

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL USO DE *Moringa oleífera* COMO COAGULANTE NATURAL PARA
LA CLARIFICACIÓN DEL AGUA DEL
RÍO CAPLINA EN TACNA

TESIS

Presentada por:

Bach. Dariella Sharyley Quintana Calizaya

Para optar por el Título Profesional de

INGENIERO AMBIENTAL

TACNA - PERÚ

2024

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL USO DE *Moringa oleífera* COMO COAGULANTE NATURAL PARA LA CLARIFICACIÓN DEL AGUA DEL RÍO CAPLINA EN TACNA

TESIS SUSTENTADA Y APROBADA EL 08 DE AGOSTO DEL 2024,
SIENDO EL JURADO CALIFICADOR:

PRESIDENTE:


.....
Dr. Pablo Juan Franco León

SECRETARIO:

.....
Dr. Carlos Francisco Tito Vargas

VOCAL:


.....
Dr. Edgar Chaparro Aguilar

ASESOR:

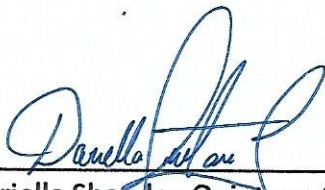
.....
Dr. Efrén Eugenio Chaparro Montoya

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Efren Eugenio Chaparro Montoya en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de N° 7535 – 2023 – FCAG de la tesis, titulado: *EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL USO DE Moringa oleífera* COMO COAGULANTE NATURAL PARA LA CLARIFICACIÓN DEL AGUA DEL RÍO CAPLINA EN TACNA, presentado por Bach. Dariella Sharyley Quintana Calizaya para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental, habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajo de investigación y producción intelectual, considerando que según revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual Turnitin cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es 6 %, por lo que **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis enunciado líneas arriba, la cual está expedita para continuar con los trámites para la obtención de título profesional, según corresponda consiguientemente la publicación en el repositorio institucional.



Dr. Efren Eugenio Chaparro Montoya
DNI: 00450486



Dariella Sharyley Quintana Calizaya
DNI: 76802773



DEDICATORIA

*A mi familia, quienes fueron mi motivación constante y me demostraron a
nunca rendirse y persistir ante las dificultades.*

AGRADECIMIENTOS

A Dios.

A mis padres, Rondinel y Susana por su apoyo incondicional.

*A mis hermanos Milka, Víctor Manuel y sobrinos,
quienes fueron mi motivación durante todo el proceso.*

*En especial, al Ing. José Francisco Chambe Bahamondes, con quien
estaré agradecida por su invaluable apoyo y motivación constante para
ser mejor profesional y persona.*

*Al director de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Dr. Efrén
Chaparro Montoya.*

*A todas las personas que en el camino me ayudaron y formaron parte de
este proceso.*

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema.....	4
1.2 Formulación y sistematización del problema	5
1.2.1 Interrogante general.....	5
1.2.2 Interrogantes específicas	6
1.3 Delimitación de la investigación	6

1.4	Justificación	7
1.4.1	Justificación social	7
1.4.2	Justificación económica	7
1.4.3	Justificación ambiental	8
1.5	Limitaciones.....	8

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1	Objetivos	9
2.1.1	Objetivo general	9
2.1.2	Objetivos específicos	9
2.2	Hipótesis	10
2.2.1	Hipótesis General	10
2.2.2	Hipótesis específicas	10
2.3	Variables	10
2.3.1	Diagrama de variables	10
2.3.2	Operacionalización de variables	11

CAPÍTULO III
MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

3.1	Conceptos generales y definiciones	13
3.1.1	Calidad del agua	13
3.1.2	Proceso de coagulación – floculación.....	16
3.1.3	Tipos de coagulantes.....	17
3.1.4	Características de la <i>Moringa oleífera</i>	19
3.1.5	<i>Moringa oleífera</i> como coagulante natural.....	20
3.2	Enfoques teóricos – técnicos.....	22
3.2.1	Coagulación.....	22
3.2.2	Floculación.....	23
3.2.3	Turbidez.....	23
3.2.4	Conductividad eléctrica.....	23
3.2.5	pH.....	24
3.2.6	Cloruro de Sodio (NaCl).....	24
3.3	Marco referencial	24
3.3.1	Nivel internacional.....	24

3.3.2 Nivel nacional.....	27
3.3.3 Nivel regional	29

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Tipo y diseño de investigación	30
4.1.1. Tipo de investigación	30
4.1.2. Diseño de investigación	30
4.2 Población y muestra	34
4.3 Técnicas aplicadas en la recolección de la información	36
4.4.1 Materiales	47
4.4.2 Equipos.....	48
4.5 Procesamiento y análisis de datos.....	48
4.6 Métodos estadísticos utilizados	50

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Análisis fisicoquímico del agua del río Caplina y las semillas de <i>Moringa oleífera</i>	51
5.1.1 Análisis proximal del coagulante natural <i>Moringa oleífera</i>	51

5.1.2	Análisis fisicoquímico del agua del río Caplina	52
5.2	Determinación de la mejor dosis de <i>Moringa oleífera</i> como coagulante natural en la remoción de turbidez del agua del río Caplina de Tacna.....	53
5.2.1.1.	Influencia de los factores en la conductividad.....	56
5.2.1.2.	Influencia de los factores en el pH	59
5.2.2	Mejor dosis del extracto de semillas de <i>Moringa oleífera</i> al 5 %....	62
5.3	Análisis fisicoquímico del agua tratada con <i>Moringa oleífera</i>	66
5.3.1	Caracterización del agua tratada con el coagulante natural de <i>Moringa oleífera</i>	66
5.3.2	Comparación con los Estándares de Calidad Ambiental para agua, categoría 1 – A2.....	68
5.4.	Discusión de resultados.....	70
	CONCLUSIONES	79
	RECOMENDACIONES	80
	BIBLIOGRAFÍA	81
	ANEXOS	90

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Operacionalización de variables.....	12
Tabla 2. Estándares de Calidad Ambiental para agua de la categoría 1- A 2.....	14
Tabla 3. Factores y niveles de estudio	31
Tabla 4. Tratamiento y repeticiones para la obtención de la mejor dosis	32
Tabla 5. Resultados de análisis proximal de las semillas de <i>Moringa</i> <i>oleífera</i>	52
Tabla 6. Resultados de las características fisicoquímicas del agua del río Caplina	53
Tabla 7. Resultados de la remoción de turbidez (%) por tratamiento ...	54
Tabla 8. Análisis de varianza de la turbidez por factores	55
Tabla 9. Resultados obtenidos de la conductividad ($\mu S/cm$)	56
Tabla 10. Análisis de varianza de la conductividad respecto al tamaño de partícula.....	57
Tabla 11. Prueba U de Mann-Whitney para conductividad respecto a humedad.....	57
Tabla 12. Prueba de U de Mann-Whitney para conductividad respecto a la humedad.....	58

Tabla 13. Análisis de varianza de la conductividad respecto a la concentración del solvente	58
Tabla 14. Resultados del análisis de pH por tratamientos.....	59
Tabla 15. Análisis de varianza del pH respecto al tamaño de partícula .	60
Tabla 16. Prueba de U de Mann-Whitney para pH respecto a la humedad (%)	60
Tabla 17. Análisis de varianza del pH respecto a la concentración de solvente	61
Tabla 18. Resumen de los resultados estadísticos obtenidos	61
Tabla 19. Resultados de la remoción de turbidez (%) a diferentes dosis de coagulante de <i>Moringa oleífera</i>	62
Tabla 20. Prueba de Kruskal-Wallis para turbidez respecto a las dosis .	63
Tabla 21. Prueba de Kruskal-Wallis para turbidez respecto a las dosis .	64
Tabla 22. Resultados del análisis fisicoquímico del agua tratada.....	67
Tabla 23. Comparación de la caracterización del agua tratada con los Estándares de Calidad Ambiental del agua categoría 1–A 2..	68
Tabla 24. Pruebas de normalidad para la remoción de turbidez	91
Tabla 25. Prueba de homogeneidad de varianzas para turbidez respecto al tamaño de partícula	91
Tabla 26. Prueba de homogeneidad de varianzas para turbidez respecto a la humedad	92

Tabla 27. Prueba de homogeneidad de varianzas para turbidez y concentración del solvente	92
Tabla 28. Prueba de normalidad para la conductividad.....	93
Tabla 29. Prueba de homogeneidad de varianzas para conductividad respecto al tamaño de partícula	93
Tabla 30. Prueba de normalidad para pH.....	94
Tabla 31. Pruebas de normalidad para turbidez en función a las dosis .	94
Tabla 32. Prueba de homogeneidad de varianzas para turbidez en función a las dosis	95
Tabla 33. Prueba de homogeneidad de varianzas para conductividad respecto a la concentración del solvente.....	95
Tabla 34. Prueba de homogeneidad de varianza para conductividad respecto a la humedad.....	96
Tabla 35. Prueba de homogeneidad de varianzas para pH respecto al tamaño de partícula	96
Tabla 36. Prueba de homogeneidad de varianzas para pH respecto a la humedad.....	97
Tabla 37. Prueba de homogeneidad de varianzas para pH y concentración del solvente	97

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama de variables de investigación.....	11
Figura 2. Fuente de agua del río Caplina	15
Figura 3. Esquema del mecanismo de coagulación y floculación por puente de polímero	17
Figura 4. Características de la planta de <i>Moringa oleífera</i>	20
Figura 5. Diagrama general de la investigación	33
Figura 6. Mapa de ubicación de punto de muestreo del río Caplina	35
Figura 7. Proceso de acondicionamiento de las semillas de <i>Moringa oleífera</i>	40
Figura 8. Preparación de solvente de cloruro de sodio (NaCl).....	42
Figura 9. Tratamientos para el extracto de <i>Moringa oleífera</i> al 5 %.....	43
Figura 10. Diagrama de flujo del proceso de coagulación y floculación .	44
Figura 11. Dosificación de coagulante natural <i>Moringa oleífera</i>	45
Figura 12. Porcentaje de remoción de turbidez (%) del agua del río Caplina por dosis de coagulante de <i>Moringa oleífera</i>	65
Figura 13. Valores promedio de la conductividad en relación a la dosis de coagulante	66
Figura 14. Preparación de tratamientos para extracción de coagulante natural de <i>Moringa oleífera</i>	101

