

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

INFLUENCIA DE LA *Moringa oleifera* EN LA REMOCIÓN
DE PLOMO Y TURBIDEZ EN EL RÍO LOCUMBA
DE LA CIUDAD DE TACNA, 2025

TESIS

Presentada por:

Bach. Ruiz Antoni Huerta Mamani

Para optar por el Título Profesional de
INGENIERO AMBIENTAL

TACNA - PERÚ

2026

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

TESIS

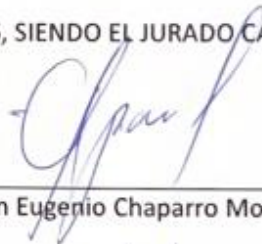
INFLUENCIA DE LA *Moringa oleifera* EN LA REMOCIÓN

DE PLOMO Y TURBIDEZ EN EL RÍO LOCUMBA

DE LA CIUDAD DE TACNA, 2025

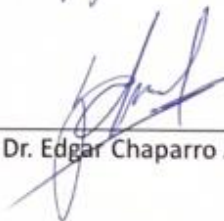
SUSTENTADA Y APROBADA EL 23 DE ABRIL DEL 2026, SIENDO EL JURADO CALIFICADOR:

PRESIDENTE:



Dr. Efren Eugenio Chaparro Montoya

SECRETARIO:



Dr. Edgar Chaparro Aguilar

VOCAL:



MSc. Gelvi Peali-Maró Canales Manchuria

ASESOR:



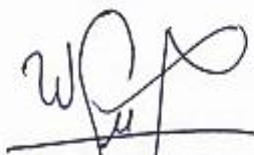
MSc. Gelvi Peali-Maró Canales Manchuria

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, **MSc. GELVI PEALI-MARO CANALES MANCHURIA**, en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad N° 9756-2025-FCAG de la tesis titulada: **INFLUENCIA DE LA MORINGA OLEIFERA EN LA REMOCIÓN DE PLOMO Y TURBIDEZ EN EL RÍO LOCUMBA DE LA CIUDAD DE TACNA, 2025**, presentado por el **Bachiller Ruiz Antoni Huerta Mamani**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental, habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajo de investigación y producción intelectual considerando que, según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del **software de similitud textual Turnitin** cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es del 15 %. Por lo que, **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis enunciada líneas arriba, la cual está expedita para continuar con los trámites para la obtención de título profesional, según corresponda, consiguiendo la publicación en el repositorio institucional.

FIRMA ASESOR

Nombres y Apellidos,
DNI



**MSc. GELVI PEALI-MARO CANALES
MANCHURIA**

46590567



FIRMA ASESOR

Nombres y Apellidos,
DNI



RUIZ ANTONI HUERTA MAMANI

77125024



DEDICATORIA

Dedico la presente Tesis, en primer lugar, a mi familia, por su apoyo incondicional, comprensión y sacrificio constante a lo largo de mi formación profesional. Gracias por brindarme la fortaleza, los valores y la motivación necesarios para seguir adelante incluso en los momentos más difíciles.

A mis hermanos, por su compañía, palabras de aliento y confianza permanente, que han sido un pilar fundamental en este proceso.

A mi pareja, por su paciencia, amor y apoyo inquebrantable, por creer en mí y acompañarme en cada etapa de este camino, impulsándome siempre a no rendirme.

De manera especial, dedico este logro a mi querida mascota **Canela**, cuya compañía y cariño sincero me brindaron tranquilidad y ánimo en los momentos de mayor esfuerzo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco, en primer lugar, a Dios por brindarme salud, fortaleza y sabiduría para culminar esta importante etapa de mi formación profesional.

Expreso mi más sincero agradecimiento a mis docentes, quienes con sus conocimientos, orientación y dedicación contribuyeron de manera significativa a mi desarrollo académico y profesional.

A mi familia, por su apoyo constante, comprensión y confianza depositada en mí durante todo este proceso, siendo el motor principal para alcanzar mis metas.

A mis hermanos y a mi pareja, por su acompañamiento, paciencia y palabras de aliento en los momentos de mayor exigencia académica.

Finalmente, agradezco a mi querida mascota **Canela**, por su compañía incondicional y por brindarme tranquilidad y motivación durante las largas jornadas de estudio.

CONTENIDO

Pág.

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE DE TABLA	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I : PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA :	
1.1 Descripción del problema	3
1.2 Formulación del problema	5
1.2.1 Interrogante general	5
1.2.2 Interrogantes específicas.....	5
1.3 Justificación	6
1.3.1 Justificación social	6
1.3.2 Justificación económica	6
1.3.3 Justificación ambiental.....	7
1.4 Alcances y limitaciones.....	8
CAPÍTULO II : OBJETIVOS E HIPÓTESIS	
2.1 Objetivos.....	9

2.1.1 Objetivo general.....	9
2.1.2 Objetivos específicos.....	9
2.2 Hipótesis.....	9
2.2.1 Hipótesis general	9
2.2.2 Hipótesis específicas	9
2.3 Variables.....	10
2.3.1 Variables dependientes	10
2.3.2 Variables independientes.....	10
2.3.3 Operacionalización de las variables	10
CAPÍTULO III : MARCO TÉORICO Y CONCEPTUAL	
3.1 Antecedentes.....	12
3.1.1 Nivel Internacional	12
3.1.2 Nivel Nacional.....	14
3.1.3 Nivel Local	19
3.2 Bases teóricas.....	20
3.2.1 Remoción de plomo.....	20
3.2.2 Remoción de Turbidez.....	22
3.2.3 Parámetros físico químicos	24
3.2.4 Moringa oleifera.....	27
3.2.5 Coagulantes Naturales	31
3.2.6 Proceso de coagulación –floculación.....	32
3.3 Definición de términos	33
3.3.1 Floculación	33
3.3.2 Coagulación.....	33

3.3.3 Test de jarras	34
3.3.4 Monitoreo de agua.....	34
3.3.5 Coagulantes químicos	34
3.3.6 Análisis estadístico	34

CAPÍTULO IV : METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Tipo y diseño de investigación.....	35
4.1.1 Tipo de investigación	35
4.1.2 Nivel de investigación	36
4.1.3 Diseño de investigación.....	37
4.2 Población y muestras en estudio.....	38
4.2.1 Población.....	38
4.2.2 Muestra.....	38
4.3 Método.....	40
4.3.1 Proceso de Experimentación	40
4.3.2 Metodología para la recolección de muestras de agua	42
4.3.3 Metodología para la caracterización de los parámetros	42
4.3.4 Metodología para la determinación del porcentaje de remoción	43
4.3.5 Método de análisis de datos	43
4.4 Técnicas aplicadas en la recolección de la información	44
4.5 Instrumentos para la recolección de información.....	44
4.6 Materiales e Equipos	46
4.6.1 Materiales	46
4.6.2 Equipos.....	46
4.6.3 Otros.....	47

4.7	Procedimientos	47
4.7.1	Determinación las características fisicoquímicas y el contenido de plomo en las aguas del río Locumba.....	47
4.7.2	Determinación de las características físicas de la Moringa oleífera.....	48
4.7.3	Determinación de la dosis optima en función a la remoción de plomo y turbidez del rio locumba.....	49
4.8	Análisis de datos estadísticos.....	53
CAPÍTULO V : RESULTADOS Y DISCUSIÓN		
5.1	Resultados.....	55
5.1.1	Determinación de las características fisicoquímicas y el contenido de plomo en las aguas del río Locumba.	55
5.1.2	Determinación de las características físicas de la Moringa oleífera.....	55
5.1.3	Determinación de la dosis optima de la Moringa oleífera en función a la remoción de plomo y turbidez del rio locumba.....	56
5.2	Discusión de resultados.....	62
5.2.1	Discusión de la determinación de las características fisicoquímicas del rio locumba	62
5.2.2	Discusión de la determinación las características físicas de la Moringa oleífera	64
5.2.3	Discusión de determinación de la dosis optima de Moringa oleífera en función a la remoción de plomo y turbidez del rio locumba	65
CONCLUSIONES		71
RECOMENDACIONES		72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		73

ANEXOS 93

ÍNDICE DE TABLA

	Pág.
Tabla 1. Operacionalización de variables.....	22
Parámetros Físico-químicos e inorgánicos según la norma Decreto	
Tabla 2. Supremo N.° 004-2017-MINAM.....	36
Tabla 3. Formas de la Moringa oleífera.....	40
Tabla 4. Extracción de Moringa oleífera.....	42
Tabla 5. Puntos de muestreos, coordenadas UTM.....	51
Tabla 6. Niveles de las variables de estudio.....	51
Tabla 7. Matriz de diseño experimental.....	52
Tabla 8. Matriz de experimentación.....	52
Tabla 9. Parámetros fisicoquímicos evaluados en el agua del río Locumba..	65
Tabla 10. Caracterización de la Moringa oleífera.....	66
Tabla 11. Análisis de Varianza para la remoción de turbidez.....	69
Tabla 12. Análisis de Varianza para la remoción de Plomo.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Plomo.....	33
Figura 2. Río Locumba.....	39
Figura 3. Moringa oleifera.....	42
Figura 4. Diseño Experimental.....	50
Figura 5. Mapa de ubicación de punto de muestreo del río Locumba....	51
Figura 6. Moringa oleifera.....	61
Figura 7. Prueba de jarras.....	63
Figura 8. Gráfico del porcentaje de remoción de la turbidez.....	68
Figura 9. Gráfico del porcentaje de remoción del plomo.....	69
Figura 10. Contornos de la superficie de respuesta estimada para la remoción de turbidez.....	71
Figura 11. Contornos de la superficie de respuesta estimada para la remoción de plomo.....	73

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Solicitud de uso de laboratorio	94
Anexo 2. Panel fotografico	111

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo determinar el efecto de la *Moringa oleifera* en la remoción de plomo y turbidez en el Río Locumba de la ciudad de Tacna, 2025. Aplicando una metodología de nivel aplicativo, enfoque cuantitativo con un diseño experimental, donde la muestra fue de 18 Litros de aguas en el Río Locumba con 6 tratamientos, con dos factores dosis de *Moringa oleifera* de 0,5 g; 1g y 1,5 g y de coagulante de *Moringa oleifera* de 10 y 20 ml. Se obtuvo como resultado que todos los tratamientos del T-1 85,4 % , T2 82,1 % ; T3 80,6 % ; T4 78,3 % ; T5 73,1 % y T6 63,5 % Asimismo, para el plomo una remoción del 86,2 %; 83,4 %; 13,8 %; 13,2 %; 8,3% y 8,1% respectivamente. Se concluye que el tratamiento T1 posee un porcentaje de remoción de la turbidez y plomo mediante la coagulación *Moringa oleifera*.

Palabras Claves: Coagulación, *Moringa oleifera*, plomo y turbidez

ABSTRACT

This research aimed to determine the effect of *Moringa oleifera* on the removal of lead and turbidity in the Locumba River, in the city of Tacna, 2025. An applied-level methodology was used, with a quantitative approach and an experimental design. The sample consisted of 18 liters of water from the Locumba River, with six treatments applied. with two factors: the dose of *Moringa oleifera* coagulant (0,5 g, 1 g, and 1,4 g) and the volume of moringa coagulant (10 mL and 20 mL). The results showed that all treatments achieved turbidity removal efficiencies of T1: 85,4%, T2: 82,1%, T3: 80,6%, T4: 78,3%, T5: 73,1%, and T6: 63,5%. Likewise, lead removal efficiencies were 86,2 %; 83,4 %; 13,8 %; 13,2 %; 8,3% y 8,3%, respectively.

It is concluded that treatment T1 achieved the highest percentage of turbidity and lead removal through coagulation with *Moringa oleifera*.

Keywords: *Coagulation, Moringa oleifera, lead, and turbidity*

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso esencial para la vida, pero el crecimiento poblacional y la expansión de actividades industriales como la minería, la agricultura y los hidrocarburos han incrementado la contaminación de los cuerpos de agua, especialmente por metales pesados, que representan graves riesgos para la salud humana, la fauna y los ecosistemas (Mendoza y Rodriguez, 2021).

En Perú, a pesar de su riqueza hídrica, la calidad del agua se ve afectada por el uso intensivo del recurso en actividades agropecuarias e industriales, generando problemas ambientales y sociales. En la región de Tacna, al sur del país, presenta altos niveles de metales pesados, incluyendo plomo, que superan los límites recomendados por la OMS, específicamente la cuenca del río Locumba, que abastece a más de 35 000 habitantes y 7 162 ha de cultivo, no cumple con los estándares de calidad para consumo humano (Autoridad Nacional del Agua, 2021).

Por lo tanto, en la presente investigación se centra en la evaluación del uso de *Moringa oleifera*, una planta conocida por sus propiedades coagulantes naturales, para la remoción de plomo y turbidez en el agua ofreciendo beneficios ambientales y económicos en el tratamiento de aguas.

El objetivo general del estudio es determinar el efecto de la *Moringa oleifera* en la remoción de plomo y turbidez en el río Locumba, mientras que los objetivos específicos consistieron en: determinar las características fisicoquímicas y el contenido de plomo en las aguas del río, evaluar la dosis optima en función a la remoción de plomo y turbidez.

La investigación adoptó un enfoque cuantitativo, con diseño experimental, diseño factorial múltiple con dos factores: Dosis de *Moringa oleifera* (0,5 g ; 1 g y 1,5 g) y Volumen de coagulante (10 y 20 mL).

La muestra consistió en 18 litros de agua extraída del río Locumba, sobre los cuales se aplicaron seis tratamientos diferentes para evaluar la eficiencia de remoción de turbidez y plomo.

El presente informe se organiza de la siguiente manera: inicialmente se presenta el planteamiento del problema, marco teórico y antecedentes relacionados con el uso de coagulantes naturales para el tratamiento de aguas; posteriormente, se describe la metodología empleada; luego se presentan y discuten los resultados obtenidos; y finalmente, se exponen las conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

El agua es el recurso hídrico esencial para la población, ya que es la fuente y nuestro sustento de la vida, se encarga de regular los climas en el mundo y modela la tierra, estas propiedades lo hacen esencial para la vida (Fernández, 2012).

El aumento de la población y la expansión de sectores industriales como la minería, los hidrocarburos y la agricultura han provocado una creciente contaminación de los cursos fluviales. Principalmente, por la presencia de metales pesados al ser los contaminantes más preocupantes debido a sus graves efectos para la salud humana, la fauna y la agricultura (Morales y Paucara, 2021; Ninaquispe y Vásquez, 2021).

Como resultado, las actividades humanas e industriales intensifican la contaminación del agua, lo cual provoca un deterioro significativo de la biodiversidad, riesgo la salud pública, reduce la calidad de vida y el bienestar de la población (Aucapuclla, 2021).

En el Perú siendo un país megadiverso, cuenta con tres regiones geográficas (costa sierra y selva) con una gran cantidad de reserva de agua dulce a nivel global, sin embargo, no todo es bueno, la calidad de agua se ve cada vez más afectada por el crecimiento poblacional, las actividades

agropecuarias e industriales demandan un uso significativo el recurso hídrico, generando problemas en los ecosistemas (Torres y Coronación, 2021).

La región de Tacna está ubicada al sur del Perú, es una de las regiones más afectadas con la presencia de metales pesados los cuales sobrepasan los valores permitidos recomendados por la organización mundial de la salud (OMS), debido a las actividades económicas realizadas en la citada región que son la ganadería, agricultura, la minera, turismo y comercio, estas actividades generan un impacto en el recurso hídrico, así como en la unidad hidrográfica se tiene la presencia de metales pesados como arsénico, hierro, aluminio, plomo entre otros (Machaca et al. 2022; Ramos y Guillermo, 2023). Según OMS el valor limite que el ser humano puede tolerar de Plomo (Pb) es de 0,01 mg/L (Díaz, 2021).

La cuenca de Locumba está ubicada en la provincia de Jorge Basadre y Candarave, que beneficia a los agricultores dando riego a 7,162 has de cultivo, abasteciendo a una población de 35 652 habitantes. Sin embargo, a través del tiempo la calidad del Río Locumba no se encuentra apto para el consumo humano (Alviz y Alviz, 2022).

