

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Eficiencia de Moringa oleífera Lam. como coagulante natural en la  
remoción de turbidez en la planta de tratamiento de aguas  
residuales de Punta de Bombón - Arequipa, 2024**

**Anyi Loayza Gama**

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Ambiental

Arequipa, 2025

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

**INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE  
INVESTIGACIÓN**

**A** : Decano de la Facultad de Ingeniería  
**DE** : Mag. Doménica Dongo  
Martínez Asesor de trabajo de  
investigación  
**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de  
investigación  
**FECHA** : 9 de Junio de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

**Título:**

EFICIENCIA DE MORINGA OLEÍFERA LAM. COMO COAGULANTE NATURAL EN LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE PUNTA DE BOMBÓN - AREQUIPA, 2024.

**Autores:**

1. Anyi Loayza Gama – EAP. Ingeniería Ambiental

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 16 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores  
30 **(en caso de elegir "SI"):** SI  NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

**La firma del asesor obra en el archivo original  
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)**

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Dios y a la Virgen, quienes han sido mi guía y protección en cada paso de este camino. Su luz me ha brindado la fortaleza necesaria para alcanzar esta importante etapa de mi carrera profesional.

A mi familia, mi eterno agradecimiento por su amor incondicional, confianza y apoyo inquebrantable en todos los momentos, tanto en los buenos como en los desafiantes. Sin ustedes, este logro no habría sido posible.

A mi asesora, Ingeniera Doménica Dongo Martínez, le debo un profundo reconocimiento por su invaluable apoyo durante el desarrollo de esta investigación. Su generosidad al compartir sus conocimientos y su vasta experiencia profesional ha sido fundamental en mi crecimiento académico y personal.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Universidad Continental por brindarme la oportunidad de utilizar sus laboratorios y formarme como Ingeniera Ambiental. Su generosidad al facilitarme el acceso a materiales y equipos ha sido esencial para llevar a cabo mis análisis y alcanzar los objetivos de mi investigación. Su apoyo ha sido fundamental en este proceso y lo valoro profundamente.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios y a la Virgen, cuya guía y protección me han permitido alcanzar esta significativa etapa en mi formación profesional. A mis queridos padres, Maritza Gama y John Loayza, quienes han sido un ejemplo de perseverancia y amor incondicional; su apoyo constante y su paciencia han sido fundamentales para que pueda cumplir uno de mis más grandes sueños: carrera profesional de ingeniería ambiental.

A mi hermana, por su cariño y confianza durante todo este proceso, su presencia ha sido un pilar en mi camino. Y, por último, a mi amado Juan Carlos, quien me impulsa a seguir adelante en cada uno de mis proyectos. Su apoyo en los momentos difíciles y su compromiso inquebrantable nunca me han faltado, y por ello le estaré eternamente agradecida.

# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
AGRADECIMIENTOS .....	iv
DEDICATORIA.....	v
RESUMEN .....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....</b>	<b>3</b>
1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	3
1.1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.1.2 Formulación del problema .....	3
1.2.1.1 Problema General.....	3
1.2.1.2 Problemas Específicos .....	3
1.2 OBJETIVOS .....	4
1.2.1 Objetivo General.....	4
1.2.2 Objetivos Específicos .....	4
1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	4
1.3.1 Justificación Social .....	4
1.3.2 Justificación Ambiental.....	5
1.3.3 Justificación Económica .....	6
1.4 HIPÓTESIS.....	6
1.4.1 Hipótesis General.....	7
1.4.2 Hipótesis nula .....	7
1.4.3 Hipótesis alterna .....	7
1.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	8
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>9</b>
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	9
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	9
2.1.2 Antecedentes nacionales .....	11
2.1.3 Antecedentes locales.....	13
2.2 BASES TEÓRICAS.....	15
2.2.1 Tratamiento de aguas residuales .....	15
2.2.2 Calidad de aguas residuales .....	16

2.2.3	Normativas sobre vertidos y reúso de aguas residuales.....	17
2.2.3.1	Investigaciones sobre uso en tratamiento de aguas residuales.....	17
2.2.4	Coagulación y floculación.....	18
2.2.4.1	Mecanismos.....	18
2.2.4.2	Tipos.....	18
2.2.4.3	Factores:.....	19
2.2.5	Floculación.....	20
2.2.6	Tipos de floculación.....	20
2.2.7	Moringa.....	21
2.2.7.1	Clasificación taxonómica.....	21
2.2.7.2	Composición química y principios activos de Moringa oleifera.....	21
2.2.7.3	Mecanismo de coagulación por proteínas catiónicas.....	22
2.3	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	22
2.3.1	Oxígeno disuelto.....	22
2.3.2	Sedimentación.....	22
2.3.3	Remoción.....	22
2.3.4	Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	23
2.3.5	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).....	23
2.3.6	Sólidos Suspendidos.....	23
2.3.7	Turbidez.....	23
2.3.8	Escherichia coli.....	23
2.3.9	Coliformes Termotolerantes.....	24
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....</b>		<b>25</b>
3.1	MÉTODOS Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	25
3.1.1	Métodos de la investigación.....	25
3.1.1.1	Método.....	25
3.1.2	Tipo de investigación.....	25
3.1.3	Nivel de la investigación.....	25
3.2	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	26
3.3	UNIDADES EXPERIMENTALES.....	28
3.4	DISEÑO ESTADÍSTICO DEL EXPERIMENTO.....	28
3.5	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	28
3.5.1	Población.....	28
3.5.1.1	Ubicación del efluente PTAR – Punta de Bombón.....	29
3.5.2	Muestra.....	29
3.6	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	30

3.6.1	Técnicas .....	30
3.6.2	Instrumentos .....	30
3.6.3	Equipos, materiales y reactivos.....	31
3.6.3.1	Materiales de campo .....	31
3.6.3.2	Material biológico y reactivo .....	31
3.6.3.3	Materiales y equipos de laboratorio .....	31
3.6.3.4	Equipos y materiales de gabinete.....	32
3.6.4	Análisis de la muestra de agua residual y obtención del coagulante .....	32
3.6.4.1	Toma de muestras de agua residual.....	32
3.6.5	Caracterización de las muestras de efluentes provenientes de PTAR de Punta de Bombón .....	33
3.6.6	Flujograma del procedimiento experimental .....	35
3.7	PROCESAMIENTO DE DATOS .....	37
3.8	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS .....	37
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>		<b>38</b>
4.1	Prueba de hipótesis.....	38
4.2	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	39
4.2.1	Determinar el porcentaje de remoción de turbidez del efluente actual de la PTAR de Punta de Bombón .....	39
4.2.2	Evaluación de la eficiencia de la <i>Moringa oleifera</i> Lam y dosis óptima como coagulante natural en la remoción de turbidez del efluente de la PTAR de Punta de Bombón.....	40
4.2.3	Comparación de la eficiencia en la remoción de turbidez entre la dosis óptima de <i>Moringa oleifera</i> y el proceso actual de la PTAR de Punta de Bombón.....	44
4.3	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	45
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>48</b>
5.1	CONCLUSIONES .....	48
5.2	RECOMENDACIONES .....	49
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>		<b>50</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>55</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Operacionalización de variables .....	8
Tabla 2.	LMP para efluentes de PTAR .....	17
Tabla 3.	Clasificación taxonómica de la Moringa oleifera .....	21
Tabla 4.	Tratamientos .....	26
Tabla 5.	Coordenadas del área de estudio.....	29
Tabla 6.	Materiales de campo .....	31
Tabla 7.	Material biológico y reactivo.....	31
Tabla 8.	Materiales y equipos de laboratorio.....	31
Tabla 9.	Equipos y materiales de gabinete .....	32
Tabla 10.	Parámetros analizados en la investigación.....	33
Tabla 11.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra.....	38
Tabla 12.	Análisis de varianza de la remoción actual de turbidez.....	39
Tabla 13.	Prueba de Tukey de la remoción actual de turbidez, por tramo.....	40
Tabla 14.	Rangos promedios de factores analizados en la prueba de Friedman.....	40
Tabla 15.	Efecto de la dosis de moringa (mg/L) en la remoción de turbidez, con prueba de Wilcoxon.....	41
Tabla 16.	Efecto del punto de muestreo en la remoción de turbidez, con prueba de Wilcoxon ..	41
Tabla 17.	Estadístico descriptivo de remoción de turbidez, por punto de muestreo.....	42
Tabla 18.	Efecto de la velocidad de agitación (rpm) en la remoción de turbidez, con prueba de Wilcoxon.....	42
Tabla 19.	Estadístico descriptivo de remoción de turbidez, por velocidad de agitación .....	43
Tabla 20.	Efecto de condición de moringa (sin cáscara, con cáscara y combinada) en la remoción de turbidez, con prueba de Wilcoxon.....	43
Tabla 21.	Estadístico descriptivo de remoción de turbidez, por punto de muestreo.....	44
Tabla 22.	Contraste entre la remoción actual de turbidez y “con moringa”, con prueba de Wilcoxon.....	44
Tabla 23.	Estadístico descriptivo de remoción de turbidez, con tratamiento y sin tratamiento (actual).....	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Mapa de ubicación de distrito de Punta de Bombón. ....	5
Figura 2.	Proceso de tratamiento de aguas residuales. ....	16
Figura 3.	Mapa de ubicación de PTAR. ....	29
Figura 4.	Obtención y análisis de la muestra. ....	32
Figura 5.	Toma de muestras de agua residual. ....	33
Figura 6.	Procedimiento Experimental. ....	35
Figura 7.	Acondicionamientos de las semillas de moringa.....	36

## RESUMEN

La presente investigación evaluó la eficiencia de *Moringa oleifera* Lam. como coagulante natural en la remoción de turbidez del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) domésticas de Punta de Bombón.

Para ello, se recolectaron muestras de agua de la PTAR en tres puntos distintos, las cuales fueron caracterizadas inicialmente en aspectos físicos, químicos y microbiológicos. Posteriormente, se llevó a cabo el análisis de las muestras de agua residual y la obtención del coagulante. Se realizaron ensayos de jarra con 3 repeticiones para tratamiento, variando las RPM y el tiempo de agitación, así como diferentes dosis de coagulante (10, 25, 50, 75 y 100 mg/L).

No se logró determinar la dosis óptima de moringa, ya que el p-valor fue mayor que 0,05, lo que llevó a rechazar la hipótesis nula, que establecía que no había diferencias significativas en la remoción de turbidez entre las distintas dosis (10, 25, 50, 75 y 100 mg de coagulante en 100 ml de agua residual) y condiciones (sin cáscara, con cáscara y combinado). Esto indica que, bajo ninguno de estos factores, la remoción de turbidez varió de manera significativa en términos estadísticos.

Se concluyó que el coagulante *M. oleifera* fue estadísticamente eficiente en la remoción de turbidez en agua residual doméstica, en condiciones de la PTAR de Punta de Bombón, en comparación con la eficiencia actual del sistema de tratamiento.

**Palabras claves:** *Moringa oleifera*, turbidez, coagulantes naturales, eficiencia de remoción.

## ABSTRACT

This study evaluated the effectiveness of *Moringa oleifera* Lam. as a natural coagulant in removing turbidity from the effluent of the Punta de Bombón domestic wastewater treatment plant (WWTP).

To this end, water samples were collected from the WWTP at three different locations and initially characterized physically, chemically, and microbiologically. Subsequently, the wastewater samples were analyzed and the coagulant obtained. Jar tests were conducted with three treatment replicates, varying the RPM and agitation time, as well as different coagulant doses (10, 25, 50, 75, and 100 mg/L).

The optimal dose of moringa could not be determined, as the p-value was greater than 0.05, leading to the rejection of the null hypothesis, which stated that there were no significant differences in turbidity removal between the different doses (10, 25, 50, 75, and 100 mg of coagulant in 100 ml of wastewater) and conditions (hull-free, hull-in, and a combination). This indicates that turbidity removal did not vary statistically significantly under any of these factors.

It was concluded that the *M. oleifera* coagulant was statistically efficient in removing turbidity in domestic wastewater under the conditions of the Punta de Bombón WWTP, compared to the current efficiency of the treatment system.

**Keywords:** *Moringa oleifera*, turbidity, natural coagulants, removal efficiency.

# INTRODUCCIÓN

El agua es vista como un elemento central para el desarrollo sostenible, ya que es vital para el avance socioeconómico, la generación de energía, la producción agrícola, la preservación de los ecosistemas y la supervivencia de las personas. Asimismo, el agua tiene un papel crucial en la adaptación al cambio climático, creando un vínculo esencial entre la sociedad y el entorno natural. Sin embargo, la contaminación de las fuentes de agua y la carencia de servicios sanitarios básicos, complican la eliminación de la pobreza extrema y la propagación de enfermedades en las naciones más vulnerables.

La Organización de las Naciones Unidas ha abordado la crisis mundial del abastecimiento de agua que se agrava por el aumento progresivo de la demanda para satisfacer las necesidades humanas, comerciales y agrícolas. Esta problemática exige atención inmediata y efectiva para garantizar un acceso equitativo y sostenible a este valioso recurso (1).

Actualmente, uno de los principales retos es asegurar el abastecimiento de agua pura, salubre y asequible (2). Se estima que solo el 13,70 % de las aguas servidas procedentes de viviendas conectadas al alcantarillado reciben algún grado de tratamiento, lo que a menudo es deficiente (2). Es preocupante que el 80% de las aguas residuales se devuelvan al medio ambiente sin haber sido tratadas o reutilizadas (1). Además, la contaminación del agua continúa en aumento, lo que provoca un rápido deterioro de los ecosistemas de agua dulce (1).

En Perú, 41 unidades hidrográficas, que equivalen al 26% del total, no cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el agua, y los desechos de aguas residuales no reciben un tratamiento adecuado (3). En el año 2019, 22 empresas informaron que el tratamiento de sus aguas residuales era del 0%, y el 18% de ellas no contaba con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (4).

En el distrito de Punta de Bombón, el servicio de agua cubre solo el 78,47 %, dejando un déficit del 21,53 % (5). El sistema de desagüe cuenta con colectores que, a través de gravedad, llevan las aguas a los pozos de oxidación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales; sin embargo, estas aguas no son tratadas adecuadamente, lo que causa daños ambientales (5).

Por tales consideraciones, la presente investigación tiene como objetivo determinar la eficiencia de la *M. oleifera* Lam. en la remoción de turbidez y cargas microbiológicas en la planta de tratamiento de aguas residuales de Punta de Bombón. Se busca reducir la turbidez, los sólidos suspendidos totales y las cargas microbiológicas para cumplir con los valores de los Límites Máximos Permisibles establecido mediante el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM.

La aplicación del coagulante natural *M. oleifera* representa una alternativa biodegradable y de bajo costo, además de ser abundante para su extracción (6). Este coagulante, al formar flóculos,

presenta una mayor resistencia debido al efecto puente, en comparación con los coagulantes químicos (7).

Estudios previos han demostrado que el uso de *M. oleifera* en aguas residuales puede alcanzar una eficiencia del 76,82 % en la eliminación de *Escherichia coli* (8). Por otro lado, los coagulantes naturales no afectan de manera significativa los parámetros del agua. Sin embargo, es importante señalar que aún no existe suficiente evidencia sobre los costos asociados a la materia prima, su extracción, purificación y operación, lo que limita la posibilidad de realizar una comparación económica entre los coagulantes químicos convencionales y los naturales en la actualidad (9).

# **CAPÍTULO I:**

## **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

#### **1.1.1 Planteamiento del problema**

El distrito de Punta de Bombón cuenta con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) que recibe las aguas servidas de la población a través de la red de alcantarillado (5). Sin embargo, dicha PTAR presenta deficiencias en su operación y no logra remover eficientemente contaminantes como sólidos suspendidos, materia orgánica y microorganismos patógenos antes de verter el efluente final al mar (5). Esto genera problemas ambientales en el ecosistema marino costero y riesgos para la salud de la población.

Se han reportado efectos como contaminación de aguas superficiales, infiltración y contaminación de acuíferos, afectación de zonas agrícolas y pesqueras, así como potenciales enfermedades por el consumo de recursos contaminados. Por ello, es necesario mejorar el proceso de tratamiento de las aguas residuales de la localidad.

En ese contexto, los coagulantes y floculantes de origen natural como la *Moringa oleifera* han demostrado ser alternativas prometedoras, ecoeficientes y de bajo costo para mejorar la remoción de contaminantes en el tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, no se han realizado estudios que evalúen su aplicación en la PTAR de la Punta de Bombón.

#### **1.1.2 Formulación del problema**

##### **1.2.1.1 Problema General**

¿Cuál es la eficiencia de la *Moringa oleifera* Lam como coagulante natural en la remoción de turbidez del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales domésticas de Punta de Bombón - Arequipa, 2024?

##### **1.2.1.2 Problemas Específicos**

- ¿Cuál es el porcentaje de remoción de turbidez del efluente actual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Punta de Bombón?

- ¿Cuál es la dosis óptima de *Moringa oleifera* Lam en polvo que permite maximizar la remoción de turbidez del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Punta de Bombón?
- ¿Cómo se compara la eficiencia de remoción de turbidez de *Moringa oleifera* Lam con el proceso actual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Punta de Bombón?

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo General

Evaluar la eficiencia de la *Moringa oleifera* Lam, como coagulante natural en la remoción de turbidez del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales domésticas de Punta de Bombón.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar el porcentaje de remoción de turbidez del efluente actual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Punta de Bombón.
- Determinar la dosis óptima de *Moringa oleifera* Lam. requerida para alcanzar la máxima remoción de turbidez en el efluente de la PTAR de Punta de Bombón.
- Comparar la eficiencia en la remoción de turbidez entre la dosis óptima de *Moringa oleifera* Lam. y el proceso actual de la PTAR de Punta de Bombón.

## 1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

### 1.3.1 Justificación Social

El distrito de Punta de Bombón cuenta con una población de 6 696 habitantes, de los cuales 3 305 son parte de la población económicamente activa (PEA), lo que representa un 49,36 % del total del distrito. A medida que la población crece, surgen con urgencia necesidades básicas, siendo una de las más críticas el acceso a agua potable y una red pública de desagüe. Actualmente, se ha identificado que solo el 68,23 % de las viviendas dispone de una red de alcantarillado, mientras que el 16,82 % de las viviendas más alejadas recurre al uso de pozos sépticos (10).

Las aguas residuales generadas en los hogares, cuando no son tratadas, constituyen un serio peligro para la salud pública. La Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que estas aguas son responsables de enfermedades diarreicas que se relacionan con el consumo de agua y alimentos contaminados, provocando alrededor de 2 millones de muertes al año. Estas aguas residuales pueden albergar microorganismos patógenos, como protozoos y virus, que son más resistentes que las bacterias. Entre ellos, los enterovirus son los que más frecuentemente se encuentran en las aguas desechadas y en los biosólidos producidos por las plantas de tratamiento (11).

En Punta de Bombón, las aguas residuales se dirigen a dos pozos de oxidación, los cuales no cuentan con un tratamiento adecuado, lo que genera olores desagradables y un deterioro del ambiente. Además, la carga orgánica de los efluentes contribuye a la eutrofización de la zona costera, provocando mareas rojas que pueden dar lugar a enfermedades gastrointestinales (12).

El presente estudio busca ofrecer una alternativa eco-amigable mediante el uso de *M. oleifera* Lam. para la remoción de turbidez y cargas microbiológicas en la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Punta de Bombón. El objetivo es disminuir los olores y prevenir enfermedades, mejorando así la calidad de vida de la población del distrito de Bombón, ubicado en el departamento de Arequipa (Figura 1).

