos están diseñados para transformar el agua cruda en un producto que cumple con estrictos estándares de seguridad y calidad. El resultado es un líquido libre de contaminantes y patógenos, cuyo consumo no representa riesgos para la salud humana (Koch, 2010).

Agua de consumo humano: El agua adecuada para el consumo humano se define por su seguridad sanitaria y conformidad con los estándares de calidad establecidos en la normativa actual. Esta agua no solo es segura para beber, sino también adecuada para todos los usos domésticos, incluyendo la higiene personal. Su calidad garantiza que puede utilizarse sin riesgos para la salud en cualquier actividad del hogar (Koch, 2010).

Biocoagulante: Los coagulantes naturales son una nueva posibilidad explicativa. Procesos porque son respetuosos con el medio ambiente, no tóxicos y renovables. Por lo tanto, es importante buscar alternativas que sean amigables con el medio ambiente, que no cambien las propiedades químicas naturales del agua, que sean más económicas, que produzcan sedimentos menos tóxicos y que no causen efectos ambientales ni a la salud (Aljuboori, 2013).

Coagulación: Es el proceso mediante el cual el coagulante desestabiliza o modifica la carga eléctrica de las partículas en suspensión, facilitando su aglomeración posterior en el floculador. Este proceso es fundamental en el tratamiento de agua, ya que permite la formación de flóculos, que son partículas más grandes y fácilmente eliminables en etapas posteriores del tratamiento, como la sedimentación y filtración (Aljuboori, 2013).

Dosis óptima: La dosis óptima de coagulante es la cantidad adecuada para eliminar las impurezas presentes en el agua bruta. Un exceso de coagulante puede afectar negativamente la calidad del agua y generar riesgos para la salud, especialmente cuando los parámetros superan los límites recomendados por la OMS (Aljuboori, 2013).

Flóculos: Los flóculos son partículas que, debido a la acción de un coagulante, han sido desestabilizadas y agrupadas en estructuras más grandes. Este proceso facilita su eliminación en etapas posteriores del tratamiento de agua, como la sedimentación y filtración, mejorando la eficiencia de la purificación y reduciendo la turbidez (Tetteh y Rathilal, 2020).

Límite Máximo Permisible (LMP): El Límite Máximo Permisible (LMP) es el valor máximo permitido para los parámetros que determinan la calidad del agua, establecidos para garantizar su seguridad en el consumo humano y otros usos. Estos límites son definidos por organismos reguladores para proteger la salud pública y el medio ambiente (OCDE, 2021)

Tratamiento de Agua: El tratamiento del agua implica la remoción de elementos perjudiciales a través de métodos naturales o artificiales, con el objetivo de alcanzar los parámetros de calidad establecidos para el consumo humano. Este proceso busca disminuir la presencia de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos hasta niveles que cumplan con las Normas Nacionales de Calidad de Agua vigentes, asegurando así su aptitud para el uso y consumo de la población (Ramos et al., 2020).

Turbidez: Ocurre cuando hay partículas en suspensión en el agua. Las partículas más pequeñas, con un diámetro inferior a una micra, presentan una velocidad de sedimentación muy lenta, lo que hace necesario un tratamiento específico para poder

eliminarlas en tiempos razonables. En cambio, las partículas de mayor tamaño, superiores a una micra, tienden a sedimentarse de manera espontánea. Algunas de estas partículas son de origen inorgánico, procedentes de la erosión del suelo, mientras que otras son de naturaleza orgánica (Ahmad y Mohd, 2013).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito y condiciones de la investigación

3.1.1. Contexto de la investigación

Ubicación de la recolección de muestra:

- Departamento : San Martín
- Provincia : Moyobamba
- Distrito : Moyobamba
- Área de estudio : Quebrada Rumiyacu

3.1.2. Periodo de ejecución

La investigación se realizó desde diciembre de 2023 hasta julio de 2024.

3.1.3. Autorizaciones y permisos

Para llevar a cabo esta investigación, se solicitó el permiso institucional para hacer uso de los recursos del Laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín, lo que incluye el acceso a equipos y materiales. (Ver anexo 04).

3.1.4. Control ambiental y protocolos de bioseguridad

En el laboratorio, se garantizó la seguridad mediante el uso de equipos de protección personal adecuados, especialmente en la manipulación de los materiales. Estas medidas de bioseguridad aseguraron que tanto el equipo de investigación como el medio ambiente estén protegidos, manteniendo la integridad del estudio y de los resultados obtenidos. Los equipos y materiales que se utilizaron en el desarrollo de la investigación, no tuvieron características CRETIB de peligrosidad.

3.1.5. Aplicación de principios éticos internacionales

Se emplearon principios éticos internacionales en este estudio, garantizando la participación voluntaria y el consentimiento informado de las personas involucradas, protegiendo la confidencialidad de los datos y asegurando el uso transparente de la información.

3.2. Sistema de variables

3.2.1. Variables principales

- **Variable independiente:** Eficiencia de la semilla de *Moringa oleífera*.
- **Variable dependiente:** Remoción de turbidez y color en aguas.

3.2.2. Variables secundarias

- **Variable Interferente:** pH del agua de la quebrada Rumiayacu

Tabla 2

Variables descritas por objetivos

Objetivo específico № 1: Obtener el coagulante de la semilla de *Moringa oleífera* a través de métodos físicos.

Variable abstracta	Variable concreta	Medio de registro	Unidad de medida
Eficiencia de extracción del coagulante	Rendimiento del Coagulante	Separación (pelado)	gr
		Molino	mm
		Tamiz	mm
		Balanza analítica	gr

Objetivo específico № 2: Determinar la dosis óptima, velocidad de agitación y tiempo de mezcla en el tratamiento mediante la Prueba de Jarras.

Variable abstracta	Variable concreta	Medio de registro	Unidad de medida
Condiciones óptimas de tratamiento	Dosis	Procedimiento directo agregando dosis de coagulante a la solución	mg/L
	Velocidad	Procedimiento directo con el equipo prueba de jarras	Revoluciones por minuto (RPM)
	Tiempo	Procedimiento directo - lectura con cronómetro	minutos

Objetivo específico № 3: Evaluar los parámetros físicoquímicos ante el efecto del coagulante antes y después del tratamiento.

Variable abstracta	Variable concreta	Medio de registro	Unidad de medida
Niveles de color y turbidez	% de remoción del color	Fórmula para obtener el % de remoción y comparación con normativa (ECA)	Unidades platico cobalto (UPC)
	% de remoción de turbidez	Fórmula para obtener el % de remoción y comparación con normativa (ECA)	Unidades nefelométricas de turbidez (UNT)

3.3. Procedimientos de la investigación

3.3.1. Objetivo específico 1

Obtención del coagulante de la semilla de *Moringa oleífera* a través de métodos físicos.

a) Actividades y tareas

Las semillas de moringa se obtuvieron del distrito de Curamori, departamento de Piura, Perú, se compraron vainas de semilla de moringa, fueron llevadas al Laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Universidad Nacional de San Martín para la obtención del polvo que se utilizó como coagulante.

b) Descripción de procedimientos

Se aplicó una serie de procesos adecuados para obtener el coagulante.