Por ello, se emplean tratamientos como el uso de coagulantes químicos y naturales, destacando este último por su carácter no tóxico y su menor impacto ambiental. Los coagulantes naturales son especialmente

efectivos para eliminar contaminantes coloidales, adsorber metales pesados como plomo (Pb), además de ser altamente eficientes en la remoción de la turbidez del agua (Cahuaya y Choquegonza, 2024).

Ante lo expuesto, estos problemas suponen un riesgo significativo para la salud de la población de la región de Tacna, considerando que la cuenca de Locumba es crucial para la agricultura. De no adoptarse acciones, los impactos podrían intensificarse, comprometiendo los servicios ecosistémicos de la cuenca. Ante esta situación, el objetivo de la investigación es Determinar la influencia de la *Moringa oleifera* en la remoción de plomo y turbidez en el río Locumba de la ciudad de Tacna, 2025.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Interrogante general

- ¿Cuál es la influencia de la *Moringa oleífera* en la remoción de Plomo y Turbidez en río Locumba de la Ciudad de Tacna, 2025?

1.2.2 Interrogantes específicas

- ¿Cuáles son las características fisicoquímicas y contenido de plomo en el río Locumba en la ciudad de Tacna?
- ¿Cuáles son las características físicas de la *Moringa oleifera*?
- ¿Cuál es la dosis optima de la *Moringa oleifera* para la remoción de plomo y turbidez del río Locumba en la ciudad de Tacna?

1.3 Justificación

1.3.1 Justificación social

La cuenca de Locumba presenta un serio problema de contaminación del agua por metales pesados, lo que representa un riesgo del ecosistema local. Esta situación afecta significativamente para la salud de los pobladores y el equilibrio tanto el agua de consumo humano como la que se destina para actividades agrícolas, especialmente el riego. La presencia de metales pesados como el plomo en el agua impacta directamente en la calidad de vida, ya que puede provocar enfermedades crónicas, afectar el desarrollo infantil y reducir la productividad agrícola debido a la contaminación de los cultivos, poniendo en peligro la seguridad alimentaria de la población (Chuquilín, 2024).

Es por ello que la investigación propone el uso de un coagulante natural como es la *Moringa oleifera* como una alternativa para la remoción de plomo y turbidez del agua, lo cual contribuirá a mejorar la calidad del riego.

1.3.2 Justificación económica

El tratamiento de aguas contaminadas es una necesidad urgente en muchas zonas rurales, especialmente donde el recurso hídrico presenta altos niveles de plomo (Pb) y turbidez, lo que lo hace inadecuado para el consumo humano y el riego. Esta problemática impacta negativamente en

la salud de la población y limita las actividades agrícolas, afectando su economía y calidad de vida. Frente a esta situación, el uso de coagulantes se presenta como una alternativa efectiva para el tratamiento del agua (Calla y Escriba, 2023).

El uso de coagulantes naturales, en comparación del coagulante químicos como es la *Moringa oleifera* resulta menor el costo de adquisición, convirtiéndose en una opción accesible a la población, además permiten la remoción de sólidos disueltos, siendo amigable con el ambiente, no dejando residuos como los coagulantes sintéticos, además la *Moringa oleifera* es una planta que puede cultivarse y cosecharse fácilmente, lo que genera oportunidades de empleo en su producción y recolección.

1.3.3 Justificación ambiental

El tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados representa un desafío importante, especialmente cuando se utilizan coagulantes sintéticos que, si bien son efectivos, generan grandes cantidades de lodos que pueden afectar la calidad del agua y alterar sus parámetros fisicoquímicos. Esta situación no solo representa un riesgo para la salud humana y el medio ambiente, sino que también limita la sostenibilidad de los procesos de tratamiento (Asto y Chahuasoncco, 2022).

Como solución, el uso de coagulantes naturales representa una alternativa ecológica y eficaz frente a los productos químicos convencionales, al provenir de fuentes biodegradables como la *Moringa oleifera*, estos coagulantes naturales no generan residuos tóxicos ni alteraciones negativas, además contribuyen a disminuir la carga contaminante en cuerpos de agua, promoviendo la protección del medio ambiente.

1.4 Alcances y limitaciones

La siguiente investigación no presento limitaciones, debido a que se tiene acceso a la toma de muestras del rio locumba, en los aspectos metodológicos se realizaran utilizando los equipos disponibles en la municipalidad distrital de calana, mientras que los análisis que no se puede realizar se optó por laboratorio acreditado.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo general

- Determinar la influencia de la *Moringa oleifera* en la remoción de plomo y turbidez en el río Locumba de la ciudad de Tacna, 2025.

2.1.2 Objetivos específicos

- Determinar las características fisicoquímicas y el contenido de plomo en las aguas del río Locumba.
- Determinar características físicas de la *Moringa oleifera*
- Determinar la dosis óptima de *Moringa oleifera* en función a la remoción de plomo y turbidez del río Locumba

2.2 Hipótesis

2.2.1 Hipótesis general

- La *Moringa oleifera* tiene influencia en la remoción de plomo y turbidez en el río Locumba de la ciudad de Tacna, 2025.

2.2.2 Hipótesis específicas

- El análisis del río Locumba permite conocer las características fisicoquímicas y contenido plomo.
- El análisis de la *Moringa oleifera* permite conocer sus características físicas

- Determinar la dosis optima influye la remoción de plomo y turbidez del Río Locumba.

2.3 Variables

2.3.1 Variables dependientes

Y1: Remoción

Y2: Características fisicoquímicas

2.3.2 Variables independientes

X₁: *Moringa oleífera*

2.3.3 Operacionalización de las variables

En la Tabla 1 se presenta la operacionalización de las variables dependientes e independientes.

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable	Dimensión	Indicadores	Unidad de medición
Dependiente			
Y1 : Remoción	Turbidez	Contenido de turbidez	NTU
	Plomo	Contenido de plomo	mg/L
Y2 : Características fisicoquímicas	Físicas	Temperatura	°C
		pH	Unidades de pH
	Químicas	Conductividad eléctrica	µS/cm
		Independiente	
X1: <i>Moringa oleifera</i>	Características físicas	Forma	cualitativo
		Tamaño	cm
		Peso	g
		Color	cualitativo
	Dosis de <i>Moringa oleifera</i>	0,5; 1 y 1,5	g
	Volumen de coagulante	10 y 20	mL

CAPÍTULO III

MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL

3.1 Antecedentes

3.1.1 Nivel Internacional

Hernández et al. (2018) en su investigación “Evaluación de la efectividad de la semilla de Teberinto (*Moringa oleífera* Lam.) como método de remoción de arsénico y plomo en agua para consumo humano” realizó a nivel laboratorio la preparación de muestras de agua con concentración de 1,00 mg/l de As (27 repeticiones) y 1,00 mg/l de plomo (27 repeticiones), las cuales añadió 0,25 , 0,50 y 1,00 g de harina de semillas de *Moringa oleífera*, donde concluyo que la harina a partir de la *Moringa oleífera* es efectiva en la remoción de metales pesados, el caso de As 82,11 % (1,00 g en 1 hora) y para el plomo fue de 99, 90 % (0,50 g 3 horas).

Mera et al. (2018) en su investigación realizada “Efecto de la *Moringa oleífera* en el tratamiento de aguas residuales en el Cauca, Colombia” , evaluó el efecto del polvo de la semilla de *Moringa oleífera*, realizó tratamientos en el test de jarras a 130 revoluciones por minuto a una Temperatura de 21,5 °C, agitaciones por 30 minutos, lo cual determinó que

la semilla de *Moringa oleifera* es eficaz en el tratamiento biológico con un 80,9 % de remoción de turbidez.

Lagos (2017) en su investigación titulada “Adsorción de cadmio, hierro y plomo en agua artificial utilizando *Moringa oleifera*” determinó que la *Moringa oleifera* (Mo) tiene un alto rendimiento de remoción, con una dosis de MO 2,0 mg/L y una concentración inicial de Cd 0,2 mg/L, Fe 1,0 mg/L y Pb 2,0 mg/L, se removió 95,6 % de Cd, 90,4 % Fe y 97,0 % de Pb.

Caldera et al. (2007) en su investigación realizada “Eficiencia de las semillas de *Moringa oleifera* como coagulante alternativo en la potabilización del agua “, determinó la eficiencia de las semillas, removiendo turbidez de 75 y 150 NTU, fueron de 500 ppm y 400 pm respectivamente, dando valores de remoción de 80,1 % y 94,3 %.

Gutiérrez (2022) en la investigación que realizó titulado “ *Moringa oleifera* como coagulante para la disminución de la turbidez en la planta de tratamiento de agua potable tundayme- cantón el pangui, provincia de Zamora Chinchipe “ tuvo como objetivo determinar la eficiencia de la *Moringa oleifera* como coagulante para la disminución de la turbidez en la planta de tratamientos de agua potable tundayme , donde obtuvo un

promedio de 227,33 NTU aplicando *Moringa oleifera* como coagulante se redujo a un promedio de 5,5 NTU, con un tiempo estimado de 40 minutos.

3.1.2 Nivel Nacional

Godiel (2024) en su investigación titulada “Evaluación del sistema de abastecimiento de agua para consumo humano en la localidad de Locumba, Tacna 2024” La investigación tuvo como propósito analizar el sistema de abastecimiento de agua destinada al consumo humano en la localidad de Locumba, se aplicó una metodología que contempló la evaluación de la calidad del agua en sus componentes físicos, donde determino el pH de 7,68 ; conductividad eléctrica 1208 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y temperatura 25,56 °C

Meléndez (2021) En su investigación titulada “Eficiencia de la *Moringa oleifera* como Coagulante natural en la remoción de turbidez del agua residual domestica del efluente del UASB-CITRAR” donde tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de reducción de turbiedad de la *Moringa oleifera* como coagulante natural en aguas residuales domésticas, los resultados obtenidos muestran que el uso de la *Moringa oleifera* en semilla al 1 % a 1 M de NaCl, logro reducir la turbiedad de 47,6 NTU a 22 NTU,

con un dosis optima de 300 mg/L y además de tener una eficiencia de remoción del 56 %.

Legua (2021) en su investigación titulada “Efectividad de la semilla *Moringa oleifera* como Biocoagulante para el pre- tratamiento de agua, provincia de Ilo, Moquegua”, tenía el objetivo determinar la efectividad de la semilla *Moringa Oleifera* como biocoagulante para el pretratamiento del agua, el cual obtuvo una remoción de turbiedad de 32,893 % a 97,73 %, dando la dosis optima de 1,35 ml de concentración con tiempo de sedimentación de 30 minutos.

De acuerdo con la investigación de Arellano y Rojas (2021) titulada “Remoción de plomo en el Río santa tramo Recuay- Ticapampa, mediante biofiltro con polvo de Semilla de *Moringa oleifera* – Ancash, 2021”, tuvo como objetivo determinar la remoción optima de Plomo en el Rio Santa, tramo Recuay- Ticapampa, Ancash-2021 mediante un biofiltro a partir de la semilla de *Moringa oleifera*, donde consiguieron la remoción de plomo M1 (0,88 mg/l) del 93,4 % removiendo a (0,022 mg/l) en M2 (1,5 g/L) del 96,4 % removiendo a (0,012 mg/L), siendo más efectiva la M2 ,además disminuyendo la turbidez de 299 NTU a 14,3 NTU, concluyendo que la semilla de *Moringa oleifera* es efectiva en la remoción de plomo y turbidez.

De acuerdo con la investigación de Cruz y Rivero (2021) titulada “Efecto del tiempo de agitación y dosis de coagulante en la remoción de plomo (II) usando alumbre y *Moringa oleífera* en agua residual sintética, que tenía como objetivo remover el plomo (II) usando alumbre y *Moringa oleífera* como coagulantes, determinaron que influye el proceso de coagulación y floculación, donde el tiempo de agitación fue de 60 minutos y 5 g de dosis de la *Moringa oleífera* en 500 ml, obteniendo una remoción de 36,62 % de plomo (II).

Neyra (2020) En su investigación denominada “Uso de Polímeros Naturales *Moringa oleífera* en el tratamiento del agua para riego en un complejo deportivo en San Isidro-Lima “, quien tuvo como objetivo proponer un tratamiento biológico como forma alternativa para el tratamiento de agua para riego, quien determino un 70,80 % de remoción de turbidez (4,87 NTU) con una concentración máxima de 300 mg/L tratamiento con coagulante natural es eficiente al remover la turbiedad en ambas muestras para el agua de riego del río Surco remueve un 70,80% (4,87 NTU) siendo un potencial coagulador.

Campos (2020) en su investigación denominada “Biotratamiento del agua proveniente del humedal Albufera de Medio Mundo (Huaura, Lima) con *Moringa oleifera* Lam para fines agrícolas, tuvo como efecto la investigación el efecto de *Moringa oleifera* L. sobre los parámetros fisicoquímicos de muestras de aguas superficiales, quien obtuvo valores de remoción de conductividad del 46,58 %, DBO 53,74 %, Plomo 86,67 %, Nitrógeno 97,23 %, pH 81,96 % y turbiedad 86,07 %.

Barrios (2017) en su investigación titulada “Uso del polvo de *Moringa oleifera* Lam y sulfato de aluminio como coagulante en el tratamiento de aguas residuales de la industria alimentaria, urbanización Zárate – San Juan de Lurigancho 2017” tuvo como objetivo evaluar el uso del polvo de la *Moringa oleifera* y el sulfato de aluminio en el proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales de la industria alimentaria, con un enfoque cuantitativo, donde obtuvo como datos iniciales pH 7,5 y turbidez NTU 1000 , luego de la aplicación de la *Moringa oleifera* obtuvo un pH 11,5 , turbidez 22,05 NTU, concluyendo que la *Moringa oleifera* tiene un efecto natural para la remoción de turbidez.

Mejía (2016) en su tesis titulada “ Uso de la *Moringa oleifera* Lam. (*moringaceae*) como coagulante natural para el tratamiento primario de aguas residuales domésticas “, donde tuvo el objetivo de evaluar el coagulante natural extraído de las semillas de *Moringa oleifera*, donde determino la remoción de turbidez y solidos suspendidos totales (SST), alcanzado valores de 87,3 % , 88,8 %.

Anampa y Diaz (2024) en la investigación realizada “ comparación de la eficiencia de la *Moringa oleifera* y cascaras de naranja (*citrus sinensis*) para la remoción de arsénico en las aguas del Rio Chillón, 2024” , donde tuvo como objetivo determinar y comparar el porcentaje de eficiencia de la *Moringa oleifera* y cascaras de naranja para la remoción de arsénico en las aguas del Rio Chillón, donde obtuvo que la dosis optima para ambos biosorbentes fue de 12 gramos , alcanzo un 91,25 % en remoción de *Moringa oleifera* , y 8,5 % Citrus sinensis , concluyendo que la *Moringa oleifera* tiene un porcentaje alto de remoción y cumple el ECA establecido.

Capcha y Cabrera (2018) en su investigación titulada “Caracterización de extractos de semillas de *Moringa oleifera* y su eficacia para disminuir la dureza del agua potable” donde tuvo como estudio sobre la especie vegetal *Moringa oleifera* que crece en el distrito de Humay de la provincia de Pisco de nuestra región, donde determino características

físicas definidas, tales como color crema, olor agradable y un aspecto pulverulento cuando son molidas. Asimismo, presentan un peso promedio entre 0,28 g y 0,45 g y dimensiones aproximadas de 1 cm.

3.1.3 Nivel Local

De acuerdo en su artículo de investigación de Diaz y Estrada (2024) titulada “Efecto de la semilla de la *Moringa oleifera* en polvo como coagulante natural para la remoción de la turbidez del agua del rio Caplina, Perú “ determinó que el polvo tiene eficiencia en la remoción de turbidez con un 97,77 %, con una dosis optima del 105 m/g de *Moringa oleifera* con 400 mL, con una concentración de 0,004 M de NaOH y tiempo de agitación manual de 4 min.