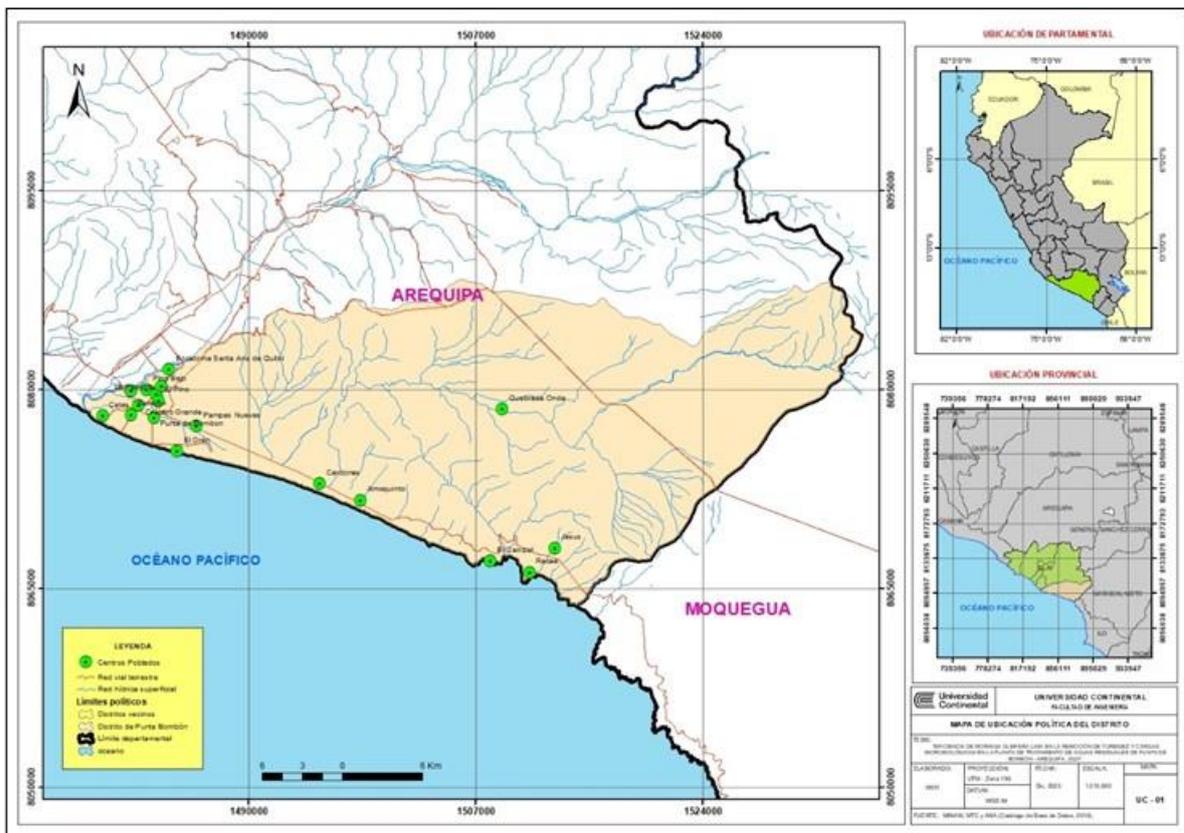


Figura 1. Mapa de ubicación de distrito de Punta de Bombón.

### 1.3.2 Justificación Ambiental

Uno de los principales problemas ambientales que enfrentamos es el vertimiento de aguas residuales sin un tratamiento adecuado en cuerpos receptores como ríos, lagos, quebradas secas y el mar. Este fenómeno constituye un factor significativo de contaminación que afecta a diversos ecosistemas, así como a las aguas superficiales y subterráneas (13).

Es importante destacar que, a solo unos kilómetros de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Punta de Bombón, se encuentra el Santuario Nacional de Lagunas de Mejía, un área protegida que alberga una rica avifauna. Este santuario registra la presencia de 210 especies de aves,

tanto migratorias como residentes, incluyendo el piquero, el águila pescadora y la parihuana, entre otras. La contaminación causada por las aguas residuales domésticas representa una grave amenaza para este ecosistema, pudiendo provocar la extinción y muerte de diversas especies avícolas (13).

Por lo tanto, la presente investigación se centra en el tratamiento de las aguas residuales domésticas mediante el uso de *M. oleifera* Lam., un coagulante natural que permite la remoción de turbidez y sólidos suspendidos totales. Este enfoque no solo es eficaz, sino que también minimiza los efectos adversos sobre el medio ambiente.

### **1.3.3 Justificación Económica**

El distrito de Punta de Bombón se caracteriza por su alta productividad agrícola, siendo la agricultura su principal actividad económica. Además, al estar ubicado junto al mar, se combina esta actividad con la pesca, la cual se lleva a cabo durante todo el año. En la temporada de verano, la zona también se dedica al turismo temporal (5).

En lo que respecta al sistema de desagüe, las aguas residuales son dirigidas a pozos de oxidación para su tratamiento; sin embargo, la presencia de aguas servidas en la zona afecta negativamente a los agricultores, generando fuertes olores y provocando que sus cosechas se vean perjudicadas debido a las filtraciones (14). Los agricultores han expresado su descontento a la empresa de agua, señalando la falta de mantenimiento adecuado a los sistemas de desagüe. Esta situación se agrava porque las aguas residuales domésticas, vertidas sin tratamiento adecuado, contaminan los cuerpos de agua naturales y, por infiltración en el subsuelo, afectan también las aguas subterráneas (14).

Ante esta problemática, es importante destacar que, en el tratamiento de aguas residuales domésticas, la mayoría de los coagulantes utilizados son de origen químico, los cuales están asociados con riesgos para la salud, como el Alzheimer y otras enfermedades neurológicas. Varios estudios han demostrado que el cuerpo humano asimila fácilmente el aluminio, lo que puede resultar en consecuencias negativas a largo plazo (15).

Por esta razón, el presente estudio propone el uso de *M. oleifera* Lam. como coagulante. Esta planta se cultiva localmente y su aplicación no solo evita cambios en los valores de conductividad y pH del agua tras el tratamiento, sino que también representa una opción más viable y económica en comparación con los coagulantes químicos. La implementación de este coagulante natural no solo es más rentable, sino que también contribuye a las iniciativas de desarrollo sostenible. En un contexto de cambio climático, degradación ambiental y agotamiento de recursos naturales, es fundamental adoptar tecnologías ambientalmente sostenibles que ayuden a mitigar estos desafíos.

## **1.4 HIPÓTESIS**

#### **1.4.1 Hipótesis General**

La aplicación de *M. oleifera* Lam., como coagulante natural permite reducir la turbidez por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales domésticas de Punta de Bombón.

#### **1.4.2 Hipótesis nula**

La aplicación de *M. oleifera* como coagulante natural no mejora significativamente la remoción de turbidez respecto al proceso actual de la PTAR.

#### **1.4.3 Hipótesis alterna**

La aplicación de *M. oleifera* como coagulante natural será estadísticamente superior en remoción de turbidez comparada con la eficiencia actual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Punta de Bombón.

## 1.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

**Tabla 1.**

*Operacionalización de variables*

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medición
<b>INDEPENDIENTE</b> <i>Moringa oleifera</i> Lam.	Coagulante natural obtenido de las semillas de <i>Moringa oleifera</i> , árbol de la familia Moringácea. Contiene una proteína catiónica soluble en agua llamada moringaina que desestabiliza y aglutina las partículas coloidales promoviendo su precipitación (16).	Dosis de <i>Moringa oleifera</i> en polvo (mg/L) aplicada al efluente de la PTAR en la prueba de jarras.	Concentración: 100 mg/L 250 mg/L 500 mg/L 750 mg/L 1 000 mg/L	Cantidad de <i>Moringa oleifera</i> en polvo (mg/L o ppm)	Razón
<b>DEPENDIENTE</b> Turbidez	Propiedad óptica del agua determinada por los sólidos en suspensión que provocan la dispersión y absorción de la luz (17).	Unidades Nefelométricas de Turbiedad (NTU) medidas en el efluente tratado con <i>Moringa oleifera</i> mediante el turbidímetro.	Reducción de la turbidez	NTU	Razón

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **2.1.1 Antecedentes internacionales**

Chango y Ruiz (18). en la investigación titulada “Aplicación de la *Moringa oleifera* como biocoagulante en dos plantas de tratamiento de aguas domésticas en Samborondon 2021”, tuvieron como objetivo evaluar la eficiencia de remoción de diversos contaminantes en dos plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas en Ecuador, aplicando *M. oleifera*. La metodología consistió en un diseño experimental a través de pruebas de jarras, aplicando tres dosis diferentes de *Moringa oleifera* en polvo (5 g, 15 g y 30 g en 250 ml de agua residual) con 5 repeticiones por dosis. En las pruebas experimentales midieron los siguientes parámetros: turbidez, DQO, DBO, sólidos suspendidos totales y coliformes fecales. Entre los resultados mostraron remociones máximas de turbidez de 97,08 % y 97,60 % con la dosis de 30 g/L de moringa en las plantas de tratamiento. Asimismo, obtuvieron remociones de coliformes fecales de 65,25 % y 52,14 % con la misma dosis. Los autores concluyeron que la *Moringa oleifera* representa una alternativa viable y ambientalmente sostenible para el tratamiento de aguas residuales. En resumen, este antecedente aporta evidencia sobre la efectividad de la Moringa y una metodología experimental aplicable para la evaluación de su uso como coagulante natural en plantas de tratamiento.

Jamila et al. (19), en la investigación “Optimización de la turbidez y eliminación de colorantes de aguas residuales sintéticas utilizando la metodología de superficie de respuesta: efectividad del polvo de semilla *Moringa oleifera* como coagulante verde”, tuvieron como objetivo evaluar la eficiencia del polvo de semilla de *Moringa oleifera* en la eliminación de turbidez y colorantes aniónicos de aguas residuales sintéticas. Para ello, emplearon un diseño compuesto central, basado en la metodología de superficie de respuesta (RSM), con un tratamiento de 0,34 mg de semilla de moringa en polvo en 7,88 mg de concentración de tinte. Los resultados destacan una remoción de turbidez del 98,50 % y 92,20 % en el tratamiento con 0,34 mg de semilla de moringa en aguas residuales sintéticas. Los autores concluyeron que la *M. oleifera* podría ser efectivo como una coagulante natural para el tratamiento de aguas residuales sintéticas. Esta investigación sirve

como base metodológica y proporciona información valiosa para comparar la eficiencia del polvo de semilla de *M. oleifera* en la remoción de turbidez en aguas residuales con concentraciones de colorante aniónico.

Vega et al. (20), en la investigación “Uso de la semilla de Moringa oleífera como coagulante natural en el tratamiento terciario de aguas residuales domésticas: evaluación fisicoquímica, citotoxicidad y carga bacteriana”, se centraron en la evaluación del uso del extracto acuoso de semilla de *M. oleifera* como coagulante natural en el tratamiento terciario de aguas residuales domésticas. La investigación fue experimental utilizando la prueba de jarras con un tratamiento de 600 mg de moringa en 1 L de agua residual. Entre los resultados mostraron que el tratamiento con 600 mg/L de Moringa logró una máxima remoción de turbidez del 92,00 % y una reducción del 99,00 % en la carga bacteriana. De manera comparativa, el alumbre a 200 mg/L también mostró resultados similares. Los autores concluyeron que el extracto acuoso de *M. oleifera* podría ser efectivo como biocoagulante en el tratamiento terciario de aguas residuales domésticas. Además, sugieren la purificación del extracto para extraer las proteínas catiónicas de moringa, especialmente cuando la reducción de la carga orgánica del efluente es una prioridad. Este artículo proporciona una base sólida para evaluar la capacidad de remoción de turbidez utilizando el extracto acuoso de *M. oleifera* en aguas residuales domésticas y también aborda la importancia de evaluar la citotoxicidad en el proceso de tratamiento.

Kenea et al. (21), en la investigación “Mejora de la purificación del agua utilizando pastas de extracto de *Moringa oleifera* para la coagulación después de la filtración de escoria”, tuvieron como objetivo evaluar el desempeño de la tecnología de purificación de agua potable en el punto de uso utilizando semillas de *M. oleifera* acopladas y seguidas de medios de filtración de coagulación de escoria. Para llevar a cabo esta investigación, diseñaron un experimento que incluyó tres repeticiones. Utilizaron una dosis de 35 ml/L de moringa como coagulante, aplicando el proceso durante 46 minutos: 1 minuto para la mezcla inicial, 15 minutos para la mezcla suave y 30 minutos para la sedimentación. Entre los resultados, observaron que la máxima capacidad de remoción de moringa fue del 75,00 % para el fosfato; 70,00 %, para el fluoruro; y 58,00 % para el hierro. Los autores concluyeron que la remoción de fluoruros, fosfatos y hierro fue exitosa a través de este método sencillo y ambientalmente amigable. Los resultados experimentales demostraron que *M. oleifera* poseen propiedades coagulantes efectivas. La presente investigación aporta datos relevantes acerca del desempeño de los procesos de coagulación/floculación, sedimentación y filtración empleando moringa, así como su capacidad para remover fosfatos, fluoruros, hierro y material particulado del agua.

Mpangi et al. (22), en la investigación “Síntesis y eficacia del compuesto de cáscara de nopal y plátano como coagulante natural para el tratamiento de aguas”, tuvieron como objetivo evaluar la eficiencia del compuesto natural de cáscara de nopal y plátano en el tratamiento de agua potable. La metodología empleada consistió en un diseño experimental a través de prueba de jarras, con tres

tratamientos con 10 g de cada polvo con 1 L de agua con 5 puntos de réplica y 5 puntos de falta de ajuste. Asimismo, establecieron los parámetros de turbidez, sólidos suspendidos totales y *Escherichia coli*. Entre los resultados mostraron (a) una eficiencia de remoción máxima de 87,13 % de turbidez, (b) 82,15 % de remoción de sólidos suspendidos totales y (c) una remoción de 84,02 % de *E. coli*. Los autores concluyeron que el uso de los coagulantes de cáscara de nopal y plátano proporciona una alternativa de tratamiento de agua natural, barata y ecológica y disponible localmente en comunidades rurales y pobres.

### **2.1.2 Antecedentes nacionales**

Mejía (23), en la investigación “Evaluación de la *Moringa oleifera* en el tratamiento de aguas con alta turbidez y carga orgánica”, tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de *M. oleifera* como coagulante en el tratamiento de aguas residuales con alta turbidez y carga orgánica en la planta de tratamiento Puente Piedra. La investigación fue experimental, a través de la prueba de jarras, con cinco tratamientos que variaron en dosis de moringa en polvo (0,50 g, 0,80 g, 1,00 g, 1,20 g, 1,50 g en 1 L de agua residual). Entre los resultados se obtuvo una remoción de turbidez del 80,10 % y 76,40 % cuando el coagulante se introdujo directamente en polvo, y un 84,40 % de remoción de turbidez cuando el coagulante fue previamente activado con cloruro de sodio (NaCl) 1N a una dosis de 0,74 g/L. Los autores concluyeron que los coagulantes naturales, como la *M. oleifera*, son una opción viable para el tratamiento de aguas residuales domésticas con alta concentración de materia orgánica y turbidez. Asimismo, recomendaron que este estudio pueda aplicarse en futuras investigaciones como una alternativa de solución en el tratamiento primario de aguas residuales domésticas en zonas rurales. Este artículo sirve como base para la parte experimental de la presente investigación, al utilizar un diseño experimental mediante la prueba de jarras con cinco tratamientos, lo que permitirá determinar la configuración más efectiva en el equipo de prueba de jarras y evaluar la dosis más eficiente en la remoción de turbidez y carga orgánica.

Vera et al. (24), en la investigación “Efecto del polvo de semilla de *Moringa oleifera* sobre la turbidez de las aguas residuales en Cajamarca - Perú”, tuvieron como objetivo principal evaluar el efecto de *M. oleifera* sobre la turbidez de las aguas residuales en los pozos de oxidación del distrito de Cajamarca. La metodología empleada consistió en un diseño de investigación experimental a través de la prueba de jarras, con tres tratamientos (0,50 g, 0,80 g y 1,00 g de moringa en vasos precipitados de 500 ml de agua residual) y dos repeticiones para cada concentración. Se utilizaron pruebas estadísticas de Pearson y ANOVA, con un nivel de significancia del 5,00 %, y los datos fueron analizados mediante la prueba de Fisher y Tukey. Entre los resultados, mostraron una remoción de turbidez del 77,90 % en el tratamiento con 0,80 g de moringa a una velocidad de agitación de 200 rpm, y una remoción de turbidez del 77,69 % en el tratamiento con la misma dosis a una velocidad de agitación de 150 rpm en aguas residuales. Los autores concluyeron que las diferentes dosis de Moringa tienen un impacto en la turbidez del agua residual, además de afectar el

pH y aumentar la conductividad y temperatura. Asimismo, recomendaron realizar estudios de la cinética química del coagulante natural *Moringa oleifera* en diversos tipos de efluentes. Este artículo proporciona una base valiosa para la parte experimental, ya que emplea pruebas estadísticas como Pearson y ANOVA, permitiendo determinar la dosificación más efectiva en la prueba de jarras.

Carril et al. (25), en la investigación “Efecto coagulante-floculante del cladodio de tuna (*Opuntia ficus indica*) y del endospermo de moringa (*Moringa oleifera* Lam.), en el tratamiento primario de aguas residuales domésticas de la PTAR del sector 9, distrito de Manantay 2018”, tuvieron como objetivo investigar el efecto coagulante-floculante del cladodio de tuna y del endospermo de moringa en el tratamiento de aguas que ingresan a la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Manantay. La metodología empleada consistió en un diseño de investigación experimental mediante la prueba de jarras, con tres tratamientos de moringa (8,00 g, 10,00 g, 12,00 g en 2 L de agua residual) y tres tratamientos de mucílago de tuna (20,00 ml, 22,00 ml, 24,00 ml en 2 L de agua residual), cada uno con cuatro repeticiones. Asimismo, utilizaron el análisis de varianza (ANOVA) en el software SPSS, con un nivel de significancia de 5,00 % ( $\alpha = 0,05$ ). Entre los resultados mostraron que el tratamiento con 10 ml de *M. oleifera* logró una remoción de 124,48 NTU. Los autores concluyeron que la moringa podría ser utilizada en el tratamiento de aguas residuales domésticas debido a su efectividad y bajo impacto ambiental. Asimismo, recomendaron realizar un análisis fisicoquímico de los lodos residuales y flóculos que contienen moringa, dado que podrían aportar nutrientes a los sustratos de uso agrícola. Esta investigación sirve como fundamento para la metodología, al aplicar el programa estadístico SPSS, lo que permite la comparación de los coagulantes naturales (tuna y moringa) y determina el mayor porcentaje de remoción de turbidez en el tratamiento de aguas residuales.

Olivera (26), en la investigación “Aplicación del coagulante natural aloe vera como tratamiento terciario en la PTAR - Jauja”, tuvo como objetivo evaluar el efecto de aloe vera en la remoción de parámetros críticos durante el tratamiento terciario en la PTAR de Jauja. Para ello, diseñó una investigación experimental a través de la prueba de jarras con 5 tratamientos (10,00 ml, 20,00 ml, 30,00 ml, 40,00 ml, 50,00 ml de aloe vera en 1 L de agua residual). Asimismo, se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) y luego se aplicaron pruebas post hoc para poder determinar si presentan diferencias estadísticas significativas y concluir que dosis es más eficiente. Entre los principales resultados, obtuvo un 42,96 % de remoción de turbidez (desde 128,00 NTU a 68,50 NTU) en el tratamiento que contenía 10 ml de aloe vera en aguas residuales, y un 73,83 % de remoción de sólidos suspendidos totales (desde 281,00 mg/L a 73,53 mg/L) en el mismo tratamiento. El autor concluyó que los parámetros de sólidos suspendidos totales y Demanda Bioquímica de Oxígeno sobrepasaron los límites máximos permisibles establecidos en el Decreto Supremo N° 003 -2010-MINAM y recomendaron realizar las pruebas con el coagulante aloe vera, pero en polvo y evaluar la eficiencia de remoción en el tipo de agua residual.