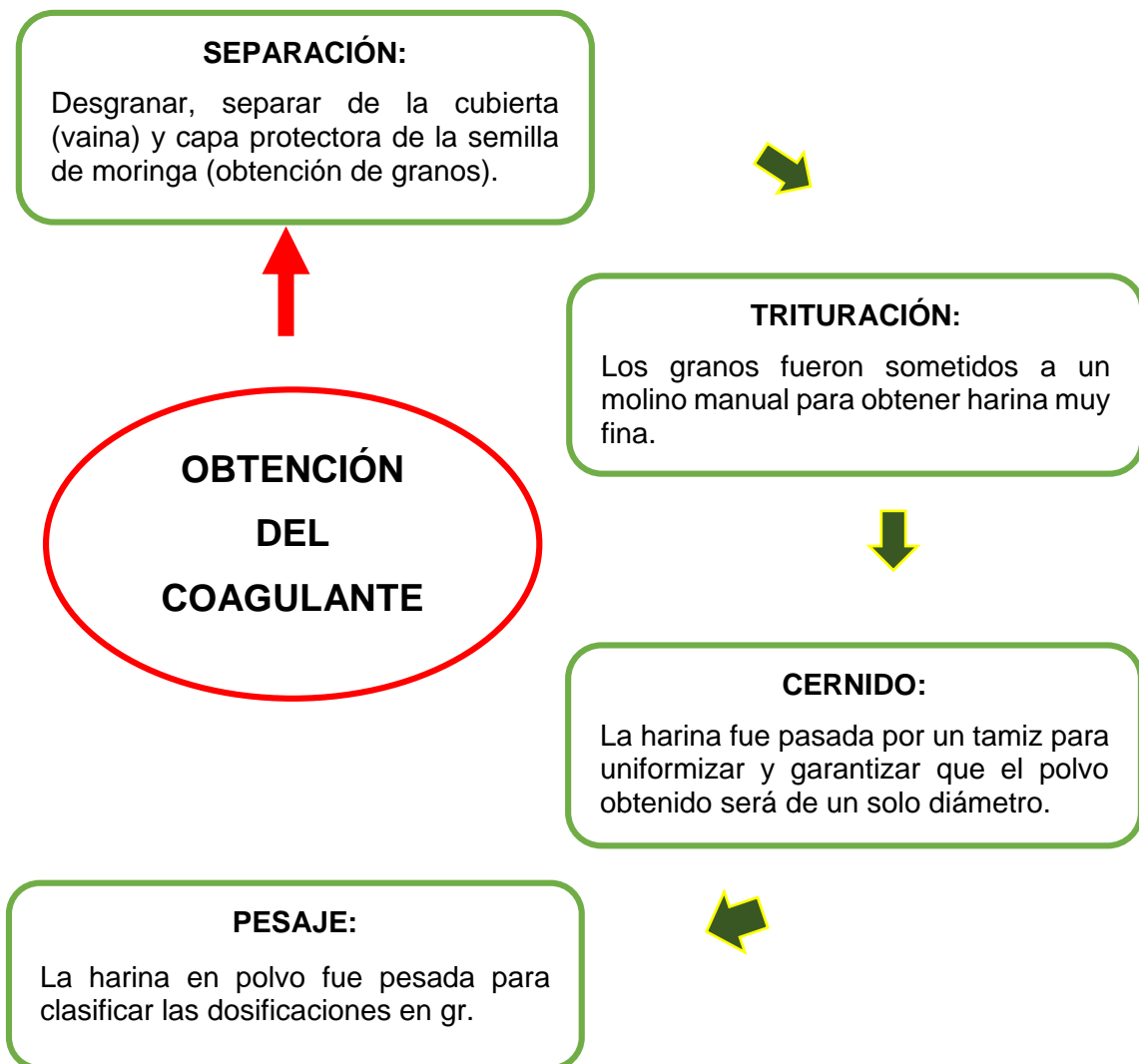


Figura 2

Procesos adecuados para obtener el coagulante

Fuente: (Elaboración propia)

Caracterización de la semilla de *moringa oleífera*

Características físicas:

- Se encuentra encapsulada

- Es oleaginoso con tres alas
- Subglobosa de sección triangular
- Mide entre 8-15 mm de diámetro
- Color marrón con cáscara
- Color blanco sin cáscara
- Sabor a maní amargo

3.3.2. Objetivo específico 2

Determinación de la dosis óptima, velocidad de agitación y tiempo de mezcla en el tratamiento mediante la Prueba de Jarras.

a) Actividades y tareas

Para determinar la dosis óptima, velocidad de agitación y tiempo de mezcla del coagulante, se realizó el proceso de Prueba de Jarras.

b) Descripción de procedimientos

Prueba de Jarras

Se desarrollaron los ensayos a diferentes velocidades y diferentes dosis de coagulante a base de la semilla de moringa; mediante el equipo de prueba de jarras; simulando el proceso de coagulación - floculación y sedimentación.

El dispositivo estuvo programado en diferentes tiempos y velocidades para realizar pruebas (mezcla rápida, mezcla lenta y sedimentación).

Se agregó la muestra de agua cruda de la quebrada Rumiyacu en 6 vasos precipitados de 1L, y con 500 ml de agua cruda cada uno.

Tabla 3

Velocidad de agitación y concentración del coagulante

PRUEBA	Agitación (RPM)	% Concentración del coagulante
Homogenización	400	1%, 3%, 5%
Mezcla rápida	150 / 200 / 250	
Mezcla lenta	38 / 50 / 63	
Sedimentación	0	

Toma de muestra

Se tomó una muestra de 20 litros de agua superficial de la quebrada Rumiyacu en un bidón de plástico de 20 L, para posteriormente ser trasladado al Laboratorio de Ingeniería Sanitaria.

Las muestras para realizar los ensayos se recolectaron semanalmente durante 2 meses (junio y julio, 2024), donde para cada ensayo se utilizó 4 litros, 3 L para la Prueba de Jarras y 1 L para determinar los parámetros iniciales del agua cruda.

Análisis de laboratorio

Las mediciones de los turbidez y color (turbidez, color, pH, conductividad, STD, temperatura), para el registro de información se realizaron en el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria.

a) Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Se determinó la eficiencia (%) del coagulante después del procedimiento de la Prueba de Jarras cuando ya se obtuvo los resultados correspondientes.

Evaluación de la remoción y eficiencia del coagulante

La muestra extraída de la Jarra, que obtiene el mejor resultado en el procesamiento con menor turbidez, se sometió a un nuevo análisis de los parámetros dados en la caracterización inicial para obtener los datos utilizados en la evaluación de la eficiencia de eliminación. Esto se realizó mediante la ecuación:

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = \frac{\text{Conc. Entrada} - \text{Conc. Salida}}{\text{Conc. Entrada}} \times 100$$

Los resultados de % de Eficiencia de remoción utilizando la fórmula se muestran posteriormente en el Capítulo de Resultados.

3.3.3. Objetivo específico 3

Evaluación de turbidez y color ante el efecto del coagulante antes y después del tratamiento.

a) Actividades y tareas

Para evaluar los turbidez y color se realizó medición de los parámetros dos veces (antes y después del tratamiento) para analizar los datos obtenidos en ambas pruebas.

b) Descripción de procedimientos

Se procedió con la medición de los turbidez y color como: Turbidez, color, pH, TDS, conductividad y temperatura; se eligieron éstos porque son los parámetros que mayormente presentan influencia sobre el proceso de coagulación y floculación.

Se midió la turbidez con el Turbidímetro Marca HACH, modelo 2100Q; para lo cual se agregaron 10 mL, de la muestra en el equipo. Se compara con agua destilada, como blanco.

Para medir el color, se usó el equipo DR 1 900; para lo cual se introdujeron 10 mL en el tubo, para ser comparado con el blanco, que es el agua destilada.

Para evaluar el pH; se usó el equipo pH HANNA. Para lo cual se agregaron 50 mL en un vaso de precipitación; luego se introdujo el sensor, para registrar el valor.

Para medir los sólidos totales disueltos; se usó el equipo DR 900; para lo cual se introdujeron 10 mL en el tubo, para ser comparado con el blanco, que es el agua destilada.

Para medir la Conductividad, se usó el equipo Multiparámetro portátil Marca HANNA, HQ40d; para lo cual se agregaron 50 mL en un vaso de precipitación; luego se introdujo el sensor, para registrar el valor.

Para medir la temperatura; se usó el mismo equipo, con el que se midió el pH.

c) Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Los datos procesados después de realizar los análisis de los turbidez y color en la fase experimental de la investigación fueron comparados con la normativa vigente ambiental; Reglamento de la calidad de agua para consumo humano DS N° 031-2010-SA.

Estadística descriptiva: Se realizó una descripción del conjunto de datos que se obtuvo en la prueba de jarras haciendo uso de tablas numéricas (Excel). También se utilizó la prueba estadística inferencial de tipo paramétrico: la prueba t de Student para muestras relacionadas, solo para los mejores resultados obtenidos.

Cuadros comparativos: Se utilizó cuadros comparativos, por N° de muestreos y las diferentes dosis utilizadas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Obtención del coagulante de la semilla de *Moringa Oleífera* a través de métodos físicos

El proceso comenzó con la recolección de las vainas maduras de *Moringa oleífera* que fueron obtenidas del distrito de Curamori, provincia de Piura, departamento de Piura. Una vez recolectadas las vainas, se abrieron manualmente para extraer las semillas, luego se procedió a remover la cáscara exterior de las semillas. Después del descascarado, se obtuvieron las semillas limpias, libres de su cubierta exterior. Es importante asegurarse de que todas las semillas estén completamente descascaradas y libres de cualquier residuo de la cáscara. Las semillas descascaradas se sometieron a un proceso de molienda utilizando un molino manual. Una vez obtenido el polvo de la molienda, se procedió a pasarlo por un tamiz fino. Este paso fue crucial para asegurar la uniformidad del tamaño de las partículas del coagulante. El polvo fino y uniforme obtenido después del tamizado se almacenó en un recipiente protegido de la humedad y la luz directa para mantener sus propiedades. Ver Anexo 01 (Informe de la obtención del polvo de moringa oleífera).