Condori et al. (2023) en su artículo de investigación “Niveles de concentración de metales pesados en sedimentos de zona alta del rio locumba, Perú” el cual tenía como objetivo determinar la calidad de sedimentos del rio mediante las concentraciones de metales pesados (As, b , Cd, Cr, Cu, Fe, Mn y Pb), donde como resultado determine que el plomo 121 ppm supero los estándares, y concluye que los metales pesados traen consigo riesgos ambientales.

3.2 Bases teóricas

3.2.1 Remoción de plomo

Los metales pesados pertenecen a los grupos de metales y metaloides con potencial toxicidad, persistencia, en consecuencia, importantes contaminantes a nivel mundial (Sedano y Sullca, 2022).

Según Aucapuclla (2021) los metales pesados pueden tener orígenes naturales o antropogénicas, los antropogénicos generalmente proveniente de las actividades industriales tales como; explotación minera, movimiento de tierra, los cuales generan mayor riesgo a la salud humana y ambiental.

La presencia de los metales pesados en aguas subterráneas y superficiales representa una preocupación global, los metales pesados más pesados son; cadmio, cromo y plomo (Cañizares-Villanueva, 2000), entre los principales actividades u procesos contaminantes se tiene:

- Proceso de explotaciones mineros.
- Pasivos ambientales.
- Fundiciones artesanales.
- Manejo inadecuado de sustancias tóxicas peligrosas.
- Proceso y desechos de la agroindustria.

El Plomo (Pb) es un elemento químico, con peso atómico 207,19 , metal de gravedad específica, de color azul, es anfótero debido a que forma

sales de plomo de los ácidos, se encuentra en la naturaleza formando un gran variedad de minerales, asimismo, es un elemento inorgánico absorbido y transportado en sangre el cual se denomina encefalopatía (enfermedad cerebral que altera la función del cerebro), por lo que las aguas con alto contenido de plomo pueden afectar la salud humano y generar impacto en el ambiente (García, 2016).

Características tóxicas del plomo son :

- Adsorción: Vial inhalatoria 30 %, Oral 10 %
- Distribución: se transporta por la membrana y hemoglobina, acumulándose en riñón, hígado, musculo y cerebro.
- Eliminación: renal 76 %, por pelos, uñas y leche.

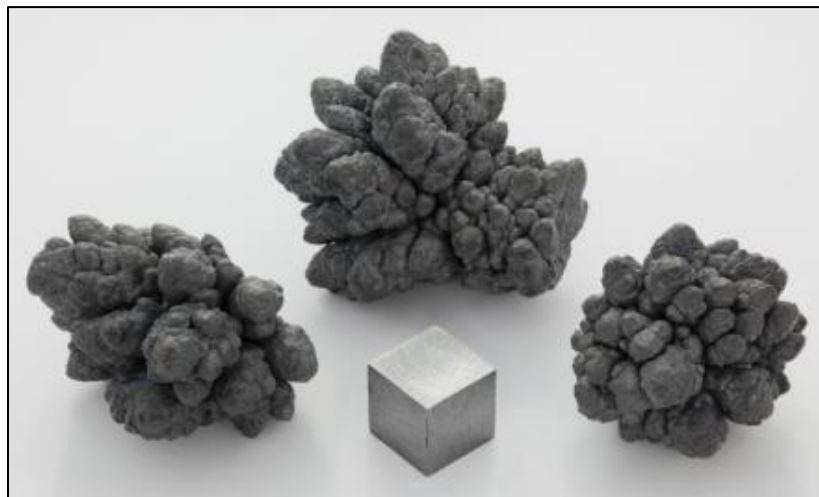


Figura 1.

Plomo

Nota. Plomo (II)

3.2.2 Remoción de Turbidez

La turbidez, como parámetro fisicoquímico de la calidad del agua, está asociada a la presencia de partículas coloidales, materia orgánica y componentes minerales, los cuales pueden evidenciar posibles procesos de contaminación. Un incremento en la turbidez puede representar un riesgo microbiológico para la salud de las personas que consumen el agua.

Asimismo, la elevada turbidez influye en la disminución del oxígeno disuelto, lo que afecta negativamente la supervivencia de ciertos organismos acuáticos. Esto se debe a que, al aumentar la cantidad de partículas en suspensión, el agua tiende a absorber mayor cantidad de calor, elevando su temperatura. Además, la turbidez limita la penetración de la luz, reduciendo la actividad fotosintética y, en consecuencia, los niveles de oxígeno en el medio acuático (Martínez-Orjuela et al. (2020)).

Factores:

- Nutrientes excesivos
- Sedimentos suspendidos de la erosión
- Clima estacional
- Factores humanos

De acuerdo con lo señalado por la Organización Mundial de la Salud, valores de turbidez alrededor de 50 NTU se consideran elevados.

Asimismo, se indica que no existen valores referenciales específicos basados directamente en efectos sobre la salud de la población en relación con este parámetro. Sin embargo, se menciona que niveles cercanos a 0,1 NTU son indicativos de una adecuada calidad del agua y de un proceso de tratamiento eficiente.

Por otro lado, el incremento de la turbidez influye significativamente en las características físicas del agua. Esto se debe a que las partículas en suspensión tienden a absorber mayor cantidad de calor, lo que provoca un aumento en la temperatura del agua. Como consecuencia, se reduce la concentración de oxígeno disuelto, dado que el agua a mayor temperatura retiene menores niveles de oxígeno en comparación con el agua fría (Marín y Arriojas, 2020).

Martínez-Orjuela et al. (2020) La evaluación de la turbidez como parámetro indicador del tratamiento del agua permite analizar el impacto de la contaminación proveniente de las fuentes de abastecimiento y de factores climatológicos. En este contexto, la turbidez se considera un indicador clave para determinar la eficiencia de los procesos aplicados en las plantas de tratamiento, debido a su relación con otros parámetros fisicoquímicos como el color, la alcalinidad, el pH y la conductividad eléctrica .

3.2.3 Parámetros físico químicos

La calidad de agua se basa en características físicas, químicas y biológicas, y varía según el uso que se le asigne, ya sea para consumo humano, actividades agropecuarias. Sin embargo, el uso intensivo del recurso hídrico en estos sectores puede alterar sus propiedades (Tello, 2024), algunos de estos parámetros para determinar la calidad de agua son:

- Fisicoquímicos: color, sabor, oxígeno, transparencia, grasas y aceites.
- Biológicos: hongos, levaduras, bacterias, biomasa
- Otros elementos: metales pesados

Según Tamayo (2021), para determinar la calidad de agua se compara las características físicas y químicas, las cuales deben de estar según los estándares de calidad de agua, para el consumo humano, la normativa tiene como objetivo asegurar un abastecimiento de manera limpia y saludable.

La normativa actual D.S.Nº 031-2010-SA, menciona las pautas generales sobre el manejo de la calidad de agua al consumo humano, donde su objetivo es tener un recurso hídrico con óptimas condiciones para el consumo humano, además los Estándares de calidad ambiental (ECA),

según el D.S N.º 004-2017- MINAM, donde especifican los niveles máximos establecidos, así como los parámetros físicos, químicos y biológicos en los cuerpos de agua (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2017).

En la Tabla 02 se menciona algunos parámetros Físico-químicos e inorgánicos según la norma

Tabla 2

Parámetros Físico-químicos e inorgánicos según la norma Decreto

Supremo N.º 004-2017-MINAM

		ECA
		Categoría 1-A2
Parámetros		Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional
Físico – Químicos	Unidad de medida	
Aceites y grasas	mg/L	1,7
pH		5,5 – 9,0
Turbiedad	UNT	100
Conductividad	µS/cm	1600
Temperatura	°C	Δ 3
Inorgánicos		
Cadmio	mg/L	0,005
Cobre	mg/L	2
Plomo	mg/L	0,05
Arsénico	mg/L	0,01

Nota. Estándares de calidad ambiental categoría A1-A2

La turbidez en el agua generalmente es producida por materias en suspensión, como materia orgánica e inorgánica, plancton y otros

organismos, en resumen, la turbidez indica la cantidad de sólidos presentes (Cerna, 2020).

Según Acebo y Hernández (2012), para medir la turbidez se usa algunas técnicas de turbidimetría o nefelometría, donde la relación de datos de la turbidez y la concentración de sólidos suspendidos depende mucho del tamaño de la partícula, algunas técnicas de medición son:

- El nefelómetro cuantifica la intensidad de la luz dispersada por la muestra bajo análisis, el sensor se encuentra montado en un ángulo normalmente de 90 °, este diseño tiene una precisión limitada a elevadas turbiedades.
- El turbidímetro mide la absorbancia de la muestra en estudio, es uno de los instrumentos más utilizados y la técnica empleada, consiste en el uso de un cultivo de microorganismos en un medio líquido, el cual actúa como una suspensión coloidal, la cual bloquea y refleja la luz que pasa a través de él.

La cuenca ubicada al sur del Perú, localizada entre los departamentos de Tacna y Moquegua políticamente, geográficamente se encuentra en las coordenadas UTM (WGS 84), 8011800 N 266000 E 8146000N 386000E

En la Figura 2, se observa el río Locumba de la cuenca de Locumba.



Figura 2

Rio Locumba

Fuente: Agencia Andina. (2019, 14 de febrero).

3.2.4 *Moringa oleifera*

La *Moringa oleifera* es una planta de orígenes de las regiones tropicales del sur de Asia, especialmente de las indias orientales. Arbusto que puede llegar a una altura de 10 metros de altura, destaca su alto contenido proteínico, con contenidos vegetales como son; de hierro, fosforo, calcio y vitaminas A y C (Liñán, 2010), su clasificación taxonómica es:

- Familia: Moringaceas
- Origen: Capparidales

- Clase: Magnoleopsida
- Género: Moringa
- Especies: arbórea

Según Ojeda (2022), La *Moringa oleifera* contiene una toxicidad baja, toxicos benzil, ácido moringico y ácido cianhidrico, no obstante, no se considera un riesgo para la salud de las personas.

Las semillas de *Moringa oleifera* son consideradas los mejores coagulantes naturales, especialmente útiles en el tratamiento de aguas con alto nivel de turbidez, debido a su compuesto activo, caracterizado como péptido catiónico, con alta cantidad de proteínas con cargas positivas, al estar contacto con el agua, estos actúan como imanes atrayendo a las cargas negativas del agua, debido a esto ocurre la coagulación y floculación (Aredo, 2017).

En la Tabla 3 se muestran las formas de la *Moringa oleifera*

Tabla 3
Formas de la Moringa oleifera

Formas de <i>Moringa Oleifera</i>	Actividad de coagulación
Vainas verdes:	
Vainas enteras	Ausente
Semillas	Ausente
Corteza de vainas verdes	Ausente
Vainas secadas:	
Vainas enteras	Ausente
Semillas no descartadas:	
No filtrado	Presente
Filtrado	Presente
Residuos solidos	Ausente
Semillas descartadas	
No filtrado	Presente
Filtrado	Presente
Residuos Solidos	Ausente
Corteza de Vainas	Ausente
Corteza de semillas	Ausente

Nota. Obtenido de “Optimización del proceso de elaboración de queque utilizando harina de moringa (*Moringa oleifera*)”, por Aredo, 2017. <https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/91750249-b2eb-4851-8345-5f8ea0746ffd/content>

Según Meza et al. (2018), el uso de extracto de semillas de *Moringa oleifera* como coagulante natural en procesos de tratamiento de agua puede reducir la turbidez en un 75 % a 90 % en los casos con turbidez alta, mostrando la creación de flóculos visibles y una coagulación efectiva en esas condiciones, aunque en su experimento solo llegó a 64 % de reducción en la turbidez, en la Figura 3 se muestra la planta de la *Moringa oleifera*

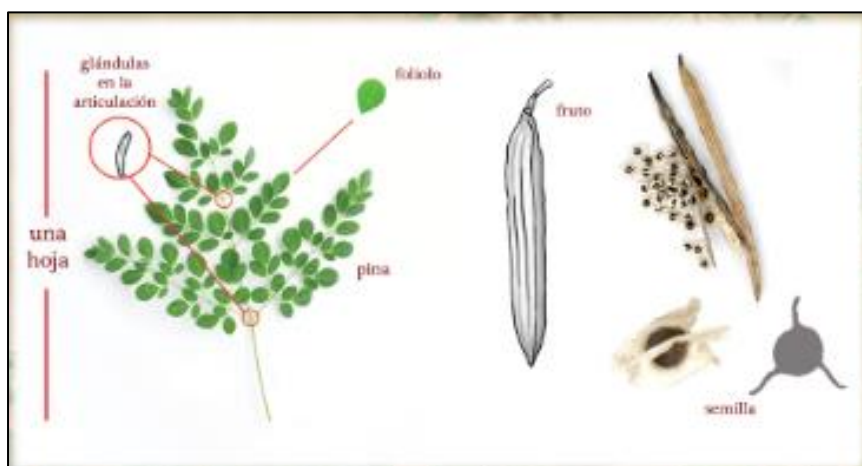


Figura 3.

Moringa oleifera

Nota. Planta de la Moringa Oleifera (Food and Agriculture Organization, 2021).

Algunas investigaciones mencionan las proporciones de la semilla de *Moringa oleifera* y los diferentes tipos de disolventes como el agua de grifo, agua destilada y solución salina, para la elaboración del extracto de *Moringa oleifera*, son evaluados a la remoción de turbidez del agua turbia (Bayona et al., 2024), en la Tabla 04 se muestra métodos empleados en la elaboración del extracto de moringa.

Tabla 4
Extracción de Moringa oleifera

Solvente	Condiciones
Agua	5 g de polvo de semilla de <i>Moringa oleifera</i> sin grasa / 100 ml agua de grifo
Solución salina	5 g de polvo de semilla de <i>Moringa oleifera</i> / 500 ml de solución salina 1M
Solución salina	10 g de polvo de la semilla de <i>Moringa oleifera</i> / 500 ml de solución salina 1M
Agua destilada	2,5 de polvo de semilla de <i>Moringa oleifera</i> / 250 ml agua destilada
Agua	2 g de polvo de semilla de <i>Moringa oleifera</i> / 100 ml de agua de grifo.

Nota. Obtenido de “Aceite de moringa”, por Bayona et al., 2024. <https://repositorio.usil.edu.pe/bitstreams/a87e5c32-9c1d-4f41-9c73-cfd36d514d05/download>

3.2.5 Coagulantes Naturales

Durante estos años, se plantea el uso de coagulantes naturales para la potabilización del agua, como son la familia opuntia, el agave, el mucilago de la penca de tuna y la *Moringa oleifera* etc., estos coagulantes son favorables en la aglomeración de coloides, removiendo las cargas coloidales con un nivel alto de eficacia, Estos compuestos son provenientes de distintivos medios como es la flora y la fauna (Cano, 2023).

3.2.5.1 Nopal o penca de tuna

El nopal (*Opuntia ficus – indica*) tiene propiedades alimenticias y multiuso que le hace diferente, además es ingerida en algunos países como

alimentos y tener la característica de que no necesita gametos para su producción (Mendizábal, 2018).

El nopal (*Opuntia ficus – indica*) tiene características únicas, en la forma de su crecimiento, debido al crecimiento que puede realizar, su floración de colores vivo, desarrollándose en ambientes con mínimos de nutrientes, con bajas condiciones de agua, además del gran poder de clarificar la carga coloidal (Moreno y Nuñez, 2024).

3.2.5.2 Agave americana o Maguey.

El agave América conocida generalmente como Maguey, teniendo forma cónica y de tallo fornido y grueso, la Florencia del agave posee ambos gametos, es decir tiene producción asexual y sexual, contribuyen a la polinización mediante insectos voladores (Cervantes y Reyna, 2019).

3.2.5.3 Sabila (*aloe vero*)

El Aloe vera es conocido como sábila en el Perú, según estudios la sábila se puede usar como coagulante natural para la disminución de carga coloidal, el proceso de obtención es extraer y cortar la planta y se observa el aspecto transparente de la pulpa (Guerra y Guzmán, 2020).

3.2.6 Proceso de coagulación –floculación

La coagulación – floculación es un proceso de naturaleza química que consiste en desestabilizar partículas , donde las partículas menores de

dimensiones son desestabilizadas y juntas para tener rápidamente el decantamiento (Arredondo, 2022).