Figura 15. Preparación de dosis de coagulante natural de <i>Moringa oleífera</i>	101
Figura 16. Aplicación de diferentes dosis de coagulante de <i>Moringa oleífera</i>	102
Figura 17. Tratamientos para extracción de coagulante natural de <i>Moringa oleífera</i>	102
Figura 18. Extracción de muestras de agua tratada para el análisis fisicoquímico	103
Figura 19. Tratamientos y repeticiones de dosis coagulante natural de <i>Moringa oleífera</i>	103
Figura 20. Medición de parámetro de turbidez de muestras finales.....	104
Figura 21. Medición del parámetro del pH de muestras finales	104
Figura 22. Medición del parámetro de conductividad.....	105
Figura 23. Equipo Turbidímetro (HANNA, Modelo HI88703)	105
Figura 24. Recolección de muestra de agua inicial del río Caplina	106
Figura 25. Recolección de semillas de <i>Moringa oleífera</i>	106

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Resultados de pruebas de normalidad y homogeneidad	91
Anexo 2. Resultados de laboratorio de análisis del agua tratada	98
Anexo 3. Resultados de laboratorio de análisis proximal de la semilla <i>Moringa oleífera</i>	100
Anexo 4. Panel fotográfico del desarrollo de la investigación	101

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto del uso de *Moringa oleífera* como coagulante natural para la clarificación del agua del río Caplina en Tacna. Se realizó la caracterización fisicoquímica del agua del río Caplina y el análisis proximal de las semillas de *Moringa oleífera*. Las semillas se obtuvieron del distrito de La Yarada - Los Palos y se procedió con el acondicionamiento de las semillas mediante el proceso del descascarado, molienda, tamizado y secado. La extracción del coagulante natural se llevó a cabo con un solvente salino (NaCl) y se aplicó las dosis de coagulante natural a la muestra de agua del río Caplina. El análisis estadístico se desarrolló a través de un diseño factorial de dos niveles con tres factores, tamaño de partícula, porcentaje de humedad y concentración del solvente. Para determinar la mejor dosis se efectuó un diseño completamente al azar con tres repeticiones. Las dosis empleadas fueron 5 mL, 15 mL, 20 mL y 30 mL. Se determinó que la mejor dosis de coagulante natural fue de 5 mL de *Moringa oleífera* al 5 % con 99,84 % de remoción de turbidez.

Palabras clave: Clarificación del agua, coagulante natural, *Moringa oleífera*, turbidez.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the effect of using *Moringa oleifera* as a natural coagulant for the clarification of water from the Caplina River in Tacna. The physicochemical characterization of the Caplina River water and the proximal analysis of the *Moringa oleifera* seeds were carried out. The seeds were obtained from the La Yarada - Los Palos district; The seeds were conditioned through the process of hulling, grinding, sieving and drying. The extraction of the natural coagulant was carried out with saline solution (NaCl) and the doses of natural coagulant were applied. The statistical analysis was developed through a two-level factorial design with three factors, particle size, % humidity and solvent concentration. To determine the optimal dose, a completely randomized design with three repetitions was carried out. The doses used were 5 mL, 15 mL, 20 mL and 30 mL. It was determined that the optimal dose was 5 mL of 5% *Moringa oleifera* with 99,84% turbidity removal.

Keywords: Water clarification, natural coagulant, *Moringa oleifera*, turbidity.

INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico es una de las fuentes principales para el desarrollo de la vida, y se encuentran en cuerpos naturales como ríos, lagos y lagunas. Sin embargo, están expuestas a diferentes factores del entorno que alteran su composición fisicoquímica y microbiológica, siendo no apta para el consumo humano.

La calidad del agua es importante para la salud pública y el desarrollo económico, sin embargo, el aumento de la demanda de consumo de agua y la falta de disponibilidad hídrica son factores que se relacionan entre sí, y pueden provocar conflictos sociales por la insatisfacción de las necesidades básicas de una población.

El río Caplina se encuentra ubicado en la región de Tacna, fuente de agua superficial caracterizada por presentar alta turbiedad por la presencia de partículas en suspensión. Uno de los tratamientos más usados para la remoción de turbidez es el uso de coagulantes químicos durante el proceso primario de coagulación y floculación. Sin embargo, el uso de sustancias químicas genera volúmenes de lodos. Por ello, en busca de nuevos tratamientos, los coagulantes naturales se convierten en una de las

alternativas más eficientes y sostenibles para el desarrollo económico y social.

La *Moringa oleífera* es un árbol originario de la India perteneciente a la familia *Moringaceae*; es considerada una planta tropical con propiedades idóneas como coagulante natural demostrando resultados sostenibles y eficientes para el tratamiento de aguas superficiales. En ese sentido, el objetivo de la presente investigación es el uso de las semillas de la *Moringa oleífera* como coagulante natural para la clarificación del agua del río Caplina.

El presente trabajo de investigación aplicado se encuentra dividido en cinco capítulos: Planteamiento y definición del problema, objetivos e hipótesis, marco teórico y conceptual, metodología de la investigación, y resultados y discusión, asimismo, se añade una amplia recopilación de referencias bibliográficas que respalda la investigación.

Capítulo 1: Planteamiento y definición del problema, en el primer capítulo se describen los aspectos generales de la investigación, definición del problema, propósito, preguntas de investigación, supuestos y limitaciones que se ha establecido en el estudio.

Capítulo 2: Objetivos e hipótesis, el segundo capítulo describe los objetivos, hipótesis, variables y su operacionalización.

Capítulo 3: Marco teórico y conceptual, el tercer comprende los conceptos generales y enfoques teórico – técnicos; que definen y profundizan las variables de estudio, explicando su consistencia y composición según diversos autores.

Capítulo 4: Metodología de la investigación, el capítulo describe las funciones metodológicas que se han aplicado en la tesis, se define el diseño de investigación, población y muestra, procedimiento de recolección de datos e instrumento empleado.

Capítulo 5: Resultados y discusión, agrupa todos los resultados obtenidos y analizados que responden a las hipótesis de investigación, se contrasta e interpreta de acuerdo a la data recogida y se discute los resultados con los antecedentes citados.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

La región de Tacna se encuentra ubicada en la cabecera del desierto de Atacama, una zona árida y desértica, lo cual lo convierte en una zona vulnerable a la escasez hídrica. Factores como el cambio climático, el crecimiento poblacional y la inadecuada gestión hídrica puede enfatizar la problemática de disponibilidad hídrica y no satisfacer la demanda poblacional (Pino, 2021).

Aproximadamente el 1,89 % representa el agua superficial en el Perú, que está constituido por ríos, lagos y lagunas (Alburquerque et al., 2021). El río Caplina es una fuente superficial de agua que se caracteriza por presentar alta turbiedad por la presencia de partículas en suspensión y de elementos inorgánicos como hierro, producto de la actividad geotermal de la zona (Pino et al., 2017). Por ello, se realizan tratamientos como coagulación y floculación para remover partículas en suspensión y mejorar la calidad del agua (Fernández, 2020).

Durante el proceso de coagulación y floculación se utiliza insumos químicos como el sulfato de aluminio que cumplen la función de coagulante, sin embargo, se generan residuos que están relacionados con enfermedades como el Alzheimer (Ahmad et al., 2023).

Por ello, en busca de nuevas alternativas diversos estudios demuestran que los coagulantes naturales de origen vegetal tienen una alta eficiencia en la remoción de turbidez, siendo más sostenibles para el desarrollo económico y social (Cuayla & Diaz, 2022).

En ese sentido, el objetivo de la presente investigación es evaluar el efecto del uso de las semillas de la *Moringa oleífera* como coagulante natural para la clarificación del agua del río Caplina.

1.2 Formulación y sistematización del problema

1.2.1 Interrogante general

- ¿Cuál es el efecto del uso de *Moringa oleífera* como coagulante natural para la clarificación del agua del río Caplina en Tacna?

1.2.2 Interrogantes específicas

- ¿Cuáles son las características fisicoquímicas del agua del río Caplina y las semillas de *Moringa oleífera*?
- ¿Cuál es la mejor dosis de coagulante natural de *Moringa oleífera* para la remoción de turbidez del agua del río Caplina de Tacna?
- ¿Cuáles son las características fisicoquímicas del agua tratada con coagulante natural de *Moringa oleífera*?

1.3 Delimitación de la investigación

La investigación fue desarrollada en las instalaciones de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann en la ciudad de Tacna.

1.4 Justificación

1.4.1 Justificación social

Debido al crecimiento poblacional en zonas urbanas y rurales; la disponibilidad del recurso hídrico se hace cada vez más escasa, y se intensifica en países en desarrollo; por lo cual se está constantemente en búsqueda de alternativas de solución para poder satisfacer la demanda mundial. El presente trabajo de investigación busca brindar una alternativa sostenible para remover las partículas en suspensión del río Caplina.

Por otro lado, en el proceso de coagulación y floculación, es usualmente usar coagulantes químicos como el sulfato de aluminio por su alta eficiencia de remoción de turbidez, sin embargo, puede generar residuos en el agua que por la ingesta de la población podría ocasionar afectaciones a la salud.

1.4.2 Justificación económica

El uso de las semillas de *Moringa oleífera*, a comparación del uso de coagulantes químicos, disminuye el costo de adquisición de productos para remoción de turbidez, convirtiéndose en una opción más accesible en zonas rurales y generando un impacto positivo en la sociedad. Además,

esta alternativa podría innovar en las industrias de comercialización de la semilla de *Moringa oleífera* como coagulante natural.

1.4.3 Justificación ambiental

Desde el punto de vista ambiental, el uso de las semillas de *Moringa oleífera* como coagulante natural permite eliminar las partículas en suspensión en aguas con problemas de contaminación y alta turbidez reemplazando a coagulantes químicos, que generan grandes cantidades de lodos; permitiendo ser una alternativa eficiente, sostenible y accesible (Carrizales & Enriquez, 2019).

1.5 Limitaciones

La presente tesis no presentó limitaciones en su ejecución.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo general

- Evaluar el efecto del uso de *Moringa oleífera* como coagulante natural para la clarificación del agua del río Caplina en Tacna.

2.1.2 Objetivos específicos

- Analizar fisicoquímicamente el agua del río Caplina y las semillas de *Moringa oleífera*.
- Determinar la mejor dosis de coagulante natural de *Moringa oleífera* para la remoción de turbidez del agua del río Caplina en Tacna.
- Analizar fisicoquímicamente el agua tratada con el coagulante natural de *Moringa oleífera*.