4.2. Determinación de la dosis óptima, velocidad de agitación y tiempo de mezcla en el tratamiento mediante la prueba de jarras

- **Pruebas de jarras - Muestreo N° 1 - Fecha: 12/06/2024**

Para llevar a cabo la primera prueba de jarras, se utilizaron las muestras recolectadas en el primer muestreo. A partir de estas, se determinaron las concentraciones iniciales de los parámetros que serán objeto de estudio.

Tabla 4

Concentraciones iniciales de la quebrada Rumiyaçu - Muestreo N° 1

Parámetro	Unidad	Concentración
Turbidez	UNT	15,4
Color	Pt/Co	90
pH	--	7,47
Conductividad	μS/cm	1860
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	916
Temperatura	C°	24,4

A continuación, se detallan los datos utilizados en esta prueba: el coagulante, su concentración y las dosis aplicadas a cada una de las jarras empleadas.

- ✓ **Coagulante:** *Moringa oleífera*
- ✓ **Concentración del Coagulante:** 1,0 %

Tabla 5*Dosificación de prueba de jarras – Muestreo N° 1*

Solución (1000 mL)	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6
Concentración (mg/L)	20	40	60	80	100	120
Cantidad (mL)	2	4	6	8	10	12

Así mismo, es importante mencionar que para esta prueba se consideraron tres escenarios distintos, en los que se aplicaron diferentes velocidades y tiempos de agitación rápida, lenta y de sedimentación, con el objetivo de llegar al resultado óptimo.

A continuación, se presentan cada uno de los escenarios y los resultados obtenidos en cada caso.

➤ Escenario 1

Tabla 6*Parámetros de operación – Escenario N° 1 (Muestreo N° 1)*

Parámetro	Velocidad (RPM)	Tiempo (min)
Mezcla Rápida	150	1' 30''
Mezcla Lenta	38	15'
Sedimentación	0	60'

Tabla 7*Resultados de prueba de jarras – Escenario N° 1 (Muestreo N° 1)*

Parámetro	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6
Turbiedad (NTU)	6,24	5,37	4,60	4,94	4,98	5,69
Color (Pt/Co)	57	27	20	30	19	16
pH	7,79	7,80	7,81	7,79	7,76	7,79
Conductividad (μS/cm)	1852	1851	1842	1854	1840	1842
Sólidos totales disueltos (mg/L)	917	914	909	897	908	904
Temperatura (°C)	26,2	26,4	26,3	26,5	26,3	26,4

➤ Escenario 2

Tabla 8*Parámetros de operación – Escenario N° 2 (Muestreo N° 1)*

Parámetro	Velocidad (RPM)	Tiempo (min)
Mezcla Rápida	200	1' 30''
Mezcla Lenta	50	15'
Sedimentación	0	60'

Tabla 9*Resultados de prueba de jarras – Escenario N° 2 (Muestreo N° 1)*

Parámetro	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6
Turbiedad (NTU)	5,70	5,22	5,34	5,46	5,54	6,62
Color (Pt/Co)	46	37	38	33	37	45
pH	7,64	7,75	7,78	7,81	7,79	7,80
Conductividad (μS/cm)	1870	1856	1853	1846	1844	1840
Sólidos totales disueltos (mg/L)	913	926	915	912	912	910
Temperatura (°C)	27,0	27,0	27,2	27,0	27,1	26,9

➤ Escenario 3

Tabla 10*Parámetros de operación – Escenario N° 3 (Muestreo N° 1)*

Parámetro	Velocidad (RPM)	Tiempo (min)
Mezcla Rápida	250	1' 30''
Mezcla Lenta	63	15'
Sedimentación	0	60'

Tabla 11*Resultados de prueba de jarras – Escenario N° 3 (Muestreo N° 1)*

Parámetro	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6
Turbiedad (NTU)	4,99	5,38	4,92	6,01	6,72	6,17
Color (Pt/Co)	53	44	52	42	56	56
pH	7,61	7,69	7,76	7,79	7,82	7,81
Conductividad (μS/cm)	1851	1848	1844	1844	1840	1841
Sólidos totales disueltos (mg/L)	924	907	903	897	904	920
Temperatura (°C)	26,8	26,7	26,8	27,0	27,0	26,3

Interpretación

Se evaluó la eficacia de la *Moringa oleífera* como coagulante en el tratamiento del agua de la quebrada Rumiyacu al 1%, utilizando tres escenarios diferentes. Se probaron seis dosis distintas (20-120 mg/L) en estos tres escenarios. Los resultados muestran que, en todos los casos, el pH se mantuvo estable, con variaciones mínimas. El escenario 1 (150 RPM de mezcla rápida y 38 RPM de mezcla lenta), resultó ser el más efectivo, logrando la mayor reducción de turbidez (de 15,4 a 4,60 UNT) se ubican dentro de los LMPs establecidos en el D.S. N°031-2010-SA, Turbidez (5 UNT), y de color (de 90 a 16 Pt/Co); se encuentra por encima de los LMPs establecidos en el D.S. N°031-2010-SA, color (15 Pt/Co). La dosis óptima osciló entre 60 y 120 mg/L. La conductividad y los sólidos totales disueltos presentaron ligeras variaciones. Estos hallazgos indican que la

Moringa oleífera tiene un gran potencial como coagulante para el tratamiento de las aguas de la quebrada Rumiyacu, siendo en esta prueba más eficaz a velocidades de mezcla reducidas.

- **Pruebas de jarras - Muestreo N° 2 - Fecha: 13/06/2024**

Para esta prueba de jarras, se emplearon las muestras recolectadas durante el segundo muestreo. Inicialmente, se determinaron las concentraciones de los parámetros, cuyos valores se detallan a continuación.

Tabla 12

Concentraciones iniciales de la quebrada Rumiyacu - Muestreo N° 2

Parámetro	Unidad	Concentración
Turbidez	UNT	32,6
Color	Pt/Co	154
pH	--	7,55
Conductividad	μS/cm	1206
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	600
Temperatura	C°	24,6

A continuación, se detallan los datos utilizados en esta prueba:

- ✓ **Coagulante:** Moringa oleífera
- ✓ **Concentración del coagulante:** 3,0 %

Tabla 13

Dosificación de prueba de jarras – Muestreo N° 2

Solución (1000 mL)	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6
Concentración (mg/L)	20	40	60	80	100	120
Cantidad (mL)	0,6	1,3	2	2,6	3,3	4

Para esta prueba se consideraron tres escenarios distintos, en los que se aplicaron diferentes velocidades y tiempos de agitación rápida, lenta y de sedimentación. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en cada uno de los escenarios.