De acuerdo con Lorenzo-Acosta (2006) sostiene que es el proceso por el cual las partículas se aglutinan a pequeñas masas, con un determinado peso específico, donde se logra la remoción de turbiedad orgánica, remoción de color, eliminación de sustancias y eliminación de bacterias virus.

Según Cabrera et al. (2009) plantea que los agentes coagulantes deben poseer cargas positivas diferentes al ion determinante del potencial en la partícula en las aguas residuales y por su puesto a mayor carga tendrá mejores características coagulante.

3.3 Definición de términos

3.3.1 *Floculación*

Procesos que se convierten los sólidos suspendidos presentes en el agua en forma coloidal, en aglomerados más importantes, permitiendo una separación casi completa de los sólidos suspendidos presentes en el agua (Núñez, 2014).

3.3.2 *Coagulación*

Proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al añadir los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado (Camarena, 2022).

3.3.3 Test de jarras

Proceso de tomar muestras de una solución en diferentes momentos, para verter en jarras o recipientes separados, para la realización de pruebas para analizar propiedades deseadas (Aguilar y Chiroque, 2024)

3.3.4 Monitoreo de agua

El monitoreo de agua es un proceso sistemático que consiste en medir y analizar parámetros físicos, químicos, biológicos y evaluar la calidad y detectar los contaminantes (Gonzales et al. 2023).

3.3.5 Coagulantes químicos

Sustancias químicas que se añaden al agua para desestabilizar y agrupar partículas pequeñas y coloidales suspendidos (Vidal, 2022).

3.3.6 Análisis estadístico

Proceso de recopilar, organizar, presentar datos, para descubrir patrones, los cuales permiten tomar decisiones informadas y hacer predicciones en diversos campos (Quispe, 2023).

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Tipo y diseño de investigación

4.1.1 Tipo de investigación

El tipo de la investigación considerado en la presente tesis fue cuantitativo, el cual según Hernández et al. (2014) es el enfoque que utiliza la recolección de datos para comprobar la información y probar la hipótesis, con base en el análisis estadístico y medición numérica, con la finalidad de conocer la realidad de manera imparcial para establecer pautas de compartimento y probar teorías.

Por lo tanto, esta investigación tiene ese enfoque porque busca en análisis del comportamiento en diferentes tratamientos en la medición para la determinación de la remoción de plomo y turbidez en el río Locumba mediante coagulación con *Moringa oleifera*, siendo posible realizar, en el cual se ejerce un mayor control de las variables en comparación con otros tipos de estudio, permitiendo la realización de experimentos y la obtención de resultados cuantificables sustentados en el análisis estadístico para la contrastar la hipótesis.

4.1.2 Nivel de investigación

Esta investigación se enfoca en el nivel aplicativo puesto que según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 2015), consiste en estudios originales realizados para adquirir nuevos conocimientos, dirigida a un objetivo y producto específico práctico.

Del mismo modo, fue un estudio del nivel explicativo, ya que busca explicar las razones de los fenómenos, estableciendo la relación entre las variables causa – efecto, por lo que las investigaciones explicativas pueden centrarse tanto en la identificación de las causas (investigación post facto) como en el análisis de los efectos (investigación experimental), a través de la contrastación de hipótesis. Los resultados obtenidos permiten alcanzar un nivel de conocimiento más profundo del fenómeno estudiado (Hernández et al. 2014).

En ese sentido, la presente investigación se enfoca del nivel explicativo, ya que busca establecer la relación causa-efecto entre la aplicación de *Moringa oleifera* y la reducción de los niveles de plomo y turbidez en el agua, mediante la contrastación de hipótesis y el análisis de resultados cuantificables. Asimismo, es de carácter aplicativo, debido a que orienta sus resultados a la solución de un problema ambiental específico, proponiendo el uso de un coagulante natural como alternativa práctica para el tratamiento y mejora de la calidad del agua del río Locumba.

4.1.3 Diseño de investigación

La presente investigación fue de diseño experimental, implica la intervención directa o indirecta sobre la variable de estudio, generando condiciones que faciliten la identificación de sus características y efectos en el entorno, mediante evaluaciones realizadas en laboratorio bajo condiciones controladas (Monroy y Nava, 2018).

Entonces, el diseño de la presente investigación fue experimental, en el cual se trabajó con dos variables: una independiente y una dependiente. La variable independiente, considerada como causa, fue manipulada mediante la aplicación del método de coagulación con *Moringa oleifera*, mientras que la variable dependiente, correspondiente al efecto, fue la remoción de plomo y turbidez. Ello permitió analizar y determinar los parámetros fisicoquímicos, específicamente turbidez y concentración de plomo, antes y después del tratamiento aplicado a las aguas del río Locumba.

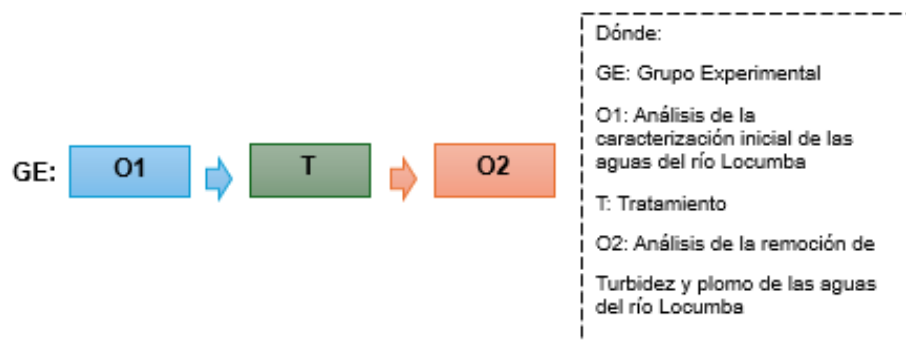


Figura 4
Diseño Experimental

4.2 Población y muestras en estudio

4.2.1 Población

Según Hernández et al. (2014) la población se define como el total de elementos o unidades de estudio que presentan características similares y sobre los cuales se busca obtener conclusiones dentro de un proceso de investigación. Por lo que, para el presente estudio la población son las aguas del río Locumba en la región de Tacna.

4.2.2 Muestra

De acuerdo con Hernández et al. (2014), la muestra es un subconjunto representativo de la población, seleccionado mediante procedimientos específicos, sobre el cual se realiza el estudio con el fin de obtener información que permita inferir resultados válidos para el total de la población.

Por tal motivo, la muestra de la investigación son la cantidad de litros tomados a lo largo del río Locumba, en la provincia Jorge Basadre, región Tacna. Viene hacer la muestra tomada en el Punto 01 como indica la tabla 5, en total se recolectó 18 litros de agua superficial como muestra representativa. Asimismo, se adquirirá 2 kilogramos de semillas de *Moringa oleifera* para el desarrollo de los ensayos experimentales correspondientes a la investigación.

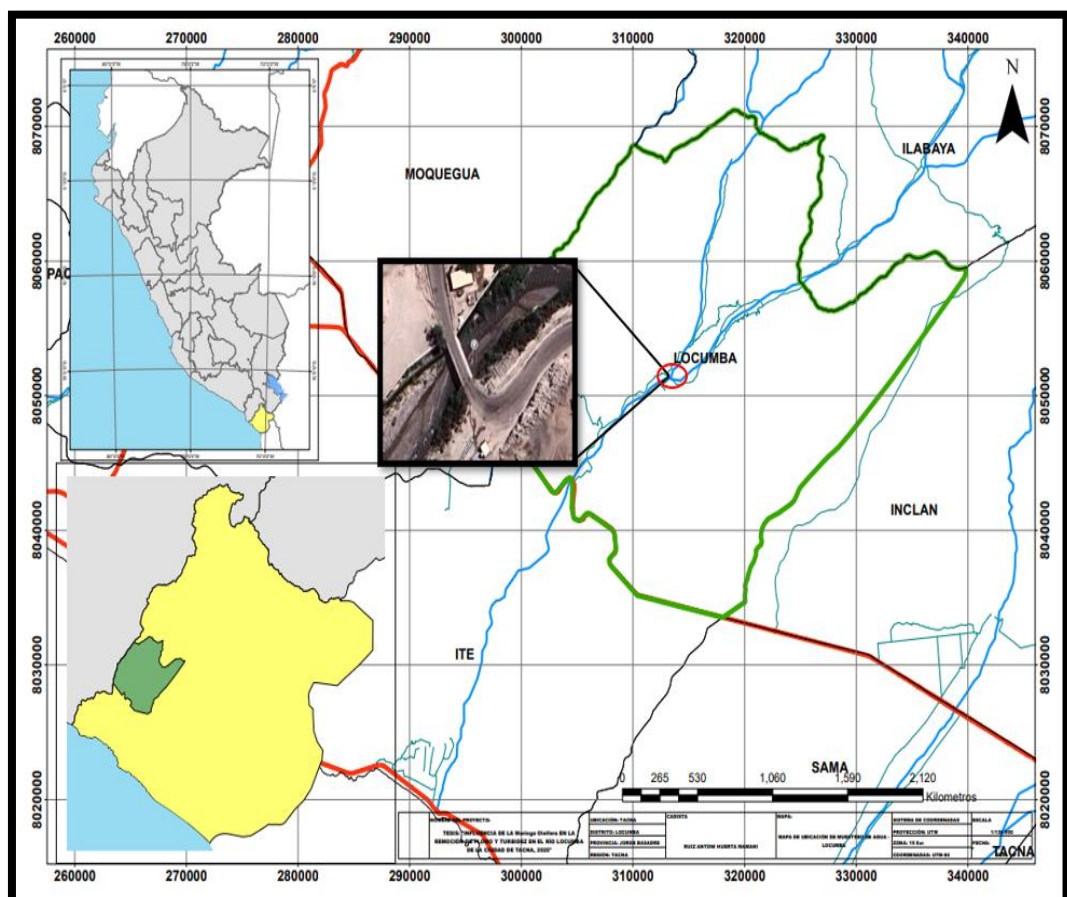


Figura 5
Mapa de ubicación de punto de muestreo del río Locumba

Tabla 5*Puntos de muestreos, coordenadas UTM*

Punto	Este	Norte
P 01	3 13 161,69	8 051 228,45

4.3 Método

4.3.1 Proceso de Experimentación

Determinación de tratamientos en función al diseño completamente Aleatorizado

En el presente estudio se usó un diseño completamente aleatorizado (DCA), en el que los factores controlables fueron la dosis *Moringa oleifera* y volumen del coagulante, evaluándose la influencia del porcentaje de remoción de turbidez y plomo en el agua mediante el tratamiento de coagulación.

Tabla 6*Niveles de las variables de estudio*

Variables Independientes de estudio	Niveles de estudio
Factor A. Dosis de <i>Moringa oleifera</i> (g)	0,5; 1 y 1,5 (a ₁ , a ₂ y a ₃)
Factor B. Volumen del coagulante (ml)	10 y 20 (b ₁ y b ₂)

La matriz del diseño experimental se presenta en la tabla 7.

Tabla 7*Matriz de diseño experimental*

A \ B		Factor B	
		b₁	b₂
Factor A	a₁	a ₁ b ₁	a ₁ b ₂
	a₂	a ₂ b ₁	a ₂ b ₂
	a₃	a ₃ b ₁	a ₃ b ₂

Este diseño, permitió determinar las posibles combinaciones para el desarrollo experimental. Por ello, se aplicó un diseño completamente aleatorizado de un factor A la dosis de *Moringa oleifera*, con tres niveles: 0,5 g , 1 g y 1,5 g , y un factor B la volumen de coagulante con 2 niveles. Obteniendo 6 tratamientos con una réplica.

$$\text{N° de tratamientos totales} = 6 * 2 = 12$$

Tabla 8*Matriz de experimentación*

N°	Dosis de <i>Moringa oleifera</i> (g)	Volumen del coagulante (mL)
T - 1	0,5	10
T - 2	0,5	20
T - 3	1	10
T - 4	1	20
T - 5	1,5	10
T - 6	1,5	20

4.3.2 Metodología para la recolección de muestras de agua

En el presente estudio se llevó a cabo la recolección de muestras de aguas para su caracterización y análisis de los tratamientos. Para ello, se consideró la Resolución Jefatural N° 010-2026- “protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales”; para el monitoreo de calidad de agua permitiendo minimizar y eliminar errores, a fin de garantizar la generación de datos e información consistente y confiable (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2016).

4.3.3 Metodología para la caracterización de los parámetros

Se ejecutaron la toma de muestra antes y después del tratamiento en instalaciones del laboratorio de aguas de la Municipalidad distrital de Calana para determinar la concentración de turbidez y parámetros fisicoquímicos (pH – temperatura -conductividad eléctrica).

Sin embargo, debido a la ausencia de equipos especializados para la determinación del contenido de plomo, las muestras fueron remitidas a un laboratorio acreditado SGS S.A para su evaluación.

4.3.4 Metodología para la determinación del porcentaje de remoción

Para el cálculo del porcentaje de remoción de turbidez y plomo en las aguas analizadas. Se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Eficiencia de Remocion (\%)} = \frac{Ci - Cf}{Ci} \times 100$$

Donde:

Ci= concentración inicial del contaminante (Pb o turbidez)

Cf= concentración final del contaminante

4.3.5 Método de análisis de datos

A partir de los datos obtenidos en las pruebas experimentales, la información recolectada fue registrada y organizada inicialmente en el software Microsoft Excel, donde se elaboraron las bases de datos correspondientes a cada tratamiento y repetición, así como el cálculo del porcentaje de remoción de turbidez y plomo. Posteriormente, los datos fueron analizados mediante el uso de software estadístico Statgraphics, aplicándose métodos estadísticos paramétricos como el análisis de varianza (ANOVA) para evaluar la existencia de diferencias significativas

entre los tratamientos, así como la prueba de comparación múltiple de Tukey para identificar grupos homogéneos.

Asimismo, se realizó un análisis de varianza de dos vías para evaluar el efecto de la dosis de la *Moringa oleífera* y volumen de coagulante, así como su interacción, sobre la remoción de turbidez, plomo y la disminución de la conductividad eléctrica. Finalmente, mediante el análisis de superficie de respuesta y el método del camino de máximo ascenso, se determinó la dosis óptima de *Moringa oleífera* que permitió alcanzar los mayores porcentajes de remoción de turbidez y plomo en el agua del río Locumba.

4.4 Técnicas aplicadas en la recolección de la información

La técnica es el proceso sistemático mediante el cual se obtiene información relevante y necesaria para responder a los objetivos de una investigación, utilizando procedimientos y técnicas previamente definidos que aseguren la validez y confiabilidad de los datos obtenidos (Hernández et al., 2014).

Por lo tanto, en la presente investigación se aplicó la técnica de observación y revisión documental a fin de lograr los objetivos.

4.5 Instrumentos para la recolección de información

Arias (2012), sostiene que el instrumento es el medio estructurado que se emplea para registrar, medir u observar las variables de estudio, permitiendo recopilar información de manera ordenada y objetiva, de

acuerdo con los criterios metodológicos establecidos en la investigación. Asimismo, existen requerimientos metodológicos que deben cumplir dicho instrumento para su confiabilidad y validez. Por ende, la presente investigación se trabajó con información recolectada mediante los siguientes instrumentos:

- **Fuentes de información:** La información se recopiló a partir de fuentes secundarias, tales como tesis sustentadas y artículos científicos, consultados en bases de datos reconocidas como Scielo y Elsevier, entre otras.
- **Instrumentos de medición:** Para la investigación se realizó el uso de diversos instrumentos de medición y registro de campo, con el fin de garantizar la validez y confiabilidad de los datos obtenidos.
- **Instrumentos de campo:** Se utilizó fichas de campo para anotar coordenadas de muestreo, condiciones de transporte de muestras y observaciones generales.
- **Instrumentos de control y laboratorio:** Para el análisis de las muestras se utilizó informes de laboratorio de ensayos emitidos por el laboratorio certificado, donde se consigan los análisis de plomo (Pb), además de tener equipos como el multiparámetro.