Carhuas (27). en la investigación “Aplicación del mucilago de nopal en la remoción de turbidez en aguas contaminadas del río Chilca por efluentes domésticos en la provincia de Huancayo 2020”, tuvo como objetivo evaluar la influencia en la remoción de la turbidez en las aguas del río Chilca por los efluentes domésticos. Para ello, diseñó una investigación experimental a través de la prueba de jarras, con cinco tratamientos (10,00 ml, 20,00 ml, 30,00 ml, 40,00 ml, 50,00 ml de mucilago nopal en 300,00 ml de agua residual). Asimismo, utilizó el software SPSS para el análisis estadístico de los datos. Entre los principales resultados, obtuvo que 20,00 ml de mucilago de nopal logró remoción máxima de turbidez, pasando de 85,00 NTU a 59,00 NTU, y que con el tratamiento de 10,00 ml alcanzó una remoción de 364,00 mg/L de sólidos suspendidos totales. El autor concluyó que el mucilago de nopal puede utilizarse como biocoagulante natural para el tratamiento de aguas residuales, dado que en el proceso de coagulación se forman flóculos de menor tamaño. Además, recomendó realizar las mediciones de turbidez después del tratamiento de sólidos suspendidos totales, debido a que algunas muestras presentan cambios significativos en su color.

### **2.1.3 Antecedentes locales**

López (28), en la investigación “Evaluación de la calidad de agua respecto a los metales pesados presentes en el río Tambo Provincia de Islay 2016 - 2018”, tuvo como objetivo evaluar la calidad del agua respecto a las concentraciones de metales pesados (arsénico, cobre, cromo, boro, cadmio, mercurio y plomo) en la zona baja del río Tambo. La metodología empleada fue una investigación no experimental. Para ello, determinó tanto el parámetro de campo (pH, conductividad y oxígeno disuelto) y de laboratorio (metales pesados). Entre los resultados, mostró que (a) en noviembre del año 2016, la conductividad, el oxígeno disuelto y el arsénico no cumplieron con los estándares en las estaciones AG-01 y AG-02; (b) en julio del año 2017, la conductividad no cumplió con el rango establecido en las estaciones AG-01 y AG-02; y (c) en febrero del año 2018, el arsénico estaba por encima del estándar de calidad en la estación AG-01, mientras que en la estación AG-02 cumplía con el estándar de calidad ambiental. El autor concluyó que no hubo presencia significativa de los metales, dado que están dentro del rango establecido en los estándares de calidad ambiental para el agua categoría 3.

Condo y Santi (28), en la investigación “Estudio de la eficiencia de remoción de arsénico con cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) como adsorbente en agua superficial, subterránea y potable en la provincia de Islay – Arequipa - Perú año 2019”, tuvieron como objetivo evaluar la eficiencia de remoción de arsénico aplicando como medio adsorbente cascarilla de arroz para cumplir con el ECA. La metodología empleada fue una investigación experimental, mediante prueba de jarras con seis tratamientos (1,00 g, 2,00 g, 3,00 g, 4,00 g, 5,00 g y 6,00 g de *Oryza sativa* en 500 ml de agua superficial que contiene 0,202 mg/L de arsénico). Los resultados obtenidos mostraron que: (a) se logró una remoción del 97,62 % de arsénico en el agua durante las épocas de lluvias y un 92,41 % en períodos de sequía. Para la eliminación de arsénico en aguas superficiales, subterráneas y potables,

se observó que la mayor cantidad de arsénico se adsorbió utilizando cascarilla de arroz modificada, aplicando una dosis de 1 gramo en 0,50 L de agua, a un pH de 4, con un tiempo de contacto de 20 minutos y agitación constante a 200 rpm. (b) Además, se determinó que la mayor adsorción de arsénico también se logró con la cascarilla de arroz modificada, utilizando la misma dosis de 1 gramo en 0,50 L de agua, pero a un pH de 11, manteniendo el tiempo de contacto y la agitación constantes. (c) Al tratar el agua con cascarilla de arroz modificada, se obtuvo un promedio de 97,62 % de adsorción para agua superficial y 63,01 % para agua subterránea. En comparación, el tratamiento con cascarilla de arroz sin modificar, este mostró un promedio de 94,18 % de remoción para agua superficial y 56,16 % para agua subterránea. Los autores concluyeron que la cascarilla de arroz modificada (*O. sativa*) presenta un porcentaje de remoción superior al de la cascarilla de arroz sin modificar.

Manrique (29), en la investigación “Revisión de coagulantes/floculantes naturales obtenidos a partir de semillas de *Moringa oleifera* Lam. (moringa) y del mucílago de la penca de *Opuntia ficus – indica* (tuna) usados en la remoción de cromo en aguas residuales de curtiembre”, tuvo como objetivo brindar información sobre el uso de coagulantes y floculantes naturales extraídos de semillas de *M. oleifera* Lam. y de *Opuntia ficus – indica* usados en la remoción de cromo en aguas residuales de curtiembre. Para ello, diseñó una investigación teórica a través de una base de datos, realizando una búsqueda adecuada de información de fuentes especializadas en investigación. Entre los principales resultados, obtuvo las siguientes remociones: (a) un 99,29 % de cromo total utilizando *Moringa oleifera* y un 97,37 % con *Opuntia ficus – indica*; (b) en el caso del cromo VI, ambas, la semilla de moringa oleífera y tuna, lograron una remoción del 99,50 %; (c) para el aluminio y el cloruro férrico, alcanzó remociones del 99,25 % y 99,15 %, respectivamente; y (d) en el caso del cromo III, logró una remoción del 97,00 % utilizando el mucílago de *Opuntia ficus-indica*. El autor concluyó que los coagulantes y floculantes estudiados son una alternativa para evitar el uso de los coagulantes químicos.

Flores y Silvia (30), en la investigación “Caracterización fisicoquímica en el tratamiento del agua con la utilización de la “*Cumulopuntia unguispina*” para la remoción de metales pesados de la irrigación San Camilo del distrito de la Joya Arequipa”, tuvieron como objetivo principal evaluar la eficiencia de *C. unguispina* en el tratamiento físico- químico del agua y metales pesados. Para ello, diseñaron una investigación experimental a través de prueba de jarras con cuatro concentraciones (6,00, 9,00, 12,00 y 15,00 ml, con una solución madre de 20 ml de mucílago en 1 L de agua residual y dos repeticiones por cada concentración). Entre los resultados, obtuvieron un 97,47 % de remoción de cadmio en concentraciones de 15,00 ml con 0,0038 mg/L de Cd; (b) un 95,20 % de remoción de cadmio en concentraciones de 15,00 ml con 0,0072 mg/L de Cd; (c) un 96,38 % de remoción de manganeso en concentraciones de 15,00 ml con 0,25 mg/L de Mn; y (d) un 73,04 % de remoción de manganeso en concentraciones de 15,00 ml con 1,86 mg/L de Mn. Los autores concluyeron que el

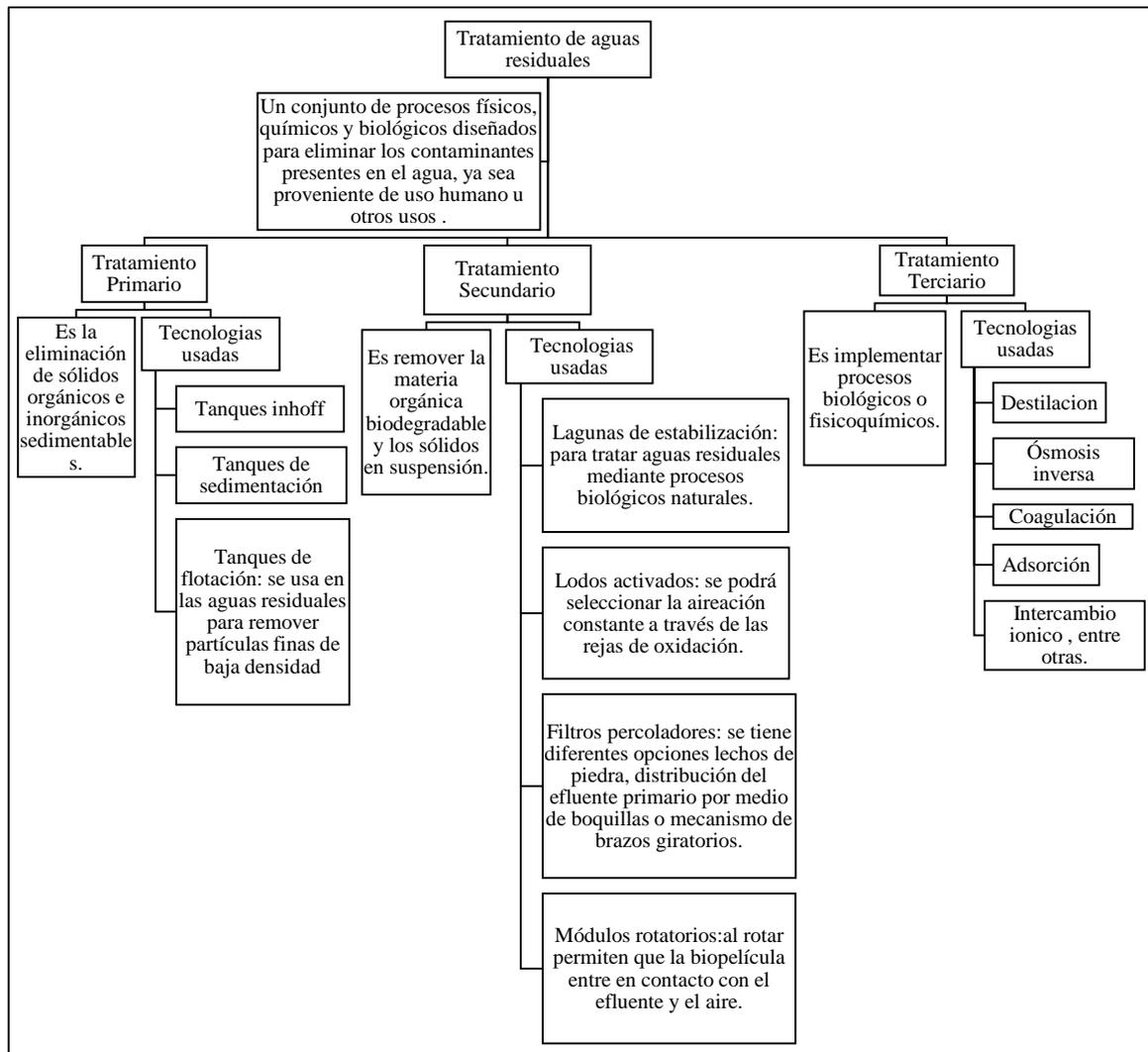
uso de la especie *Opuntia ficus*, previa filtración y adecuación, ha demostrado ser una excelente alternativa para la remoción de contaminantes, alcanzando un porcentaje de efectividad del 98,00 %.

Zapana y Pacheco (31), en la investigación “Evaluación de los parámetros en el proceso de clarificación de aguas de la subcuenca del río Yura en la zona caleta para la potabilización de aguas de la Jass – Vitor”, tuvieron como objetivo optimizar el funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), mediante el análisis de parámetros, en la zona la Caleta distrito de Vito. Para ello, diseñaron una investigación experimental a través de prueba de jarras con cuatro concentraciones (10 ppm, 20 ppm, 30 ppm y 40 ppm) a las que se agregó una concentración de la Sal  $Al_2(SO_4)_3$  y una concentración de cloruro férrico ( $FeCl_3$ ) partiendo desde 10 mg/L. Entre los resultados, destacaron los siguientes hallazgos: (a) con una dosis de 40 ppm, se obtuvo una turbidez residual de 0,60 NTU; (b) al utilizar una dosis de 10 ppm de cloruro férrico, alcanzaron una turbidez de 0,39 NTU; y (c) con una dosis de 10 ppm de sulfato de aluminio, la turbidez fue de 3,04 NTU. Los autores concluyeron que las dosis óptimas de sulfato de aluminio y cloruro férrico para la remoción de turbidez mostraron que el cloruro férrico resultó ser más eficiente.

## **2.2 BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1 Tratamiento de aguas residuales**

El tratamiento de aguas residuales representa un importante desafío ambiental en la actualidad. Por esta razón, es crucial desarrollar e implementar tecnologías que sean tanto eficientes como sostenibles para el manejo de estas aguas, con el fin de reducir los efectos negativos que surgen de su vertido incontrolado. A continuación, se describen los distintos métodos utilizados para el tratamiento de aguas residuales:



**Figura 2.** Proceso de tratamiento de aguas residuales.

*Nota.* Adaptado de Plantas de tratamiento de aguas residuales. Por Gerencia regional de salud (32).

## 2.2.2 Calidad de aguas residuales

La calidad de las aguas residuales es un aspecto crítico que afecta tanto la salud pública como el medio ambiente y, está estrechamente relacionado al uso que se pretenda realizar a este tipo de aguas. Por ejemplo, en el contexto de los distritos de riego Tula y Alfajayucan, se ha evaluado la calidad agronómica de estas aguas, revelando que, a pesar de su potencial para el riego agrícola, presentan desafíos significativos en términos de contaminantes (33). Estos contaminantes pueden incluir metales pesados y otros compuestos tóxicos que, si no se gestionan adecuadamente, pueden afectar la salud de los cultivos y, por ende, la seguridad alimentaria de la región.

Además, la regulación y el tratamiento de las aguas residuales, son fundamentales para mitigar su impacto negativo. Por ejemplo, en muchos países del mundo, se han implementado diversas normativas para asegurar que las descargas de aguas residuales cumplan con estándares específicos de calidad (33). Sin embargo, el cumplimiento de estas regulaciones varía entre las plantas de tratamiento, lo que subraya la necesidad de mejorar la infraestructura y los procesos de

tratamiento para garantizar que las aguas residuales tratadas sean seguras para su uso en la agricultura y no representen un riesgo para la salud pública y el medio ambiente (34).

En Perú, la calidad de aguas residuales se entiende como efluentes que resultan con características físicas y químicas por debajo de los límites máximos permisibles (LMP). El Ministerio del Ambiente, mediante Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, establece los LMP para efluentes de PTAR (Tabla 2).

**Tabla 2.**

*LMP para efluentes de PTAR*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>LMP</b>
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	Unidad	6,50-8,50
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

### **2.2.3 Normativas sobre vertidos y reúso de aguas residuales**

En Perú, la regulación de los vertidos y el reúso de aguas residuales está enmarcada por diversas normativas que buscan proteger el medio ambiente y la salud pública. La Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338) establece principios fundamentales para la gestión del agua, incluyendo la necesidad de un tratamiento adecuado de las aguas residuales antes de su vertido en cuerpos de agua o su reutilización (35). Esta ley enfatiza la importancia de garantizar que las aguas residuales tratadas cumplan con los estándares de calidad necesarios para su uso seguro, ya sea en actividades agrícolas, industriales o recreativas.

Además, el Reglamento de la citada Ley establece obligaciones específicas para las industrias y servicios que generan aguas residuales. Este reglamento es de cumplimiento obligatorio y detalla los procedimientos para el tratamiento y la disposición de estas aguas, asegurando que no representen un riesgo para los ecosistemas acuáticos ni para la salud de las personas. La normativa también promueve el reúso de aguas tratadas, incentivando prácticas sostenibles que contribuyan a la conservación de los recursos hídricos en el país (35).

#### **2.2.3.1 Investigaciones sobre uso en tratamiento de aguas residuales**

El agua cruda de los ríos Kadahokwa y Rwamamba, ubicados en el sector Tumba del distrito de Huye, en la provincia del sur de Ruanda, mostró una disminución notable de la turbidez,

alcanzando reducciones del 95,00 %, 99,00 % y 99,80 % para niveles de turbidez de 50, 250 y 450 NTU, respectivamente. Además, se observaron reducciones de color superiores al 90,00 % en las muestras analizadas (36).

En una planta a escala piloto en Malasia, se obtuvieron resultados similares con el agua cruda de un arroyo turbio. Al utilizar *M. oleifera* como coagulante, se lograron reducciones de turbidez que variaron entre 21 y 202 UNT, alcanzando valores finales entre 1.9 y 4.3 UNT. Estos resultados destacan la efectividad de la moringa en el tratamiento de aguas turbias (36).

## **2.2.4 Coagulación y floculación**

Hace referencia a las diferentes reacciones que acontecen al añadir un reactivo químico en agua generando productos insolubles. Así mismo la coagulación es un tratamiento muy efectivo, sin embargo, puede representar un gasto muy elevado cuando no esté bien ejecutado (34).

Cabe resaltar que la coagulación es un método universal debido a que elimina la mayor cantidad de sustancias de diferentes naturalezas y de peso a diferencia con otros métodos (34).

### **2.2.4.1 Mecanismos**

La coagulación-floculación es un proceso fundamental en el tratamiento de aguas, que permite la eliminación de partículas suspendidas y otros contaminantes. Este mecanismo se basa en la congregación de partículas en pequeñas masas llamadas flóculos, facilitando su posterior separación del agua (37). Durante la coagulación, se añaden sustancias químicas conocidas como coagulantes, que alteran la carga eléctrica de las partículas en suspensión, promoviendo su aglomeración. Este primer paso es crucial para preparar las partículas para el siguiente proceso de floculación, donde se forman flóculos más grandes que pueden ser fácilmente removidos del agua (37).

La efectividad de la coagulación-floculación depende de varios factores, incluyendo el tipo y la cantidad de coagulante utilizado, así como las condiciones del agua a tratar. Un ajuste adecuado de estos parámetros es esencial para optimizar el proceso y garantizar una clarificación eficiente del agua. Este tratamiento no solo es vital para la potabilización del agua, sino que también se aplica en el tratamiento de aguas residuales, contribuyendo a la protección del medio ambiente y la salud pública al reducir la carga contaminante de los efluentes antes de su vertido en cuerpos de agua o su reutilización (37).

### **2.2.4.2 Tipos**

Hay dos tipos de coagulación por adsorción y coagulación por barrido (34).

La coagulación por adsorción ocurre cuando el agua tiene una alta concentración de coloides. Al añadir un coagulante a esta agua turbia, los componentes solubles del coagulante son absorbidos por los coloides, formando flóculos de manera inmediata (34).

Por otro lado, la coagulación por barrido se presenta en situaciones donde la turbidez del agua es baja y la cantidad de partículas coloidales es mínima. En este caso, las partículas se atrapan al producirse una sobresaturación de precipitados de cloruro férrico o sulfato de aluminio (34).

#### **2.2.4.3 Factores:**

El tipo de coagulante y la cantidad requerida, aunque existe una cierta correlación entre la turbidez del agua bruta y la dosis de coagulante, requieren la realización de ensayos de prueba de jarras para determinar la cantidad exacta (38). Esto es fundamental para evitar sobredosificaciones que puedan perturbar la adsorción superficial. La precisión en la dosificación es clave para optimizar el proceso de coagulación-floculación y garantizar la efectividad en la eliminación de partículas y contaminantes del agua (38).

El pH del agua es crucial para cada coagulante, ya que existe un rango de pH en el cual se produce una buena floculación en un corto período de tiempo y con una dosis específica de coagulante. Es fundamental realizar el proceso dentro de este rango siempre que sea posible, para optimizar tanto los productos obtenidos, como los rendimientos del tratamiento. Mantener el pH adecuado no solo mejora la eficiencia de la coagulación-floculación, sino que también contribuye a la calidad del agua tratada (38).

El tiempo de mezcla y floculación, también conocido como periodo de floculación, se refiere al intervalo que transcurre desde la adición del coagulante hasta el final de la agitación. Durante este tiempo, la agitación se realiza a una velocidad que impide que las partículas floculadas se decanten. Este proceso es crucial para asegurar que las partículas se agrupen adecuadamente en flóculos, lo que facilita su posterior separación del agua. Un control adecuado del tiempo de floculación es esencial para optimizar la eficiencia del tratamiento de aguas y garantizar la calidad del agua tratada (38).

El estado del agua es fundamental, ya que la temperatura influye en el tiempo necesario para formar coágulos. A medida que la temperatura aumenta, el tiempo requerido para la formación de coágulos se reduce. Esto se debe a que temperaturas más altas pueden acelerar las reacciones químicas y mejorar la movilidad de las partículas, facilitando así el proceso de coagulación (38). Por lo tanto, es importante considerar la temperatura del agua al optimizar los procesos de tratamiento (38).

En el contexto de los factores que influyen en la coagulación y floculación, la presencia de núcleos (sólidos en suspensión) y la agitación son elementos clave. La presencia de núcleos actúa como puntos de anclaje para las partículas en suspensión, facilitando su aglomeración en flóculos (38). Estos núcleos permiten que las partículas colisionen y se adhieran entre sí, lo que es esencial para la formación efectiva de flóculos (38).