➤ **Escenario 1**

Tabla 14

Parámetros de operación – Escenario N° 1 (Muestreo N° 2)

Parámetro	Velocidad (RPM)	Tiempo (min)
Mezcla Rápida	150	1' 30''
Mezcla Lenta	38	15'
Sedimentación	0	60'

Tabla 15*Resultados de prueba de jarras – Escenario N° 1 (Muestreo N° 2)*

Parámetro	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6
Turbiedad (NTU)	5,18	3,16	2,21	2,14	2,60	2,64
Color (Pt/Co)	60	34	26	24	21	25
pH	7,93	7,99	7,98	7,99	7,97	7,98
Conductividad (μS/cm)	1192	1190	118	1191	1188	1190
Sólidos totales disueltos (mg/L)	593	590	587	590	586	590
Temperatura (°C)	26,3	26,4	26,7	26,8	26,8	26,8

➤ **Escenario 2**

Tabla 16*Parámetros de operación – Escenario N° 2 (Muestreo N° 2)*

Parámetro	Velocidad (RPM)	Tiempo (min)
Mezcla Rápida	200	1' 30"
Mezcla Lenta	50	15'
Sedimentación	0	60'

Tabla 17*Resultados de prueba de jarras – Escenario N° 2 (Muestreo N° 2)*

Parámetro	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6
Turbiedad (NTU)	9,60	4,92	3,63	3,48	4,09	3,59
Color (Pt/Co)	96	55	39	36	44	45
pH	7,97	8,00	7,99	8,01	8,02	8,02
Conductividad (μS/cm)	1193	1194	1191	1196	1190	1193
Sólidos totales disueltos (mg/L)	597	594	582	586	591	585
Temperatura (°C)	27,4	27,2	27,1	27,2	27,0	26,9

➤ **Escenario 3**

Tabla 18*Parámetros de operación – Escenario N° 3 (Muestreo N° 2)*

Parámetro	Velocidad (RPM)	Tiempo (min)
Mezcla Rápida	250	1' 30"
Mezcla Lenta	63	15'
Sedimentación	0	60'

Tabla 19
Resultados de prueba de jarras – Escenario N° 3 (Muestreo N° 2)

Parámetro	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6
Turbiedad (NTU)	5,21	2,65	3,39	2,82	6,52	4,51
Color (Pt/Co)	51	31	38	27	54	39
pH	7,68	7,68	7,79	7,81	7,82	7,84
Conductividad (μS/cm)	1126	1117	1121	1123	1124	1123
Sólidos totales disueltos (mg/L)	559	557	552	554	558	557
Temperatura (°C)	26,8	26,9	27,1	27,1	27,1	27,2

Interpretación

Se evaluó la eficacia del coagulante de *Moringa oleífera* al 3% en tres escenarios con distintas velocidades de mezcla. El Escenario 1 (150 RPM de mezcla rápida y 38 RPM de mezcla lenta) mostró la mayor efectividad, reduciendo la turbidez inicial de 32,6 UNT a 2,14 UNT, se ubican dentro de los LMPs establecidos en el D.S. N°031-2010-SA, Turbidez (5 UNT), con una dosis de 80 mg/L. Asimismo, logró la mayor reducción de color, disminuyendo de 154 Pt/Co a 21 Pt/Co, se ubican por encima de los LMPs establecidos en el D.S. N°031-2010-SA, color (15 Pt/Co), con una dosis de 100 mg/L en el mismo escenario. Esto demostró que las velocidades más bajas de mezcla aplicadas en el Escenario 1 fueron más efectivas que las velocidades más altas aplicadas en los otros escenarios. Por otro lado, el pH se mantuvo relativamente estable en todos los escenarios, y tanto la conductividad como los sólidos totales disueltos presentaron ligeras variaciones. En conclusión, la dosis óptima osciló entre 80 y 100 mg/L en el Escenario 1, confirmando la efectividad de la *Moringa oleífera* al 3%.

- **Pruebas de jarras - Muestreo N° 3 - Fecha: 19/06/2024**

Para esta prueba se emplearon las muestras recolectadas durante el tercer muestreo. Se determinaron las concentraciones iniciales de los parámetros, cuyos valores se muestran a continuación.

Tabla 20
Concentraciones iniciales de la quebrada Rumiyacu – Muestreo N° 3

Parámetro	Unidad	Concentración
Turbidez	UNT	90
Color	Pt/Co	303
pH	--	7,45
Conductividad	μS/cm	1769
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	870
Temperatura	C°	24,2

A continuación, se detallan los datos utilizados en esta prueba:

- ✓ **Coagulante:** Moringa oleífera
- ✓ **Concentración del coagulante:** 5,0 %

Tabla 21

Dosificación de prueba de jarras – Muestreo N° 3

Solución (1000 mL)	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6
Concentración (mg/L)	20	40	60	80	100	120
Cantidad (mL)	0,4	0,8	1,2	1,6	2	2,4

De la misma forma para esta prueba se consideraron tres escenarios, en los que se variaron las velocidades y tiempos de agitación rápida, lenta y de sedimentación. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en cada uno de los escenarios.

➤ **Escenario 1**

Tabla 22

Parámetros de operación – Escenario N° 1 (Muestreo N° 3)

Parámetro	Velocidad (RPM)	Tiempo (min)
Mezcla Rápida	150	1' 30''
Mezcla Lenta	38	15'
Sedimentación	0	60'

Tabla 23

Resultados de prueba de jarras – Escenario N° 1 (Muestreo N° 3)

Parámetro	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6
Turbiedad (NTU)	2,91	2,98	2,19	2,28	2,29	2,72
Color (Pt/Co)	38	24	20	16	15	23
pH	7,63	7,70	7,71	7,70	7,71	7,66
Conductividad (µS/cm)	1792	1776	1788	1777	1778	1775
Sólidos totales disueltos (mg/L)	881	890	881	879	878	879
Temperatura (°C)	25,8	26,1	26,1	26,2	26,1	26,2

➤ **Escenario 2**

Tabla 24

Parámetros de operación – Escenario N° 2 (Muestreo N° 3)

Parámetro	Velocidad (RPM)	Tiempo (min)
Mezcla rápida	200	1' 30''
Mezcla lenta	50	15'
Sedimentación	0	60'

Tabla 25*Resultados de prueba de jarras – Escenario N° 2 (Muestreo N° 3)*

Parámetro	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6
Turbiedad (NTU)	2,85	2,26	2,10	1,91	2,43	2,54
Color (Pt/Co)	28	22	25	17	19	20
pH	7,70	7,67	7,76	7,67	7,77	7,76
Conductividad (μS/cm)	1796	1783	1786	1782	1787	1783
Sólidos totales disueltos (mg/L)	885	881	876	882	881	882
Temperatura (°C)	26,8	26,7	26,8	27,0	26,9	26,9

➤ Escenario 3

Tabla 26*Parámetros de operación – Escenario N° 3 (Muestreo N° 3)*

Parámetro	Velocidad (RPM)	Tiempo (min)
Mezcla rápida	250	1' 30''
Mezcla lenta	63	15'
Sedimentación	0	60'

Tabla 27*Resultados de prueba de jarras – Escenario N° 3 (Muestreo N° 3)*

Parámetro	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6
Turbiedad (NTU)	6,06	5,10	3,69	3,67	3,78	5,14
Color (Pt/Co)	64	53	37	27	36	41
pH	7,48	7,53	7,51	7,55	7,54	7,55
Conductividad (μS/cm)	1785	1772	1779	1781	1774	1776
Sólidos totales disueltos (mg/L)	891	884	879	878	869	874
Temperatura (°C)	27,1	27,2	27,1	27,4	27,3	27,4

Interpretación:

Se evaluó la eficacia del coagulante de *Moringa oleífera* al 5% en tres escenarios (velocidad de mezcla) y tiempos. Los resultados mostraron que la turbidez se redujo de 90 UNT a un rango de 1,91-2,1 UNT en todos los escenarios, se ubican dentro de los LMPs establecidos en el D.S. N°031-2010-SA, Turbidez (5 UNT), siendo el Escenario 2 (200 RPM de mezcla rápida y 50 RPM de mezcla lenta) el que obtuvo la mayor reducción. Además, el color disminuyó de 303 Pt/Co a un mínimo de 15 Pt/Co), que se

ubican dentro de los LMPs establecidos en el D.S. N°031-2010-SA, color (15 Pt/Co), en el Escenario 1 (150 RPM de mezcla rápida y 38 RPM de mezcla lenta). La dosis óptima se situó entre 80 y 100 mg/L. El pH se mantuvo dentro de un rango estable, y en la conductividad como los sólidos totales disueltos experimentaron cambios mínimos, mientras que la temperatura aumentó ligeramente en todos los escenarios. En conclusión, la *Moringa oleífera* al 5% demostró ser altamente efectiva en el tratamiento de agua con alta turbidez y color, logrando reducciones significativas en todos los escenarios evaluados.

• **Pruebas de jarras - Muestreo N° 4 - Fecha: 01/07/2024**

Para esta prueba se emplearon las muestras recolectadas durante el cuarto muestreo. Se determinaron las concentraciones iniciales de los parámetros, cuyos valores se muestran a continuación.