4.6 Materiales e Equipos

4.6.1 Materiales

- Hojas Bond tamaño A4
- Frascos de polietileno de boca ancha (1L) para recolección de muestra
- Mortero de laboratorio
- Vasos de Precipitación de 250 mL y 500 mL
- Tamizador con mallas
- Semillas de *Moringa oleifera*
- Agua destilada
- Frascos de vidrio.
- Cooler
- Bagueta
- Espátula
- Piseta
- Mandil, guantes barbiquejo

4.6.2 Equipos

- Multiparámetro portátil
- Balanza analítica digital
- Turbidímetro
- Kit para prueba de jarras

- Espectrofotómetro
- pH digital
- GPS

4.6.3 Otros

- Cámara digital
- Laptop
- Impresora Multifuncional

4.7 Procedimientos

4.7.1 Determinación las características fisicoquímicas y el contenido de plomo en las aguas del río Locumba

Para la planificación de toma de las muestras y la caracterización, se consideró la siguiente frecuencia de fases:

a) Recolección de muestra de agua

Se desarrollo el croquis del área de estudio a fin de entender el área a muestrear, asimismo se ubicó los puntos de muestreo con la codificación P – 01 , de la cual se tomó una muestra compuesta representativa de un total de 18 litros. Cabe precisar que previamente, se preparó los equipos y materiales, de acuerdo con el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de recursos hídricos (Anexo 2).

Finalmente, las muestras fueron debidamente etiquetadas para su correcta identificación, procediéndose luego a su rotulación y conservación

en un cooler, colocadas en posición vertical y bajo un sistema de enfriamiento mediante acumuladores de frío (ice pack). De manera complementaria, se consignó la información necesaria correspondiente al trabajo de campo y al traslado de las muestras al laboratorio de la Municipalidad Distrital de Calana (Anexo 01) , mientras que el plomo fue enviado a SGS laboratorio acreditado.

b) Fase de caracterización de parámetros de las aguas del río Locumba

Para la determinación de los parámetros fisicoquímicos de las muestras obtenidas se realizaron los análisis respectivos en el laboratorio de la municipalidad distrital de Calana , asimismo, en un laboratorio acreditado SGS para el análisis del parámetro del plomo.

4.7.2 Determinación de las características físicas de la *Moringa oleifera*

c) Fase de recolección y caracterización de *Moringa oleifera*

Se realizó la caracterización de la *Moringa Oleífera*, evaluando sus propiedades para determinar la dosis adecuada, para ello las semillas de *Moringa oleifera* fueron obtenidas en un vivero de plantas en la ciudad de Tacna, donde se adquirió 2 Kg de semillas.

4.7.3 Determinación de la dosis optima en función a la remoción de plomo y turbidez del rio locumba

d) Preparación del coagulante *Moringa oleifera*

En la Figura 06 se muestra se muestra la *Moringa oleifera*, se procedió a la elección de las mejores semillas para el experimento, posteriormente se procedió a retirar cascara de forma manual, las cuales se dejaron expuesta a sol, para posteriormente con la ayuda de una licuadora se trituro las semillas y se obtuvo polvo de la semilla de *Moringa Oleifera*.



Figura 6.

Moringa oleifera

Nota. Semillas de Moringa oleifera

e) Tratamiento de pruebas de jarras para la remoción de turbidez y plomo

Se consideraron 6 jarras para los 6 tratamientos. Ante de ello, se alistó las cantidades variables de solución de *Moringa Oleifera* para cada uno de los vasos, y se rotulo según la dosis y volumen.

Por lo tanto, se realizó el uso de la prueba de jarras, donde se establecieron el tiempo y la velocidad para la aplicación de diferentes dosis de la *Moringa oleifera*, con una agitación rápida (200 rpm durante 1 minuto), continuando con un agitación lenta (40 rpm durante 30 minutos).

Luego, se siguió las combinaciones que se mencionan en la matriz experimental (Tabla 7). Después, repetir el mismo procedimiento de las agitaciones en los equipos de prueba de jarras por 30 minutos.

Finalmente, se retiraron los agitadores y observaron la sedimentación de los flóculos luego de 40 minutos, para realizar la medición de los parámetros de: turbidez (NTU), pH, conductividad eléctrica (Ce) y temperatura (Hacer 2 repeticiones de medición y considerar el promedio).

Asimismo, para el parámetro del plomo, se trasladó la muestras luego del tratamiento al laboratorio acreditado para su medición.

Los resultados obtenidos de las mediciones correspondientes a cada tratamiento fueron registrados en una base de datos en Excel, con el fin de facilitar su posterior análisis y evaluación de la eficiencia del proceso

En la figura 07 se muestra el proceso del análisis de jarras .

$$Eficiencia\ de\ Remocion\ (\%) = \frac{Ci - Cf}{Ci} \times 100$$

Donde:

- Ci= concentración inicial del contaminante (Pb o turbidez)
- Cf= concentración final del contaminante

Para la determinación de la dosis óptima de *Moringa oleífera* en la remoción de plomo y turbidez del río Locumba, se utilizaron los resultados obtenidos de los tratamientos previamente evaluados, en los cuales se aplicó la fórmula de eficiencia de remoción. A partir de estos resultados, se identificaron los tratamientos que presentaron los mayores porcentajes de remoción para ambos parámetros.

Posteriormente, los valores de eficiencia correspondientes a cada dosis evaluada fueron ingresados en un programa estadístico, con la finalidad de analizar comparativamente el desempeño de los tratamientos. Este análisis permitió establecer, dentro del intervalo de dosis ensayadas, cuál presentó el mayor porcentaje de remoción de plomo y turbidez.

4.8 Análisis de datos estadísticos

Para el análisis de los datos obtenidos se empleó estadística inferencial mediante el uso del software estadístico Statgraphics, considerando un nivel de significancia del 5 % ($\alpha = 0,05$). Previamente, los

resultados experimentales de los distintos tratamientos fueron organizados y sistematizados en una base de datos en Microsoft Excel. Posteriormente, se aplicó el análisis de varianza (ANOVA) para evaluar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos respecto a los parámetros de pH, temperatura, conductividad eléctrica, remoción de turbidez y remoción de plomo. En el caso del pH y la temperatura, se utilizó un diseño completamente aleatorizado (DCA), complementándose con la prueba de comparación múltiple de Tukey, con la finalidad de identificar diferencias específicas entre los tratamientos.

Asimismo, para la disminución de la conductividad eléctrica, la remoción de turbidez y la remoción de plomo, se realizó un ANOVA de dos vías, considerando como factores la concentración y la cantidad de *Moringa oleífera*, así como su interacción. A partir de los tratamientos que presentaron mayor eficiencia de remoción, se aplicó el análisis de superficie de respuesta y el método del camino de máximo ascenso, lo que permitió determinar estadísticamente la dosis óptima de *Moringa oleífera*, aun cuando los tratamientos experimentales estuvieron previamente establecidos, identificando así la combinación que maximiza la remoción de turbidez y plomo en el agua del río Locumba.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Resultados

5.1.1 Determinación de las características fisicoquímicas y el contenido de plomo en las aguas del río Locumba.

En la tabla 09, se expresan los resultados obtenidos de las características fisicoquímicas del río Locumba inicialmente sin tratamiento, tales como; temperatura, pH, conductividad eléctrica, turbidez y plomo.

Tabla 9
Parámetros fisicoquímicos evaluados en el agua del río Locumba

Parámetros	Unidad de medida	Valor
Temperatura	°C	23,46
pH	pH	6,7
Conductividad eléctrica	uS/cm	1 673,3
Turbidez	NTU	28,8
Plomo	mg/L	0,0072

Nota. Se presenta los resultados promedios. Cabe recalcar que no se aplicó ningún tratamiento a las muestras iniciales.

5.1.2 Determinación de las características físicas de la Moringa oleífera

En la tabla 10 se observa la caracterización de la *Moringa oleífera* en la ciudad de Tacna, mediante observación visual y pesaje, considerando únicamente sus características físicas externas.

La evaluación visual permitió identificar la forma, el tamaño, el color y el olor característico de las semillas

Tabla 10
Caracterización de la Moringa oleífera

Característica física	Descripción
Forma	Ovalada, redondeada o trilobulada
Tamaño	1,0 – 1,2 cm de diámetro
Peso promedio	0,2 – 0,3 g por semilla
Color	Café claro a marrón oscuro
Olor	vegetal

5.1.3 Determinación de la dosis óptima de la Moringa oleífera en función a la remoción de plomo y turbidez del río locumba.

Se presentan los resultados obtenidos tras la aplicación de los tratamientos experimentales. Cabe indicar que los factores principales que influyeron en la remoción de turbidez y plomo fueron la dosis de coagulante de *Moringa oleífera* y el volumen de coagulante aplicado.

. A partir de la figura 8, se realizó un análisis comparativo de la eficiencia de remoción por tratamiento luego de la aplicación del proceso de coagulación con *Moringa oleífera*. Los resultados evidencian que el tratamiento T-1 alcanzó el menor valor de turbidez, con 4,2 NTU, lo que corresponde a una reducción del 85,4 % de este parámetro, mostrando un

desempeño superior en comparación con los demás tratamientos evaluados.

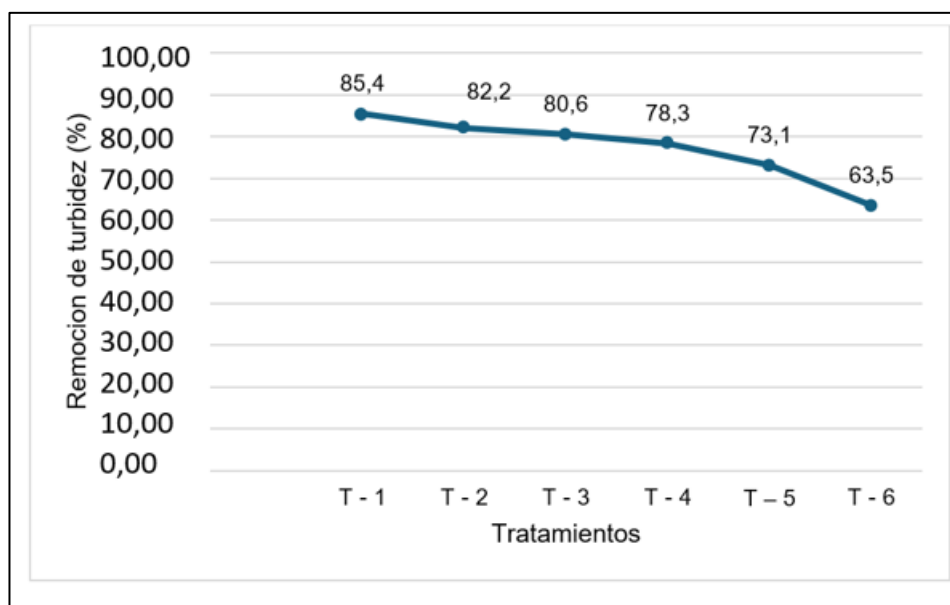


Figura 8
Gráfico del porcentaje de remoción de la turbidez

A partir de la figura 9, los resultados evidencian que el tratamiento T-1 alcanzó el menor valor de plomo con 0,00099 mg/L, lo que corresponde a una reducción del 86,2 % de este parámetro, mostrando un desempeño similar al T2 con un 83,4 %.

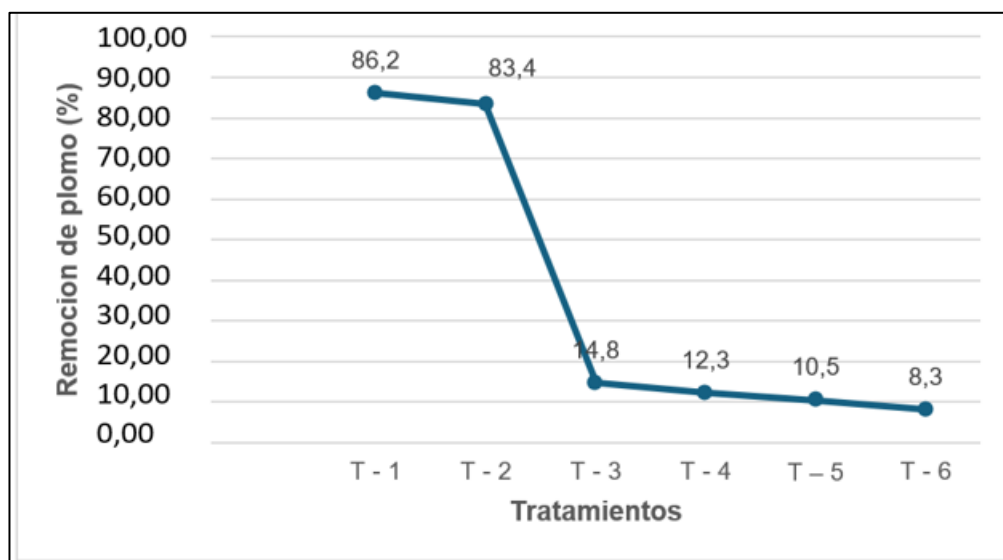


Figura 9

Gráfico del porcentaje de remoción del plomo

En la tabla 11 se evidencia el análisis de varianza de dos vías para la remoción de turbidez, en donde las dos variables independientes fueron la dosis de la *Moringa oleifera* y volumen del coagulante, se puede evidenciar que todos los factores: dosis de la *Moringa oleifera* (g) y volumen del coagulante (ml) y la interacción de los 2 términos (dosis de la *Moringa oleifera* (unidad) y volumen del coagulante (ml) son significativos sobre la remoción de la turbidez del agua tratada porque su P-Value son menores a 0,05, pudiendo afirmarlo con un 95 % de confianza.

Tabla 11*Análisis de Varianza para la remoción de turbidez*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: Dosis de <i>Moringa oleifera</i>	477,41	1	477,41	161,78	< 0,01
B: Volumen de coagulante	75,95	1	75,95	25,74	< 0,01
AA	30,56	1	30,56	10,35	0,01
AB	19,53	1	19,53	6,62	0,03
Error total	20,66	7	2,95		
Total (corr.)	624,101	11			

$$R^2 = 96,69 \%$$

Asimismo, el R-Cuadrado ajustado es de 96,99%, entonces el 96,99% de la variabilidad de la remoción de la turbidez es influenciada por la dosis de *Moringa oleifera* y el volumen del coagulante

Tras la realización del análisis comparativo de la eficiencia de remoción posterior a la aplicación del proceso de coagulación con *Moringa oleifera*, se evidenció que el tratamiento T-1 (0,5 g de dosis de *Moringa oleifera* y 10 mL de volumen del coagulante) alcanzó la mayor eficiencia de remoción, con una reducción de la turbidez del 85,4 %, obteniéndose un valor final de 4,2 NTU; por lo tanto, esta condición fue considerada la dosis óptima en el presente estudio.

En la Figura 10 se puede observar el gráfico de contornos de la superficie de la remoción de turbidez en función a la dosis de *Moringa oleifera* y volumen del coagulante.

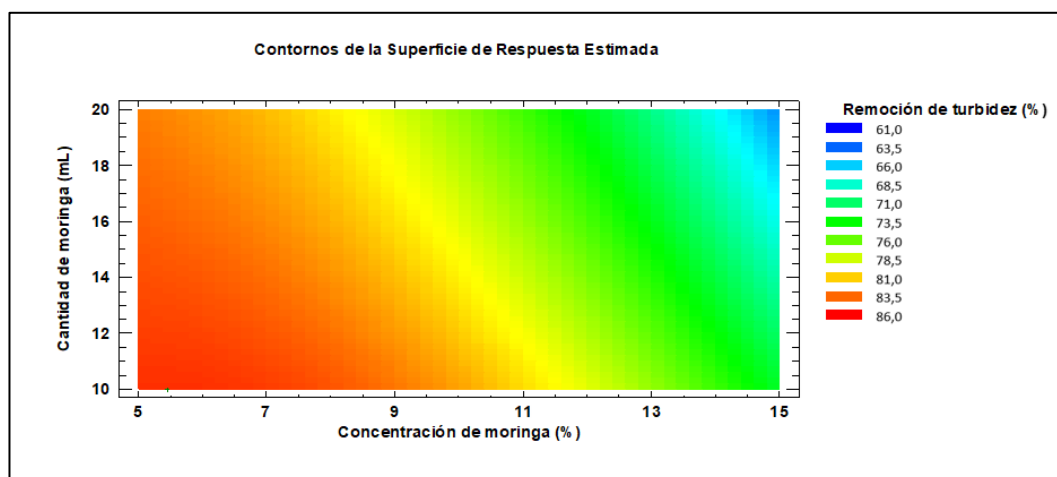


Figura 10

Contornos de la superficie para la remoción de turbidez

En la Tabla 12 se evidencia el análisis de varianza de dos vías para la remoción de plomo, en donde las dos variables independientes fueron la dosis de la *Moringa oleifera* y el volumen del coagulante.