2.2 Hipótesis

2.2.1 Hipótesis General

- El uso de *Moringa oleífera* como coagulante natural tiene efecto sobre la clarificación del agua del río Caplina en Tacna.

2.2.2 Hipótesis específicas

- El análisis fisicoquímico del agua del río Caplina y de las semillas de *Moringa oleífera* permite identificar sus características.
- La determinación de la mejor dosis de coagulante natural de *Moringa oleífera* permite la remoción de turbidez en las aguas del río Caplina.
- El coagulante natural de *Moringa oleífera* tiene efecto en el agua tratada del río Caplina.

2.3 Variables

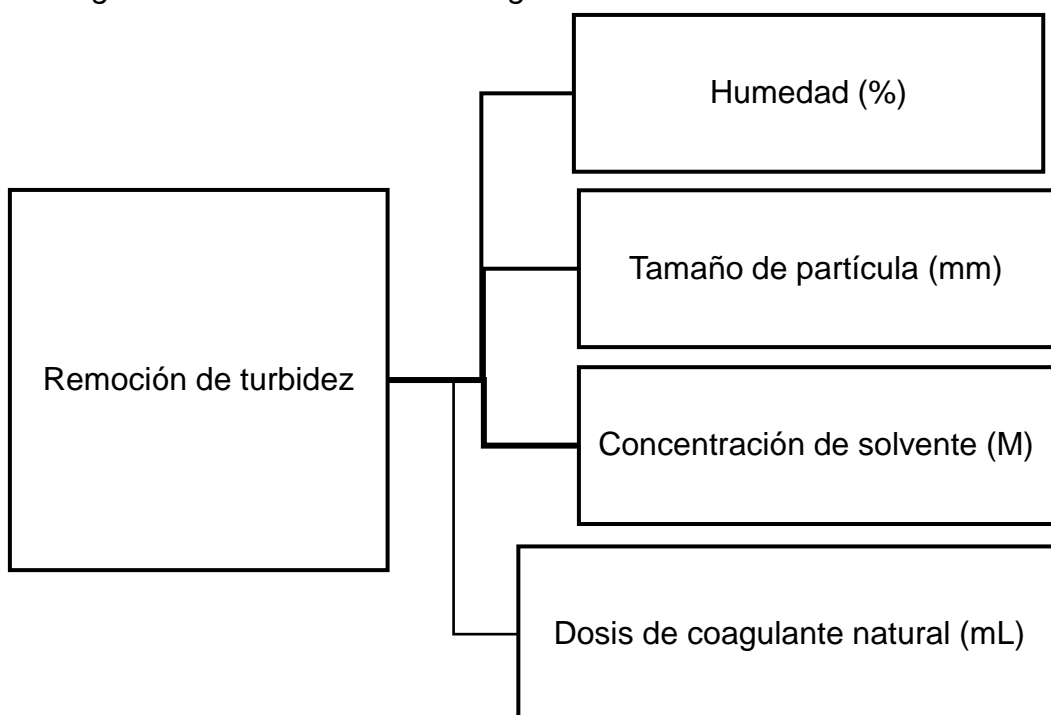
2.3.1 Diagrama de variables

A continuación, se observa la figura 1 que presenta la gráfica de variables de la presente tesis, donde se detalla la variable dependiente: “remoción de turbidez”, y se tomaron las siguientes variables

independientes: “dosis de coagulante natural”, “tamaño de partícula”, “humedad” y “concentración del solvente”.

Figura 1

Diagrama de variables de investigación



2.3.2 Operacionalización de variables

En la tabla 1, se detalla la operacionalización de variables, las cuales fueron empleadas en el desarrollo de la presente investigación.

Tabla 1*Operacionalización de variables*

Variable	Dimensiones	Unidad de medida
Variables independientes		
X ₁ : Humedad	porcentaje	%
X ₂ : Tamaño de partícula	tamaño	mm
X ₃ : Concentración de solvente	molaridad	M
X ₄ : Dosis de coagulante*	coagulante	mL
Variable dependiente		
Y ₁ : Remoción de turbidez	parámetro fisicoquímico	%

Nota. Se aplicó un diseño completamente al azar (DCA) para la variable de dosis de coagulante (*).

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

3.1 Conceptos generales y definiciones

3.1.1 Calidad del agua

La calidad de agua consiste en un conjunto de características fisicoquímicas, biológicas y microbiológicas del agua que indican valores establecidos para el adecuado uso (Fernández, 2022).

En el Perú, se estableció normativa ambiental en relación a la calidad de agua, estos son los Estándares de Calidad de Ambiental para el agua, los cuales surgen con el Decreto Supremo 004-2017-MINAM que cuentan con 04 categorías y 104 parámetros entre ellos fisicoquímicos y microbiológicos (Ministerio del Ambiente, 2017).

En la tabla 2, se menciona en resumen los principales parámetros incluidos en la citada norma.

Tabla 2*Estándares de Calidad Ambiental para agua de la categoría 1- A2*

Parámetros	ECA
	Categoría 1 – A2
	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional
Turbidez (UNT)	100
pH	5,5 – 9,0
Conductividad (μ S/cm)	1 600
Sólidos totales disueltos (mg/L)	1 000
Oxígeno disuelto (mg/L)	≥ 5
Color (b) Pt/Co	100 (a)
As (mg/L)	0,01
Cu (mg/L)	2
Fe (mg/L)	1

La cuenca del río Caplina está constituida por cinco unidades hidrográficas, entre ellos, La Concordia, Hospicio, Escritos, Los Molles y Caplina (Autoridad Nacional del Agua, 2013).

El río Caplina contempla una de las principales bocatomas que abastece del recurso hídrico a la población de Tacna denominada bocatoma "Challata". Según Peña et al. (2009), menciona que el agua del río Caplina presenta minerales por la actividad geotermal que existe en la cuenca; además durante épocas de estiaje y lluvia; se presencia un promedio de 67,12 mg/L de hierro, lo que evidenciaría la coloración característica del agua del río Caplina (Pino, 2013).

En la figura 2, se observa la coloración del río Caplina en la bocatoma Challata.

Figura 2

Fuente de agua del río Caplina



3.1.2 Proceso de coagulación – floculación

El tratamiento de aguas consiste en una serie de procesos primarios y secundarios que permiten remover sustancias o partículas suspendidas que se encuentran presentes en el agua y generan la turbidez. Uno de los procesos primarios es la coagulación y floculación, para luego proceder con la sedimentación y filtración (Fernández, 2020).

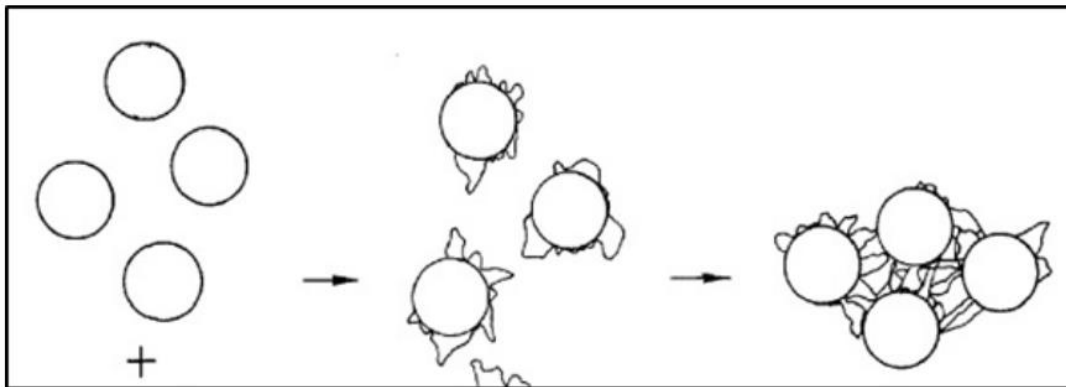
El proceso de coagulación y floculación se basa en la interacción de las partículas estables con un coagulante; químico o natural; que ocasionan la desestabilización y la formación de micro flóculos por el incremento de tamaño y peso de las partículas (Alvarez, 2019).

La desestabilización de las partículas es generada por la repulsión de polielectrolitos negativos y positivos que presentan los coagulantes. Existen cuatro tipos de mecanismo de coagulación, sin embargo, los coagulantes naturales se pueden producir a través del mecanismo de puente de polímero (Amran et al., 2018).

En la figura 3 se muestra el esquema del proceso de coagulación y floculación.

Figura 3

Esquema del mecanismo de coagulación y floculación por puente de polímero



Nota. Adaptado de Amran et al., (2018)

3.1.3 Tipos de coagulantes

Para el tratamiento de aguas en el proceso de coagulación y floculación se usan diferentes tipos de coagulantes, como inorgánicos u orgánicos, como se puede describir a continuación:

Los coagulantes inorgánicos o químicos actúan utilizando la composición (carga positiva) del hierro o aluminio con la finalidad de equilibrar las cargas que contienen las sustancias o partículas que provocan la turbidez del agua (Vargas & Romero, 2011). El uso de coagulantes químicos comunes conlleva obstáculos asociados a altos

costos de adquisición, producción de grandes volúmenes de lodo y alteración de las propiedades químicas del agua como del pH del agua tratada (Choque, 2018).

Según Castro (2023), los riesgos a la salud por la presencia de aluminio en los alimentos o al consumir agua se relacionan a enfermedades como el Alzheimer. Del mismo modo, la ingesta prolongada de esta sustancia tiene un efecto adverso en las células epiteliales intestinales (Djouina et al., 2016).

Los coagulantes naturales u orgánicos son de origen vegetal o animal, tales como, semillas, bagazo, algas, que dentro de su composición presentan proteínas que las convierten en sustancias idóneas para la remoción de turbidez en aguas superficiales (Sánchez et al., 2013).

De los estudios realizados, se ha identificado especies vegetales como coagulantes naturales, entre las cuales están *Opuntia ficus-indica*, *Opuntia cochenillifera*, *Moringa oleífera*, *Cocos nucifera*, plátano, lenteja, naranja, yuca y nopal; de las cuales las semillas de *Moringa oleífera* demostraron una eficiencia similar a los coagulantes inorgánicas (Cuayla & Diaz, 2022).