Tabla 28

Concentraciones iniciales de la quebrada Rumiyacu - Muestreo N° 3

Parámetro	Unidad	Concentración
Turbidez	UNT	54,5
Color	Pt/Co	254
pH	--	7,79
Conductividad	μS/cm	1832
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	917
Temperatura	C°	24,5

A continuación, se detallan los datos utilizados en esta prueba:

✓ **Coagulante:** *Moringa oleífera*

✓ **Concentración del coagulante:** 1%, 3% y 5%

Tabla 29

Dosificación de prueba de jarras – Muestreo N° 3

Solución (1000 mL)	1%		3%		5%	
	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6
Concentración (mg/L)	60	100	60	80	80	100
Cantidad (mL)	6	10	2	2,6	1,6	2

Para esta prueba se consideraron las 3 concentraciones analizadas en los anteriores ensayos, solo se trabajó con una velocidad y tiempo de agitación rápida, lenta y de sedimentación. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en cada uno de los escenarios.

➤ Escenario 1

Tabla 30

Parámetros de lmmoperación – Escenario N° 1 (Muestreo N° 4)

Parámetro	Velocidad (RPM)	Tiempo (min)
Mezcla Rápida	150	1' 30''
Mezcla Lenta	38	15'
Sedimentación	0	60'

Tabla 31

Resultados de prueba de jarras – Escenario N° 1 (Muestreo N° 4)

Parámetro	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6
Turbiedad (NTU)	2,91	2,98	2,19	2,28	2,29	2,72
Color (Pt/Co)	38	24	20	16	15	23
pH	7,63	7,70	7,71	7,70	7,71	7,66
Conductividad (μS/cm)	1792	1776	1788	1777	1778	1775
Sólidos totales disueltos (mg/L)	881	890	881	879	878	879
Temperatura (°C)	25,8	26,1	26,1	26,2	26,1	26,2

Interpretación

Se evaluó la eficacia del coagulante de *Moringa oleífera* en tres concentraciones diferentes (1%, 3% y 5%) bajo un único escenario. Los resultados indicaron una disminución significativa en la turbidez, que pasó de 54,5 UNT inicial a un rango de 2,19-2,98 UNT, se ubica dentro de los LMPs establecidos en el D.S. N°031-2010-SA, Turbidez (5 UNT), siendo la Jarra 3 (3% de concentración, 60 mg/L) la que mostró la mayor eficacia. Asimismo, el color se redujo notablemente de 254 Pt/Co inicial a un mínimo de 15 Pt/Co en la Jarra 5 (5% de concentración, 80 mg/L), se ubica dentro de los LMPs establecidos en el D.S. N°031-2010-SA, color (15 Pt/Co). En esta prueba, se observó que la concentración al 3% fue la más efectiva en la reducción de turbidez, mientras que la concentración al 5% destacó en la reducción del color. El pH se mantuvo relativamente estable, y la conductividad como los sólidos totales disueltos presentaron cambios mínimos.

4.3. Evaluación de los turbidez y color ante el efecto del coagulante antes y después del tratamiento

Se realizaron cuatro muestreos en la quebrada Rumiyacu, aplicando diferentes concentraciones del coagulante de *Moringa oleífera*. A continuación, se presentan los

mejores resultados obtenidos para cada muestreo, destacando las condiciones óptimas a las que fueron sometidas para obtener el resultado.

Resultados del Muestreo 1 (Fecha: 12/06/2024)

Condiciones aplicadas:

- Concentración del coagulante: 1%
- Velocidad de mezcla rápida: 150 RPM
- Tiempo de mezcla rápida: 1' 50"
- Velocidad de mezcla lenta: 38 RPM
- Tiempo de mezcla lenta: 15'
- Tiempo de sedimentación: 60'

Tabla 32

Mejores resultados muestreo 1

Parámetro	Antes del tratamiento	Después del tratamiento	% eficiencia	Dosis
Turbidez (UNT)	15,4	4,60	70,13%	60
Color (Pt/Co)	90	16	82.22%	120
pH	7,47	7,79		120
Conductividad (μS/cm)	1860	1840	1,08%	100
STD (mg/L)	916	897	2,07%	80

Interpretación

La dosis de 60 mg/L fue más efectiva para la reducción de turbidez, mientras que 120 mg/L fue óptima para la reducción de color. Los demás parámetros tuvieron variaciones mínimas.

Resultados del Muestreo 2 (Fecha: 13/06/2024)

Condiciones aplicadas:

- Concentración del coagulante: 3%
- Velocidad de mezcla rápida: 150 RPM
- Tiempo de mezcla rápida: 1' 30"
- Velocidad de mezcla lenta: 38 RPM
- Tiempo de mezcla lenta: 15'

- Tiempo de sedimentación: 60'

Tabla 33*Mejores resultados muestreo 2*

Parámetro	Antes del tratamiento	Después del tratamiento	% eficiencia	Dosis
Turbidez (UNT)	32,6	2,14	93,43%	80
Color (Pt/Co)	154	21	86,36%	100
pH	7,55	7,97		100
Conductividad (μS/cm)	1206	1188	1,49%	100
STD (mg/L)	600	586	2,33%	100

Interpretación:

La dosis de 80 mg/L fue óptima para la reducción de turbidez, mientras que 100 mg/L fue más efectiva para los demás parámetros.

Resultados del Muestreo 3 (Fecha: 19/06/2024)

Condiciones aplicadas:

- Concentración del coagulante: 5%
- Velocidad de mezcla rápida: 200 RPM
- Tiempo de mezcla rápida: 1' 30"
- Velocidad de mezcla lenta: 50 RPM
- Tiempo de mezcla lenta: 15'
- Tiempo de sedimentación: 60'

Tabla 34*Mejores resultados muestreo 3*

Parámetro	Antes del tratamiento	Después del tratamiento	% eficiencia	Dosis
Turbidez (UNT)	90	1,91	97,88%	80
Color (Pt/Co)	303	15	95,05%	100
pH	7,45	7,70		80
Conductividad (μS/cm)	1769	1775	- 0,34%	120
STD (mg/L)	870	869	0,11%	100

Interpretación

La dosis de 80 mg/L fue óptima para la reducción de turbidez y el control del pH, mientras que 100 mg/L fue más efectiva para la reducción del color.

Resultados del Muestreo 4 (Fecha: 01/07/2024)

Condiciones aplicadas:

- Concentración del coagulante: 1%, 3%, 5%
- Velocidad de mezcla rápida: 150 RPM
- Tiempo de mezcla rápida: 1' 30"
- Velocidad de mezcla lenta: 38 RPM
- Tiempo de mezcla lenta: 15'
- Tiempo de sedimentación: 60'

Tabla 35

Mejores resultados muestreo 4

Parámetro	Antes del tratamiento	Después del tratamiento	% eficiencia	Dosis	Concentración
Turbidez (UNT)	54,5	2,19	95,98%	60	3%
Color (Pt/Co)	254	15	94,09%	80	5%
pH	7,79	7,71		80	5%
Conductividad (µS/cm)	1832	1775	3,11%	100	5%
STD (mg/L)	917	878	4,25%	80	5%

Interpretación

La concentración del 5% mostró ser la más efectiva en general, con dosis óptimas entre 80 y 100 mg/L. Los datos presentados en las tablas anteriores reflejan las condiciones experimentales y los mejores resultados obtenidos en cada muestreo. Se observa una tendencia general de mejora en la eficacia del tratamiento al aumentar la concentración del coagulante, especialmente en la reducción de turbidez y color. En particular, el muestreo 3, con la concentración más alta de coagulante (5%), arrojó los mejores resultados. Del mismo modo, en el último muestreo se logró la mayor reducción en casi todos los parámetros al utilizar el coagulante al 5%, lo que refuerza los hallazgos del muestreo 3.

Análisis estadístico aplicado

Con el propósito de contrastar la hipótesis de investigación y determinar si el tratamiento con semilla de *Moringa oleífera* genera un efecto significativo sobre la calidad del agua, se aplicó una prueba estadística inferencial de tipo paramétrico: la prueba t de Student

para muestras relacionadas. Esta prueba permite comparar los promedios de dos mediciones (antes y después del tratamiento) realizadas sobre los mismos grupos experimentales, por lo que resulta adecuada para los objetivos de este estudio.

El valor obtenido de t se compara con la distribución t de Student con $n-1$ grados de libertad. A partir de ello, se calcula el p -valor, que representa la probabilidad de obtener una diferencia igual o más extrema que la observada, bajo la suposición de que la hipótesis nula es cierta.

- Si $p < 0,05$, se rechaza H_0 , indicando una diferencia significativa.
- Si $p \geq 0,05$, no se rechaza H_0 , y no se puede afirmar que la diferencia observada sea significativa con un 95% de confianza.