Tabla 12

Análisis de Varianza para la remoción de Plomo

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: Dosis de <i>Moringa oleifera</i>	5 943,77	1	5 943,77	582,8	< 0,01
B: Volumen de moringa	504,14	1	504,14	4,94	< 0,01
AA	1 736,72	1	1 736,72	17,03	< 0,01
AB	1 018,36	1	1 018,36	9,99	0,02
Error total	713,87	7	1 01,98		
Total (corr.)	9 916,86	11			

$$R^2 = 92,80 \%$$

Se puede evidenciar que tanto la dosis de la *Moringa oleifera* como la interacción entre ambas variables y el efecto cuadrático de la dosis de *Moringa oleifera* tuvieron efectos significativos sobre la remoción de plomo, pudiendo afirmarlo con un 95 % de confianza.

Tras la realización del análisis comparativo de la eficiencia de remoción posterior a la aplicación del proceso de coagulación con *Moringa oleifera*, se evidenció que el tratamiento T-1 (0,5 g de dosis de *Moringa oleifera* y 10 mL de volumen del coagulante) alcanzó la mayor eficiencia de remoción, con una reducción del plomo del 86,2 %, obteniéndose un valor final de 0,00099 mg/L; por lo tanto, esta condición fue considerada la dosis óptima en el presente estudio.

En la Figura 11 se puede observar el gráfico de contornos de la superficie de la remoción de plomo en función a la dosis de la *Moringa oleifera* y volumen del coagulante.

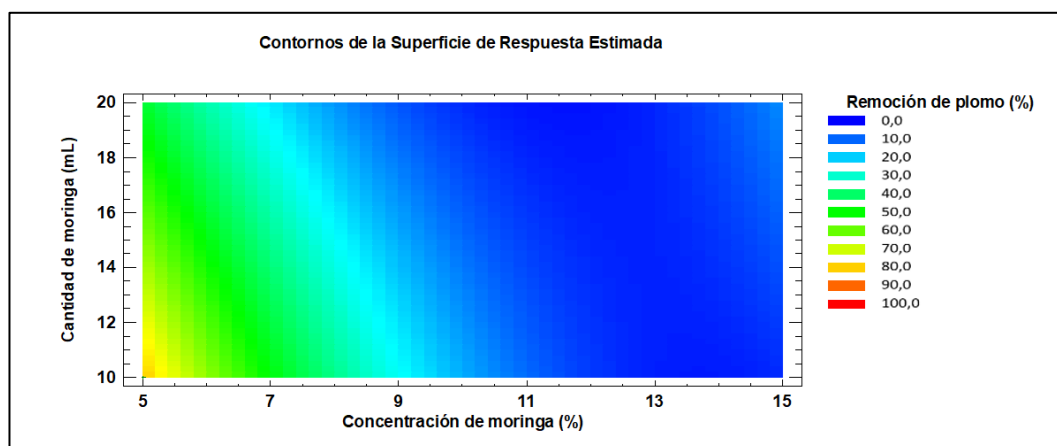


Figura 11

Contornos de la superficie para la remoción de plomo

5.2 Discusión de resultados

5.2.1 Discusión de la determinación de las características fisicoquímicas del río Locumba

La presente investigación tuvo como objetivo específico determinar las características fisicoquímicas y la concentración de plomo en las aguas del río Locumba, así como caracterizar la *Moringa oleifera* en la ciudad de Tacna. Tras la toma de muestra compuesta y el análisis respectivo en el laboratorio de la Municipalidad distrital de Calana para los parámetros fisicoquímicos, y en un laboratorio acreditado para la determinación de plomo, se obtuvo que la temperatura fue 23,46 °C, el pH fue de 6,7, la conductividad eléctrica alcanzó 1 673,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$, la turbidez fue 28,8 NTU y la concentración de plomo fue 0,0072 mg/L. Por ende, se acepta la

hipótesis que señala que el análisis fisicoquímico y evaluar el contenido de plomo del río Locumba permite conocer la cantidad de turbidez y contenido de plomo. Al respecto de ello, Rojas y Rojas (2023) manifiesta que la calidad del agua se evalúa mediante el análisis de las propiedades físicas y químicas de una muestra, debido a que el agua debe someterse a distintos procesos de tratamiento antes y después de su aprovechamiento. En este sentido, la caracterización del agua constituye una fase primordial para determinar el estado actual del recurso, ya que permite reconocer las fuentes de contaminación y evaluar su impacto sobre las principales variables. De manera similar, Quispe (2025) señala que la determinación de metales pesados como el plomo en investigaciones es esencial para analizar la presencia de contaminantes con potencial toxicidad a largo plazo, acompañando con parámetros fisicoquímicos, lo que permite comprender mejor los posibles impactos ambientales y de salud, así como fundamentar las decisiones de tratamiento más adecuadas a la muestra. Por lo expuesto, es necesario realizar una caracterización previa a cada estudio a fin de aplicar el tratamiento adecuado para su control.

Así mismo Godiel (2024) en Locumba, el pH obtenido 6,7 es menor que el reportado 7,68 aunque ambos se encuentran dentro del rango permitido, la conductividad eléctrica en el presente estudio 1 673,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ es mayor que la reportada por Godiel 1 208 $\mu\text{S}/\text{cm}$, evidenciando un

incremento de sales disueltas en el agua, la temperatura 23,46 °C es menor en comparación con la reportada 25,56 °C, lo cual puede deberse a las condiciones del muestreo.

5.2.2 Discusión de la determinación las características físicas de la *Moringa oleifera*

Al comparar los resultados con Capcha y Cabrera (2018) se observan similitudes y diferencias en las características físicas de la *Moringa oleifera*. En cuanto al tamaño, ambos estudios presentan valores similares, ya que Capcha y Cabrera reportan dimensiones cercanas a 1 cm, mientras que en la presente investigación se obtuvo un rango de 1,0 a 1,2 cm, evidenciando uniformidad en este aspecto, mientras en el peso, los autores reportan valores entre 0,28 g y 0,45 g, mientras que en este estudio se obtuvo un rango de 0,2 a 0,3 g, siendo ligeramente menor, lo que podría deberse a diferencias en las condiciones de crecimiento en Tacna.

En relación con el color y olor, Capcha y Cabrera (2018) describen un color crema y olor agradable, mientras que en la presente investigación se observó un color de café claro a marrón oscuro y un olor vegetal, evidenciando variaciones en las características externas.

5.2.3 Discusión de determinación de la dosis optima de *Moringa oleifera* en función a la remoción de plomo y turbidez del rio locumba

Luego del análisis de la base de datos obtenida luego de los tratamientos aplicados, se determinó la interacción de los 2 términos (Dosis de *Moringa oleifera* (unidad) y volumen de coagulante(ml) resultó estadísticamente significativa sobre la remoción de la turbidez y plomo del agua tratada, debido a que los valores de p fueron menores a 0,05, lo que permite afirmarlo con un 95 % de confianza. Además, se obtuvo un R-cuadrado ajustado de 96,99 % para turbidez que indica que la variabilidad en la remoción de turbidez es influenciada por la dosis de *Moringa oleifera* y el volumen de coagulante, los resultados obtenidos concuerdan parcialmente con lo reportado por Meléndez (2021), quien logró una eficiencia de remoción de turbidez del 56 % en aguas residuales domésticas empleando semillas de *Moringa oleifera*. Si bien la eficiencia reportada por dicho autor es inferior a la alcanzada en el presente estudio, esta diferencia puede atribuirse al tipo de agua tratada, ya que las aguas residuales presentan una mayor carga orgánica y complejidad fisicoquímica que las aguas superficiales del río Locumba, lo que limita el desempeño del coagulante natural.

Así mismo Legua (2021), quien reportó remociones de turbidez de hasta 97,73 % en el pretratamiento de agua en la provincia de Ilo. Aunque los valores máximos obtenidos en Ilo superan los registrados en el río Locumba (85,4 %), ambos estudios coinciden en que la dosis óptima y el tiempo de sedimentación son factores determinantes para maximizar la eficiencia del proceso de coagulación-floculación con *Moringa oleífera*, también en el estudio de Mejía (2016) que con la aplicación de semillas de *Moringa oleífera* obtuvo una remoción del 87,3 %. Por otro lado, respecto a la remoción del plomo no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en función de la concentración y dosis evaluadas ($p > 0,05$), con un 95 % de confianza; sin embargo, se alcanzó una remoción máxima de 86,4 %, demostrando una eficiencia considerable del coagulante natural en la reducción del metal, lo que evidencia que la *Moringa oleífera* mantiene un alto desempeño tanto en sistemas de biofiltración como en procesos de coagulación, aun cuando se apliquen metodologías distintas.

Por ello, referente a la remoción de plomo, los resultados obtenidos presentan una alta concordancia con la investigación de Arellano y Rojas (2021), quienes lograron remociones de hasta 96,4 % mediante biofiltros con polvo de semilla de *Moringa oleífera* en el río Santa,

Mientras, Cruz y Rivero (2021) reportaron una eficiencia considerablemente menor (36,62 %) en la remoción de plomo utilizando

Moringa oleifera en agua residual sintética. Esta diferencia puede explicarse por las condiciones experimentales, como el uso de agua sintética, una dosis elevada de coagulante y un tiempo prolongado de agitación, factores que pueden afectar negativamente la formación de flóculos y, en consecuencia, la eficiencia del proceso. En cambio, el uso de agua natural del río Locumba permitió obtener resultados más representativos y eficientes.

De igual importancia, en este estudio tuvo como objetivo específico de evaluar la eficiencia de remoción de plomo y turbidez en el río Locumba tras el tratamiento con *Moringa oleifera*, en la ciudad de Tacna. Por lo que, a partir de los resultados de la caracterización de 28,8 UNT (turbidez) y 0,0072 mg/L (plomo) y la base de datos obtenida luego de los tratamientos aplicados, se determinó que se alcanzó una remoción de turbidez 85,4 % y plomo del 86,2 % empleando una dosis de coagulante de 5 g y un volumen de 10 mL, correspondiente al tratamiento 1. Asimismo, según los resultados inferenciales de la interacción de los 2 términos (Dosis de *Moringa oleifera* (unidad) y Volumen de coagulante (ml)) resultó estadísticamente significativa sobre la remoción de la turbidez y plomo del agua tratada, debido a que los valores de p fueron menores a 0,05, lo que permite afirmarlo con un 95 % de confianza. Como señala (Díaz y Estrada

2024) la aplicación de extractos de semillas de *Moringa oleifera* como coagulante en los tratamiento de agua, han alcanzado eficiencias de remoción de turbidez superiores al 90 %, así como una adsorción efectiva de colorantes y de elementos potencialmente tóxicos. Por otro lado, es importante precisar que la presente investigación los valores iniciales de turbidez (28,8 NTU) y plomo (0,0072 mg/L) obtenidos fueron bajos, sin embargo, Olabanji et al. (2021) demostraron que las semillas de *Moringa oleifera* presentan una eficiencia significativa en la remoción de partículas en suspensión incluso bajo condiciones de baja turbidez, ya que conto con una turbidez inicial de 18,4 NTU y con la aplicación de *Moringa oleifera* permitió reducir hasta 4,90 NTU empleando una dosis óptima de 0,03 g/L, lo que evidencia el potencial de este coagulante natural para mejorar la calidad del agua aun en escenarios de turbidez relativamente baja. De manera similar, en el estudio de Acebedo (2016) se obtuvo semillas y hojas de la planta *Moringa oleífera* como biosorbentes para eliminar el Pb(II), Cd(II), Co(II) y Ni(II) de soluciones acuosas, que demostraron que tanto semillas como hojas pueden adsorber Pb(II) desde soluciones acuosas con eficiencia notable. En ese sentido, se respalda el potencial de remoción en valores mayores al 80% de la *Moringa oleífera* como coagulante para la remoción de plomo y turbidez aun en escenarios de concentraciones iniciales bajas.

Por último, en esta investigación se tuvo como objetivo específico la determinación de la dosis óptima de *Moringa oleífera* para la remoción de plomo y turbidez en el agua del río Locumba, en la ciudad de Tacna, del cual se determinó que utilizando el camino de máximo ascenso en Statgraphics se pudo determinar que la remoción de turbidez máxima de 84,5 % se daría utilizando dosis de 0,5 g de *Moringa oleífera* y 11,01 mL de volumen de coagulante, asimismo, para el plomo se determinó que la remoción máxima de 86,2 % se daría utilizando dosis de 0,5 g de dosis de *Moringa oleífera* y 10 mL de volumen de coagulante, según la figura 9. Estos valores son comparables con lo reportado por Hernández et al. (2018), quienes obtuvieron una remoción de 99,90 % de plomo empleando 0,50 g de harina de semilla de *Moringa oleífera* con un tiempo de contacto de 3 horas, y una remoción de 82,11 % de arsénico con 1,00 g en 1 hora. A pesar de que trabajaron con una concentración inicial de plomo de 1,00 mg/L, superior a la del río Locumba (0,0072 mg/L), ambos estudios muestran eficiencias similares, lo que evidencia que la *Moringa oleífera* mantiene una alta capacidad adsorbente tanto en condiciones de laboratorio como en aguas naturales. En ese sentido, en ambos parámetros se observa que una menor Dosis de *Moringa oleífera* y una menor del volumen de coagulante favorecen a la remoción.

En la investigación de Desta y Bote (2021) se realizó con base en una carga de diseño aleatoria de 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5 y 0,6 g/500 ml de polvo extraído de semillas de *Moringa oleifera*, de la cual la dosis óptima fue de 0,4 g/ 500 ml con una remoción del 99,5 %, aplicando el diseño estadístico de Surface Methodology que permitió establecer una dosis específica de *Moringa oleifera* para maximizar la remoción de turbidez. Asimismo, es necesario precisar que las dosis bajas de coagulantes naturales presentan mayor eficiencia de remoción de turbidez, mientras que dosis altas generan incremento residual (Sánchez-Martín et al., 2010). Por lo tanto, este comportamiento se atribuye a la presencia de materia orgánica soluble y al fenómeno de reestabilización de partículas cuando se supera la dosis óptima, lo que explica por qué en la presente investigación una dosis de 0,5 g de *Moringa oleifera* y un volumen de 10 mL resultaron más eficientes que dosis superiores.