Por otro lado, la agitación juega un papel crucial en este proceso. Una agitación adecuada asegura que los coagulantes se distribuyan uniformemente en el agua y que las partículas tengan la

oportunidad de interactuar (38). Sin embargo, es importante que la velocidad de agitación sea la correcta; una agitación demasiado intensa puede romper los flóculos recién formados, mientras que una agitación insuficiente puede no permitir la formación adecuada de flóculos. Por lo tanto, tanto la presencia de núcleos como el control de la agitación son factores determinantes para optimizar la coagulación y floculación en el tratamiento de aguas (38).

### 2.2.5 Floculación

La floculación se realiza después del proceso de coagulación y consiste en agitar la mezcla coagulada para promover el crecimiento y la unión de los flóculos recién formados. Este procedimiento incrementa tanto el tamaño como el peso de los flóculos, lo que facilita su sedimentación (34).

Durante la floculación, se produce un fenómeno dentro del líquido en el que se forman puentes químicos entre las moléculas, creando una red tridimensional y porosa de coágulos (34). Esta estructura permite que los flóculos se mantengan unidos y aumenten su eficiencia en la separación de partículas, lo que contribuye a la calidad del agua tratada. La adecuada gestión de la floculación es esencial para optimizar los procesos de tratamiento de aguas y garantizar resultados efectivos. Es el proceso después de la coagulación, que mediante la agitación de la masa coagulada incrementa el crecimiento y aglomeración de flóculos recién formados aumentando el tamaño y peso y puedan sedimentar con facilidad (34).

### 2.2.6 Tipos de floculación

Existen dos tipos de floculación (pericinética y ortocinética).

- **Floculación pericinética:** Este tipo de floculación se genera a partir del movimiento natural de las moléculas de agua, inducido por la energía térmica. Este es conocido como movimiento browniano y permite que las partículas en suspensión colisionen y se aglomeren (39).
- **Floculación ortocinética:** Su principio fundamental se basa en las colisiones de las partículas que son provocadas por el movimiento del agua. Este movimiento es inducido por una fuerza externa mecánica o hidráulica a la masa de agua (39).

Una vez que se han formado los flóculos, es esencial llevar a cabo la aglomeración de los microflóculos mediante agitación mecánica. Para que este proceso sea efectivo, primero debe realizarse la floculación pericinética, seguida de la floculación ortocinética. La combinación de ambos tipos de floculación optimiza la formación y sedimentación de los flóculos, mejorando así la eficiencia del tratamiento del agua (39).

## 2.2.7 Moringa

La *Moringa oleifera* (familia Moringaceae), es originaria de la India y Bangladesh. En la década de 1920, esta planta fue introducida en América Central, inicialmente como planta ornamental y para la formación de cercas vivas. Actualmente, se cultiva en África, América Latina, Asia y en la mayoría de los países tropicales (40). El marango se ha diseminado ampliamente por diversas regiones del planeta, convirtiéndose en una especie valiosa tanto por sus propiedades nutricionales como por su versatilidad en el uso agrícola (40).

El árbol de moringa conocido como marango, presenta un alto contenido de proteínas en su tallo, ramas y hojas. Sus flores y frutos son ricos en vitaminas A, B y C, así como en proteínas. Las semillas del marango contienen entre un 30,00 % y un 42,00 % de aceite, mientras que su pulpa presenta un impresionante 60,00 % de proteína (41). Además, se ha observado que el residuo obtenido tras la extracción de aceite, tiene un alto contenido proteico que oscila entre el 26,50 % y el 32,00 %. Debido a estas propiedades, este residuo se utiliza como floculante en el proceso de clarificación del agua (41).

### 2.2.7.1 Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica de la moringa es conforme se muestra en la Tabla 2 (42):

**Tabla 3.**

*Clasificación taxonómica de la Moringa oleifera*

Clasificación Taxonómica	
Familia	Moringaceas
Origen	Capparidales
Clase	Magnoleopsida
Genero	Moringa
Especie	Oleifera

### 2.2.7.2 Composición química y principios activos de Moringa oleifera

Las hojas de *Moringa oleifera* poseen una notable actividad inmunomoduladora, lo que impacta positivamente en el sistema inmunológico. Estas hojas contienen compuestos químicos, como flavonoides, entre los que destacan la quercetina y el kaempferol, que influyen en la capacidad de los neutrófilos para responder adecuadamente al sistema inmune (43).

Además, las sustancias bioactivas presentes en las hojas, como alcaloides, saponinas, taninos, terpenoides, glucósidos, polifenoles, flavonoides y ácidos fenólicos, contribuyen al funcionamiento óptimo del sistema inmunológico. En particular, los taninos son conocidos por aumentar la producción de glóbulos blancos y al mismo tiempo, reducir las proteínas inflamatorias.

Esto sugiere que el consumo de hojas de *Moringa oleifera* puede ser beneficioso para fortalecer las defensas del organismo y mejorar la respuesta inmune (43).

Asimismo, las hojas de *M. oleifera* son ricas en sustancias bioactivas como polifenoles y flavonoides, que son los principales compuestos responsables de su actividad antioxidante y sus propiedades anticancerígenas. Además, el aceite de Moringa presenta un efecto coagulante, lo que contribuye a acelerar el proceso de cicatrización de heridas. Estas propiedades hacen de la moringa un recurso valioso para la salud y el bienestar (44).

### **2.2.7.3 Mecanismo de coagulación por proteínas catiónicas**

Numerosos estudios sobre *M. oleifera* han demostrado el mecanismo de acción de sus proteínas coagulantes. Un ejemplo destacado es la proteína MOC-SC-PC (*Moringa oleifera* Coagulant-NaOH Solution-Purified Coagulant), la cual actúa formando una red que atrapa la materia orgánica mediante la unión de iones bivalentes (37). Este mecanismo es fundamental para mejorar la eficacia de la clarificación del agua y resalta el potencial de la moringa en aplicaciones de tratamiento de aguas (37).

## **2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS**

### **2.3.1 Oxígeno disuelto**

La concentración de oxígeno es un indicador clave para diagnosticar la cantidad y calidad del cauce, así como para evaluar la diversidad y salud de las distintas especies de fauna y flora presentes en el ecosistema (25).

### **2.3.2 Sedimentación**

La sedimentación es el proceso mediante el cual se eliminan las partículas en suspensión debido a la acción de la gravedad, donde estas partículas tienen una densidad mayor que la del agua. Es relevante destacar que la sedimentación es un fenómeno físico y es una de las operaciones unitarias más comunes en el tratamiento de agua para lograr su clarificación. Como resultado de este proceso, se obtiene un líquido clarificado y una suspensión más concentrada de las partículas que han sedimentado (45).

### **2.3.3 Remoción**

Al obtener los resultados de la cuantificación de coliformes fecales y la determinación de la DBO5, se procede a calcular el porcentaje de remoción utilizando la siguiente fórmula (46):

$$\% \text{ Remoción} = \left( \frac{C_{\text{afluente}} - C_{\text{efluente}}}{C} \right) \times 100$$

Donde:

C. representa la concentración del parámetro.

#### **2.3.4 Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

La DQO se refiere a la cantidad de materia orgánica e inorgánica que puede ser oxidada por un agente oxidante. Este parámetro permite calcular el oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica presente en el agua. La medición de este parámetro es fundamental para evaluar el nivel de contaminación del agua (47).

#### **2.3.5 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

El proceso experimental integra la medición del nivel de oxígeno necesario para que los microorganismos degraden la materia orgánica presente en el agua. Para determinar la cantidad de oxígeno requerida, es necesario incubar el medio en condiciones de oscuridad durante un tiempo específico. El resultado del ensayo de DBO5 revela la cantidad total de oxígeno consumido por los organismos presentes en la muestra (47).

#### **2.3.6 Sólidos Suspendidos**

Los sólidos suspendidos, también conocidos como sólidos no disueltos, están compuestos por partículas que pueden ser sedimentables o coloidales, y son responsables de la turbidez en el agua. Su eliminación puede llevarse a cabo de diversas maneras, siendo el filtrado una de las más prácticas, aunque debe ser validada experimentalmente primero. El análisis de los sólidos suspendidos es crucial para el control de los tratamientos biológicos y físicos de las aguas residuales (25).

#### **2.3.7 Turbidez**

La turbidez se define como el impedimento que presenta el agua para permitir el paso de la luz, debido a la presencia de materiales suspendidos y coloidales, tales como materia orgánica e inorgánica, sedimentos y otros organismos (48).

#### **2.3.8 Escherichia coli**

Las bacterias gram negativas del tipo coliformes fecales, como *E. coli*, se encuentran generalmente en los intestinos de animales y seres humanos. Su tamaño es tan diminuto que no pueden ser observadas directamente al microscopio, pero su crecimiento puede evidenciarse en colonias a través de un medio de cultivo como el agar. Estas bacterias pueden estar presentes en aguas residuales que no han recibido un tratamiento adecuado; sin embargo, no causan enfermedades, ya que se desarrollan de manera natural en el tracto gastrointestinal de humanos y animales. No

obstante, si *E. coli* ingresa al cuerpo en lugares inapropiados, como los riñones, hígado o sistema nervioso, puede provocar síntomas como náuseas, vómitos, diarrea y fiebre (49).

### **2.3.9 Coliformes Termotolerantes**

Los coliformes pertenecen a un subgrupo específico que tiene como finalidad fermentar la lactosa a una temperatura de 44,50 °C. Aproximadamente el 95,00 % de estos coliformes se encuentran en las heces fecales, siendo *E. coli* y algunas especies de *Klebsiella* los principales representantes. Es importante destacar que los coliformes fecales están mayormente presentes en las heces de animales de sangre caliente. Sin embargo, una de las desventajas de utilizar coliformes como indicadores es que algunos de ellos pueden multiplicarse en el agua (25).

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA**

### **3.1 MÉTODOS Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1.1 Métodos de la investigación**

La investigación realizada tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de *M. oleifera* en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), enfocándose en la remoción de turbidez en el efluente de las pozas sépticas vertidas al mar en el distrito de Punta de Bombón, provincia de Islay. En este contexto, fue fundamental definir los procedimientos, equipos técnicos y materiales necesarios para lograr los objetivos del estudio.

##### **3.1.1.1 Método**

El método general utilizado es el hipotético-deductivo, que se fundamenta en la evaluación de la eficiencia de *M. oleifera* en la remoción de turbidez y cargas microbiológicas en la planta de tratamiento de aguas residuales de Punta de Bombón, Arequipa, en 2024.

##### **3.1.2 Tipo de investigación**

Según Sampieri, la investigación es de tipo aplicada, orientada a resolver problemas prácticos y proporcionar soluciones en función de los objetivos del estudio (50). En este contexto, se propone utilizar el coagulante natural *M. oleifera* para la remoción de turbidez y cargas orgánicas en la planta de tratamiento de aguas domésticas de Punta de Bombón.

##### **3.1.3 Nivel de la investigación**

La investigación fue de tipo explicativo. En este sentido, Supo señala que es posible demostrar relaciones de causa y efecto a través de la experimentación, que requiere manipulación y control (51). En este nivel, la hipótesis racional se presenta como un razonamiento argumentativo que sustenta la investigación, a diferencia del nivel relacional, donde las hipótesis son empíricas (51). Por lo tanto, el estudio evidenció la eficiencia de *M. oleifera* Lam. en la remoción de turbidez y cargas microbiológicas.

### 3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Se aplicó un diseño experimental, en el cual, según Sampieri, se puede manipular intencionalmente la variable independiente (50). En este caso, la variable independiente fue *M. oleifera*, y su efecto se observó sobre las variables dependientes que fueron la turbidez y la carga microbiológica. El objetivo fue analizar los resultados en cuanto al grado de eficiencia en la remoción de contaminantes en las aguas residuales domésticas de la planta de tratamiento de Punta de Bombón. Este proceso se llevó a cabo bajo el control del investigador, considerando los parámetros esenciales previamente establecidos.

Según su finalidad, se trató de una investigación aplicada, ya que buscó utilizar los conocimientos adquiridos para solucionar un problema específico: la remoción de contaminantes en aguas residuales.

En cuanto a su técnica, fue una investigación experimental, puesto que se manipuló intencionalmente la variable independiente (*M. oleifera*) para analizar sus efectos sobre la variable dependiente (eficiencia de remoción de contaminantes).

Respecto a su enfoque, fue cuantitativo, dado que se recolectaron datos numéricos para probar las hipótesis mediante análisis estadísticos.

Específicamente, se utilizó un Diseño Bloques Completamente al Azar (DCA) (Tabla 3). La dosis fue experimentada en cinco concentraciones específicas (10 mg de Moringa pulverizada + 100 ml de agua residual (100 mg/L), 25 mg de Moringa pulverizada + 100 ml de agua residual (250 mg/L), 50 mg de Moringa pulverizada + 100 ml de agua residual (500 mg/L), 75 mg de Moringa pulverizada + 100 ml de agua residual (750 mg/L) y 100 mg de Moringa pulverizada + 100 ml de agua residual (1000 mg/L)). La elección de estas concentraciones fue basada en función a la característica del agua residual de la PTAR de Punta Bombón y conforme a algunos estudios previos que analizan concentraciones con factor de 5 y 10.

**Tabla 4.**

*Tratamientos*

Dosis (mg/L)	Revolución (rpm)	Condición	Tiempo de contacto (min)
10	200	Sin cáscara	1
10	40	Sin cáscara	1
10	0	Sin cáscara	1
10	200	Con cáscara	20
10	40	Con cáscara	20
10	0	Con cáscara	20
10	200	Combinado	30
10	40	Combinado	30

<b>Dosis (mg/L)</b>	<b>Revolución (rpm)</b>	<b>Condición</b>	<b>Tiempo de contacto (min)</b>
10	0	Combinado	30
25	200	Sin cáscara	1
25	40	Sin cáscara	1
25	0	Sin cáscara	1
25	200	Con cáscara	20
25	40	Con cáscara	20
25	0	Con cáscara	20
25	200	Combinado	30
25	40	Combinado	30
25	0	Combinado	30
50	200	Sin cáscara	1
50	40	Sin cáscara	1
50	0	Sin cáscara	1
50	200	Con cáscara	20
50	40	Con cáscara	20
50	0	Con cáscara	20
50	200	Combinado	30
50	40	Combinado	30
50	0	Combinado	30
75	200	Sin cáscara	1
75	40	Sin cáscara	1
75	0	Sin cáscara	1
75	200	Con cáscara	20
75	40	Con cáscara	20
75	0	Con cáscara	20
75	200	Combinado	30
75	40	Combinado	30
75	0	Combinado	30
100	200	Sin cáscara	1
100	40	Sin cáscara	1
100	0	Sin cáscara	1
100	200	Con cáscara	20
100	40	Con cáscara	20
100	0	Con cáscara	20
100	200	Combinado	30
100	40	Combinado	30
100	0	Combinado	30

### 3.3 UNIDADES EXPERIMENTALES

La presente investigación tuvo 135 unidades experimentales, es decir, cada tratamiento (N = 45) con tres repeticiones. La cantidad de repeticiones fue establecida, para evitar sesgos en la investigación y con el propósito de reducir o eliminar el efecto del error experimental.

### 3.4 DISEÑO ESTADÍSTICO DEL EXPERIMENTO

En el presente estudio se utilizó el Diseño Bloques Completamente al Azar (DBCA), con tres factores (dosis, condición y tiempo de contacto), en el cual se evaluó la variable independiente *M. oleifera*, que varió en los diferentes tratamientos ensayados, junto con sus respectivas repeticiones.

La variable de respuesta fue analizada mediante pruebas de jarras estandarizadas, donde se aplicaron diferentes dosis de moringa a muestras de 1 litro del efluente de la PTAR. Posteriormente, se realizó una agitación rápida (100 rpm durante 1 minuto), seguida de una agitación lenta (40 rpm durante 20 minutos) y finalmente un período de sedimentación de 30 minutos. La turbidez inicial y final se midió mediante nefelometría.

Como paso previo, se llevó a cabo la caracterización fisicoquímica y microbiológica del efluente crudo de la PTAR para establecer las condiciones iniciales. Además, se incluyó un tratamiento control que simuló las condiciones actuales de operación de la Planta, sin la adición de moringa, para poder comparar la eficiencia del coagulante natural con el proceso existente.

### 3.5 POBLACIÓN Y MUESTRA

#### 3.5.1 Población

La población en este estudio estuvo constituida por el efluente de la PTAR de Punta de Bombón, Arequipa. Se consideró como población el volumen total de aguas residuales que ingresan diariamente a la PTAR y que son sometidas al proceso de tratamiento antes de su vertimiento al cuerpo receptor (mar).

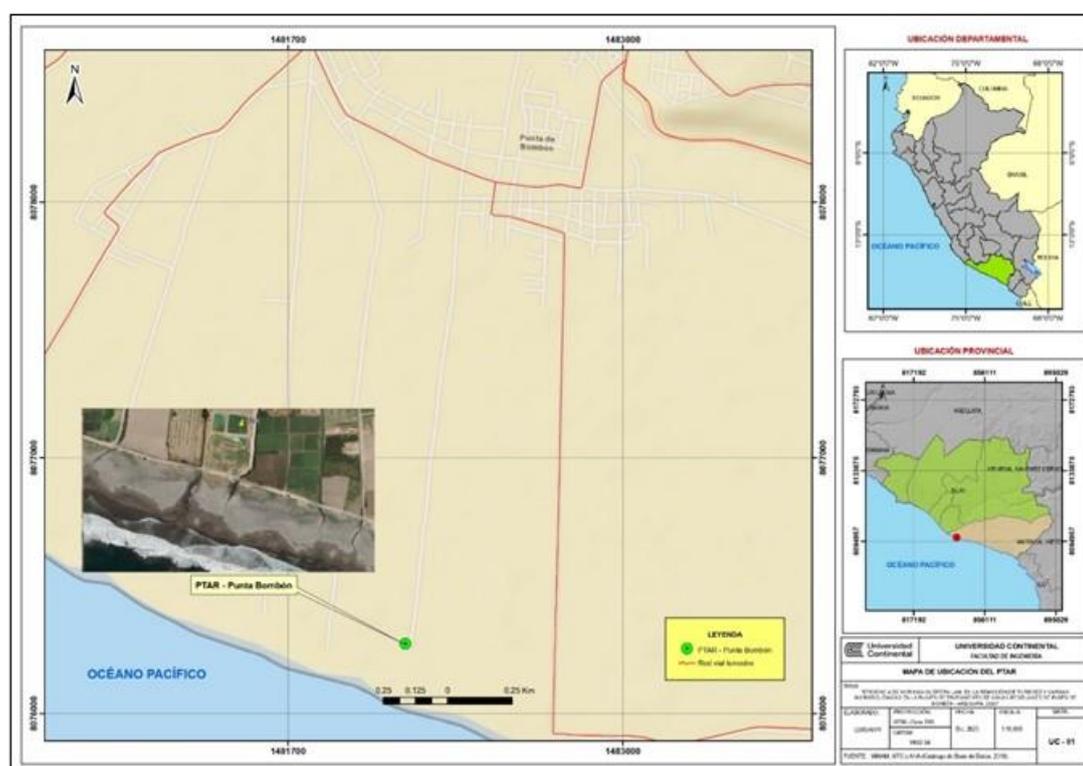
Según datos de la Municipalidad Distrital de Punta de Bombón, la PTAR recibe aproximadamente 1 500 m<sup>3</sup>/día de aguas residuales domésticas provenientes de la red de alcantarillado del distrito. Este caudal representó la población de estudio, la cual fue de naturaleza continua y variable en el tiempo.

### 3.5.1.1 Ubicación del efluente PTAR – Punta de Bombón

**Tabla 5.**

*Coordenadas del área de estudio*

Coordenadas del área de estudio (UTM)	
Norte	8 097 579,00
Este	202 502,00



**Figura 3.** Mapa de ubicación de PTAR.

### 3.5.2 Muestra

La muestra estuvo compuesta por 135 L de agua residual recolectada en tres turnos de 8 horas a lo largo de un ciclo de 24 horas, sumando un total de 405 L. Esta agua se extrajo en tres puntos: el punto 1, ubicado en el ingreso del agua a la PTAR (202 420,31 m E; 8 097 566,70 m S); el punto 2, ubicado entre las lagunas de oxidación 1 y 2 (202 453,32 m E; 8 097 562,77 m S); y el punto 3, en la salida del agua de la PTAR de Punta de Bombón (202 501,09 m E; 8 097 537,72 m S).