3.1.4 Características morfológicas de la *Moringa oleífera*

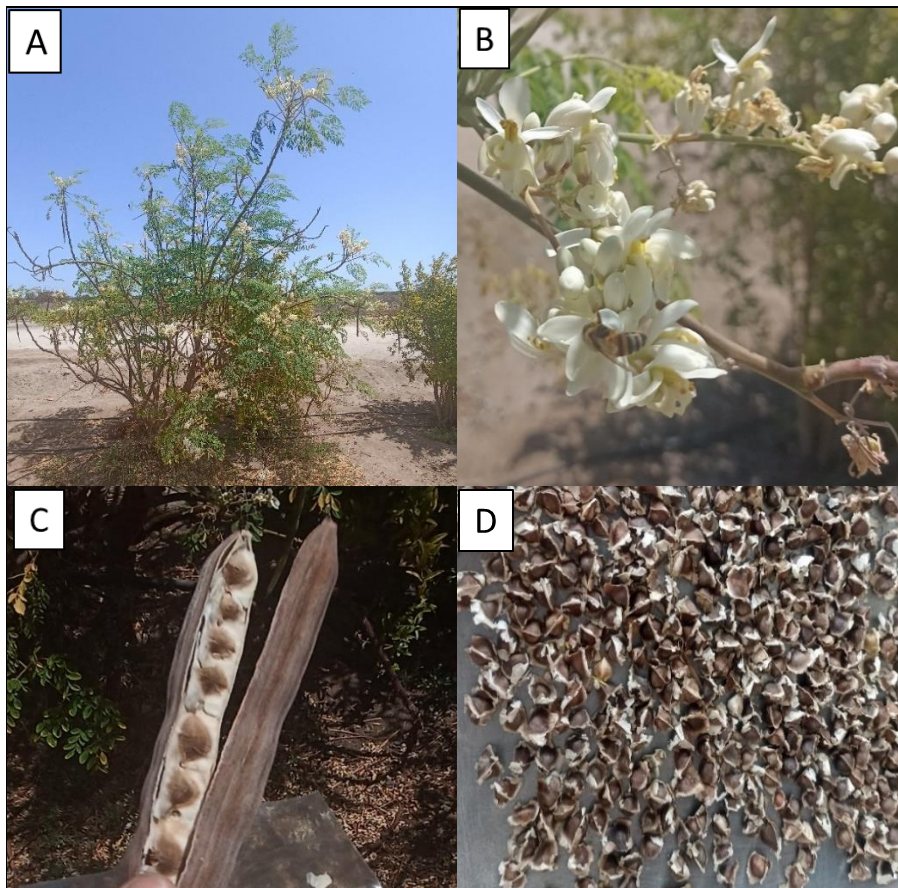
La *Moringa oleífera* es una planta que tiene como origen el país de la India y se encuentra distribuida entre los continentes de África, Asia y América Latina. Morfológicamente, la planta crece entre siete a doce metros de altura y entre veinte a cuarenta centímetros de ancho. Las flores presentan un color blanco o crema y tienen puntos amarillos en la base (Napoleão et al., 2019).

La planta pertenece a la familia de Moringáceas; origen Capparidales; clase Magnoleopsida; género *Moringa* y especie oleífera (Liñan, 2010). Las semillas de la *Moringa oleífera* contienen vitaminas y proteínas que varían de acuerdo a las condiciones del suelo que la convierten en un potencial insumo en el campo industrial, medicinal y ambiental (Melon, 2017).

En la figura 4, se muestra las características morfológicas de la planta de *Moringa oleífera* obtenida del distrito de La Yarada - Los Palos, provincia de Tacna, región Tacna.

Figura 4

Características morfológicas de la planta de Moringa oleífera



Nota. a) Planta *Moringa oleífera*; b) Flor; c) fruto; d) semillas

3.1.5 *Moringa oleífera* como coagulante natural

Las semillas de *Moringa oleífera* tienen propiedades coagulantes que ayudan a la clarificación de aguas y mejorar la calidad del agua en

términos fisicoquímicos como pH, turbiedad, sólidos suspendidos, alcalinidad y conductividad (Adeniran et al., 2017).

Según Ndabigengesere et al. (1995), las semillas tienen proteínas catiónicas diméricas de peso molecular de 13 kDa y puntos isoelectricos entre 10 y 11 que trabajan como agente activo durante el proceso de coagulación y floculación, proceso que consiste en la adsorción y neutralización de las cargas coloidales.

El principio activo que presenta las semillas de *Moringa oleífera* se debe a las proteínas que están conformadas por 17 aminoácidos, entre ellos, el ácido glutámico (Glu), ácido aspártico (Asp), serina (Ser), glicina (Gli), histidina (His), (Arg) arginina, treonina (Tre), alanina (Ala), prolina (Pro), tirosina (Tir), valina (Val), metionina (Met); que son polares y no polares, siendo las causantes del proceso de coagulación y floculación (Campos et al., 2003) . Del mismo modo, presenta elementos como carbohidratos, grasas, minerales, fibra, entre otros (Velázquez et al., 2016).

El uso de las semillas de *Moringa oleífera* como coagulante natural presenta diferentes ventajas. De acuerdo a (Ndabigengesere et al., 1995), la cantidad de lodo residual generado por el coagulante de *Moringa oleífera*

es menor al de un coagulante químico y se encuentra libre de metales pesados y no altera las propiedades químicas del agua tratada (Sandoval et al., 2013).

Por otro lado, según Camacho et al. (2017), sostiene que el uso de las semillas de *Moringa oleífera* no requiere de un tratamiento previo de extracción lipídica obteniendo un alto porcentaje de remoción de turbidez, y es posible el uso directo (Martinez & Yauri, 2023). Asimismo, las semillas no alteran el valor de pH del agua durante la aplicación del coagulante (Arias et al., 2017).

Las semillas de *Moringa oleífera* como coagulante natural son una alternativa viable de bajo costo y sin efectos nocivos para el ser humano (Núñez, 2007). Asimismo, en una revisión de los últimos 10 años se identificó que la *Moringa oleífera* es uno de los coagulantes naturales más eficientes a comparación de otros vegetales (Cuayla & Diaz, 2022).

3.2 Enfoques teóricos – técnicos

3.2.1 Coagulación

La coagulación es un proceso ampliamente usado en el tratamiento de aguas para generar la desestabilización de las partículas coloidales al

agregar un coagulante inorgánico u orgánico, para luego formar flóculos de mayor tamaño y sedimentar (Ang & Mohammad, 2020).

3.2.2 Floculación

La floculación consiste en el proceso de aglomeración de las partículas que se desestabilizaron durante el proceso de coagulación, a través de la agitación moderada del agua, formando partículas de mayor peso llamados flóculos (Andía, 2000).

3.2.3 Turbidez

La turbidez es la medida de la capacidad de la luz pase a través del agua. La turbidez del agua se genera por la presencia de partículas en suspensión como materia orgánica, sedimentos, otros (Hassan, 2020).

3.2.4 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es la capacidad del agua de poder transmitir energía a través de la presencia de iones disueltos en el agua. La unidad de medida es ms/cm y $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Dueñas, 2021).

3.2.5 pH

El pH es parámetro fisicoquímico que permite identificar la acidez o alcalinidad del agua por la concentración de iones de hidrógeno que es medido entre los valores de 0 a 14 (Alvarez, 2019).

3.2.6 Cloruro de Sodio (NaCl)

El cloruro de sodio con su fórmula química de NaCl es comúnmente llamado sal de mesa. Es un compuesto mineral que es utilizado en el campo industrial a gran escala (Reyes et al., 2021).

3.3 Marco referencial

3.3.1 Nivel internacional

Ahmad et al. (2023), realizaron una investigación titulada “Evaluación del potencial de purificación de la semilla de *Moringa oleífera* en agua potable”, el cual tuvo por objetivo analizar el efecto de la semilla de *Moringa oleífera* en las propiedades fisicoquímicas y microbianas en el agua. Los parámetros analizados fueron la turbidez, dureza, cloruros, nitratos y coliformes totales. Concluyó que los polielectrolitos de la semilla de *Moringa oleífera* pudieron remover la dureza 40%, turbidez 40%, 50% de conductividad durante un rango de tiempo de 4 a 12 horas.

Tumbaco & Acebo (2018), en su investigación titulada “Eficiencia de biocoagulante a base de semilla de *Moringa oleífera* para aplicación de tratamiento de agua usando como fuente de captación del río Guayas, analizó los parámetros de turbidez, pH y color en aguas con un nivel alto de turbidez. Los resultados que obtuvo fue un 100 % de remoción de turbidez y color, además de no presentar alteración significativa del pH.

Gómez & Salazar (2016), realizaron la investigación titulada “Evaluación de la eficiencia de semillas de (*Moringa oleífera* Lam.) como coagulante natural en la ciudad de Pasto en Colombia, demostró que el proceso de coagulación se realizó a través del mecanismo de adsorción y neutralización de cargas. La mejor extracción de coagulante fue con solución salina con 274,9 mg/L de coagulante, obteniendo un 97 % de remoción de turbidez.

Salokún & Osarumwense (2023), realizaron la investigación “Evaluación de las actividades de coagulación de las semillas de *Moringa oleífera* y sulfato de aluminio en el tratamiento de aguas residuales de la producción de biodiesel” en la ciudad de Benín, en el que reportó que las semillas contienen un 17,5 % de proteínas, la cual produce la desestabilización de las partículas mediante un proceso de neutralización

y adsorción durante la floculación. La remoción de turbidez fue de 85,65 %, concluyendo que, la *Moringa oleífera* es un coagulante eficaz por la presencia de las proteínas.

Sandoval et al. (2013) en su investigación titulada “*Moringa oleífera* una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales” en la ciudad de México, realizó la evaluación de cuatro tratamientos, donde obtuvo como que la extracción de coagulante con agua destilada no tuvo un alto porcentaje de remoción de turbidez a comparación del uso de NaCl, con un 92,03%.

Nkurunziza et al. (2009), en su investigación “El efecto de los niveles de turbidez y la concentración de *Moringa oleífera* sobre la efectividad de la coagulación en el tratamiento del agua”, usó las semillas de *Moringa oleífera* para remover la turbidez del agua, utilizó diferentes concentraciones desde 25 a 30 mg/ L de coagulante natural extraído con NaCl 1 M. La remoción de turbidez fue de 99,8 % con 125 mg/ L de concentración de *Moringa oleífera*.

3.3.2 Nivel nacional

Arango & Martinez (2022) en su investigación titulada “Evaluación del efecto de la semilla de *Moringa oleífera* en la reducción de turbidez y e. Coli en el proceso de coagulación para el tratamiento de aguas naturales del río Shullcas” determinaron que, al aplicar las dosis de 5 mg/L, 10 mg/L y 15 mg/L el porcentaje de remoción de turbidez fue de 78,7 %, 75,19 % y 82,10 % respectivamente.