CONCLUSIONES

- Las características fisicoquímicas y el contenido de plomo en las aguas del río Locumba en la ciudad de Tacna fueron de 23,46 °C de temperatura, 6,7 pH, la conductividad eléctrica de 1673,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$, turbidez con 28,8 NTU y la concentración de plomo fue 0,0072 mg/L.
- La caracterización de la *Moringa oleífera* fue: Ovalada, tamaño de 1,0 – 1,2 cm de diámetro, el peso promedio fue de 0,2 – 0,3 gramos por semilla, el color café claro, su textura fue lisa, humedad del 6 a 8 % y olor ligero – vegetal.
- Se determino la dosis optima de *Moringa oleífera* para una remoción de plomo máxima de 86,2 % en el agua del río Locumba se daría utilizando dosis de 0,5 g de dosis de *Moringa oleifera* y 10 mL volumen de coagulante . Así como, para una remoción de turbidez máxima de 84,5 % se daría utilizando dosis de 0,5 g de concentración de *Moringa oleifera* y 11,01 mL de volumen de coagulante.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda aplicar dosis bajas e intermedias de *Moringa oleifera*, similares a las determinadas en esta investigación (0,5 g de concentración y aproximadamente 11 mL de volumen), ya que se evidenció que concentraciones mayores no mejoran la eficiencia de remoción y pueden generar aumento de turbidez residual por el exceso de materia orgánica soluble.
- Se recomienda efectuar una caracterización fisicoquímica inicial, incluyendo parámetros como turbidez, pH, conductividad eléctrica y metales pesados, antes de aplicar cualquier tratamiento, a fin de seleccionar adecuadamente la dosis del coagulante y optimizar la eficiencia del proceso, evitando sobre costos y sobredosificación.
- Se recomienda que la toma de muestras se realice en épocas de estiaje, ya que durante la temporada de lluvias se incrementa el arrastre de sedimentos, materia orgánica y contaminantes, lo cual puede alterar significativamente los valores de turbidez y la concentración de metales, afectando la reproducibilidad y comparación de los resultados obtenidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abatal, M., Olguín, M. T., Anastopoulos, I., Giannakoudakis, D. A., Lima, E. C., Vargas, J., y Aguilar, C. (2021). *Comparison of heavy metals removal from aqueous solution by Moringa oleifera leaves and seeds. Coatings*, 11(5), 508. <https://doi.org/10.3390/coatings11050508>
- Acebo-González, D., y Hernández-García, A. T. (2013). Los métodos turbidimétricos y sus aplicaciones en las ciencias de la vida. *Revista CENIC, Ciencias, Biológicas*, 44(1), 1–10.
<https://www.redalyc.org/pdf/1812/181226886003.pdf>
- Acebedo, M. Á. (2016). Adsorción de Cd(II) y Pb(II) presentes en solución acuosa con hueso de nanche (*Byrsonima crassifolia*). *Revista Colombiana de Química*, 49(2), 30–36.
<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v49n2.80633>
- Autoridad Nacional del Agua. (2016). Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales (Resolución Jefatural N.º 010-2016-ANA).
<https://www.gob.pe/institucion/ana/normas-legales/538681-r-j-010-2016-ana>
- Alanya Camasca, J. D. (2024). *Reducción de la turbidez en aguas del drenaje minero en la empresa aurífera Retamas mediante coagulación y floculación 2022–2023* [tesis de grado, Universidad Continental].

Repositorio.Institucional.IUC

https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/14405/2/IV_FIN_107_TE_Alanya_Camasca_2024.pdf

Alviz Gonzales, C. D., y Alviz Gonzales, L. F. (2021). *Análisis comparativo en los niveles de concentración de metales pesados (As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn y Pb) en sedimentos, entre la zona alta y zona baja del río Locumba, región Tacna* [Tesis de titulación, Universidad Nacional de Moquegua].RepositorioInstitucionalUNAM.

<https://repositorio.unam.edu.pe/items/1c496baf-2d72-4d74-a1d8-7aeb229a7167>

Aredo Salazar, A. A. (2017). *Optimización del proceso de elaboración de queque utilizando harina de moringa (Moringa oleífera)* [Tesis de titulación, Universidad Nacional del Altiplano-Puno / UNITRU]. RepositorioInstitucionalUNITRU.

<https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/91750249-b2eb-4851-8345-5f8ea0746ffd/content>

Anampa Arispe, J., y Díaz Zamora, J. (2024). *Comparación de la eficiencia de la Moringa oleifera y cáscaras de naranja (Citrus sinensis) para la remoción de arsénico en las aguas del río Chillón, 2024* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional de la Universidad Privada del Norte.

Arellano Flores, J. A., y Rojas Valuis, M. M. (2021). *Remoción de plomo en el Río Santa, tramo Recuay – Ticapampa, mediante biofiltro con polvo de semilla de Moringa* [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV.

<https://hdl.handle.net/20.500.12692/72550>

Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica* (6.ª ed.). Episteme.

https://tauniversity.org/sites/default/files/libro_el_proyecto_de_investigacion_de_fidias_g_arias.pdf

Arredondo Licon, K. D. (2022). *Disminución de la DBO del lixiviado del botadero de Haquira mediante procesos de coagulación-floculación – región Cusco* [tesis de titulación, Universidad Continental]. Repositorio Institucional UC.

https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/12389/2/IV_FIN_107_TE_Arredondo_Licon_2022.pdf

Asto Huamani, E., y Chahuasoncco Curi, S. D. (2022). *Coagulantes naturales para el tratamiento de aguas residuales con metales pesados a nivel mundial: Una revisión sistemática de los últimos 5 años* [Tesis de titulación, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV.

<https://hdl.handle.net/20.500.12692/104912>

Aucapuclla, J. (2021). *Revisión sistemática: Adsorción de metales pesados en aguas contaminadas mediante el uso de carbón activado*. [Tesis de titulación, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/75462/Aucapuclla_OJ-SD.pdf

Autoridad Nacional del Agua – ANA. (2016). *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales* (Resolución Jefatural N.º 010-2016-ANA). SINIA – Ministerio del Ambiente, Perú. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/protocolo-nacional-monitoreo-calidad-recursos-hidricos-superficiales>

Aguilar Purizaca, M. J., y Chiroque Castillo, H. L. (2024). Aplicación del test de jarras para calibrar químicos de turbiedad del agua en la industria hielera La Huaca, Paita 2024 [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional de la Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/167942>

Bayona Delgado, M. R., López Choque, R. E., Mávila Meléndez, L., y Soria Huamán, M. A. (2024). *Aceite de moringa* [Tesis de bachiller, Universidad San Ignacio de Loyola]. Repositorio Institucional USIL. <https://repositorio.usil.edu.pe/bitstreams/a87e5c32-9c1d-4f41-9c73-cfd36d514d05/download>

- Barrios Huamán, J. (2017). Uso del polvo de Moringa oleifera Lam y sulfato de aluminio como coagulante en el tratamiento de aguas residuales de la industria alimentaria, urbanización Zárate–San Juan de Lurigancho 2017 [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional de la Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/28337>
- Cabrera Bermúdez, X., Fleites Ramírez, M., y Contreras Moya, A. M. (2009). Estudio del proceso de coagulación-floculación de aguas residuales de la empresa textil "Desembarco del Granma" a escala de laboratorio. *Tecnología Química*, 29(3), 64–73. <https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543760009.pdf>
- Camarena Flores, J. (2022). Influencia de la concentración de Aloe vera, tiempo de coagulación y tiempo de floculación en la disminución de la demanda bioquímica de oxígeno en el tratamiento de agua residual doméstica [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional del Centro del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/7732>
- Cahuaya Quispe, A. A., y Choquegonza Ochoa, J. (2024). Eficiencia del almidón de cáscara de papa como coagulante para la remoción de parámetros fisicoquímicos del río Locumba, Tacna, Perú. *Scienceevolution*, 4(12), 114–122. <https://doi.org/10.61325/ser.v4i12.134>

- Capcha Nieto, J. V., y Cabrera Toledo, J. A. (2018). Caracterización de extractos de semillas de *Moringa oleifera* y su eficacia para disminuir la dureza del agua potable [Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Luis Gonzaga]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga. <https://hdl.handle.net/20.500.13028/3409>
- Caldera, Y., Mendoza, I., Briceño, L., García, J., y Fuentes, L. (2007). Eficiencia de las Semillas de *Moringa Oleifera* como Coagulante Alternativo en la Potabilización del Agua. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, 41(2), 244-254. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/boletin/article/view/76>
- Calla Paniura, A., y Escriba Sulca, W. R. (2023). *Revisión sistemática: Tipos de coagulantes para la remoción de metales en aguas contaminadas* [Tesis de titulación, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/75245/Calla_PA_Escriba_SWR-SD.pdf
- Campos Ventura, L. J. P. (2020). Biotratamiento del agua proveniente del humedal Albufera de Medio Mundo (Huaura, Lima) con *Moringa oleifera* Lam para fines agrícolas [Tesis de grado, Universidad Católica Sedes Sapientiae]. Repositorio Institucional UCSS. <https://hdl.handle.net/20.500.14095/879>

Cano Cordova, G. M. E. (2023). *Estudio comparativo del alumbre y coagulantes naturales para remover la turbidez del agua en el centro poblado Agropensa – Barranca, 2019* [Tesis de titulación, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. Repositorio institucional UNIJFSC

[https://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/7547/](https://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/7547/TESIS.pdf)
TESIS.pdf

Cañizares-Villanueva, R. O. (2000). Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 42(3), 131–143.

<https://www.medigraphic.com/pdfs/lamicro/mi-2000/mi003f.pdf>

Cerna Cueva, A. F. (2020). *Optimización de las dosis de alúmina en diferentes valores de pH y turbidez iniciales para la remoción de turbidez en el agua de consumo humano de la UNAS* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/1732>

Cervantes Tenorio de Reyna, R. M., y Reyna Pizán, T. N. (2019). *Identificación fitoquímica y aislamiento de microorganismos endófitos de Agave americana* [Tesis de bachiller, Universidad María Auxiliadora]. Repositorio Institucional UMA.

<https://repositorio.uma.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12970/238/BA>

CHILLER%20238-CERVANTES-

REYNA.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Chuquilin Arbildo, J. O. (2024). *Metales pesados y su impacto en el agua de consumo en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión - Huacho – 2019* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. Repositorio UNJFSC. <http://hdl.handle.net/20.500.14067/9569>

Condori Apaza, R. M., Alviz Gonzales, L. F., y Méndez Ancca, S. (2023). Niveles de concentración de metales pesados en sedimentos de zona alta del río Locumba, Perú. *Producción + Limpia*, 18(2), 100–112. <https://doi.org/10.22507/pml.v18n2a6>

Cruz, H. y Rivero, J. (2021). Efecto del tiempo de agitación y dosis de coagulante en la remoción de Plomo II usando alumbre y Moringa Oleifera en Agua residual Sintetica. [Tesis de titulación, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Institucional UNT. <https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/6101614f-f69a-49a2-82df-a2371639c16b/content>

Desta, W. M., y Bote, M. E. (2021). *Wastewater treatment using a natural coagulant (Moringa oleifera seeds): Optimization through response surface methodology*. **Heliyon**, 7(11), e08451. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08451>

- Diario Correo. (2021). *Río Locumba se desborda e interrumpe vías* [Fotografía]. <https://diariocorreo.pe/edicion/tacna/rio-locumba-se-desborda-cultivos-noticia/>
- Diaz Chaves, D. (2021). *Remoción de arsénico con biosorbentes de lagua para consumo humano: Revisión Bibliométrica-2021*. [Tesis de titulación, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/75349/Diaz_CDF-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Diaz Pilco, G., y Estrada Cardenas, F. (2024). Efecto de la Semilla de la Moringa Oleífera en polvo como Coagulante Natural para la remoción de la Turbidez del Agua del Río Caplina, Perú. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 90(1), 42-51. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v90i01.463>
- Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química Viva*, 3 (11), 147-170. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86325090002>
- García Pariona, L. A. (2016). *Purificación de aguas contaminadas con plomo utilizando diatomita* [Tesis de titulación, Universidad Alas Peruanas]. Repositorio Institucional UAP. https://repositorio.uap.edu.pe/xmlui/bitstream/handle/20.500.12990/431/Tesis_Purificaci%C3%B3n_De_Aguas_Contaminadas.pdf
- Godiel Gálvez, L. L. (2024). Evaluación del sistema de abastecimiento de agua para consumo humano en la localidad de Locumba, Tacna 2024

[Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna]. Repositorio Institucional de la Universidad Privada de Tacna.
<https://hdl.handle.net/20.500.12969/4004>

Gonzales Saenz, W., Acharte Lume, L. M., Poma Palacios, J. C., Sánchez Araujo, V. G., y Quispe Coica, F. A. (2023). Evaluación fisicoquímica y microbiológica del agua de consumo humano en seis comunidades rurales altoandinas de Huancavelica-Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 25(1), 23–37. <https://doi.org/10.18271/ria.2023.486>

Guerra Castro, K. T., y Guzmán Ramos, K. M. X. (2020). *Potencial antimicrobiano de Aloe vera (sábila) sobre microorganismos de interés estomatológico: una revisión* [Tesis de titulación, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV.
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/51854/Guerra_CKT-Guzman_RKMX-SD.pdf

Gutiérrez García, J. P. (2022). Moringa oleifera como coagulante para la disminución de la turbidez en la planta de tratamiento de agua potable Tundayme—cantón El Pangui, provincia de Zamora Chinchipe [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana.
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22948>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill Education.

https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf

Hernández Sánchez, M. L., Rivas Zamora, H. C., Ventura Bolaños, G., Carranza Estrada, F. A., Bonilla de Torres, B. L., y Palacios, D. J. (2018). Evaluación de la efectividad de la semilla de Teberinto (*Moringa oleífera* Lam.) como método de remoción de arsénico y plomo en agua para consumo humano. *Revista Agrociencia*, 2(7), 32–42. <https://www.agronomia.ues.edu.sv/agrociencia/index.php/agrociencia/article/view/84/99>

Lagos Estrella, A. S. (2017). *Adsorción de cadmio, hierro y plomo en agua artificial utilizando Moringa oleífera Lam* [Tesis de titulación, Universidad San Francisco de Quito]. Repositorio Institucional USFQ. <https://repositorio.usfq.edu.ec/jspui/bitstream/23000/6576/1/131054.pdf>

Legua Laurencio, J. L. (2021). *Efectividad de la semilla Moringa oleífera como biocoagulante para el pre-tratamiento de agua, provincia de Ilo, Moquegua* [Tesis de titulación, Universidad Nacional de Moquegua].

Repositorio,Institucional,UNAM.

<https://repositorio.unam.edu.pe/handle/UNAM/285>

Liñán Tobías, F. (2010). Moringa oleifera, el árbol de la nutrición. Ciencia y Salud Virtual, 2(1), 130–138.

<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6635304.pdf>

Lorenzo-Acosta, Y. (2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*,40(2),10–17.

<https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120664002.pdf>

Machaca Rodríguez, A., Pizarro Ranabal, J. C., Cornejo Ponce, L., Morales Cabrera, D., y Avendaño Cáceres, E. (2022). Remoción de Arsénico del Agua del Río Locumba (Distrito de Ite, Región de Tacna-Perú), utilizando Cloruro Férrico. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 8(4), 333-350. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v88i4.410>

Martínez-Orjuela, M. R., Mendoza-Coronado, J. Y., Medrano-Solís, B. E., Gómez-Torres, L. M., y Zafra-Mejía, C. A. (2020). Evaluación de la turbiedad como parámetro indicador del tratamiento en una planta potabilizadora municipal. *Revista UIS Ingenierías*, 19(1), 15–24. <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n1-2020001>

Marín Velásquez, T. D., y Arriojas Tocuyo, D. D. J. (2020). Remoción de turbidez de agua mediante filtración utilizando cáscara de coco (Cocos

nucifera) a nivel de laboratorio. Revista ION, 33(2), 99–110.

<https://doi.org/10.18273/revion.v33n2-2020008>

Meléndez Huaroc, L. L. (2021). *Eficiencia de la Moringa oleífera como coagulante natural en la remoción de turbidez del agua residual doméstica del efluente del UASB-CITRAR* [Tesis de titulación, Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur]. Repositorio Institucional, UNTELS.