Cada tratamiento se realizó con tres repeticiones, y una unidad experimental consistió en una muestra de 1 litro de agua residual. Por lo tanto, el volumen total de muestra requerido fue el resultado del producto de tratamientos por turno de muestreo por repeticiones, lo que da como resultado  $45 \times 3 \times 3 = 405$  L.

El muestreo compuesto realizado en tres turnos por día, permitió capturar la variabilidad temporal de las características del efluente, asegurando que la muestra fuera representativa de la calidad promedio del agua residual tratada en la PTAR durante un ciclo diario completo.

Además, se tomó una muestra adicional de 1 L para la caracterización inicial del efluente crudo, que incluyó análisis fisicoquímicos y microbiológicos antes de los tratamientos con Moringa. Esta muestra sirvió como línea base para comparar la eficiencia de remoción de los tratamientos. Así, el volumen total de agua residual utilizado en esta investigación fue de 406 L.

Fue importante seguir los protocolos estandarizados de muestreo, preservación y transporte de muestras de aguas residuales, como los establecidos en los Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales de APHA/AWWA/WEF y el Protocolo de Monitoreo de Efluentes de PTAR Domésticas del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú, para garantizar la calidad y confiabilidad de los resultados.

Con este diseño de muestreo, se obtuvo una muestra representativa y suficiente para evaluar la eficiencia de la Moringa como coagulante en el tratamiento del efluente de la PTAR de Punta de Bombón, lo que permitió obtener resultados confiables y extrapolables a la población de estudio.

### 3.6 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

#### 3.6.1 Técnicas

Se empleó la técnica experimental debido a que se desarrolló el experimento a escala de laboratorio, lo cual permitió obtener información sobre la muestra de agua residual doméstica al entrar en contacto con el coagulante-floculante. Esta técnica respondió a las preguntas formuladas en la presente tesis. El porcentaje de remoción de turbidez se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de remoción} = \left( \frac{\text{Turbidez inicial} - \text{Turbidez final}}{\text{Turbidez inicial}} \right) \times 100$$

#### 3.6.2 Instrumentos

Para la recolección de datos se utilizaron fichas de observación, en las que se detallaron los datos obtenidos del agua de la muestra de agua residual al entrar en contacto con los coagulantes y floculantes. Se tuvieron en cuenta los parámetros a evaluar: turbidez, temperatura, pH y Sólidos Suspendidos Totales (SST), los cuales fueron medidos mediante la prueba de jarras.

### 3.6.3 Equipos, materiales y reactivos

#### 3.6.3.1 Materiales de campo

**Tabla 6.**

*Materiales de campo*

<b>Materiales de campo</b>	
Fichas de registro de camp	Etiquetas
Plan de monitoreo	Cinta adhesiva
Guantes de látex	Cooler
Mascarilla descartable	Hielo o ice pack
Mandil o bata	Reloj
Zapatos de seguridad	Cámara fotográfica
Lentes de seguridad	Plumón indeleble
Casco	Lapiceros

#### 3.6.3.2 Material biológico y reactivo

**Tabla 7.**

*Material biológico y reactivo*

<b>Material biológico y reactivo</b>
Semilla de <i>Moringa oleifera</i>
Agua destilada

#### 3.6.3.3 Materiales y equipos de laboratorio

**Tabla 8.**

*Materiales y equipos de laboratorio*

<b>Materiales y equipos de laboratorio</b>	
Matraz	Embudos de vidrio cónico
Soporte metálico	Vasos de precipitados
Mortero	Probeta graduada de 1 Litro
Tamiz tiler	Frasco de vidrio
Pipeta	Balanza analítica
Cuchillo	Turbidímetro
Mufla	GPS
Equipo de prueba de jarras	
Multiparametro	

### 3.6.3.4 Equipos y materiales de gabinete

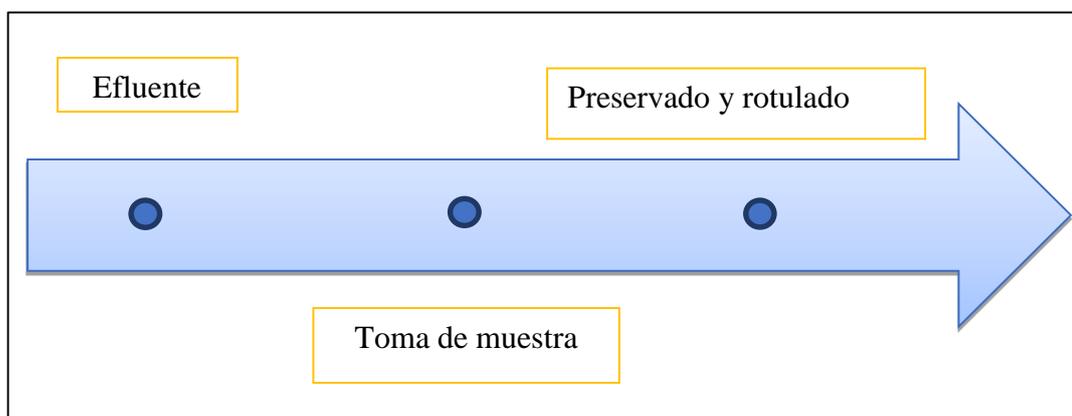
**Tabla 9.**

*Equipos y materiales de gabinete*

Equipos y materiales de gabinete	
Laptop	Cadena de custodia
Impresora	USB
Papel bond A4	Útiles de escritorio

### 3.6.4 Análisis de la muestra de agua residual y obtención del coagulante

Para la toma de muestra se siguieron los siguientes pasos:



**Figura 4.** Obtención y análisis de la muestra.

#### 3.6.4.1 Toma de muestras de agua residual

Las muestras de agua residual fueron recolectadas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Punta de Bombón. La recolección se realizó siguiendo la metodología establecida en el Protocolo de Monitoreo de Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, aprobado por la Resolución Ministerial N°273-2013-VIVIENDA-VMCS-OMA.



Figura 5. Toma de muestras de agua residual.

### 3.6.5 Caracterización de las muestras de efluentes provenientes de PTAR de Punta de Bombón

Las muestras de efluentes fueron tomadas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) y caracterizadas en un laboratorio acreditado por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) para el análisis de los siguientes parámetros, de acuerdo con lo establecido en la Resolución Ministerial N° 273-2013-VIVIENDA-VMCS-OMA.

**Tabla 10.**

*Parámetros analizados en la investigación*

Parámetros	Método	Unidad de medida
DBO	Winkler modificada	mg/L
DQO	Fotometría	mg/L
Turbidez	NTU	mg/L
Coliformes fecales	NMP	NMP/100 L
Ph	Potenciometría	Rango de pH
Temperatura	Método convencional	°C
SST	Método gravimétrico	mg/L

La preservación de muestras se realizó conforme los procedimientos acreditados por el laboratorio ALAB, y la conservación se realizó con hielo seco (ice pack) a una temperatura menor a 4,00 °C.

### **Caracterización de los parámetros físico químicos y biológicos de las plantas de tratamiento de aguas residuales**

Para este objetivo se procedió a realizar los análisis en el laboratorio acreditado ALAB, un laboratorio acreditado por INACAL.

#### **Análisis de sólidos suspendidos totales**

Para realizar el análisis de este parámetro, se llevó a cabo mediante un medidor de sólidos disueltos proporcionado por el laboratorio ALAB. se realizaron un total de 3 análisis de las muestras de agua por cada punto.

#### **Análisis de turbidez**

Para evaluar la turbidez, se utilizó el método nefelométrico, que es un procedimiento diseñado para medir la turbidez en una solución. Este método implica colocar un tubo con la muestra de agua en un equipo específico que mide la turbidez a través de la nefelometría.

#### **Análisis de coliformes totales**

Para determinar este parámetro, se emplearon placas Petrifilm. Según Torres, el uso de estas placas para analizar el agua, con un tiempo de incubación de 48 horas a 35°C, es una técnica eficaz para contar los coliformes totales.

#### **Análisis de DQO**

El análisis de la DQO se llevó a cabo enviando las muestras de agua a un laboratorio externo, que proporcionó los resultados después de un período de 5 días.

#### **Análisis de DBO<sub>5</sub>**

De manera similar, el análisis de DBO también requirió el envío de las muestras de agua a un laboratorio contratado, que entregó los resultados en un plazo de 5 días.

### 3.6.6 Flujograma del procedimiento experimental

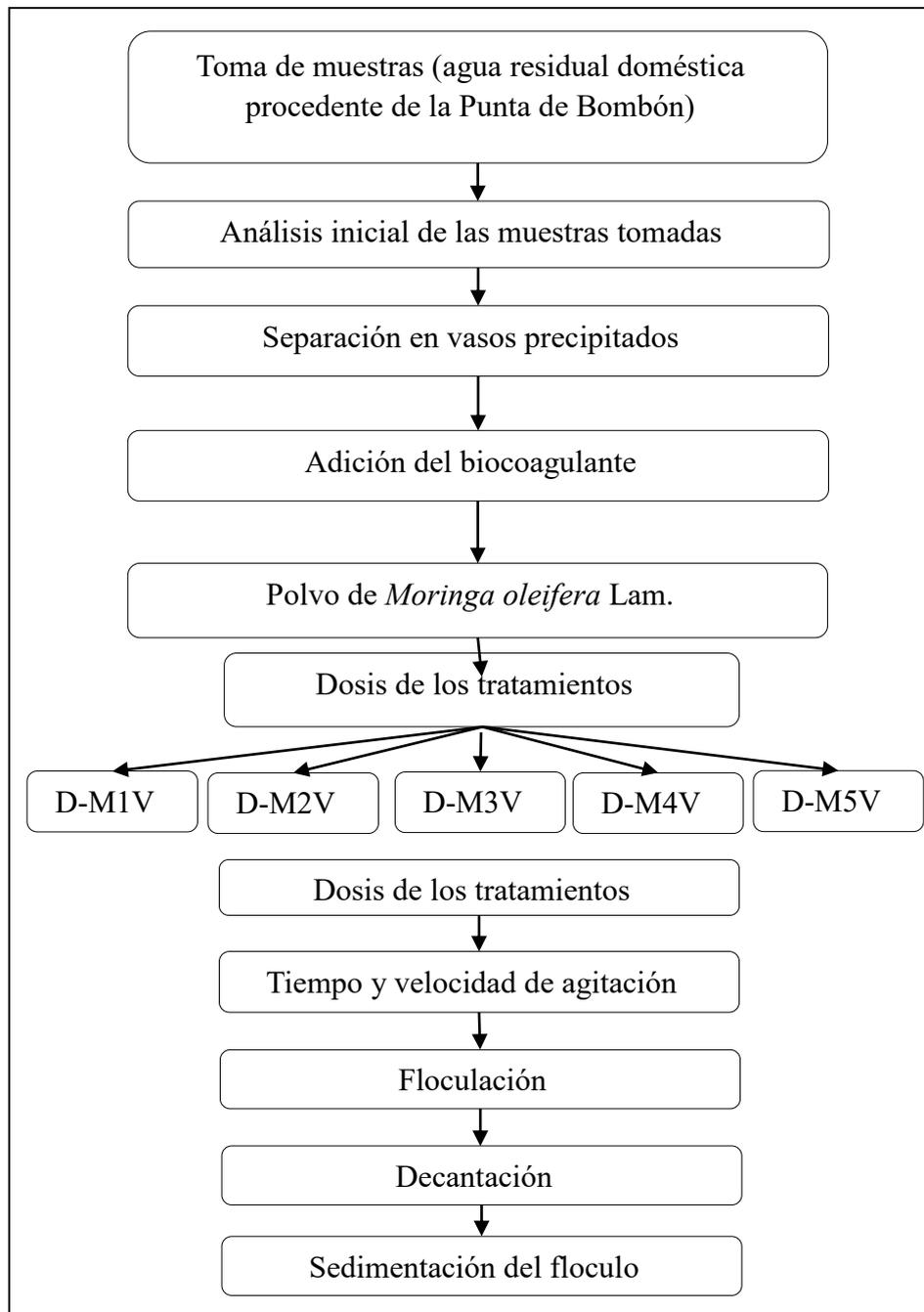


Figura 6. Procedimiento Experimental.

#### Etapa de experimentación

##### Acondicionamiento de la *Moringa oleifera*

Una vez que se obtuvieron las semillas de moringa, se procedió a quitar las cáscaras de forma manual. Tras pelar las semillas, se pesaron aproximadamente 40,00 g, las cuales se dejaron secar durante 24 horas en una mufla. Posteriormente, se trituraron en un mortero y se tamizó el polvo utilizando un tamiz número 20, obteniendo un peso de 28,60 gramos.



**Figura 7.** Acondicionamientos de las semillas de moringa

### **Etapa del laboratorio**

#### **Protocolo de análisis de laboratorio para las muestras iniciales**

Se llevó a cabo el análisis de las muestras, las cuales se conservaron bajo las condiciones adecuadas (temperatura < 4,00 °C). Para ello, se utilizó envases específicos que garantizarán la preservación de la integridad de las sustancias a examinar. Asimismo, fue crucial mantener un registro detallado del número de recipientes por muestra, asegurándose de que estuvieran debidamente etiquetados para evitar errores, incluyendo la fecha y la hora de la toma de muestra.

Una vez que las muestras de agua llegaron al laboratorio, se realizaron los análisis correspondientes para cada parámetro, utilizando los instrumentos y equipos adecuados, y siguiendo las medidas de bioseguridad establecidas.

#### **Preparación de la solución madre**

Una vez obtenido el polvo de semilla de Moringa, se prepararon las siguientes soluciones: a la solución del coagulante natural puro al 100 %, se le asignó el código MO1, MO2, MO3, MO4 y MO5. Se requirieron 10,00, 25,00, 50,00, 75,00 y 100 mg de harina de semillas de moringa según el tratamiento establecido en esta investigación, los que se diluyeron en 100 ml de agua destilada utilizando un vaso precipitado de 500 ml. Estas soluciones se aplicaron en dos velocidades de agitación (40 y 200 ppm) en el ensayo de test de jarras para determinar la concentración óptima para la remoción de la turbidez.

#### **Prueba de jarras**

Para la prueba de jarras, se adaptó la metodología propuesta por Ernesto de Jesús Acevedo Picón en 2019. Se establecieron tanto la velocidad como el tiempo para aplicar diferentes dosis de Moringa a muestras de 1 litro de agua residual de la PTAR. El procedimiento incluyó una agitación rápida (200 rpm durante 1 minuto), seguida de una agitación lenta (40 rpm durante 20 minutos) y finalmente, un período de sedimentación (0 rpm durante 30 minutos).

Se utilizó un equipo con capacidad para cuatro jarras, donde se colocaron las muestras de aguas residuales de la PTAR de Punta de Bombón. Se evaluó el comportamiento de las soluciones con distintas dosis. Una vez que el equipo se puso en funcionamiento, se inició la homogenización de la muestra de agua residual a tratar. Luego, se programó la mezcla rápida y se añadió la dosis

correspondiente del coagulante a cada jarra. Finalmente, se realizó una mezcla lenta y el equipo se apagó automáticamente.

Para asegurar un mayor control durante la lectura de los resultados, se decidió realizar el tratamiento en triplicado.

### **3.7 PROCESAMIENTO DE DATOS**

Se creó una base de datos en Excel y otra en Word para analizar, interpretar y organizar los resultados en tablas y figuras estadísticas, los cuales explicaron los objetivos del presente estudio.

### **3.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS**

Para conocer las diferencias estadísticas entre los tratamientos, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) en datos que siguen distribución normal y Prueba de Wilcoxon en datos no paramétricos, con un nivel de significancia del 5% ( $\alpha = 0.05$ ); utilizando el programa estadístico SPSS. Asimismo, se compararon las medias, en el análisis post hoc, mediante la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Prueba de hipótesis

#### Pruebas de normalidad

Se realizó la prueba de normalidad de datos, con el estadístico Kolmogorov-Smirnov, con un nivel de significancia de 5,00 % ( $\alpha = 0,05$ ) y con el contraste de las siguientes hipótesis:

Hipótesis nula ( $H_0$ ): Los datos siguen una distribución normal

Hipótesis alterna ( $H_a$ ): Los datos no siguen una distribución normal

Regla de decisión:

Si,  $p\text{-valor} = \text{Sig.} \leq 0.05$ ; se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_a$ .

Si,  $p\text{-valor} = \text{Sig.} > 0.05$ ; se acepta  $H_0$  y se rechaza  $H_a$ .

**Tabla 11.**

*Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra*

		Remoción de turbidez (%)
N		135
Parámetros normales	Media	56,2421
	Desviación típica	17,84120
Diferencias más extremas	Absoluta	,156
	Positiva	,083
	Negativa	-,156
Z de Kolmogorov-Smirnov		1,811
Sig. asintót. (bilateral)		,003

Según la Tabla 11, los resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov muestran que, los valores de significancia son todos menores al 5,00 %. Esto indica que hubo suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula, sugiriendo que la distribución de la remoción de turbidez difiere significativamente de la distribución teórica esperada.

Dado que los datos de las variables estudiadas no presentan una distribución normal, se utiliza el uso de pruebas no paramétricas para el análisis estadístico de las variables mencionadas, dado que estas pruebas no requieren el supuesto de normalidad de los datos, además de que permitirá una mejor interpretación de los resultados.

Prueba de hipótesis general de la investigación

Ho: La aplicación de *M. oleifera* como coagulante natural no mejora significativamente la remoción de turbidez respecto al proceso actual de la PTAR.

Ha: La aplicación de *M. oleifera* como coagulante natural será estadísticamente superior en remoción de turbidez comparada con la eficiencia actual de la PTAR de Punta de Bombón.

## 4.2 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En el presente estudio se evaluó la eficiencia de *M. oleifera* Lam. como coagulante natural para la remoción de turbidez en aguas residuales. Para ello, se utilizaron diversas pruebas estadísticas para evaluar los resultados obtenidos.

### 4.2.1 Determinar el porcentaje de remoción de turbidez del efluente actual de la PTAR de Punta de Bombón

La Tabla 12 muestra que en el análisis de varianza (ANOVA), el p-valor es menor que 0,05, lo que indica que se puede rechazar la hipótesis nula. Esto significa que hubo evidencia suficiente para concluir que hay diferencias significativas en la remoción de turbidez entre al menos algunos de los grupos (tramos 1-2 (primera laguna de oxidación), 2-3 (segunda laguna) y tramo 1-3 (ingreso y salida de agua de la PTAR)).

**Tabla 12.**

*Análisis de varianza de la remoción actual de turbidez*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Tramos (1-2, 2-3 y 1-3)	119696,62	2	59848,31	8,46E+31	,00
Error	,00	132	,00		
<b>Total</b>	<b>119696,62</b>	<b>134</b>			

Los resultados de eficiencia de remoción de turbidez en la PTAR muestran valores negativos en todos los tramos analizados, lo que indica un aumento en la turbidez en lugar de una remoción efectiva (Tabla 13). En el tramo 1-2, que corresponde a los puntos de muestreo antes y después de la salida de la primera laguna de oxidación, el valor de -63,64 sugiere que la turbidez ha aumentado significativamente, lo que podría indicar que el tratamiento en esta etapa no está funcionando adecuadamente. En el tramo 2-3, que se refiere al agua que sale de la primera laguna y entra en la segunda, el valor de -3,97 también indica un incremento en la turbidez, aunque menos pronunciado, lo que sugiere que la segunda laguna no está logrando reducir la turbidez como se esperaba. Finalmente, el tramo 1-3, que abarca el periodo desde el ingreso de agua residual a la primera laguna hasta la salida de la segunda, presenta un valor de -70,13, lo que refuerza la idea de que hay un problema significativo en el proceso de tratamiento, ya que la turbidez ha aumentado considerablemente a lo largo de todo el proceso de la Planta.