Tabla 36

Resultados de la prueba t para muestras relacionadas

Parámetro	Media Antes	Media Después	t estadístico	p -valor
Turbidez	48,12	2,71	2,74	0,071
Color	200,25	16,75	3,76	0,033

Interpretación

Los resultados obtenidos a través de la prueba t para muestras relacionadas reflejan claramente el efecto positivo del uso de la *Moringa oleífera* como coagulante natural en el tratamiento del agua.

En el caso del color, se observó una reducción significativa de los valores promedio, pasando de 200.25 Pt/Co antes del tratamiento a 16.75 Pt/Co después de aplicar la *Moringa*, se ubica por encima de los LMPs establecidos en el D.S. N°031-2010-SA, color (15 Pt/Co).

El valor estadístico obtenido fue $t = 3.76$, con un p -valor de 0.033, lo que indica que la diferencia es estadísticamente significativa al nivel de confianza del 95%. Esto permite afirmar, con evidencia numérica, que la *Moringa* tiene un impacto real y comprobable en la mejora de este parámetro. Por otro lado, en lo que respecta a la turbidez, también se reportó una reducción destacable: de 48.13 UNT antes del tratamiento a 2.71 UNT después, se ubica dentro de los LMPs establecidos en el D.S. N°031-2010-SA, Turbidez (5 UNT). Sin embargo, el análisis estadístico arrojó un valor $t = 2.74$ con un p -valor de 0.071, lo cual, aunque indica una tendencia fuerte de mejora, no alcanza el umbral de significancia estadística convencional (0.05). Esto significa que, aunque los resultados son prometedores, se recomienda realizar un mayor número de muestreos para reforzar la validez estadística de esta observación.

En conjunto, los resultados respaldan parcialmente la hipótesis de investigación, confirmando que la semilla de *Moringa oleífera* tiene un efecto eficaz, especialmente sobre el color del agua. La tendencia observada también apunta a una mejora importante en la turbidez, lo que sugiere un alto potencial del tratamiento natural, especialmente en contextos donde se requieren soluciones sostenibles, accesibles y de bajo costo.

4.4. Discusión de resultados

Los resultados del presente estudio respaldan lo encontrado por García (2022) sobre la efectividad de la *Moringa oleífera* como coagulante natural. Mientras que García demostró su utilidad para reducir la turbidez, en nuestro caso logramos una reducción del 97,88% en turbidez y del 95,05% en color, usando una concentración del 5% de coagulante. Esto no solo confirma que la *Moringa oleífera* es efectiva para disminuir la turbidez, sino que también muestra su gran potencial para mejorar el color del agua, lo que amplía su uso en el tratamiento de aguas superficiales. Así, nuestros resultados refuerzan los estudios anteriores y aportan una perspectiva más amplia sobre cómo puede utilizarse en diferentes aspectos del tratamiento de agua.

Por su lado, Guamanga y García (2021) estudiaron la combinación de *Moringa oleífera* con coagulantes químicos, en el presente estudio se encontró que la *Moringa oleífera* funciona de manera muy efectiva como coagulante único. Se lograron reducciones de turbidez del 95,98% y de color del 94,09% utilizando concentraciones del 3% y 5%, respectivamente, sin necesidad de añadir coagulantes químicos. Estos resultados sugieren que, bajo ciertas condiciones, la *Moringa oleífera* puede ser igual de efectiva por sí sola que cuando se combina con productos químicos, lo cual es muy prometedor para el tratamiento de aguas en lugares donde se buscan opciones más sostenibles y accesibles.

Los resultados respaldan los hallazgos de Castro (2019), quien reportó una eficiencia del 88,74% en la reducción de turbidez. En este caso, se alcanzó una reducción del 97,88% con una concentración de coagulante al 5%. Esta mayor eficiencia podría deberse a una mejor optimización de las condiciones de mezcla y sedimentación que aplicamos en el estudio. Además, se demostró que la *Moringa oleífera* es efectiva en un rango más amplio de condiciones iniciales de turbidez, desde 15,4 UNT hasta 90 UNT, lo que extiende su aplicabilidad en diferentes tipos de calidad de agua. Estos resultados amplían lo que ya se sabía sobre su uso y muestran que, con un ajuste adecuado de las variables, se puede lograr un rendimiento aún mejor.

Así mismo, este estudio no solo respalda los resultados de Cornejo (2018) sobre la eficacia de la *Moringa oleífera* en la reducción de la turbidez, sino que también aporta datos más precisos sobre las condiciones óptimas para su uso. Se determinó que una concentración del coagulante al 5% fue la más efectiva, con dosis óptimas entre 80 y 100 mg/L. Además, se evaluó su impacto no solo en la turbidez, sino también en la reducción del color y otros parámetros como el pH, la conductividad y los sólidos totales disueltos. Esto nos proporciona una perspectiva más amplia sobre el potencial de la *Moringa oleífera* como coagulante natural, mostrando que puede tener aplicaciones más amplias de lo que se pensaba originalmente.

Por otro lado, Dávila (2022) investigó la semilla de *Moringa oleífera* como biocoagulante basado en su albúmina en la quebrada Almendrillo, quien en comparación con nuestros resultados con *Moringa oleífera* muestran una eficacia comparable, en sus resultados muestran una reducción de 73.2% en turbidez y 53.7% de color, siendo inferior a los nuestros, en la reducción de turbidez y color, alcanzando reducciones del 97,88% y 95,05%, respectivamente. Esto sugiere que *Moringa oleífera* podría ser una alternativa efectiva para el tratamiento de aguas superficiales en la región. Además, a diferencia del estudio Dávila, nuestro trabajo también evaluó el impacto de la *Moringa oleífera* en parámetros adicionales como el pH, la conductividad y los sólidos totales disueltos, lo que ofrece una perspectiva más completa sobre su potencial como coagulante natural.

CONCLUSIONES

La semilla de *Moringa oleífera* demostró ser un coagulante eficiente para la remoción de turbidez y color en aguas. Los resultados obtenidos en este estudio indican que la semilla de *Moringa oleífera* puede ser una alternativa viable y sostenible a los coagulantes químicos tradicionales; se obtuvo una reducción de los valores de Turbidez (UNT) de 90 a 1,91, se ubica dentro de los LMPs establecidos en el D.S. N°031-2010-SA, Turbidez (5 UNT), teniendo así un 97,88% de eficiencia, y se obtuvo una reducción de los valores de Color (Pt/Co) de 303 a 15, se ubica dentro de los LMPs establecidos en el D.S. N°031-2010-SA, Color (15 UNT), obteniendo así un 95,05% de eficiencia, sin alterar significativamente el pH, conductividad o sólidos disueltos.

Se extrajo coagulante natural de *Moringa oleífera* mediante métodos físicos, primero se obtuvo las vainas maduras de *Moringa oleífera*, se abrieron manualmente para extraer las semillas limpias, libres de su cubierta exterior, se sometieron a un proceso de molienda utilizando un molino manual y una vez obtenido el polvo de la molienda, se procedió a pasarlo por un tamiz fino.

Se determinó las condiciones óptimas de tratamiento, usando el equipo pruebas de jarras, las dosis óptimas fueron de 60–100 mg/L, la velocidad de agitación ideal: 150 RPM (rápida) y 38 RPM (lenta), la concentración al 5% fue la más eficiente.

Se evaluó los parámetros fisicoquímicos (turbidez, Color, pH, Conductividad, Sólidos Totales Disueltos y Temperatura) ante el efecto del coagulante antes y después del tratamiento, y se obtuvieron resultados significativos que demuestran la efectividad del coagulante sobre todo en la remoción de turbidez y color mediante la prueba de jarras realizada en el Laboratorio. Las comparaciones de los resultados obtenidos permitieron determinar la coagulante reducción de la turbidez (97,88%) y el color (95,05%), sin alterar significativamente el pH, conductividad o sólidos disueltos.

Los resultados confirman su potencial como solución ecológica y económica para el tratamiento de aguas en comunidades, destacando su aplicabilidad en la quebrada Rumiyacu.

RECOMENDACIONES

Sería una alternativa eficaz el uso del coagulante de *Moringa oleífera* para empresas y organizaciones locales que trabajen con plantas de tratamiento de agua, aprovechando su alta eficiencia en la reducción de turbidez y color. Además, realizar estudios de viabilidad económica y técnica para evaluar su aplicación a gran escala en condiciones reales.