Mejía et al. (2020) en la investigación titulada “Evaluación de la *Moringa oleífera* en el tratamiento de aguas con alta turbidez y carga orgánica” demostraron que, a menor dosis de coagulante a base de semillas de *Moringa oleífera* con cloruro de sodio, la remoción de turbidez es mayor hasta un 97,8 %.

Álvarez (2019) en su investigación denominada “Extracto de Moringa (*Moringa oleífera*) para la remoción de turbidez de efluentes de la producción de Néctar de maracuyá en Lima, obtuvo una reducción de turbidez de 92,25 % y 94,16 % con tratamientos de 335 UNT y 290 mg/L; 500 UNT y 400 mg/L respectivamente.

Melendez (2019), realizó la investigación denominada “Eficiencia de la Moringa oleífera como coagulante natural en la remoción de turbidez del agua residual doméstica del efluente del uasb-citrar”, la cual tuvo por objetivo determinar la dosis del coagulante natural y la concentración para la disminución de la turbidez del agua. Realizó el procesamiento de las semillas de *Moringa oleífera*, preparó las soluciones de coagulante y a través de una prueba de jarras de determinó la mejor dosis. Los resultados indicaron que con una dosis de 250 mg/L, se obtuvo un 82.7% de remoción de turbidez del agua.

Carrizales & Enriquez (2019) en la investigación titulada “Determinación de la dosis y concentración óptima del coagulante de *Moringa oleífera* en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica”, obtuvo 10 muestras de agua, donde utilizó las semillas de *Moringa oleífera* como coagulante en una prueba de jarras. Los resultados demostraron que la dosis óptima de la *Moringa oleífera* para turbiedades mayores a 50 UNT y hasta 150 UNT para la clarificación de las aguas fueron de 30 a 100 mg/L. Los parámetros fisicoquímicos analizados como pH y temperatura durante la aplicación del coagulante no tuvieron incidencia en la remoción de turbidez del agua.

3.3.3 Nivel regional

Castillo & Avendaño (2020), realizó un trabajo de investigación titulado “Efecto de las semillas de *Moringa oleífera* en las condiciones para la clarificación del agua del Río Sama” en la ciudad de Tacna donde reportó que las mejores condiciones de operación requeridas para el tratamiento del agua fueron: dosis de semillas de *Moringa oleífera* (agente coagulante) 0,2 g/L, velocidad de floculación 30 revoluciones por minuto (rpm) y un tiempo de floculación de 30 minutos. En conclusión, obtuvieron niveles de reducción de la turbidez hasta un 98,88 %; con un tiempo de sedimentación de 90 minutos y con niveles de turbidez de 132, 48,6 y 424 unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Tipo y diseño de investigación

4.1.1. Tipo de investigación

La tesis presentada es de tipología explicativa y experimental debido a que se basa en la relación causa/efecto entre las variables dependientes e independientes identificadas.

4.1.2. Diseño de investigación

El primer análisis estadístico se realizó mediante la aplicación de un diseño factorial 2³. Los factores evaluados fueron tamaño de partícula (mm), concentración del solvente de Cloruro de sodio NaCl (1 M y 0,5 M) y porcentaje de humedad (%).

En la tabla 3, se menciona el número de tratamientos que se emplearon para la obtención del extracto de las semillas de *Moringa oleífera* al 5 %.

Tabla 3*Factores y niveles de estudio*

N°	Factores		
	Humedad (X1)	Tamaño de partícula (X2)	Concentración de solvente (X3)
1	a	x	p
2	b	x	p
3	a	x	q
4	b	x	q
5	a	y	p
6	b	y	p
7	a	y	q
8	b	y	q

El segundo análisis estadístico fue un diseño completamente al azar (DCA) con tres repeticiones; con el objetivo de evaluar la mejor dosis de coagulante natural obtenido de las semillas de *Moringa oleífera* para la clarificación del agua.

En la tabla 4, se muestran los tratamientos y repeticiones aplicados en la investigación.

Tabla 4

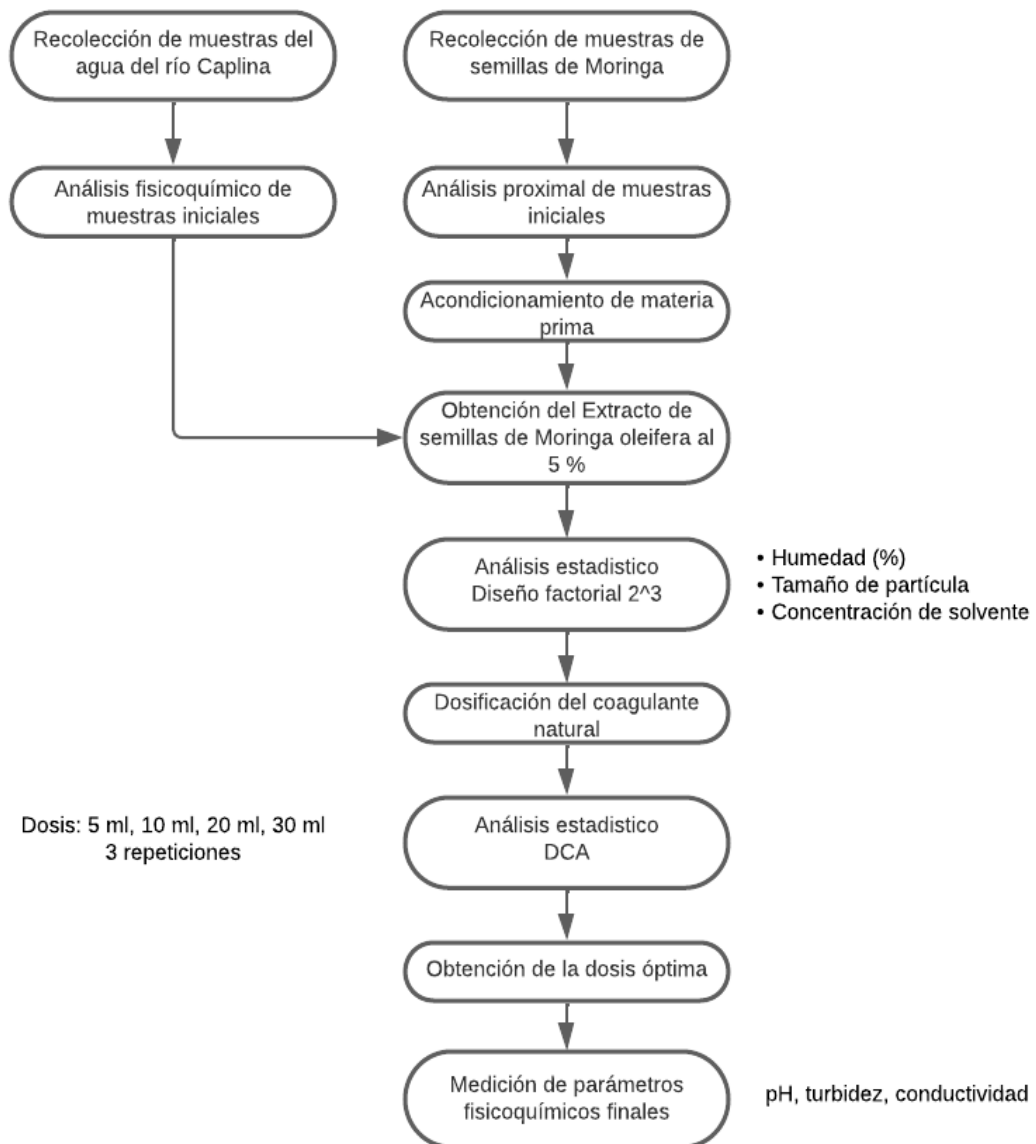
Tratamiento y repeticiones para la obtención de la mejor dosis

Tratamiento	Repetición		
	I	II	III
T1			
T2			
T3			
T4			

En la figura 5, se describe las etapas desarrolladas para evaluar el efecto del uso de la *Moringa oleífera* como coagulante natural.

Figura 5

Diagrama general de la investigación



Nota. El diagrama describe el proceso general de la investigación para la obtención de coagulante natural de *Moringa oleífera*.

4.2 Población y muestra

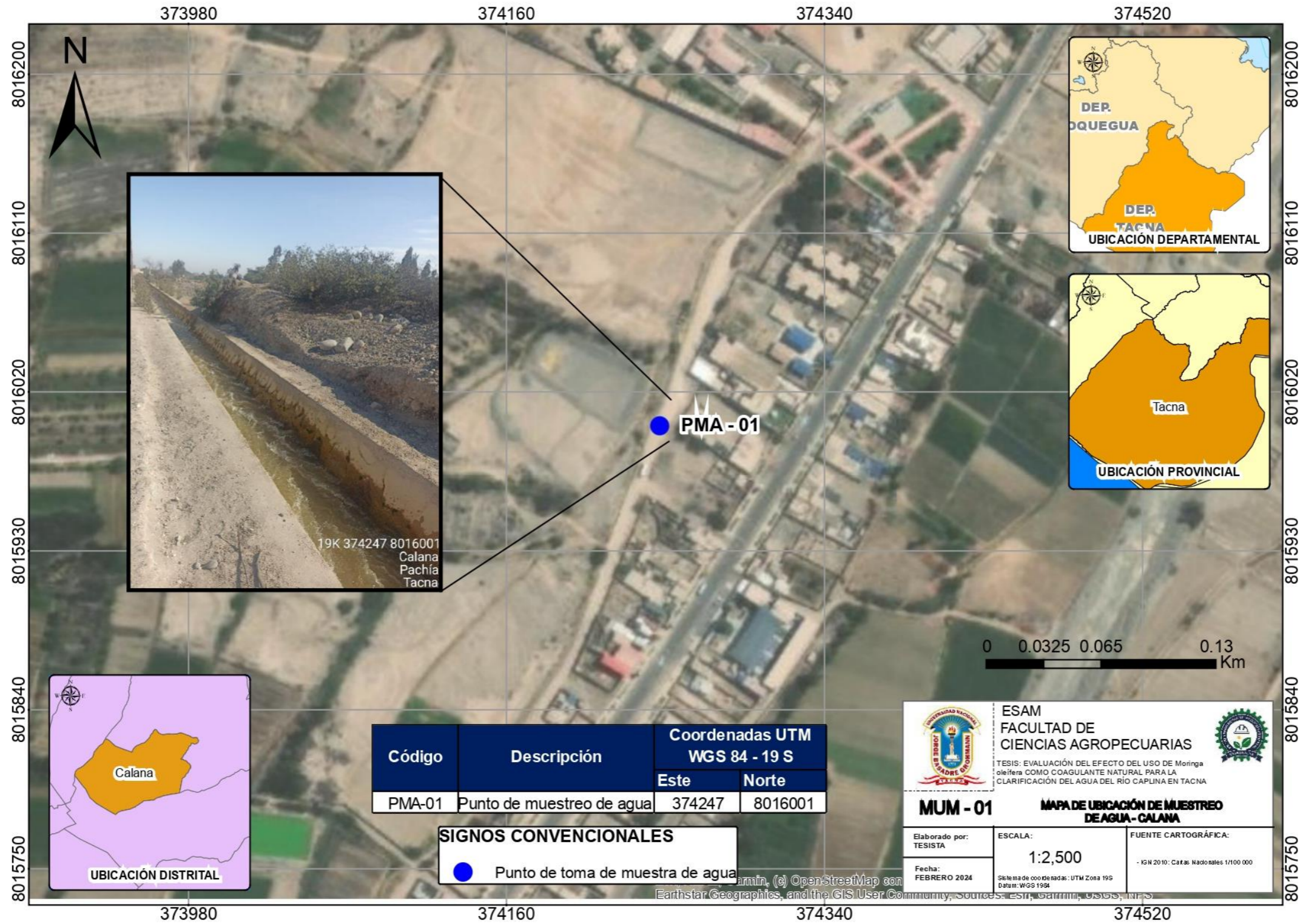
En la presente investigación se tuvo como población y muestra a las aguas del río Caplina, de la cual se obtuvo una muestra de 88 L.