**Tabla 13.**

*Prueba de Tukey de la remoción actual de turbidez, por tramo*

Tramos	N	Subconjunto para alfa = 0,05		
		1	2	3
1-3	45	-70,1300		
1-2	45		-63,6400	
2-3	45			-3,9700

#### 4.2.2 Evaluación de la eficiencia de la *Moringa oleifera* Lam y dosis óptima como coagulante natural en la remoción de turbidez del efluente de la PTAR de Punta de Bombón

##### Prueba de Kruskal-Wallis

La prueba de Kruskal-Wallis utiliza el concepto de rangos promedios para comparar los diferentes grupos de peso. A cada observación se le asigna un rango basado en su posición relativa, y luego se calcula un rango promedio para cada grupo. Los rangos promedios de la variable eficiencia para cada grupo de peso se presentan en la Tabla 14, con la prueba de Friedman.

**Tabla 14.**

*Rangos promedios de factores analizados en la prueba de Friedman*

	Rango promedio
Punto de muestreo	1,61
Dosis (mg/L)	3,33

Velocidad de agitación (rpm)	2,80
Tiempo de contacto (minutos)	2,26

Los análisis de los rangos, con la prueba de Friedman, son netamente descriptivos y se muestra en el siguiente detalle:

Dosis (mg/L): Con un rango promedio de 3,33, esta variable muestra que tiene un impacto significativo en la remoción de turbidez. Esto podría sugerir que aumentar la dosis de tratamiento puede ser efectivo para mejorar la remoción de turbidez.

Velocidad de agitación (rpm): Con un rango promedio de 2,80, esta variable también tiene un impacto positivo, aunque menor que la dosis. Esto podría indicar que la velocidad de agitación contribuye a la remoción de turbidez, pero no tanto como la dosis.

Punto de muestreo: Con un rango promedio de 1,61, esta variable tiene el impacto más bajo en comparación con las otras. Esto podría sugerir que el punto de muestreo no es un factor determinante en la remoción de turbidez en este análisis.

Tiempo de contacto (minutos): Con un rango promedio de 2,26, esta variable también tiene un impacto, pero es menor que la dosis y la velocidad de agitación. Esto podría indicar que el tiempo de contacto tiene un efecto, pero no es tan significativo como se podría esperar.

### Prueba Post-Hoc (Wilcoxon)

**Tabla 15.**

*Efecto de la dosis de moringa (mg/L) en la remoción de turbidez, con prueba de Wilcoxon*

	Dosis (mg/L) - Remoción de turbidez (%)
Z	-1,283
Sig. asintót. (bilateral)	,200

Según la Tabla 15, debido a que el p-valor fue mayor que 0,05, no se rechazó la hipótesis nula, que establecía que no había diferencias significativas en la remoción de turbidez entre las dosis de moringa (cantidad en mg agregada según los tratamientos establecidos). Esto significó que, en el rango de dosis que se ha experimentado, la remoción de turbidez no varió de manera significativa.

**Tabla 16.**

*Efecto del punto de muestreo en la remoción de turbidez, con prueba de Wilcoxon*

	Punto de muestreo - Remoción de turbidez (%)
Z	-10,083
Sig. asintót. (bilateral)	,000

Según la Tabla 16, dado que el p-valor fue menor que 0,05, se rechazó la hipótesis nula, que establecía que no había diferencias significativas en la remoción de turbidez entre los puntos de muestreo. Esto significó que, en los puntos de muestreo que se ha analizado, la remoción de turbidez varió de manera significativa.

**Tabla 17.**

*Estadístico descriptivo de remoción de turbidez, por punto de muestreo*

	<b>Punto de muestreo</b>	<b>Valor</b>
1	Media	44,39
	N	45
	Desv. típ.	22,92
2	Media	58,17
	N	45
	Desv. típ.	9,98
3	Media	66,17
	N	45
	Desv. típ.	9,79
Total	Media	56,24
	N	135
	Desv. típ.	17,84

Según la Tabla 17, el promedio más alto de remoción de turbidez se obtuvo en el Punto 3 (66,17±9,79 %), seguido por Punto 2 (58,17±9,98 %) y Punto 1 (44,39±22,92 %).

**Tabla 18.**

*Efecto de la velocidad de agitación (rpm) en la remoción de turbidez, con prueba de Wilcoxon*

	<b>Velocidad de agitación (rpm) - Remoción de turbidez (%)</b>
Z	-2,926
Sig. asintót. (bilateral)	,003

Según la Tabla 18, dado que el p-valor fue menor que 0,05, se rechazó la hipótesis nula, que establecía que no había diferencias significativas en la remoción de turbidez entre las velocidades de agitación (rpm) de las unidades experimentales. Esto significó que, en las velocidades que se ha analizado, la remoción de turbidez varió de manera significativa.

**Tabla 19.***Estadístico descriptivo de remoción de turbidez, por velocidad de agitación*

	<b>Punto de muestreo</b>	<b>Valor</b>
1	Media	46,11
	N	45
	Desv. típ.	16,94
2	Media	57,94
	N	45
	Desv. típ.	17,71
3	Media	64,68
	N	45
	Desv. típ.	13,71
Total	Media	56,24
	N	135
	Desv. típ.	17,84

Según la Tabla 19, el promedio más alto de remoción de turbidez se obtuvo en el Punto 3 (64,68±13,71 %), seguido por Punto 2 (57,94±17,71 %) y Punto 1 (46,11±16,94 %).

**Tabla 20.***Efecto de condición de moringa (sin cáscara, con cáscara y combinada) en la remoción de turbidez, con prueba de Wilcoxon*

	<b>Condición de moringa - Remoción de turbidez (%)</b>
Z	-11,533
Sig. asintót. (bilateral)	,000

Según la Tabla 20, dado que el p-valor fue menor que 0,05, se rechazó la hipótesis nula, que establecía que no había diferencias significativas en la remoción de turbidez entre las condiciones de moringa (sin cáscara, con cáscara y combinada). Esto significó que, en los puntos de muestreo que se ha analizado, la remoción de turbidez varió de manera significativa.

**Tabla 21.***Estadístico descriptivo de remoción de turbidez, por punto de muestreo*

	<b>Punto de muestreo</b>	<b>Valor</b>
1	Media	47,96
	N	45
	Desv. típ.	21,31
2	Media	64,06
	N	45
	Desv. típ.	10,05
3	Media	56,71
	N	45
	Desv. típ.	16,78
Total	Media	56,24
	N	135
	Desv. típ.	17,84

Según la Tabla 21, el promedio más alto de remoción de turbidez se obtuvo en el Punto 2 (64,06±10,05 %), seguido por Punto 3 (56,71±16,78 %) y Punto 1 (47,96±21,31 %).

#### **4.2.3 Comparación de la eficiencia en la remoción de turbidez entre la dosis óptima de *Moringa oleifera* y el proceso actual de la PTAR de Punta de Bombón.**

Con el fin de comparar la eficiencia en la remoción de turbidez entre la dosis óptima de *M. oleifera* y el proceso actual de la PTAR de Punta de Bombón, se realizaron varios experimentos. Estos experimentos utilizaron diferentes concentraciones de moringa, tanto sin cáscara como con cáscara, así como en combinación. A través de estos estudios, se pudo evaluar cómo la variación en la dosis y las condiciones operativas influyen en la eficacia de la reducción de turbidez del efluente.

**Tabla 22.***Contraste entre la remoción actual de turbidez y “con moringa”, con prueba de Wilcoxon*

	<b>Remoción de turbidez con tratamiento con moringa - Remoción actual de turbidez (%)</b>
Z	-11,533
Sig. asintót. (bilateral)	,000

Según la Tabla 22, dado que el p-valor fue menor que 0,05, se rechazó la hipótesis nula, que establecía que no había diferencias significativas entre la remoción de turbidez con tratamiento con

moringa y la eficiencia actual de la PTAR. Esto significó que, entre ambos grupos de datos, la remoción de turbidez varió de manera significativa.

**Tabla 23.**

*Estadístico descriptivo de remoción de turbidez, con tratamiento y sin tratamiento (actual)*

	<b>Puntos</b>	<b>Remoción actual de turbidez (%)</b>	<b>Remoción de turbidez con tratamiento (%)</b>
	Media	-63,64	44,39
1	N	45	45
	Desv. típ.	,00	22,92
	Media	-3,97	58,17
2	N	45	45
	Desv. típ.	,00	9,98
	Media	-70,13	66,17
3	N	45	45
	Desv. típ.	,00	9,79
	Media	-45,91	56,24
Total	N	135	135
	Desv. típ.	29,89	17,84

Según la Tabla 23, los promedios más altos de remoción de turbidez se obtuvieron en los tres puntos de muestreo, como resultado del tratamiento con moringa; en comparación con las eficiencias actuales, que resultaron negativos.

#### 4.3 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

La presente investigación tuvo como objetivo principal evaluar la eficiencia de la *M. oleifera* Lam., como coagulante natural en la remoción de turbidez del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales domésticas de Punta de Bombón.

Se observa que en el rango de dosis que se ha experimentado, la remoción de turbidez no varió estadísticamente de manera significativa. Esto indica que no hubo saturación del efecto coagulante a dosis altas lo que limita su efectividad al aumentar la cantidad de coagulante. Situación diferente fue presentado en la tesis de Mejía (23), donde se muestra que la eficiencia de remoción disminuye después de alcanzar una dosis óptima en coagulantes naturales.

A comparación de tesis de Chango y Ruiz (18), reportaron una eficiencia de remoción significativamente mayores de turbidez de 97,08 % y 97,60 % con la dosis de 30 g/L de *M. oleifera* en las plantas de tratamiento. Estas diferencias pueden atribuirse a las condiciones experimentales,

el tipo de tratamiento previo aplicado a las aguas residuales. En nuestro estudio la eficiencia entre los rangos promedios no muestra diferencias entre los grupos de peso que cuando se utilizó cactus (*Opuntia dillenii*) para tratar aguas residuales, dio una eficiencia de eliminación del 93 % en turbidez y en las cáscaras de plátano dieron una eficiencia de eliminación de turbidez de 60,60 %. Los autores concluyeron que la *M. oleifera* representa una alternativa viable y ecoeficiente para mejorar la remoción de contaminantes en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Se determinó el porcentaje de remoción de turbidez del efluente actual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Punta de Bombón, dando como resultado valores negativos en todos los tramos analizados, lo que indica un aumento en la turbidez en lugar de una remoción efectiva (Tabla 13). En el tramo 1-2, que corresponde a los puntos de muestreo antes y después de la salida de la primera laguna de oxidación, el valor de -63,64 sugiere que la turbidez ha aumentado significativamente, lo que podría indicar que el tratamiento en esta etapa no está funcionando adecuadamente. En el tramo 2-3, que se refiere al agua que sale de la primera laguna y entra en la segunda, el valor de -3,97 también indica un incremento en la turbidez, aunque menos pronunciado, lo que sugiere que la segunda laguna no está logrando reducir la turbidez como se esperaba. Finalmente, el tramo 1-3, que abarca el periodo desde el ingreso de agua residual a la primera laguna hasta la salida de la segunda, presenta un valor de -70,13, lo que refuerza la idea de que hay un problema significativo en el proceso de tratamiento, ya que la turbidez ha aumentado considerablemente a lo largo de todo el proceso de la Planta. Por ende, resulta necesaria la aplicación de coagulante natural. Por ejemplo, a comparación de la tesis de Chango (18), donde las dosis más altas tienen mayor efectividad y mayor porcentaje de remoción como en la dosis de 30 g/ 250 ml teniendo un 97,03 % de remoción de turbidez.

Según Mejía (23) las remociones alcanzadas fueron de 80,10 % y 76,40 %, cuando el coagulante natural fue adicionado directamente en polvo. Sin embargo, incrementos en la fracción orgánica soluble, fueron obtenidos al usar el coagulante natural, siendo necesario un tratamiento secundario posterior a la coagulación. Los coagulantes naturales son una excelente opción en la remoción de contaminantes de alta carga orgánica y turbidez, siendo una buena alternativa su aplicación en el tratamiento primario en zonas rurales de baja demanda de agua.

Según la Tabla 15, debido a que el p-valor fue mayor que 0,05, no se rechazó la hipótesis nula que establecía que no había diferencias significativas en la remoción de turbidez entre las dosis de moringa (cantidad en mg agregada según los tratamientos establecidos). Esto significó que, en el rango de dosis que se ha experimentado, la remoción de turbidez no varió de manera significativa. A diferencia del artículo de Vera (24). Los resultados destacan una remoción de turbidez del 77,90 % en el tratamiento con 0,80 g de Moringa, a una velocidad de agitación de 200 RPM, y un 77,69 % de remoción de turbidez en el tratamiento con la misma dosis a una velocidad de agitación de 150 RPM en aguas residuales. Los autores concluyen que las diferentes dosis de moringa tienen un impacto en

la turbidez del agua residual, Recomiendan realizar estudios de la cinética química del coagulante natural *M. oleifera* en diversos tipos de efluentes.

Por otro lado, Carhuas, en el año (2023) (27), aplicó mucílago nopal para determinar la influencia en la remoción de la turbidez en las aguas contaminadas del río Chilca por los efluentes domésticos donde se obtuvieron los resultados con la dosis de 20 ml de mucílago nopal se logró una remoción de turbidez de (85 NTU a 59 NTU) En comparación con los resultados de Mpagi (22), donde se utilizó la mezcla de polvo de cactus y cáscara de plátano se determinó que su dosis óptima aproximadamente 12 ml/L. con una eficiencia de 87,13 % dando a conocer que cualquier aumento en las dosis óptima no resultó en un aumento en cuanto a la eficiencia de eliminación de turbidez. El autor concluyó se puede usar el mucílago nopal como biocoagulante natural para el tratamiento de aguas residuales, debido a que en el proceso de coagulación se forma flóculos de menor tamaño y recomendó realizar las mediciones de turbidez después de realizar el tratamiento de sólidos suspendidos totales, dado que al observar algunas muestras cambian significativamente de color.

Se comparó la eficiencia en la remoción de turbidez entre la dosis óptima de *M. oleifera* y el proceso actual de la PTAR de Punta de Bombón dando como resultado, según la Tabla 22, dado que el p-valor fue menor que 0,05, se rechazó la hipótesis nula, que establecía que no había diferencias significativas entre la remoción de turbidez con tratamiento con moringa y la eficiencia actual de la PTAR. Esto significó que, entre ambos grupos de datos, la remoción de turbidez varió de manera significativa.

Según la Tabla 20, dado que el p-valor fue menor que 0,05, se rechazó la hipótesis nula, que establecía que no había diferencias significativas en la remoción de turbidez entre las condiciones de moringa (sin cáscara, con cáscara y combinada). Esto significó que, en los puntos de muestreo que se ha analizado, la remoción de turbidez varió de manera significativa.

En comparación con el estudio de Mejía (23), donde se utilizó una dosis de 0,74 g/L y se lograron remociones de turbidez del 80,10 % y 76,40 % al añadir el coagulante en forma de polvo, se observó que estos resultados son ligeramente inferiores a los obtenidos con sulfato de aluminio. Sin embargo, es importante considerar los mayores costos y los impactos ambientales asociados al uso de sulfato de aluminio. Esto resalta el potencial del uso de coagulantes naturales en efluentes con alta turbidez y carga orgánica.

La extracción previa de aceites y grasas de las semillas de *M. oleifera* podría mejorar la eficiencia en la remoción de turbidez. Estos hallazgos son consistentes con los reportados por García et al. (2016), quienes aumentaron la eficiencia de remoción de turbidez utilizando un coagulante de semilla de Moringa, tras realizar una extracción con etanol en un equipo Soxhlet. No obstante, Camacho et al. (2016) indicaron que no hay diferencias significativas entre el uso de la semilla de Moringa con o sin extracción previa en el tratamiento de agua con turbidez inicial de 30-60 NTU, logrando remociones de hasta el 90 %, al igual que en el presente estudio, que se realizó sin la extracción del aceite.

## **CAPÍTULO V:**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

Del presente estudio se concluye que:

- Conclusión para el objetivo específico 1: Los resultados de eficiencia de remoción de turbidez actual en la PTAR de Punta de Bombón indican valores negativos en todos los tramos analizados, lo que refleja un aumento en la turbidez en lugar de una remoción efectiva. En el tramo 1-2, el valor de -63,64 % sugiere que la turbidez ha aumentado significativamente, lo que puede indicar que el tratamiento en esta etapa no está funcionando adecuadamente. En el tramo 2-3, que se refiere al agua que sale de la primera laguna y entra en la segunda, se observó un valor de -3,97 %, lo que indica un incremento en la turbidez, aunque de manera menos pronunciada. Finalmente, en el tramo 1-3, se registró un valor de -70,13 %, lo que refuerza la conclusión de que hay un problema significativo en el proceso de tratamiento, ya que la turbidez ha aumentado considerablemente a lo largo de todo el proceso.
- Conclusión para el objetivo específico 2: No se logró determinar la dosis óptima de *M. oleifera* Lam., ya que el p-valor fue mayor que 0,05. Esto llevó a aceptar la hipótesis nula, que establece que no hay diferencias significativas en la remoción de turbidez entre las distintas dosis (10, 25, 50, 75 y 100 mg de coagulante en 100 ml de agua residual) y condiciones (sin cáscara, con cáscara y combinado). Por lo tanto, la remoción de turbidez no varió de manera significativa con ninguno de estos factores.
- Conclusión para el objetivo específico 3: Los promedios más altos de remoción de turbidez se lograron en los tres puntos de muestreo, con un promedio de remoción del 56,24 % gracias al tratamiento con moringa. Este resultado contrasta notablemente con las eficiencias actuales, que resultaron negativas, evidenciando una remoción promedio de -45,91 %. Esta diferencia fue estadísticamente significativa, dado que el p-valor fue menor que 0,05, lo que indica que la aplicación de *Moringa oleifera* es más efectiva en la remoción de turbidez en comparación con el proceso actual de la PTAR.

- Conclusión para el objetivo general: Los resultados confirmaron que el uso de *M. oleifera* es una alternativa viable y ambiente sostenible para la remoción de turbidez en agua residual doméstica. Se observó que las condiciones de baja agitación y dosis menores presentan mejores eficiencias en la mayoría de los casos, subrayando la importancia de un control adecuado de los parámetros operativos. Además, los valores superiores al 50 % de remoción de turbidez posicionan a la moringa como un coagulante prometedor para su implementación en procesos de tratamiento de aguas residuales, mejorando notablemente la eficiencia en comparación con el tratamiento convencional utilizado en la PTAR de Punta de Bombón.