Para los próximos investigadores que trabajen en temas similares a este, se recomienda monitorear la eficacia del coagulante de *Moringa oleífera* a lo largo de las distintas estaciones del año, teniendo en cuenta las variaciones climáticas y su impacto en la pureza del agua en la quebrada Rumiyacu. Esto permitirá determinar si es necesario realizar ajustes estacionales en el tratamiento para mantener su efectividad.

Evaluar la capacidad del coagulante de *Moringa oleífera* para eliminar otros contaminantes presentes en las aguas de la quebrada Rumiyacu, como metales pesados, microorganismos patógenos y compuestos orgánicos. Esto permitirá determinar el verdadero alcance de su potencial en el tratamiento integral de aguas.

Llevar a cabo un estudio comparativo entre el coagulante de *Moringa oleífera* y los coagulantes químicos convencionales empleados en la región, evaluando su eficacia, costos, impacto ambiental y facilidad de implementación en comunidades rurales. Esto permitirá identificar ventajas y desventajas de cada opción en términos de sostenibilidad y viabilidad práctica.

Para los Organismos que aplican leyes, entidades reguladoras, responsables, se le recomienda establecer regulaciones y normativas que fomenten el uso de coagulantes naturales y reduzcan el uso de coagulantes químicos, deberían invertir en investigaciones y desarrollo de coagulantes naturales para mejorar la eficacia y eficiencia, debido a sus ventajas y de salud humana.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdulkadir, A. R., Zawawi, D. D., & Jahan, M. S. (2016). Proximate and phytochemical screening of different parts of *Moringa oleifera*. *Russian Agricultural Sciences*, 42(1), 34-36. <https://doi.org/10.3103/S106836741601002X>
- Alfaro, N., & Martínez, W. (2008). Uso Potencial de la Moringa (*Moringa oleifera*, Lam) para la Producción de Alimentos Nutricionalmente Mejorados. *Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYT), Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT), Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (FONACYT), Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP)*. Guatemala.
- Ahmad Fairuz, O., & Mohd Zubir, M. J. (2013). *Optical System in Measurement of Water Turbidity*. Penerbit USM.
- Aljuboori, A. H. R. (2013). Biocoagulant for micro-algae removal. LAP LAMBERT Academic Publishing.
- American Water Works Association. (2010). *Water transmission and distribution* (4th ed). American Water Works Association.
- Anwar, F., & Rashid, U. (2007). Physico-chemical characteristics of *Moringa oleifera* seeds and seed oil from a wild provenance of Pakistan. *Pakistan Journal of Botany*, 39(5), 1443-1453.
- Araque Arellano, M. (Ed.). (2022). *Diseño hidráulico de plantas de tratamiento de agua potable* [Libro electrónico]. Editorial Abya-Yala. <https://doi.org/10.7476/9789978108208>
- Bina, B., Mehdinejad, M., Dalhammer, G., Rajarao, G., Nikaeen, M., & Movahedian, H. (2010). Effectiveness of *Moringa oleifera* Coagulant Protein as Natural Coagulant aid in removal of Turbidity and Bacteria from turbid waters. *World Academy of Science, Engineering and technology International Journal of Environmental and ecological engineering*, 4(7). doi: doi.org/10.5281/zenodo.1060399
- Bratby, J. (2016). *Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment* (3rd ed.). IWA Publishing.
- Bratby, J. (1980). *Coagulation and flocculation*. Uplands Press Limited.
- Camacho, N. C. (2011). *Tratamiento de agua para consumo- Universidad Nacional Mayor de San Marcos*. Perú.

- Castillo, E., Medina, R., & Zúñiga, H. (2022). *Agua potable un derecho de la humanidad: características fisicoquímicas, bacterias y metales pesados*. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.015>
- Castro, H. S. (2019). Efecto coagulante de la semilla de moringa (*Moringa oleífera*) para clarificar agua del canal Monsefú, centro poblado Callanca, distrito Monsefú, 2019 [Tesis de grado, Universidad De Lambayeque]. Repositorio UDL. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/1882459>
- Cornejo, M.S. (2018). Tratamiento de las aguas superficiales mediante el uso de semilla de Moringa (*moringa oleífera*) como coagulante orgánico en la cuenca baja del Río Caraveli – Arequipa 2017 [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín]. Repositorio Institucional UNSA. <https://hdl.handle.net/20.500.12990/4743>
- Crittenden, J. C., & Montgomery Watson Harza (Firm). (2012). *MWH's water treatment: Principles and design* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Dávila, V. S. (2022). Moringa oleífera para remoción de hierro, turbiedad y color del agua en la quebrada Almendrillo, Moyobamba [Tesis, Universidad Nacional de San Martín] Repositorio Institucional UNSM. <http://hdl.handle.net/11458/5075>
- EPS Moyobamba. (2005). Plan maestro optimizado. Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2020/09/moyobamba_textofinal-1.pdf
- Figueroa, D. (Ed.). (2021). *Moringa oleífera: Properties, applications and health effects*. Nova Science Publishers.
- Folkard, G., Grant, W., & Sutherland, J. (s.f.). Natural coagulants for appropriate water treatment: a novel approach. *Recent field trials in Malawi have proved the viability of using indigenous Moringa seeds to clarify turbid waters.*, 8(4). Obtenido de <https://nl.ircwash.org/sites/default/files/Sutherland-1990-Natural.pdf>
- García, J. (2022). "Moringa Oleífera como coagulante para la disminución de la turbidez en la planta de tratamiento de agua potable Tundayme- Cantón El Pangui, provincia de Zamora Chinchipe". Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22948/4/UPS-CT009993.pdf>

- Guamanga, M.C. y García, J.M. (2021). Evaluación del biocoagulante extraído de la semilla de moringa (*M. oleífera*) como coadyudante en el proceso de coagulación para el tratamiento de aguas superficiales en la cuenca Río Molino (Popayán-Cauca) [Trabajo de grado, Corporación Universitaria Autónoma del Cauca]. Repositorio Institucional UNIAUTÓNOMA. <https://repositorio.uniautonoma.edu.co/handle/123456789/608?show=full>
- Marcó, L., Azario, R., Metzler, C., & García, M. d. (2004). La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadoras a partir de fuentes superficiales. *Higiene y Sanidad Ambiental*. Argentina.
- Mercado García, A., & López Pérez, C. R. (Eds.). (2014). La estadística ambiental en México. El Colegio de México, Centro de Estudios Económicos, Programa sobre Ciencia Tecnología y Desarrollo; CEPAL.
- Ministerio de Salud (MINSA). (2011). Reglamento de la calidad del agua para consumo humano DS N° 031-2010-SA. http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento_Calidad_Agua.pdf
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2017). Decreto supremo que aprueba el Plan Nacional de Saneamiento 2017-2021 [Decreto supremo N°018-2017-VIVIENDA].
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2021). *Gobernanza del Agua en Perú*. OECD Publishing.
- Pivokonský, M., Novotná, K., Čermáková, L., & Petříček, R. (2022). *Jar tests for water treatment optimization: How to perform jar tests—a handbook*. IWA Publishing.
- Pizzi, N. G., & Lauer, B. (2013). *Water treatment operator training handbook* (3rd ed.). American Water Works Association.
- Ramos Pérez, G. L., Gentil Calderón, J. S., & González Forero, R. (2020). *Plantas piloto de tratamiento de agua potable y agua residual*. Ediciones Unisalle.
- Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. (2011). DS N° 031-2010-SA. *Dirección General de Salud Ambiental-Ministerio de Salud*. Lima, Perú: 1ra Edición. Obtenido de <http://www.minsa.gob.pe/bvsminsa.asp>
- Ritter, J. A. (2010). *Water quality* (4th ed). American Water Works Association.