Asimismo, se recolectó una muestra de 1 kg de semillas de *Moringa oleífera* para el desarrollo del objetivo específico 02 de la presente investigación.

En la figura 6, se representa la ubicación del punto de muestreo del agua en el río Caplina para el desarrollo de la investigación.

Figura 6

Mapa de ubicación de punto de muestreo del río Caplina



4.3 Técnicas aplicadas en la recolección de la información

Las técnicas de recolección de información se realizaron de acuerdo a los objetivos planteados, según se detalla de la siguiente manera:

Objetivo específico 01: Analizar fisicoquímicamente el agua del río Caplina y las semillas de *Moringa oleífera*.

Recolección de muestra del agua del río Caplina

La muestra de agua recolectada para la presente investigación se llevó a cabo siguiendo los procedimientos del Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales emitida con Resolución Jefatural N°010-2016-ANA.

La muestra recolectada fue de tipo simple y se realizó en el canal del río del Caplina ubicada en las coordenadas E 374247 N 8016001 UTM WGS84, donde existe la accesibilidad para la obtención de la muestra de 88 L de agua.

Después de llevar a cabo la toma de muestra, se procedió a realizar el análisis de los parámetros fisicoquímicos iniciales, tales como turbidez, pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto.

Los análisis se realizaron en las instalaciones del laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental para determinar los parámetros fisicoquímicos iniciales del agua del río Caplina.

Recolección de materia prima de semillas de *Moringa oleífera*

Las semillas de *Moringa oleífera* fueron recolectadas en áreas de terrenos agrícolas ubicadas en el distrito de La Yarada - Los Palos. Se recolectó 1kg de semillas y se seleccionaron las que se encontraban en un estado adecuado para la investigación.

Se pesó 100 g de semillas de *Moringa oleífera* descascaradas para realizar el análisis proximal e identificar los principales elementos que contienen las semillas de *Moringa oleífera*. El análisis se llevó a cabo en la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, en las instalaciones del laboratorio de la Carrera Profesional de Biología.

Durante todo el proceso se realizó el pesado para obtener un balance de materia final.

Objetivo específico 02: Determinar la mejor dosis de coagulante natural de *Moringa oleífera* para la remoción de turbidez del agua del río Caplina en Tacna

Acondicionamiento de las semillas de *Moringa oleífera*

Las semillas de *Moringa oleífera* presentan una forma globular y contienen una capa que protege a la semilla interior (Liñan, 2010). Para la obtención de la semilla, se procedió a realizar diferentes procesos que acondicionan a las semillas para luego obtener el coagulante para la clarificación del agua del río Caplina.

El proceso de acondicionamiento de las semillas se realizó de acuerdo a Arango & Martínez (2022), y se describe a continuación:

a) Descascarado

Se realizó el descascarado de las semillas de *Moringa oleífera* de forma manual, a través de un golpe con un mazo a cada una de ellas para obtener una semilla de color crema y suave.

b) Molienda

Las semillas sin cáscaras fueron molidas de acuerdo a los diferentes tratamientos. La molienda de las semillas fue en polvo y granos.

Para el procedimiento, se utilizó una licuadora y un mortero respectivamente.

c) Tamizado

El tamizado se realizó con una malla con la finalidad de medir el tamaño de partícula del polvo y los granos de las semillas de *Moringa oleífera*.

d) Secado

Después del tamizado y molienda de las semillas en polvo y granos, de acuerdo a los tratamientos, fueron secadas a 105 °C por un periodo de 60 minutos en un Horno secadora, de acuerdo a la metodología empleada por Cabrera et al. (2018).

En la figura 7, se muestra el proceso de acondicionamiento de las semillas de *Moringa oleífera* para obtener el coagulante y, posteriormente realizar el tratamiento del agua del río Caplina.

Figura 7

Proceso de acondicionamiento de las semillas de Moringa oleífera



Nota. El diagrama representa el proceso de acondicionamiento de las semillas de *Moringa oleífera* antes del proceso de activación del componente para la obtención del coagulante.

Extracción del coagulante de semillas de *Moringa oleífera* al 5 %

Para la obtención del extracto de *Moringa oleífera*, se procedió de acuerdo a la metodología empleada por (Ndabigengesere et al., 1995).

Se pesó 5 g de semillas de *Moringa oleífera* mediante el uso de una balanza digital para cada tratamiento; es decir, en condiciones húmedas y secas, y de acuerdo al tamaño de partícula (polvo y granos) para el desarrollo de la investigación.

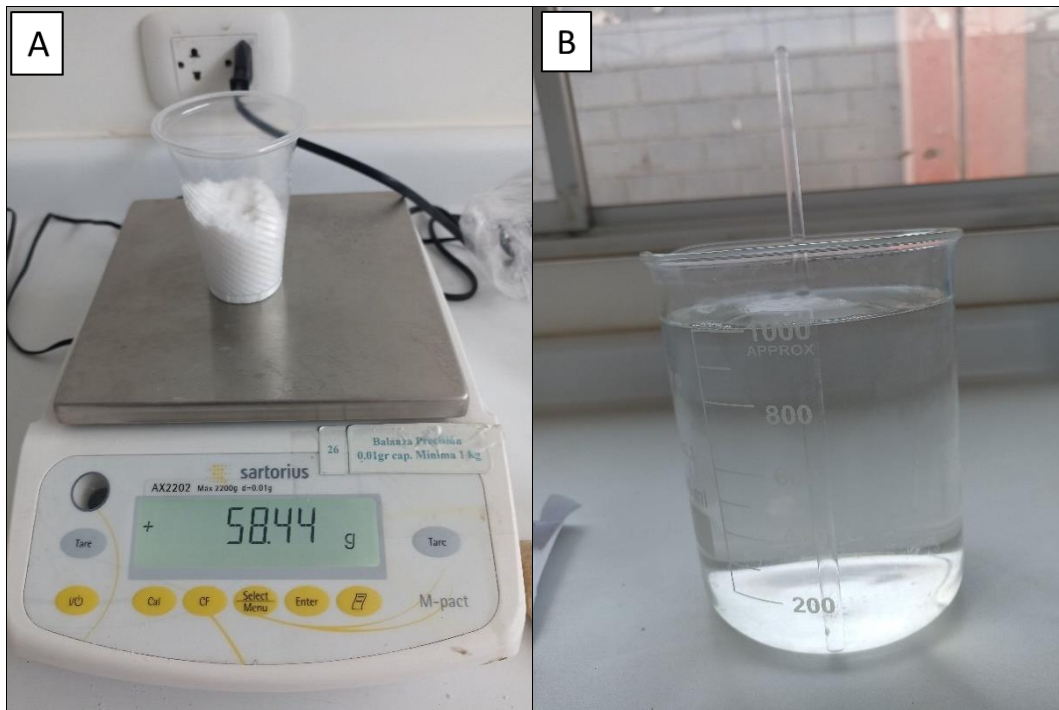
Se preparó una solución salina de cloruro de sodio (NaCl) a diferentes concentraciones de 1 M y 0,5 M; ambas disueltas en un 1 L de agua destilada, con la finalidad de activar el componente de las semillas de *Moringa oleífera* para el proceso de coagulación y floculación.

Para la obtención del extracto de semillas de *Moringa oleífera* al 5 %, se disolvió las muestras pesadas de 5 g en 100 mL de solución de NaCl 1M y 0,5 M. Luego, se mezcló vigorosamente por cinco minutos para activar el coagulante con la solución preparada y se dejó reposar por 3 minutos. El producto obtenido es el coagulante para tratar el agua del río Caplina.

En la figura 8, se muestra la preparación del solvente de cloruro de sodio (NaCl). Se realizó el pesado de 58,44 g y 29,22 g, para luego ser diluido en 1 L de agua destilada.

Figura 8

Preparación de solvente de cloruro de sodio (NaCl)



Nota. A) Peso del solvente. B) Disolución del solvente en 1 L de agua destilada.

En la figura 9, se muestra los 8 tratamientos que se evaluaron para la obtención del extracto de *Moringa oleífera* al 5% antes de iniciar con el proceso de coagulación y floculación con la prueba de jarras.

Figura 9

Tratamientos para el extracto de Moringa oleífera al 5 %



Nota. Tratamientos aplicados de acuerdo a la concentración de solvente, tamaño de partícula y humedad.