## 5.2 RECOMENDACIONES

Del presente estudio, se tienen las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda realizar ensayos adicionales con concentraciones de *M. oleifera* Lam. inferiores a 10 mg/L manteniendo las mismas condiciones experimentales de este estudio, para poder explorar la eficacia a dosis aún más bajas.
- Se sugiere realizar más experimentos variando las revoluciones por minuto (RPM) a niveles inferiores como superiores, para poder determinar cómo es la influencia de la velocidad de agitación en la eficiencia de remoción de turbidez.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS. Desafíos globales: Agua. [En línea] 2021. [[fecha de consulta: 25 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://acortar.link/bo5LXL>
2. JOURAVLEV, A.; SARAVIA, S. y GIL, M. Reflexiones sobre la gestión del agua en América Latina y Caribe: textos seleccionados 2002 -2020. Comisión Económica Latina y el Caribe. [En línea] 2021. [[fecha de consulta: 20 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/e5df0bb6-9457-439f-aa2c-9b1d1b1b1518/content>
3. AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA. Calidad del agua en cuencas hidrográficas a nivel nacional. [En línea] 2015. [fecha de consulta: 25 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/2673>.
4. SUPERINTENDENCIA NACIONAL DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO. Benchmarking regulatorio 2020 de las Empresas Prestadoras (EP). [En línea] 2020. [fecha de consulta: 27 de diciembre de 2023]. Disponible en: <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/467536b0-es/index.html?itemId=/content/component/467536b0-es>.
5. MUNICIPALIDAD DISTRITAL PUNTA DE BOMBÓN. Plan de desarrollo Urbano del distrito de Punta de Bombón 2022 -2031. [En línea] 2021. [fecha de consulta: 9 de diciembre de 2023]. Disponible:  
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3057860/001.%20PDU%20PDB%202022-2031-V2.pdf.pdf>
6. FREITAS, T, et al. Optimización del proceso de coagulación - floculación para el tratamiento de aguas residuales industriales utilizando mucilago de okra como coagulante natural. 15, Diciembre de 2015, Industrial Crops and Products, Vol. 76, págs. 538 - 544.
7. YIN, C. Uso emergente de coagulantes de origen vegetal para el tratamiento de aguas residuales. 9, Setiembre de 2010, Bioquímica de procesos, Vol. 45. ISSN 1359 - 5113.
8. NONFODJI, O, et al. Rendimiento de la proteína de la semilla de *Moringa oleifera* y del coagulante compuesto de proteína y cloruro de poli aluminio de semillas de *Moringa oleifera* para eliminar la materia orgánica y las bacterias resistentes a los antibióticos de las aguas re. 101103, febrero de 2020, Journal of Water Process Engineering, Vol. 33, págs. 101 - 103.
9. LUN, W. y WAHAB, A. State of the art and sustainability of natural coagulants in water and wastewater treatment. Journal of Cleaner Production, Julio de 2020, Vol. 262.
10. INSIDEO. Tasa de crecimiento poblacion en el distrito de Punta de Bombón 2020. [En línea] 2020. [fecha de consulta: 12 de diciembre de 2023]. Disponible:  
[https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/2\\_-3362984-501-1011.pdf](https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/2_-3362984-501-1011.pdf).

11. BOFILL, S. et al. Efectos sobre la salud de la contaminación de agua y alimentos por virus emergentes humanos. *Revista Española de la Salud Pública*, 2, Abril de 2005. Vol. 79.
12. MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE ISLAY. Plan de Desarrollo local Concertado 2018 - 2030. [En línea] 2018. [fecha de consulta: 12 de diciembre de 2023]. Disponible en: [https://cdn.www.gob.pe/uploads/medium/archive/000/011/136/PDC\\_MPI-2018-2030.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/medium/archive/000/011/136/PDC_MPI-2018-2030.pdf).
13. Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. Diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento. [En línea] 2015. [fecha de consulta: 12 de diciembre de 2023]. Disponible en: <https://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/ptar.pdf>.
14. ORGANISMO DE EVALUACIÓN y Fiscalización Ambiental. Fiscalización ambiental en aguas residuales. [En línea] 2014. [fecha de consulta: 27 de diciembre de 2023]. Disponible en: [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=7827%20](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827%20).
15. BARRETO, J, et al. Evaluación de coagulantes naturales para el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 1, noviembre - abril de 2019, Vol. 11, págs. 105 - 116.
16. OLSON, M. y FAHEY, J. *Moringa oleifera*: un árbol multiusos para las zonas tropicales secas. *Revista México Biodiversidad*, 4, diciembre de 2011, Vol. 82, págs. 1071 - 1082.
17. DELOYA MARTINEZ, A. Métodos de análisis físicos y espectrofométricos para el análisis de aguas residuales. *Tecnología en Marcha*, 2006. Vol. 19.
18. CHANGO, M. y RUIZ, K. Aplicación de la *Moringa oleifera* como biocoagulante en dos plantas de tratamiento de aguas domesticas en Samborondon 2021. 2020. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Guayaquil: Universidad Agraria del Ecuador, 2020. Disponible en: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/CHANGO%20ALDAS%20MARIA%20LAURA.pdf>
19. EL, J. et al. Optimización de la turbidez y eliminación de colorantes de aguas residuales sintéticas utilizando la metodología de superficie de respuesta: Efectividad del polvo de semilla de *Moringa oleifera* como coagulante verde. *Revista Ingeniería Química Ambiental*, 2022. Vol. 10.
20. VEGA, P. et al. Uso de semilla de *Moringa oleifera* como coagulante natural en el tratamiento terciario de aguas residuales domesticas: Evaluación fisicoquímica, citotoxicidad y carga bacteriana. *Revista de Ingeniería de Procesos de Agua*, 2021. Vol. 40.
21. CASTILLO, M. y AVENDAÑO, E. Mejora de la purificación del agua utilizando pastas de extracto de semilla de *Moringa oleifera* para la coagulación después de la filtración de escoria. *Revista Heliyon*, julio de 2023. Vol. 9.
22. MPAGI, H.; WILBERFORCE, P. y MAXWELL, O. Síntesis y eficacia del compuesto de cáscaras de nopal y plátano como coagulante natural para el tratamiento de aguas. *Revista Resultados en Ingeniería*, marzo de 2023. Vol. 17.
23. MEJÍA, P. et al. Evaluación de la *Moringa oleifera* en el tratamiento de aguas con alta turbidez y carga orgánica. *Ingeniería del agua*, abril de 2020. Vol. 24, págs. 119 - 127.

24. VERA, P. et al. Efecto del polvo de semilla de *Moringa oleifera* sobre la turbidez de las aguas residuales en Cajamarca – Perú. Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas, 2023. Vol. 2.
25. CARRIL, R.; GOMEZ, Y y VASQUEZ, H. Efecto coagulante - floculante del cladodio de tuna (opuntia ficus indica) y del endospermo de moringa (*Moringa oleifera Lam*) en el tratamiento primario de aguas residuales domesticas de la PTAR del sector 9, distrito de Manantay, 2018. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Pucallpa: Universidad Nacional de Ucayali. Ucayali, 2020. Disponible en: <https://repositorio.unu.edu.pe/items/88bfb115-9010-4cc1-a9c9-783b717e3925>
26. OLIVERA, D. Aplicación del coagulante natural áloe vera como tratamiento terciario en la PTAR – Jauja. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Huancayo: Universidad Continental, 2022. Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/11493>
27. CARHUAS, K. Aplicación del mucílago nopal en la remoción de turbidez en aguas contaminadas del rio chilca por efluentes domésticos en la provincia de Huancayo 2020. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Huancayo: Universidad Continental, 2023. Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/13384>
28. CONDO, E. y SANTI, D. Estudio de la eficiencia de remoción de arsénico con cascarilla de arroz (*oryza sativa*) como adsorbente en agua superficial, subterránea y potable en la provincia de Islay – Arequipa - Perú año 2019. Tesis (Bachiller). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2019.
29. MANRIQUE, F. Revisión de coagulantes/floculantes naturales obtenidos a partir de semillas de *Moringa oleifera Lam* (*Moringa*) y del mucílago de la Penca de *Opuntia ficus-indica* (Tuna) usados en la remoción de cromo en aguas residuales de curtiembre. Tesis (Título de Ingeniero Biotecnólogo). Arequipa: Universidad Católica de Santa María, 2024. Disponible en: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/2ea28beb-298e-4cef-b3bc-c2e86ab5c7ec>
30. FLORES, A. y SILVA, F. Caracterización fisicoquímica en el tratamiento del agua con la utilización de la “Cumulopuntia Unguispina” para la remoción de metales pesados de la irrigación San Camilo del Distrito de la Joya Arequipa. Tesis (Título de Ingeniera Química). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2019. Disponible: <https://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/10645/IQflmaak.pdf>
31. PACHECO, P y ZAPANA, K. Evaluación de los parámetros en el proceso de clarificación de aguas de la subcuenca del Río Yura en la zona la Caleta para la potabilización de aguas de la Jass-Vitor. Tesis (Título de Ingeniera Química). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2018. Disponible en: <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/1ba7cfaa-3595-45b6-8a38-f7759c1e7b1c/content>

32. Gerencia Regional de Salud. Plantas de tratamiento de aguas residuales. [En línea] [fecha de consulta: 28 de diciembre de 2023.] [https://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas\\_Legales/saneamiento/OS.090.pdf](https://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas_Legales/saneamiento/OS.090.pdf).
33. PÉREZ, J. et al. Evaluación de la calidad del agua residual para el riego agrícola en Valle del Mezquital, Hidalgo. *Acta Universitaria* 2020. Vol. 29.
34. GÓMEZ, N. Remoción de materia orgánica por coagulación - floculación. Colombia – Manizales: Universidad Nacional de Colombia, 2005. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/2841/nestoralejandrogomezpuentes.2005.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
35. BURSTEIN, T. Reflexiones sobre la gestión de los recursos hídricos y la salud pública en el Perú., Lima. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 2018. Vol. 35.
36. GÓMEZ, K. Eficiencia del coagulante de la semilla de *Moringa oleifera* en el tratamiento de agua con baja turbidez. Tesis (Título de Ingeniera en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente). Honduras: Zamorano, 2010. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/7c23d6ab-447b-4a08-b3f5-ed292e95b897/content>
37. CORONEL, D. Análisis de la efectividad de la semilla de *Moringa oleifera* Lam. 1783 como coagulante para el tratamiento de agua potable. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Yopal: Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y Medio Ambiente – ECAPMA, 2018. Disponible: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/18246/1985167.pdf>
38. PEREZ, F. Y URREA, M. Abastecimiento de agua. Universidad Politécnica de Cartagena. s/n
39. ANDÍA, Y. Tratamiento de agua coagulación y floculación. 2000.
40. ALVAREZ, HA. Extracto de moringa (*Moringa oleifera*) para la remoción de turbidez de efluentes de la producción de néctar de maracuyá. Tesis (Grado de Magister en Ciencias Ambientales). Lima: Universidad Nacional Agraria de la Molina, 2019. Disponible en: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/items/ce0857ed-0d74-4bcc-9e01-4ebc47604f8a>
41. RADOVICH, T. Farm and forestry production and marketing profile fo *Moringa oleifera*. Permanent Agriculture Resources. [En línea] [fecha de consulta: 5 de diciembre de 2023]. Disponible en: [https://moringatrees.org/moringa-doc/production\\_and\\_marketing\\_moringa\\_farm\\_and\\_forestry.pdf](https://moringatrees.org/moringa-doc/production_and_marketing_moringa_farm_and_forestry.pdf).
42. LIÑAN, F. *Moringa oleifera*, el árbol de la nutrición. *Ciencia y Salud Virtual*, diciembre de 2010. Vol. 2, págs. 130 - 138.
43. DOMÉNECH, G.; DURANGO, A. y ROS, G. Revisión narrativa: potencial de los flavonoides de la moringa (*Moringa oleifera* Lam) hojas como inmunomoduladores. *Revista Farmacéutica Galenika*, 2023. Vol. 67, págs. 86-97.
44. SU, X, et al. *Moringa oleifera* Lam: una revisión integral sobre componentes activos, beneficios para la salud y solicitud. *Royal Society of chemistry*, Julio de 2023. Vol. 13, págs. 24353 - 24384.

45. PEREZ, L. Teoría de la sedimentación. Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. [En línea] 2005. [fecha de consulta: 28 de diciembre de 2023]. Disponible en: [https://cms.fi.uba.ar/uploads/institutos\\_teoria\\_sedimentacion\\_8d6be3a941.pdf](https://cms.fi.uba.ar/uploads/institutos_teoria_sedimentacion_8d6be3a941.pdf)
46. CHUCHÓN, S. y AYBAR, C. Evaluación de la capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno de la planta de tratamiento de aguas residuales "LA TOTORA" -Ayacucho- Perú. *Ecología Aplicada*, (1,2), Julio de 2008, Vol. 7, págs. 1 -7.
47. CARHUAS, K. Aplicación del mucilago de nopal en la remoción de turbidez en aguas contaminadas del río Chilca por efluentes domésticos en la provincia de Huancayo 2020. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Huancayo: Universidad Continental. Huancayo, 2023. Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/13384>
48. CUEVA, E. y PEREDA, M. Efecto del amperaje y tiempo del proceso de la electrocuagulación en el tratamiento de aguas residuales del camal de José Leonardo Ortiz. Tesis (Título de Ingeniero Químico). Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2020. Disponible: <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/8688>
49. ROCK, C Y RIVERA, B. TUCZON. La calidad del agua, E. coli y su salud. College of Agriculture and life sciences, University Arizona (Tucson AZ). 2014. Disponible en: <https://repository.arizona.edu/bitstream/handle/10150/670057/AZ1624S-2014.pdf>
50. HERNÁNDEZ, R.; FERNANDEZ C. y BAPTISTA P. Metodología de la investigación. 6ta, edición, 2014. ISBN: 978-1-4562-2396-0.
51. SUPO, P. Niveles de investigación en: seminario de la investigación. [En línea] 2015. [Citado el: 01 de febrero de 2024.] Disponible en: <https://docplayer.es/5486299-Niveles-de-investigacion.html>.
52. PERALTA, M., et al. *Escherichia coli* y coliformes totales en superficies inertes del patio de comidas del terminal terrestre Cuenca, Ecuador. *FAC SALUD*, 13, noviembre de 2023. Vol. 7, págs. 127 - 133.
53. MINISTERIO DEL AMBIENTE. Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación. [En línea] [fecha de consulta: 28 de noviembre de 2023]. Disponible: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2015/12/Decreto-Supremo-N%C2%B0-015-2015-MINAM.pdf>.
54. LOPEZ, S. Evaluación de la calidad de agua respecto a metales pesados presentes en el río Tambo provincia de Islay 2016 -2018. Arequipa: Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, 2018.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: Eficiencia de *Moringa oleífera* en la remoción de turbidez y cargas microbiológicas en la planta de tratamiento de aguas residuales de Arequipa, 2023.

Formulación del problema		Objetivos		Hipótesis		Variables	Definición	Dimensión	Indicadores				
Interrogante Principal	Interrogantes Específicas	Objetivo Principal	Objetivos Específicos	Hipótesis Principal	Hipótesis Específicos								
¿Cuál será la eficiencia de <i>Moringa oleífera</i> en la remoción de turbidez en la planta de tratamiento de aguas residuales de Punta de Bombón - Arequipa, 2023?	¿Cuál es la eficiencia de remoción de turbidez y cargas microbiológicas actuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de Arequipa?	Evaluar la eficiencia de la <i>Moringa oleífera</i> Lam. como coagulante natural en la remoción de turbidez del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales domésticas de Punta de Bombón.	Determinar el porcentaje de remoción de turbidez del efluente actual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Punta de Bombón.	La aplicación de <i>Moringa oleífera</i> como coagulante natural permite reducir la turbidez por debajo de los	La eficiencia de remoción de turbidez y cargas microbiológicas actuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de Arequipa es inferior al 45 %.	Variable independiente: <i>Moringa oleífera</i>	La <i>M. oleífera</i> es un coagulante natural que permite la remoción de turbidez, metales pesados, cargas microbiológicas de las aguas, entre otros.	Diferentes dosis de <i>M. oleífera</i> .	100 mg/L				
										250 mg/L			
	¿Cuál es la eficiencia de <i>Moringa oleífera</i> en la remoción de turbidez en la planta de tratamiento de aguas residuales de Arequipa?				Determinar la dosis óptima de <i>Moringa oleífera</i> Lam requerida para alcanzar la máxima remoción de turbidez en el efluente				Estándares de Calidad Ambiental (ECAs) del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales domésticas de Punta de Bombón.	La eficiencia de <i>Moringa oleífera</i> en la remoción de turbidez en la planta de tratamiento de aguas residuales de Arequipa es superior al 70 %.			750 mg/L

Formulación del problema		Objetivos		Hipótesis		Variables	Definición	Dimensión	Indicadores
Interrogante Principal	Interrogantes Específicas	Objetivo Principal	Objetivos Específicos	Hipótesis Principal	Hipótesis Específicos				
			de la PTAR de Punta de Bombón.						
	¿Cuál es la eficiencia de Moringa oleifera en la remoción de coliformes totales y <i>Escherichia coli</i> en la planta de tratamiento de aguas residuales de Arequipa?		Comparar la eficiencia en la remoción de turbidez entre la dosis óptima de Moringa oleifera y el proceso actual de la PTAR de Punta de Bombón.		La eficiencia de Moringa oleifera en la remoción de coliformes totales y <i>Escherichia coli</i> en la planta de tratamiento de aguas residuales de Arequipa es superior al 65 %.	Variable dependiente: Eficiencia de remoción	La remoción de contaminantes de agua es un proceso de tratamiento que se utiliza para eliminar diferentes tipos de contaminantes presentes en el agua.	Determinación de turbidez, coliformes totales y <i>E. coli</i>	Métodos analíticos en laboratorio
									Remoción de turbidez, coliformes totales y <i>E. coli</i>



## ANEXO 3. INFORME DE LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO  
POR EL ORGANISMO A2LA CON CERTIFICADO  
#6032.01 SEGÚN ISO/IEC 17025:2017



### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LTA-0053-2024

N° Id.: 0000659866

Expediente : 000370

Página 1 de 3

Fecha de emisión : 2024-02-26

1. Solicitante : ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

Dirección : PRO. ZARUMILLA ASC. DANIEL ALCIDES CARRION LOTE 03  
MZ 2D PROVINCIA CONSTITUCIONAL DEL CALLAO -  
BELLAVISTA

2. Instrumento calibrado : TERMÓMETRO CON INDICACIÓN DIGITAL

#### INDICADOR

Marca : HACH

Modelo : HQ40d

N° de serie : 081100026400

Código : EM-OPE-1657 (\*)

Alcance : 0 °C a 60 °C

Resolución : 0,1 °C

Procedencia : U.S.A

Tipo de Sensor : Termistor

3. Lugar de calibración : Laboratorio de Temperatura de ANALYTICAL  
LABORATORY E.I.R.L.

4. Fecha de calibración : 2024-02-24

5. Método de calibración :

La calibración se realizó por comparación directa siguiendo el PC-017 "Procedimiento para la Calibración de Termómetros Digitales". Segunda Edición. 2012. INDECOP

6. Trazabilidad :

Código	Descripción	Certificado de calibración
PTT-014	Termómetro Digital de incertidumbre 0,022 C a 0,025 C	LT - 264 - 2023 / INACAL-DM
PTT-026	Termómetro Digital de incertidumbre 0,022 C a 0,025 C	LT - 265 - 2023 / INACAL-DM

Los resultados presentados corresponden sólo al ítem calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

El certificado de calibración es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. Sin perjuicio de lo señalado, dicho uso puede configurar por sus efectos una infracción a las normas de protección al consumidor y las que regulan la libre competencia.

Al usuario le corresponde disponer en su momento la ejecución de una nueva calibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

ALAB E.I.R.L. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido total o parcial, excepto con autorización expresa por escrito de ALAB E.I.R.L.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de ALAB E.I.R.L.

Sebastian A. Effio Espinoza  
Responsable del Laboratorio

#### SEDE PRINCIPAL

Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista - Callao  
Telf.: (+01) 717 5802 - Cel.: 977 515 129

[www.alab.com.pe](http://www.alab.com.pe)

**Certificado de calibración N° LTA-0053-2024**

N° Id.: 0000659866

Página 2 de 3

**7. Condiciones de Calibración :**

Tiempo de estabilización :

Profundidad de inmersión :

Temperatura ambiental Inicial : 24,9 °C Final : 24,7 °C

Humedad relativa Inicial : 65,8 % h.r. Final : 67,4 % h.r.

**8. Resultados de la Calibración :**

Para el sensor pH (Código / Modelo / Serie : EM-OPE-1657/ PHC201 / SN: 172072618009 )

Indicación del termómetro °C	Temperatura convencionalmente verdadera °C	Corrección °C	Incertidumbre °C
2,2	2,08	-0,12	0,069
10,2	10,02	-0,18	0,068
25,2	25,03	-0,17	0,067
35,1	35,00	-0,10	0,068

La temperatura convencionalmente verdadera (TCV) resulta de la relación:  
 $TCV = \text{Indicación del termómetro} + \text{corrección}$

Para el sensor CD (Código / Modelo / Serie EM-OPE-1657 / CDC401 / SN: 182562588707 )

Indicación del termómetro °C	Temperatura convencionalmente verdadera °C	Corrección °C	Incertidumbre °C
2,1	2,03	-0,07	0,069
10,1	10,02	-0,08	0,069
25,4	25,03	-0,37	0,069
35,1	35,00	-0,10	0,069

La temperatura convencionalmente verdadera (TCV) resulta de la relación:  
 $TCV = \text{Indicación del termómetro} + \text{corrección}$

♦ SEDE PRINCIPAL

Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista - Callao  
 Telf.: (+01) 717 5802 - Cel.: 977 515 129

www.alab.com.pe

**Certificado de calibración N° LTA-0053-2024**

N° Id.: 0000659866

Página 3 de 3

**Para el sensor OD (Código / Modelo / Serie : EM-OPE-1657 / LDO101 / SN:  
081492594880 )**

Indicación del termómetro °C	Temperatura convencionalmente verdadera °C	Corrección °C	Incertidumbre °C
2,1	2,03	-0,07	0,069
10,2	10,02	-0,18	0,069
25,3	25,03	-0,27	0,069
35,3	35,00	-0,30	0,069

La temperatura convencionalmente verdadera (TCV) resulta de la relación:  
 $TCV = \text{Indicación del termómetro} + \text{corrección}$

**9. Observaciones :**

Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación CALIBRADO N°: IM-04223.

Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.

La incertidumbre expandida de la medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura  $k = 2$  que, para una distribución normal corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95 %.

(\*) Código de identificación indicado en una etiqueta adherida al instrumento.

FIN DEL DOCUMENTO

♦ SEDE PRINCIPAL

Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista - Callao  
Tel.: (+01) 717 5802 - Cel.: 977 515 129

[www.alab.com.pe](http://www.alab.com.pe)

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFQA-0019-2024**

N° Id.: 0000659865

Expediente : 000370

Página 1 de 2

Fecha de emisión : 2024-02-26

1. **Solicitante** : ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.
- Dirección** : PRO. ZARUMILLA ASC. DANIEL ALCIDES CARRION  
 LOTE 03 MZ 2D PROVINCIA CONSTITUCIONAL DEL  
 CALLAO - BELLAVISTA
2. **Instrumento** : **Medidor de pH (Multiparámetro)**
- Marca : HACH
- Modelo : HQ40d
- Número de serie : 081100026400
- Serie del electrodo : 172072618009
- Identificación : EM-OPE-1657
- Procedencia : U.S.A.
- Intervalo de medida : 0,00 a 14,00 pH
- Resolución : 0,001 pH / 0,01 pH / 0,1 pH
3. **Lugar de calibración** : Laboratorio de Físicoquímica de ALAB E.I.R.L.
4. **Fecha de calibración** : 2024-02-24

5. **Método de calibración** :  
 La calibración se realizó por comparación con material de referencia certificado según el procedimiento PC-020 "Procedimiento para la calibración de medidores de pH". Segunda Edición. 2017. INACAL-DM.

**6. Trazabilidad :**

Se utilizó los siguientes equipos y materiales de referencia certificados :

Un termómetro de código PTT-001 con certificado de calibración N° LT-012-2023

pH	N° Lote	Certificado de Análisis o N° producto	Incertidumbres (pH)
4,007	CC767905	4280-13836090	0,011
7,001	CC765600	4281-13755708	0,011
10,008	CC762068	4282-13648747	0,011

Los resultados presentados corresponden sólo al ítem calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

El certificado de calibración es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. Sin perjuicio de lo señalado, dicho uso puede configurar por sus efectos una infracción a las normas de protección al consumidor y las que regulan la libre competencia.

Al usuario le corresponde disponer en su momento la ejecución de una nueva calibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

ALAB E.I.R.L. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades.

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido total o parcial, excepto con autorización expresa por escrito de ALAB E.I.R.L.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de ALAB E.I.R.L.



 Luis Alberto Pompilla Bardón  
 Responsable del Laboratorio de Físicoquímica

## SEDE PRINCIPAL

 Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista - Callao  
 Telf.: (+01) 717 5802 - Cel.: 977 515 129

 www.alab.com.pe

Certificado de Calibración N° LFQA-0019-2024

N° Id.: 0000659865

Página 2 de 2

**7. Condiciones ambientales :**

	Inicial	Final
Temperatura Ambiental :	25,4 °C	25,4 °C
Humedad Relativa :	64,2 % h.r.	64,9 % h.r.

**8. Resultados :**

INDICACIÓN PROMEDIO DEL PHMETRO ( pH )	SOLUCIÓN TAMPÓN (BUFFER) PATRÓN ( pH )	ERROR PROMEDIO ENCONTRADO ( pH )	INCERTIDUMBRE ( pH )
4,00	4,007	-0,007	0,014
7,00	7,000	0,000	0,014
10,00	10,006	-0,006	0,014

Valor de la solución tampón patrón = Indicación promedio del pHmetro - Error promedio encontrado.

Los resultados son emitidos para la temperatura de referencia de 25 °C .

La incertidumbre de la medición se da con un nivel de confianza aproximado del 95 % con un factor de cobertura  $k = 2$  .

**9. Observaciones :**

Se colocó una etiqueta autoadhesiva en el instrumento con la indicación "CALIBRADO" y N° IM-04223 .

La indicación del pHmetro es el promedio de 3 mediciones.

La identificación se encuentra en un sticker adherido al equipo.

El Coeficiente de correlación obtenido es (0,999) y se encuentra dentro de los límites establecidos "mayor a 0,995 y menor a 1,005" según el procedimiento de calibración.

Antes del ajuste las lecturas del equipo para los valores de referencia 4,007 pH; 7,001 pH y 10,008 pH fueron 3,73 pH ; 6,88 pH y 9,91 pH respectivamente .

Después del ajuste las lecturas del equipo para los patrones 4,007 pH; 7,001 pH y 10,008 pH fueron 4,00 pH; 7,01 pH y 10,01 pH respectivamente .

FIN DEL DOCUMENTO

📍 SEDE PRINCIPAL

Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista - Callao  
Telf.: (+01) 717 5802 - Cel.: 977 515 129

🌐 [www.alab.com.pe](http://www.alab.com.pe)

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFQA-0020-2024

Expediente : 000370  
Fecha de emisión : 2024-02-26

N° Id.: 0000659863  
Página 1 de 2

1. **Solicitante** : ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.  
**Dirección** : PRO. ZARUMILLA ASC. DANIEL ALCIDES CARRION LOTE 03 MZ 2D PROVINCIA CONSTITUCIONAL DEL CALLAO - BELLAVISTA
2. **Instrumento** : CONDUCTÍMETRO (Multiparámetro)  
**Marca** : HACH  
**Modelo** : HQ40d  
**Serie** : 81100026400  
**Serie del electrodo** : 182562588707  
**Procedencia** : U.S.A.  
**Código de identificación** : EM-OPE-1657  
**Intervalo de Indicación** : 0,01 µS/cm a 200 mS/cm  
**Resolución** : 0,01 µS/cm; 0,1µS/cm; 1µS/cm  
**Ubicación** : No indica
3. **Lugar de calibración** : Laboratorio de Físicoquímica de ALAB E.I.R.L.
4. **Fecha de calibración** : 2024-02-24
5. **Método de calibración** :  
La calibración se realizó por comparación con material de referencia certificado según el procedimiento PC-022 "Procedimiento para la Calibración de Conductímetros" Primera Edición, 2014. INDECOPI.

Los resultados presentados corresponden sólo al ítem calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

El certificado de calibración es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. Sin perjuicio de lo señalado, dicho uso puede configurar por sus efectos una infracción a las normas de protección al consumidor y las que regulan la libre competencia.

Al usuario le corresponde disponer en su momento la ejecución de una nueva calibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

ALAB E.I.R.L. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido total o parcial, excepto con autorización expresa por escrito de ALAB E.I.R.L.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de ALAB E.I.R.L.

6. **Trazabilidad :**

Certificado de Análisis	N° de lote	Valor Certificado a 25 °C	Incertidumbre (k=2)
4066-14065993	CC24028	99,50 µS/cm	2,10 µS/cm
4067-14017968	CC23932	998,00 µS/cm	4,60 µS/cm
4173-14166469	CC24190	1413,00 µS/cm	4,60 µS/cm

Código	Instrumento Patrón	Certificado o informe de calibración
PTT-001	Termómetro digital	LTA-0377-2023

7. **Condiciones de calibración :**

	Inicial	Final
Temperatura ambiental :	24,6 °C	25,4 °C
Humedad relativa :	63,8 % H.R.	66,2 % H.R.



Luis Alberto Pompilla Bardón  
Responsable del Laboratorio de Físicoquímica

Certificado de calibración N° LFQA-0020-2024

N° Id.: 0000659863

Página 2 de 2

8. Resultados :

Valor del Certificado	Lectura promedio del equipo	Error	Incertidumbre
99,5 $\mu\text{S/cm}$	101,3 $\mu\text{S/cm}$	1,8 $\mu\text{S/cm}$	2,1 $\mu\text{S/cm}$
998,0 $\mu\text{S/cm}$	995 $\mu\text{S/cm}$	-3,0 $\mu\text{S/cm}$	5,0 $\mu\text{S/cm}$
1413,0 $\mu\text{S/cm}$	1414 $\mu\text{S/cm}$	1,0 $\mu\text{S/cm}$	5,4 $\mu\text{S/cm}$

Valor del Certificado = Lectura promedio del equipo - Error

9. Observaciones :

Se colocó en el equipo una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO" y N° IM-04223.

La identificación se encuentra en un sticker adherido al equipo.

Los resultados son emitidos para la temperatura de referencia de 25°C.

Valor de la constante de celda del instrumento es : 0,468 x 1/cm.

Las incertidumbres de medición expandidas reportadas son las incertidumbres de medición estándares multiplicadas por el factor de cobertura k=2 de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95 %.

Antes de la calibración las lecturas del equipo para los valores de referencia 99,1  $\mu\text{S/cm}$ , 998  $\mu\text{S/cm}$  y 1413  $\mu\text{S/cm}$ , fueron 96,2  $\mu\text{S/cm}$ , 987  $\mu\text{S/cm}$  y 1 399  $\mu\text{S/cm}$  respectivamente.

Antes de la calibración se realizó el ajuste de la indicación del equipo.

(FIN DEL DOCUMENTO)

SEDE PRINCIPAL

Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista - Callao  
Telf.: (+01) 717 5802 - Cel.: 977 515 129

[www.alab.com.pe](http://www.alab.com.pe)

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFQA-0021-2024

N° Id.: 0000659864  
Página 1 de 2

Expediente : 000370  
Fecha de emisión : 2024-02-26

1. **Solicitante** : ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.
  
- Dirección** : PRO. ZARUMILLA ASC. DANIEL ALCIDES  
CARRION LOTE 03 MZ 2D PROVINCIA  
CONSTITUCIONAL DEL CALLAO - BELLAVISTA
  
2. **Instrumento** : **MEDIDOR DE OXÍGENO DISUELTO (Multiparámetro)**
- Marca / Fabricante** : HACH
- Modelo** : HQ40d
- Serie** : 08110002640
- Serie de la sonda** : 081492594880
- Procedencia** : U.S.A.
- Código de identificación** : EM-OPE-1657
- Intervalo de Indicación** : 0,01 mg/L a 20,00 mg/L / 0,0 % a 200,0 %
- Resolución** : 0,01 mg/L / 0,1 %
- Ubicación** : No Indica
  
3. **Lugar de calibración** : Laboratorio de Físicoquímica de ALAB E.I.R.L.
  
4. **Fecha de calibración** : 2024-02-24

5. **Método de calibración** :  
La calibración se realizó por comparación con material de referencia certificado con valor conocido siguiendo el MVAL-LAB-24: Procedimiento para la Calibración de Medidores de Oxígeno Disuelto. Rev. 00:2022 ALAB E.I.R.L.

6. **Trazabilidad :**

Producto	Marca	N° Lote	Expiración
HI7040-1	Hanna Instruments	4260	2024-05
HI7040-2	Hanna Instruments	4155	2024-04

7. **Condiciones de calibración :**

	Inicio	Final
Temperatura ambiental :	25,5 °C	25,6 °C
Humedad relativa :	59,5 % h.r.	60,7 % h.r.

Los resultados presentados corresponden sólo al ítem calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

El certificado de calibración es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. Sin perjuicio de lo señalado, dicho uso puede configurar por sus efectos una infracción a las normas de protección al consumidor y las que regulan la libre competencia.

Al usuario le corresponde disponer en su momento la ejecución de una nueva calibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

ALAB E.I.R.L. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades .

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido total o parcial, excepto con autorización expresa por escrito de ALAB E.I.R.L.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de ALAB E.I.R.L.



Luis Alberto Pompilla Bardón  
**Responsable del Laboratorio de Físicoquímica**

 **SEDE PRINCIPAL**  
 Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista - Callao  
 Telf.: (+01) 717 5802 - Cel.: 977 515 129

[www.alab.com.pe](http://www.alab.com.pe)

**8. Resultados :**

Valor referencia (mg/L)	Lectura promedio del instrumento (mg/L)	Error promedio encontrado (mg/L)	Incertidumbre (mg/L)	Temperatura de referencia (°C)
8,24 (*)	8,16	-0,08	0,12	25,0
0,00	0,01	0,01	0,12	25,0

Valor referencia (%)	Lectura promedio del instrumento (%)	Error promedio encontrado (%)	Incertidumbre (%)	Temperatura de referencia (°C)
100 (*)	99,7	-0,3	1,2	25,0
0,0	0,1	0,1	1,2	25,0

Valor de referencia = Lectura promedio del Instrumento - Error promedio encontrado

**9. Observaciones :**

- Se colocó en el instrumento una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO" y N° de etiqueta IM-04223.
- Los resultados mostrados son el promedio de 5 mediciones para el instrumento calibrado.
- Antes de la calibración se realizó ajuste al equipo.
- La incertidumbre de medición expandida reportada es la incertidumbre de medición estándar multiplicada por el factor de cobertura  $k=2$  de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95 %.

(\*) El valor para 100 % oxígeno disuelto o su equivalencia en concentración, es solo un valor referencial.

(FIN DEL DOCUMENTO)

## SEDE PRINCIPAL

Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista - Callao  
 Telf.: (+01) 717 5802 - Cel.: 977 515 129

[www.alab.com.pe](http://www.alab.com.pe)

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LLA-0018-2024

N° Id: 0000659850

Página 1 de 2

**Expediente** : 000370

**Fecha de emisión** : 2024-02-28

**1. Solicitante** : ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

**Dirección** : AV.GUARDIA CHALACA 1877, BELLAVISTA-CALLAO

**2. Instrumento calibrado** : **GPS**

**Marca** : GARMIN

**Modelo** : ETREX 10

**N° de serie** : 53D685538

**Código** : EM-OPE-2119 (\*)

**ID** : 3436317530

**Procedencia** : Taiwán.

**3. Lugar de calibración** : En el laboratorio de Longitud y Ángulo

**4. Fecha de calibración** : 2024-02-27

**5. Método de calibración** :

Los resultados presentados corresponden sólo al ítem calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

El certificado de calibración es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. Sin perjuicio de lo señalado, dicho uso puede configurar por sus efectos una infracción a las normas de protección al consumidor y las que regulan la libre competencia.

Al usuario le corresponde disponer en su momento la ejecución de una nueva calibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

ALAB E.I.R.L. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades .

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido total o parcial, excepto con autorización expresa por escrito de ALAB E.I.R.L.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de ALAB E.I.R.L.

La calibración se realizó por comparación directa siguiendo el MVAL-LAB-29 Procedimiento para la calibración de GPS. Rev. 00: 2023 ALAB

**6. Trazabilidad**

Código	Descripción	Certificado
PTL-024	Marca: FOIF / Modelo: A60 pro/ Serie: A60011105001/A6001110	LL-0043-2023 / ANALYTICAL LABORATORY



Luis Alberto Pompilla Bardón  
Responsable de Laboratorio

7. Condiciones de calibración

	Inicio	Final
Temperatura ambiental	20,2 °C	20,6 °C
Humedad relativa	60,1 %	60,1 %

8. Resultados de la calibración

LATITUD

GPS PATRON			LECTURA DEL GPS			ERROR			INCERTIDUMBRE
°	'	"	°	'	"	°	'	"	"
12	3	40,486	12	3	40,64	0	0	0,154	2,9

LONGITUD

GPS PATRON			LECTURA DEL GPS			ERROR			INCERTIDUMBRE
°	'	"	°	'	"	°	'	"	"
77	7	27,220	77	7	27,1	0	0	-0,080	2,9

El valor convencionalmente verdadero (VCV) resulta de la relación:

$$VCV = \text{Lectura del GPS} - \text{Error}$$

9. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación CALIBRADO; N°: IM-03918.
- Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
- La incertidumbre expandida de la medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura  $k = 2$  que, para una distribución normal corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95 %.
- (\*) Código de identificación indicado en una etiqueta adherida al instrumento.

FIN DEL DOCUMENTO

SEDE PRINCIPAL

Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista - Callao  
 Telf.: (+01) 717 5802 - Cel.: 977 515 129

www.alab.com.pe

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LO-0079-2023

Expediente : 0006

Página 1 de 2

Fecha de emisión : 2023-06-09

- 1. **Solicitante** : ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L
- 2. **Dirección** : AV.GUARDIA CHALACA 1877, BELLAVISTA-CALLAO.
- 3. **Instrumento** : **TURBIDÍMETRO**
  - Marca / Fabricante** : HACH
  - Modelo** : 2100Q
  - Serie** : 11090OD12129
  - Procedencia** : U.S.A
  - Código de identificación** : EM-OPE-891
  - Intervalo de Indicación** : 0 NTU a 1000 NTU
  - Resolución** : 0,01 NTU; 0,1 NTU; 1 NTU
  - Ubicación** : NO INDICA
- 4. **Lugar de calibración** : Laboratorio de óptica de ALAB E.I.R.L.
- 5. **Fecha de calibración** : 2023-06-09
- 6. **Método de calibración**

La calibración se realizó por comparación de la indicación del equipo con material estandar certificado de valores nominales conocidos.

**7. Trazabilidad**

Producto	Marca	N° Lote	Expiración
20 NTU	HACH	A2292A	Octubre 2024
100 NTU	HACH	A2237	Agosto 2024
800 NTU	HACH	A2327	Noviembre 2024

**8. Condiciones de calibración**

	Inicial	Final
Temperatura ambiental	: 24,8 % H.R.	24,9 % H.R.
Humedad relativa	: 68,0 % H.R.	70,0 % H.R.

Los resultados presentados corresponden sólo al ítem calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

El certificado de calibración es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. Sin perjuicio de lo señalado, dicho uso puede configurar por sus efectos una infracción a las normas de protección al consumidor y las que regulan la libre competencia.

Al usuario le corresponde disponer en su momento la ejecución de una nueva calibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

ALAB E.I.R.L. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones internacionales, los cuales son aceptados por la EPA como un estándar primario para ser utilizado en la calibración de instrumentos de turbidez.

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización expresa por escrito de ALAB E.I.R.L.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de ALAB E.I.R.L.



**Meyler Villalobos Bravo**  
**Responsable de Laboratorio**  
**de Óptica**

📍 SEDE PRINCIPAL

Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista - Callao  
Telf.: (+01) 717 5802 - Cel.: 977 515 129

[www.alab.com.pe](http://www.alab.com.pe)

**9. Resultados**

**Lecturas del equipo antes del ajuste**

Valor referencia (NTU)	Lectura del equipo (NTU)
20,0	20,5
100,1	95,1
802,2	885

**Resultados del equipo**

Valor de Referencia (NTU)	Lectura Promedio del Equipo (NTU)	Error (NTU)	Incertidumbre (NTU)
20,0	20,3	0,3	0,2
100,1	99,4	-0,7	0,9
802,2	797	-5,2	7,2

Valor de referencia = Lectura Promedio del equipo - Error

**10. Observaciones**

Se colocó en el instrumento una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO" y N° IM-01757.

Los resultados corresponden al promedio de 3 mediciones.

Los resultados son emitidos para la temperatura de referencia de 25 °C .

La incertidumbre de medición expandida reportada es la incertidumbre de medición estándar multiplicada por el factor de cobertura k=2 de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95 %.

(FIN DEL DOCUMENTO)

SEDE PRINCIPAL

Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista - Callao  
Telf.: (+01) 717 5802 - Cel.: 977 515 129

[www.alab.com.pe](http://www.alab.com.pe)