<https://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/576>

Mendizábal Hobispo, K. R. (2018). *Adición del mucílago de penca de tuna para estabilizar suelo arcilloso, Chilca* [Tesis de titulación, Universidad Peruana Los Andes]. Repositorio Institucional UPLA.
<https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/775/MENDIZABAL%20HOBISPO%20KATHERYN%20ROXANA.pdf?sequence=1>

Mera-Alegría, C. F., Gutiérrez-Salamanca, M. L., Montes-Rojas, C., y Paz-Concha, J. P. (2016). Efecto de la Moringa oleífera en el tratamiento de aguas residuales en el Cauca, Colombia. *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 100–109.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612016000200012

- Mejía Carrillo, P. W. (2016). Uso de la *Moringa oleifera* Lam. (Moringaceae) como coagulante natural para el tratamiento primario de aguas residuales domésticas [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional de la Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/920>
- Meza Leones, M., Riaños Dorado, K., Mercado Martínez, I., Olivero Verbel, R., y Jurado Eraso, M. (2018). Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de *Moringa oleifera* en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico. *Revista UIS Ingenierías*, 17(2), 95-104. <https://doi.org/10.18273/revuin.v17n2-2018009>
- Ministerio del Ambiente. (2017). Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establece disposiciones complementarias. Diario Oficial El Peruano. <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/3671-004-2017-minam>
- Morales Cornejo, V., y Paucara Huamani, Y. L. (2021). *Fitorremediación con plantas acuáticas en aguas contaminadas con metales pesados: Revisión sistemática* [tesis de titulación, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Institución UCV.

https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_7182e684035cfba70059691a7aea8fa2/Details

Moreno Roldán, H. L., y Núñez Herrera, Y. (2024). *Efecto de aplicación de tuna (penca) sobre las propiedades mecánicas del concreto para la construcción de reservorios, Ancash – 2024* [tesis de titulación, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Institución UCV. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/151194/B_Moreno_RHL-Nu%C3%B1ez_HY-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Moreno, D. J., Romero, C. C., y Lovera, D. F. (2026). Applications and uses of Moringa oleifera seeds for water treatment, agricultural fertilization, and nutraceuticals. *Sustainability*, 18(1), 3. <https://doi.org/10.3390/su18010003>

Monroy Mejía, M. Á., y Nava Sánchezllanes, N. (2018). Metodología de la investigación. Grupo Editorial Éxodo.

Neyra Sánchez, R. L. (2020). *Uso de polímeros naturales Moringa oleifera en el tratamiento del agua para riego en un complejo deportivo en San Isidro-Lima* [Tesis de titulación, Universidad Científica del Sur]. Repositorio Institucional UCSUR. <https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/1160/TL-Neyra%20R-Ext.pdf>

- Ninaquispe Vásquez, E., y Vasquez Chacón, I. E. (2021). *Determinación de la presencia de metales pesados (Hg, As, Pb Y Cd) en leche y agua de regadío de la cuenca de Santa Eulalia, Agosto 2020* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada de Huancayo Franklin Roosevelt]. Repositorio Institucional de la Universidad Roosevelt. <https://hdl.handle.net/20.500.14140/373>
- Núñez Álvarez, C. C. (2014). *Recuperación de sólidos del agua de cola por coagulación-floculación y cuantificación de histamina* [Tesis de Licenciatura, Universida Nacional Agraria La Molina]. Biblioteca Agrícola Nacional. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/1920>
- Ojeda Correa, K. (2019). *Sustitución de harina de trigo por harina de torta de semilla de Moringa (Moringa oleífera) en galletas dulces* [Tesis de titulación, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio institucional UNALM. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/server/api/core/bitstreams/3536c05d-e82c-4d5c-b088-7a7825243adb/content>
- Olabanji, T. O., Ojo, O. M., Williams, C. G., y Adewuyi, A. S. (2021). *Assessment of Moringa oleifera seeds as a natural coagulant in treating low turbid water. FUOYE Journal of Engineering and Technology*, 6(4), Article 702. <https://doi.org/10.46792/fuoyejet.v6i4.702>

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2015).

Manual de Frascati 2015: Guía para la recopilación y presentación de información sobre la investigación y el desarrollo experimental. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264310681-es>

Perales Valdivia, N. I. (2020). *Niveles de plomo en el suelo de áreas de recreación infantil afectados por el parque automotor y riesgos en la salud de los niños de la ciudad de Cajamarca – 2019* [tesis de titulación, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional UNC. <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/4040/Tesis%20Nilton%20Perales.pdf>

Quispe Quispe, M. L. (2025). *Evaluación de la calidad de las aguas superficiales del río Coata, Provincia San Román – Puno, 2024* (tesis de titulación, Universidad Privada San Carlos). Repositorio Institucional UPSC. <https://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/1283>

Quispe Reyes, D. E. (2023). *Análisis estadístico con Python y mejoras en la eficiencia de atención de documentos a través del Sistema de Gestión Documental (SGD-PCM)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio Institucional Cybertesis UNMSM. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/21028>

Ramos, M., y Guillermo, P. (2023). *Análisis comparativo del desempeño del índice ICAPE y el índice WQI-NSF en el río Locumba* [Tesis de

- licenciatura, Universidad Privada de Tacna]. Repositorio de la Universidad Privada de Tacna. <http://hdl.handle.net/20.500.12969/2759>
- Rojas Vargas, R. P., y Rojas Vizcarra, L. N. (2023). Caracterización y determinación de la calidad de agua superficial. *Revista de Investigaciones*, 12(1), 65–80. <https://doi.org/10.26788/ri.v12i1.4014>
- Sánchez-Martín, J., Beltrán-Heredia, J., y Solera-Hernández, C. (2010). Improvement of water treatment pilot plant with Moringa oleifera extract as flocculant agent. *Water Research*, 44(2), 509–516. https://www.researchgate.net/publication/26672248_Improvement_of_water_treatment_pilot_plant_with_Moringa_oleifera_extract_as_flocculant_agent
- Sedano Jaramillo, J. A., y Sullca Paredes, P. J. (2021). *Evaluación de la eficiencia del polvo de semilla de Moringa oleífera como coagulante natural en la remoción de turbidez en aguas residuales* [Tesis de titulación, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/99415/Sedano_JAN-Sullca_PJ-SD.pdf
- Tamayo, A. (2021). *Evaluación del índice de calidad del agua del río Huari en Áncash* [Tesis de titulación, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. Repositorio institucional UNJFSC.

<https://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/5001/ALEXANDER%20TAMAYO%20VIDAL.pdf?sequence=1>

Tello Vergaray, K. M. (2024). *Influencia del agua del río Títire sobre la calidad del agua superficial del río Coralaque* [Tesis de titulación, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio institucional UNALM. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/6697>

Torres Fernandez, T., y Coronación Palomino, M. I. (2021). *Calidad de agua para consumo humano en los centros poblados de Pueblo Libre y Pampachacra* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio Institucional – UNH. <https://hdl.handle.net/20.500.14597/3762>

Vásquez, E. (2020). *Determinación de la presencia de metales pesados (Hg, As, Pb y Cd) en leche y agua de regadío de la cuenca de Santa Eulalia, agosto 2020* [Tesis de grado, Universidad Privada de Huancayo Franklin Roosevelt]. Repositorio institucional ROOSEVELT. <https://repositorio.uroosevelt.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14140/373/TESIS%20030521.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Vidal Ancco, B. C. (2022). *Calidad de agua con el uso del coagulante químico sulfato de aluminio y rediseño del desarenador, Pomabamba, Áncash – 2022* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo].

Repositorio Institucional de la Universidad César Vallejo.

<https://hdl.handle.net/20.500.12692/96586>

ANEXOS

Anexo 1

Solicitud de uso de laboratorio de aguas de CALANA

"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

SOLICITO: Análisis de Muestras en
el laboratorio de ODESA de la planta
de Tratamientos

Señor:
ABG. ENRIQUE TAQUILA HUARINA
ALCALDE DE LA MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE CALANA

Yo, RUIZ ANTONIO HERNAN ROMERO
identificado con DNI N° 99125014 con
domicilio en CALLE NUEVA 172, P. 2, 05
Provincia Jorge Basadre y Departamento de
Tarma, ante usted con el debido respeto
me presento y expongo lo siguiente:

Con el fin de continuar con el proceso de titulación, solicito
realizar análisis de muestras de agua yodo de la planta
de Jorral del laboratorio de la planta de Tratamientos
de ODESA Dístige.

POR LO EXPUESTO:

Pido a usted acceder a lo solicitado por ser de Justo

Calana, 12 de SETiembre del

Firma : [Firma]
Teléfono : 921505258
Correo electrónico : antonioherm12@gmail.com

Adjunto :
- Copia de DNI
- Copia de Resolución de titulación de propiedad de Tarma

Anexo 2

Panel fotográfico

Fotografía 1

Toma de muestra de agua del rio locumba



Fotografía 2

Recolección de muestra del rio locumba



Fotografía 3

Medición de pH de manera insitu



Fotografía 4

Elección de semillas de Moringa Oleifera



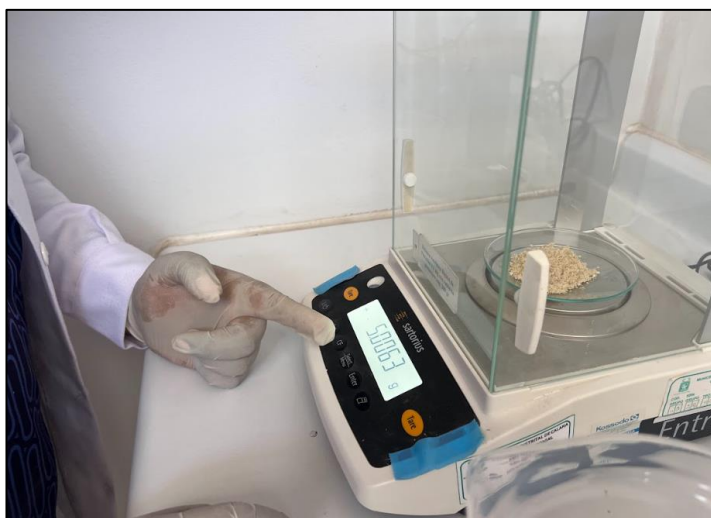
Fotografía 5

Descascarado de la Moringa Oleifera



Fotografía 6

Pesado de la Moringa oleifera



Fotografía 7

Dosis de moringa oleifera



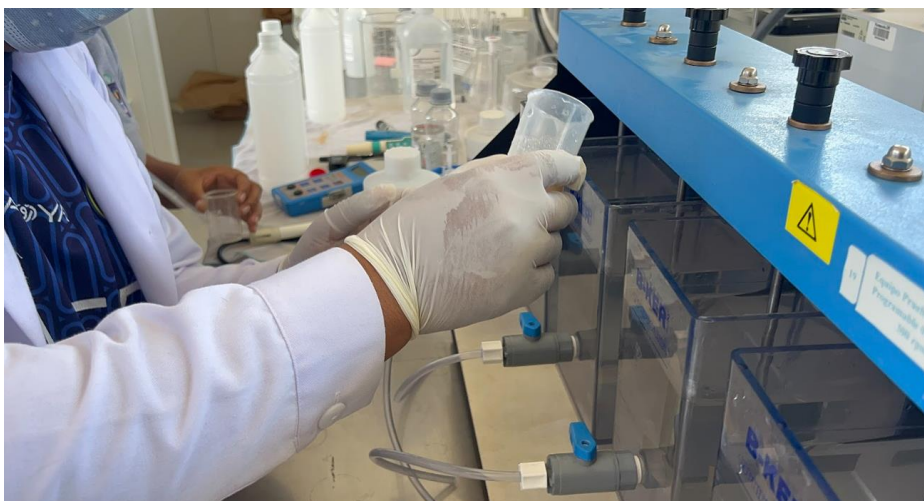
Fotografía 8

Vertimiento de muestra a la prueba de jarras



Fotografía 9

Aparición de dosis de moringa oleifera



Fotografía 10

Programación de tiempo de la prueba de jarras



Fotografía 11

Medición de parámetros fisicoquímicos conductividad



Anexo 4

Tabla 1313

Resultados del diseño experimental para turbidez

<i>Tratamientos</i>	<i>Replica</i>	Factores		<i>Variable respuesta</i>
		Dosis de Moringa (g)	Volumen de coagulante (ml)	<i>Turbidez NTU</i>
1	1	5	10	4,1
2	1	5	20	5
3	1	10	10	5,5
4	1	10	20	6,1
5	1	15	10	8
6	1	15	20	10
7	2	5	10	4,3
8	2	5	20	5,3
9	2	10	10	5,7
10	2	10	20	6,4
11	2	15	10	7,5
12	2	15	20	11

Tabla 14*Resultados del diseño experimental para plomo*

<i>Tratamientos</i>	<i>Replica</i>	<i>Factores</i>		<i>Variable respuesta</i>
		<i>Dosis de moringa (g)</i>	<i>Volumen de coagulante (ml)</i>	<i>Plomo mg/L</i>
1	1	5	10	0,0009
2	1	5	20	0,0041
3	1	10	10	0,0071
4	1	10	20	0,0064
5	1	15	10	0,0062
6	1	15	20	0,0067
7	2	5	10	0,0012
8	2	5	20	0,0045
9	2	10	10	0,0063
10	2	10	20	0,0061
11	2	15	10	0,0070
12	2	15	20	0,0065

Tabla 15*Análisis del parámetro de turbidez después del tratamiento*

<i>N°</i>	<i>X1: Dosis de Moringa (g)</i>	<i>X2: Volumen de coagulante (ml)</i>	<i>Turbidez</i>		<i>Promedio NTU</i>
			<i>1era prueba</i>	<i>2da prueba</i>	
T - 1	5	10	4,1	4,3	4,2
T - 2	5	20	5	5,3	5,15
T - 3	10	10	5,5	5,7	5,6
T - 4	10	20	6,1	6,4	6,25
T - 5	15	10	8	7,5	7,75
T - 6	15	20	10	11	10,5

Tabla 16*Análisis del parámetro plomo después del tratamiento*

N°	X1: Dosis de Moringa (g)	X2: Volumen de coagulante (ml)	Plomo		Promedio (mg/L)
			1era prueba	2da prueba	
T - 1	5	10	0,0009	0,0012	0.0009936
T - 2	5	20	0,0041	0,0045	0.0011952
T - 3	10	10	0,0071	0,0063	0.0061344
T - 4	10	20	0,0064	0,0061	0.0063144
T - 5	15	10	0,0062	0,007	0.006444
T - 6	15	20	0,0067	0,0065	0.0066024

Tabla 17*Resultados del diseño experimental para pH*

Tratamientos	Replica	Factores		Variable respuesta
		Dosis de coagulante (g)	Volumen de coagulante (ml)	pH
1	1	5	10	7,0
2	1	5	20	7,1
3	1	10	10	6,9
4	1	10	20	7,1
5	1	15	10	7,2
6	1	15	20	7,6
7	2	5	10	7,3
8	2	5	20	7,2
9	2	10	10	7,0
10	2	10	20	7,2
11	2	15	10	7,1
12	2	15	20	7,8

Tabla 18*Resultados del diseño experimental para conductividad eléctrica*

<i>Tratamientos</i>	<i>Replica</i>	<i>Factores</i>		<i>Variable respuesta</i>
		<i>Dosis de coagulante (g)</i>	<i>Volumen de coagulante (ml)</i>	<i>uS/cm</i>
1	1	5	10	1457,01
2	1	5	20	1670,20
3	1	10	10	1560,10
4	1	10	20	1615,00
5	1	15	10	1656,50
6	1	15	20	1680,30
7	2	5	10	1345,02
8	2	5	20	1608,05
9	2	10	10	1503,10
10	2	10	20	1608,23
11	2	15	10	1605,23
12	2	15	20	1602,02

Tabla 19*Porcentaje de remoción del parámetro de turbidez*

<i>N°</i>	<i>X1: Dosis de Moringa (g)</i>	<i>X2: Volumen de coagulante (ml)</i>	<i>Turbidez</i>			<i>Porcentaje remoción (%)</i>
			<i>1era prueba</i>	<i>2da prueba</i>	<i>Promedio</i>	
T - 1	5	10	4,1	4,3	4,2	85,4
T - 2	5	20	5	5,3	5,15	82,1
T - 3	10	10	5,5	5,7	5,6	80,6
T - 4	10	20	6,1	6,4	6,25	78,3
T - 5	15	10	8	7,5	7,75	73,1
T - 6	15	20	10	11	10,5	63,5

Tabla 20*Porcentaje de remoción del parámetro de plomo*

N°	X1: Dosis de coagulante (g)	X2: Volumen de coagulante (ml)	Plomo			Porcentaje remoción (%)
			1era prueba	2da prueba	Promedio	
T - 1	5	10	0,0009	0,0012	0,00105	85,4
T - 2	5	20	0,0041	0,0045	0,0043	40,3
T - 3	10	10	0,0071	0,0063	0,0067	6,9
T - 4	10	20	0,0064	0,0061	0,00625	13,2
T - 5	15	10	0,0062	0,007	0,0066	8,3
T - 6	15	20	0,0067	0,0065	0,0066	8,3