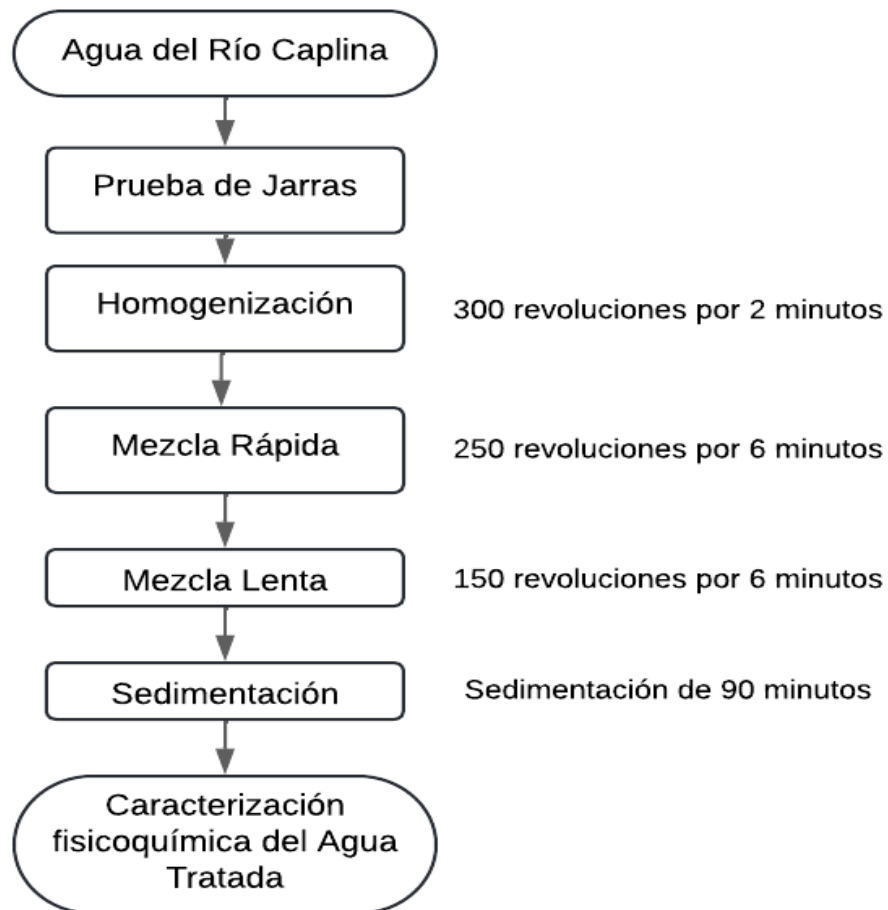
Dosificación del coagulante de *Moringa oleífera*

En el proceso de dosificación se utilizó el equipo de prueba de jarras. Inicialmente, se vertió 2 L de agua del río Caplina a los beakers. Se añadió las dosificaciones preparadas de 5 mL, 10 mL, 20 mL y 30 mL con el uso de las jeringas durante la mezcla rápida. La prueba de jarras es una simulación de la etapa de coagulación y floculación, la cual consiste en una homogenización inicial con 300 revoluciones por 2 minutos, seguida de una mezcla rápida a 250 revoluciones por 6 minutos y una mezcla lenta de 150 revoluciones durante 6 minutos. El tiempo de sedimentación fue de 90 minutos.

En la figura 10, se muestra el diagrama de flujo del proceso para la remoción de turbidez del agua del río Caplina.

Figura 10

Diagrama de flujo del proceso de coagulación y floculación



Nota. El diagrama de flujo describe el proceso de coagulación y floculación mediante la prueba de jarras.

Para determinar las dosis del coagulante natural de *Moringa oleífera* según Nkurunziza et al. (2009), se utilizó la siguiente fórmula:

$$C1 \times V1 = C2 \times V2$$

Donde:

C1 = Concentración de la solución coagulante madre 50 000 mg/L

V1 = Volumen a extraer de la solución madre

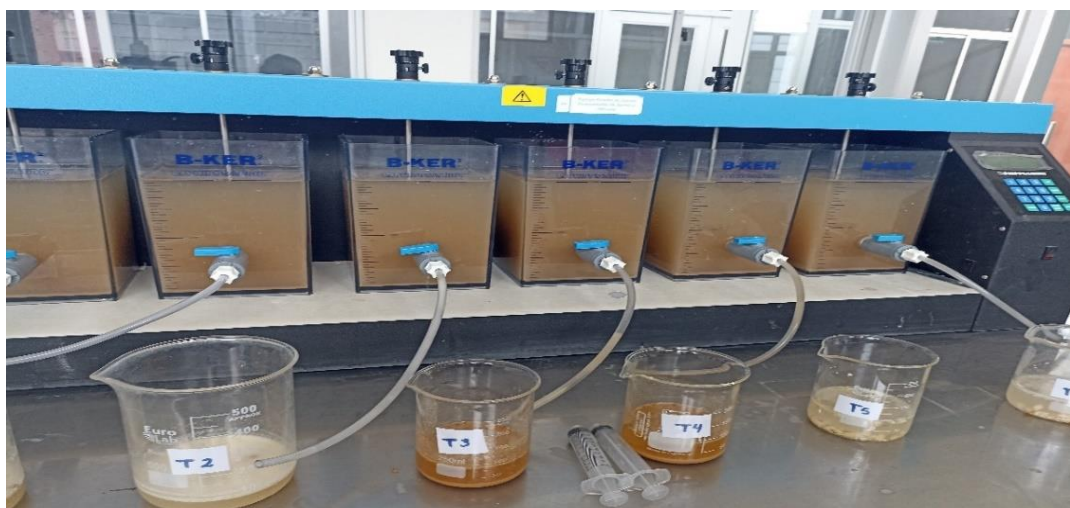
C2 = Dosis de coagulante a utilizar en el desarrollo experimental

V2 = Volumen de agua del río Caplina a tratar (2 L)

En la figura 11, se muestra la aplicación de tratamientos de dosis.

Figura 11

Dosificación de coagulante natural Moringa oleífera



Nota. Proceso de aplicación de dosis de coagulante natural de *Moringa oleífera* de 5 mL, 10 mL, 20 mL y 30 mL.

Finalmente, se dejó sedimentar por 90 minutos para luego obtener las muestras finales. Se analizó al agua tratada los parámetros de pH, turbidez y conductividad mediante el Método estándar APHA (1998) según (Alvarez, 2019).

Fórmula del porcentaje de remoción de turbidez

Para la determinación de la eficiencia del porcentaje de remoción de turbidez, según Gómez (2010) se realizó a través de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{\text{Turbidez inicial} - \text{Turbidez final}}{\text{Turbidez inicial}} \times 100$$

Objetivo específico 03: Analizar fisicoquímicamente el agua tratada con *Moringa oleífera*.

Las muestras finales fueron llevadas a un laboratorio acreditado por INACAL, donde se analizaron los siguientes parámetros:

- **Determinación de pH**

Se determinó con el Método oficial AOAC N° 973. (Alvarez, 2019).

- **Determinación de turbidez**

Se determinó con el Método estándar APHA-AWWA, N° 2130-B.

- **Determinación de conductividad**

Se determinó por el Método estándar N° 2510 B, APHA.

- **Determinación de metales pesados**

Para el arsénico se determinó por el Método estándar N° 3114 - C, APHA, espectrometría de absorción.

Para el hierro se determinó por el Método estándar N° 3111- B, APHA, espectrometría de absorción.

Para el cobre se determinó por el Método estándar N° 3111- B, APHA, espectrometría de absorción.

4.4 Materiales y equipos

4.4.1 Materiales

- Mortero
- Baguetas
- Beakers de 2000 mL
- Jeringas desechables de 10 mL
- Vasos precipitados de 100 mL, 250 mL y 500 mL
- Placa petri
- Tamizador
- Frascos de plástico polietileno
- Valde de 20 L

- Guantes desechables
- Agua destilada de 1 L
- Cloruro de Sodio (NaCl)
- Sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$
- Semillas de *Moringa oleífera*

4.4.2 Equipos

Para el desarrollo de la tesis se necesitarán los siguientes equipos:

- Multiparámetro (HATCH)
- Balanza Digital (SARTORIUS)
- Prueba de jarras (PHIPPS Y BIRD)
- Horno secadora
- Turbidímetro (HANNA, Modelo HI88703)
- Conductímetro (HANNA)
- pHmetro (HANNA)
- Laptop (HP CORE I7)
- Impresora (EPSON L375)

4.5 Procesamiento y análisis de datos

Se desarrolló de acuerdo a cada uno de los objetivos específicos planteados de la siguiente forma:

Objetivo específico 01: Analizar fisicoquímicamente el agua del río Caplina y las semillas de *Moringa oleífera*.

Para el procesamiento y análisis de datos del presente objetivo se realizó la comparación de las características de las semillas de *Moringa oleífera* con otras investigaciones donde hicieron uso del extracto de la *Moringa oleífera* como coagulante natural. Para ello, se recolectó las vainas de las parcelas ubicadas en el distrito de La Yarada - Los Palos, las cuales fueron descascaradas y enviadas a un laboratorio para el análisis proximal correspondiente.

La obtención de los datos iniciales de la muestra de agua se realizó mediante el uso de un equipo multiparámetro y se realizó la medición de los parámetros de pH, conductividad, oxígeno disuelto y turbidez. El análisis fisicoquímico del agua del río Caplina se realizó en el laboratorio de aguas de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental.

Objetivo específico 02: Determinar la mejor dosis de coagulante natural de *Moringa oleífera* para la remoción de turbidez del agua del río Caplina en Tacna.

Para el procesamiento y análisis de datos del presente objetivo se utilizó un diseño factorial 2^3 con tres factores y tres repeticiones cada uno. Los resultados obtenidos se verificaron a través de métodos estadísticos tales como, prueba de normalidad, homogeneidad, análisis de varianza y prueba de Kruskal-Wallis.

Objetivo específico 03: Analizar fisicoquímicamente el agua tratada con el coagulante natural de *Moringa oleífera*.

El análisis de resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos del agua tratada se realizó a través de la comparación con los Estándares de Calidad Ambiental del agua, para categoría 1- A2, aguas que pueden ser potabilizadas a través de un tratamiento convencional.

4.6 Métodos estadísticos utilizados

Se utilizó el programa estadístico SPSS versión libre, mediante el cual se realizó el procesamiento y análisis estadístico de los datos obtenidos; utilizando análisis de varianza.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Análisis fisicoquímico del agua del río Caplina y las semillas de *Moringa oleífera*.

5.1.1 Análisis proximal del coagulante natural *Moringa oleífera*

El análisis proximal del coagulante natural *Moringa oleífera* fue desarrollado con la finalidad de determinar el porcentaje de los principales componentes que contiene las semillas como materia prima para la clarificación del agua del río Caplina.