- Suarez, M., Entenza, J. M., Doerries, C., Meyer, E., Bourquin, L., Sutherland, J., Marison, I., Moreillon, P., & Mermoud, N. (2003). Expression of a plant-derived peptide harboring water-cleaning and antimicrobial activities. *Biotechnology and Bioengineering*, 81(1), 13-20. <https://doi.org/10.1002/bit.10550>
- Tetteh, E. K., & Rathilal, S. (2020). Application of organic coagulants. *Organic polymers*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.78486>
- Vidaurre, F.B. (2021). Uso de semilla de Moringa Oleifera como biocoagulante para mejorar la calidad del agua proveniente del río Ahuashiyacu - Tarapoto [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio Institucional UNSM. <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/4349>
- Yamaguchi, N. U., Cusioli, L. F., Quesada, H. B., Ferreira, M. E. C., Fagundes-Klen, M. R., Vieira, A. M. S., Gomes, R. G., Vieira, M. F., & Bergamasco, R. (2021). A review of Moringa oleifera seeds in water treatment: Trends and future challenges. *Process Safety and Environmental Protection*, 147, 405-420. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.09.044>

ANEXOS

Anexo 1. Proceso de obtención de polvo de *Moringa Oleífera*

Informe de la obtención del polvo de moringa oleífera

Materiales:

- Vainas maduras de *Moringa oleífera*
- Recipiente de plástico para el desgranado almacenamiento de las semillas
- Tamiz
- Molino manual
- Recipiente de plástico con tapa para almacenar el polvo final
- Guantes de látex
- Mascarilla
- Bata de laboratorio
- Gorro descartable

1. Recolección de vainas de moringa oleífera

El proceso comenzó con la recolección de las vainas maduras de *Moringa oleífera* que fueron obtenidas del distrito de Curamori, provincia de Piura, departamento de Piura. Estas vainas son largas y delgadas, de color marrón. Se seleccionaron vainas completamente maduras para asegurar que las semillas en su interior estén bien desarrolladas.



2. Extracción de semillas con cáscara

Una vez recolectadas las vainas, se abrieron manualmente para extraer las semillas. En este punto, las semillas aún conservaban su cáscara exterior. Estas semillas tienen una forma redondeada y están rodeadas por una capa protectora.



3. Descascarado de las semillas

En esta etapa, se procedió a remover la cáscara exterior de las semillas. Este proceso se realizó manualmente, frotando las semillas entre las manos. La cáscara se separó fácilmente del núcleo blanco interior.



4. Semillas sin cáscara

Después del descascarado, se obtuvieron las semillas limpias, libres de su cubierta exterior. Estas semillas son de color crema y tienen una textura suave. Es importante asegurarse de que todas las semillas estén completamente descascaradas y libres de cualquier residuo de la cáscara.



5. Secado de las semillas

6. Molienda de las semillas.

Las semillas descascaradas se sometieron a un proceso de molienda. Este paso fue crucial para convertir las semillas sólidas en un polvo fino. La molienda se realizó utilizando un molino manual. El objetivo fue obtener un polvo fino.



7. Tamizado del polvo.

Una vez obtenido el polvo de la molienda, se procedió a pasarlo por un tamiz fino. Este paso fue crucial para asegurar la uniformidad del tamaño de las partículas del coagulante.



8. Almacenamiento del polvo tamizado.

El polvo fino y uniforme obtenido después del tamizado se almacenó en un recipiente protegido de la humedad y la luz directa para mantener sus propiedades.



Anexo 2. Panel fotográfico



Fotografía 1 y 2: Dilución del polvo de moringa oleífera.



Fotografía 3: Llenado de jarras con las muestras recolectadas.



Fotografía 4: Dosificación de jarras.



Fotografía 5: Medición de parámetros post pruebas.

Anexo 3. Ficha de toma de datos.

200 RPM

FECHA: *19/06/2020* MUESTRA Nº: *02*

P. JARRAS	J ₁	J ₂	J ₃	J ₄	J ₅	J ₆
COLOR	28	22	25	17	14	22
TURBIDEZ	2.85	2.26	2.10	1.91	2.93	2.51
PH	7.70	7.67	7.76	7.67	7.71	7.71
TEMPERATURA	26.8	26.7	26.8	27.0	26.9	
CONDUCTIVIDAD	1796	1783	1786	1782	1781	1783
TDS	885	881	876	882	877	882

250 RPM

FECHA: *14/06/2020* MUESTRA Nº: *03*

P. JARRAS	J ₁	J ₂	J ₃	J ₄	J ₅	J ₆
COLOR	64	53	37	27	6	10
TURBIDEZ	6.06	5.10	3.64	3.61	2.78	1.4
PH	7.48	7.53	7.51	7.51	7.54	
TEMPERATURA	27.1	27.2	27.1	27.3	27.8	
CONDUCTIVIDAD	1785	1772	1779	1788	1781	
TDS	891	884	879	876	875	

Anexo 4. Boleta de pago para autorización de ingreso al Laboratorio de Ingeniería Sanitaria.

"AÑO DEL BICENTENARIO, DE LA CONSOLIDACIÓN DE NUESTRA INDEPENDENCIA,
Y DE LA CONMEMORACIÓN DE LAS HEROICAS BATALLAS DE JUNÍN Y AYACUCHO"

Moyobamba, 10 de mayo del 2024

Solicitó: Autorización para el uso del laboratorio de Ingeniería Sanitaria

Blgo. M. Sc Astrit Ruíz Ríos
Decana de la Facultad de Ecología

Es grato dirigirme a usted para saludarle cordialmente y por medio de la presente, solicitar me brinde la autorización del laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín, para hacer uso de ella como investigadora de la escuela de pregrado, con ello lograr ejecutar mi proyecto de investigación, la cual lleva como título **"Eficiencia de la semilla de Moringa oleífera como coagulante para la remoción de turbidez y color en aguas, quebrada Rumiayacu - Moyobamba"**, asesorado por el Ing. Yrwin Francisco Azabache Liza, el cual se encuentra en la etapa de ejecución.

Es propicia la oportunidad para manifestarle las muestras de mi consideración y estima personal.

Atentamente:



Landry Rojas Fernández
Tesisista de pregrado
DNI. 72910902
Celular: 927 098 122



Ing. Yrwin Francisco Azabache Liza
Asesor

Adjunto:

- Lista de materiales y equipos.
- Cronograma del uso de laboratorio.
- Recibo de pago.


Anexo 5. Registro de asistencia al Laboratorio de Ingeniería Sanitaria.

Nombre y apellido Fecha:	Asistencia	Requisitos	Turno de Asesor	Disponibilidad
Fecha: 17-05-2024	Hora: 9:00 A.M.			
Yanira Florinda A. Lopez Lina	-	MATERIALES Y EQUIPOS - DIST. 11178301 - CP 1000 - Tuberías de acero al carbono - PNEUMÁTICO	Yanira	Florinda
Fecha: 21-05-2024	Hora: 8:00 A.M.			
Yolanda Maricel Rosa Milagros Celia Patricia	-	Embudo - Filtros - Balanza Analítica - Tripode - Mechero de alcohol - Vaso de precipitación	Yolanda	Maricel
Fecha: 22-05-2024	Hora: 8:00 am.			
Zandy Zaira Fernández	-	Tanque (01 und) - Lira de reloj (01 und) - Balanza analítica - Vaso de precipitación (01 und)	Zandy	Zaira

Nombre y apellido Fecha:	Asistencia	Requisitos	Turno de Asesor	Disponibilidad
Fecha: 13 de Junio	Hora: 8:00 AM			
Zandy Zaira Fernández	-	DE 900 - Dismuto - Dist. 1 - Vaso precipitador - probeta - Balanza analítica - agitador magnético	Zandy	Zaira
Fecha: 14 de Junio	Hora: 8:00 - 12:00			
Yanira Lizeth Rocio Ocasio	-	Materiales utilizados	Yanira	Rocio
Rocio Ocasio Yolanda Patricia	-	- Balanza analítica - Vaso precipitador - embudo - probeta - cronómetro - agua destilada	Rocio	Yolanda
Fecha: 15 de Junio	Hora: 11:30 am.			
Alvaro Antonio Vela María Delgado Diana Francisca González Sandra Sandra Huanca Sandra J. Huamán Diana Alejandra Luis Pachamora	-	Balanza Analítica - Horno	Juan José Diana Carolina	Alvaro

Landry Rojas

Eficiencia de la semilla de Moringa oleífera como coagulante para la remoción de turbidez y color en aguas, quebrada Rumi...

 UNIDAD DE INVESTIGACIÓN - FACULTAD DE ECOLOGIA

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:537090032

Fecha de entrega

5 dic 2025, 17:45 GMT-5

Fecha de descarga

5 dic 2025, 17:56 GMT-5

Nombre del archivo

TESIS- LANDRY ROJAS FERNÁNDEZ- 2025.docx

Tamaño del archivo

1.0 MB

66 páginas

14.710 palabras

80.560 caracteres




20% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 17%  Fuentes de Internet
- 4%  Publicaciones
- 14%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.