En la tabla 5, se menciona los porcentajes de elementos obtenidos después de llevar a cabo el análisis proximal de las semillas de *Moringa oleífera*.

Tabla 5

Resultados de análisis proximal de las semillas de Moringa oleífera

Análisis proximal	Unidad	Muestra de semillas de <i>Moringa oleífera</i>
Humedad	%	17,23
Proteína	%	17,23
Grasas	%	32,92
Carbohidratos	%	28,77
Energía	kcal	480,28
Ceniza	%	3,88

5.1.2 Análisis fisicoquímico del agua del río Caplina

Se realizó el análisis fisicoquímico del agua del río Caplina, sin tratamiento previo, con la finalidad de conocer sus características iniciales.

En la tabla 6, se mencionan los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la muestra inicial del agua del río Caplina.

Tabla 6

Resultados de las características fisicoquímicas del agua del río Caplina

Parámetro	Unidad	Valores
Turbiedad (UNT)	UNT	3350
pH	pH	5,9
Conductividad eléctrica	(μ S/cm)	1423
Oxígeno disuelto	mg/L	7,24

5.2 Determinación de la mejor dosis de coagulante natural de *Moringa oleífera* para la remoción de turbidez del agua del río Caplina en Tacna

Existen diversas técnicas para la aplicación de la *Moringa oleífera* como coagulante natural y su eficiencia en la remoción de turbidez. Por ello, la obtención del coagulante natural consistió inicialmente en realizar diferentes tratamientos con la finalidad de poder identificar la influencia de la concentración de solvente, tamaño de partícula y humedad (%) de la materia prima y posterior a ello, aplicar la mejor dosis para disminuir la turbidez del agua del río Caplina.

5.2.1 Influencia de factores en la remoción de turbidez

Se realizó el análisis de la turbidez luego de la aplicación de los tratamientos de la influencia de la concentración de solvente, tamaño de partícula y humedad (%).

En la tabla 7, se muestra los resultados obtenidos de los tratamientos aplicados para la clarificación del agua del río Caplina.

Tabla 7

Resultados de la remoción de turbidez (UNT) por tratamiento

N°	Factores			Remoción de Turbidez		
	Tamaño de partícula	Humedad	Concentración del solvente	I	II	III
1	polvo	húmedo	1,0	13	16	14
2	polvo	húmedo	0,5	19	19	18
3	polvo	seco	1,0	16	21	20
4	polvo	seco	0,5	14	20	16
5	granos	húmedo	1,0	15	20	15
6	granos	húmedo	0,5	14	22	20
7	granos	seco	1,0	16	15	18
8	granos	seco	0,5	25	15	23

Al haberse cumplido los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas fue posible aplicar un diseño trifactorial.

En la tabla 8, se presenta el análisis de varianza de la turbidez (UNT) por factor, la cual indica que ni el tamaño de partícula, ni la humedad, ni la concentración del solvente tuvieron un efecto significativo sobre la turbidez ($p < 0,05$), con un nivel de confianza del 95 % y un coeficiente de variabilidad del 0,56 %.

Tabla 8

Análisis de varianza de la turbidez por factores

Factores	SC	GL	CM	F	P-valor
A: Tamaño de partícula	6,0	1	6,0	0,56	0,46
B: Humedad	8,17	1	8,17	0,76	0,39
C: Concentración de solvente	28,17	1	28,17	2,62	0,12
AB	0,17	1	0,17	0,02	0,90
AC	8,17	1	8,17	0,76	0,39
BC	6,0	1	6,0	0,56	0,47
Residuos	182,7	17	10,75		
Total	239,33	23			

5.2.1.1. Influencia de los factores en la conductividad

En la tabla 9, se muestran los resultados obtenidos de la influencia de los factores de tamaño partícula, humedad y concentración del solvente del coagulante obtenido, respecto al parámetro de la conductividad eléctrica.

Tabla 9

Resultados obtenidos de la conductividad ($\mu\text{S/cm}$)

N°	Factores			Repeticiones		
	Tamaño de partícula	Humedad (%)	Concentración del solvente	I	II	III
1	polvo	húmedo	1,0	1091	1084	1070
2	polvo	húmedo	0,5	950	972	990
3	polvo	seco	1,0	1074	1095	1039
4	polvo	seco	0,5	977	984	999
5	granos	húmedo	1,0	1096	1078	1080
6	granos	húmedo	0,5	961	925	939
7	granos	seco	1,0	1123	1018	1132
8	granos	seco	0,5	985	958	998

En la tabla 10, se puede evidenciar que no existen diferencias significativas en la conductividad obtenida a partir del tamaño de partícula ($p > 0,05$), pudiendo afirmar ello con un 95 % de confianza.

Tabla 10

Análisis de varianza de la conductividad respecto al tamaño de partícula

Factores	SC	GL	MC	F	Sig.
Entre grupos	42,667	1	42,667	0,010	0,920
Dentro de grupos	91909,833	22	4177,720		
Total	91952,500	23			

En la tabla 11, se puede evidenciar que el rango promedio superior para la conductividad se dio en función al tamaño de partícula en polvo.

Tabla 11

Prueba U de Mann-Whitney para conductividad respecto a humedad

Variable	Tamaño de partícula	N	Rango promedio	Suma de rangos
	Polvo	12	12,58	151,00
Conductividad	Granos	12	12,42	149,00
	Total	24		

En la tabla 12, se puede evidenciar que no existen diferencias significativas en la conductividad obtenida a partir de la humedad ($p > 0,05$), pudiendo afirmar ello con un 95 % de confianza.

Tabla 12

Prueba de U de Mann-Whitney para conductividad respecto a la humedad

Prueba	Conductividad
U de Mann-Whitney	71,00
W de Wilcoxon	149,00
Z	-,058
Sig. asintótica	0,95
Significación exacta	0,97

En la tabla 13, se puede evidenciar que existen diferencias significativas en la conductividad obtenida a partir de las concentraciones del solvente ($p < 0,05$), pudiendo afirmar ello con un 95 % de confianza.

Tabla 13

Análisis de varianza de la conductividad respecto a la concentración del solvente

Factores	SC	GL	MC	F	Sig.
Entre grupos	75040,17	1	75040,17	97,61	0,000
Dentro de grupos	16912,33	22	768,74		
Total	91952,50	23			

5.2.1.2. Influencia de los factores en el pH

En la tabla 14, se muestran los resultados obtenidos de la influencia de los factores de tamaño de partícula, humedad y concentración de solvente en el parámetro de pH.

Tabla 14

Resultados del análisis de pH por tratamientos

N°	Factores			Repeticiones		
	Tamaño de partícula	Humedad	Concentración del solvente	I	II	III
1	polvo	húmedo	1,0	6,1	6,3	6,1
2	polvo	húmedo	0,5	6,1	6,3	6,0
3	polvo	seco	1,0	6,1	6,2	6,1
4	polvo	seco	0,5	6,2	6,2	6,2
5	granos	húmedo	1,0	6,2	6,1	6,2
6	granos	húmedo	0,5	6,3	6,1	6,1
7	granos	seco	1,0	5,9	6,0	6,0
8	granos	seco	0,5	5,9	6,0	6,0

En la tabla 15, se puede evidenciar que no existen diferencias significativas en el pH obtenido a partir del tamaño de partícula ($p > 0,05$), pudiendo afirmar ello con un 95 % de confianza.

Tabla 15*Análisis de varianza del pH respecto al tamaño de partícula*

Factores	SC	GL	MC	F	P-valor
Entre grupos	581,150	1	581,150	0,738	0,399
Dentro de grupos	17317,006	22	787,137		
Total	17898,156	23			

En la tabla 16, se puede evidenciar que no existen diferencias significativas en el pH obtenido a partir de la humedad ($p > 0,05$), pudiendo afirmar ello con un 95 % de confianza.

Tabla 16*Prueba de U de Mann-Whitney para pH respecto a la humedad (%)*

Prueba	pH
U de Mann-Whitney	47,00
W de Wilcoxon	125,00
Z	-1,46
Sig. asintótica	0,14
Significación exacta	0,16

En la tabla 17, se puede evidenciar que no existen diferencias significativas en el pH obtenido a partir de la concentración del solvente ($p > 0,05$), pudiendo afirmar ello con un 95 % de confianza.

Tabla 17*Análisis de varianza del pH respecto a la concentración de solvente*

Factores	SC	GL	MC	F	P-valor
Entre grupos	0,150	1	0,150	0,000	0,989
Dentro de grupos	17898,006	22	813,55		
Total	17898,156	23			

En la tabla 18, de acuerdo al análisis estadístico se puede afirmar que los factores evaluados respecto a la turbidez no tuvieron influencia significativa ninguno de los tres; sin embargo, en relación a la conductividad eléctrica la concentración de solvente fue el único factor que influyó en el resultado debido a la presencia de sales por la aplicación del NaCl.

Tabla 18*Resumen de los resultados estadísticos obtenidos*

Factores	Turbidez	pH	Conductividad
Tamaño de partícula	NI	NI	NI
Concentración de solvente	NI	NI	IS
Humedad	NI	NI	NI

Nota. IS= Influencia Significativa, NI= No Influencia

5.2.2 Mejor dosis del extracto de semillas de *Moringa oleífera* al 5 %

De acuerdo a la remoción de turbidez más alta obtenida en la evaluación de factores, se utilizó el tratamiento 1 (polvo de *Moringa oleífera*, húmedo, concentración de solvente (NaCl a 1 M), para la determinar la mejor dosis del coagulante natural extraído de las semillas de *Moringa oleífera*.

En la tabla 19, se exponen los resultados del porcentaje de remoción de turbidez; después de llevar a cabo la dosificación de coagulante de 5 mL (125 mg/L), 15 mL (250 mg/L), 20 mL (500 mg/L) y 30 mL (750 mg/L) del extracto de coagulante natural de las semillas de *Moringa oleífera* al 5 %.

Tabla 19

Resultados de la remoción de turbidez (%) a diferentes dosis de coagulante de Moringa oleífera

Dosis de coagulante de <i>Moringa oleífera</i> (mL)	Remoción de turbidez (%)		
	I	II	III
5 mL	99,84	99,64	99,70
15 mL	99,55	99,73	99,64
20 mL	99,52	99,49	99,49
30 mL	99,67	99,61	99,55

En la tabla 20, mediante la prueba Kruskal-Wallis se evidencia el rango promedio superior para la variable de la turbidez en función a la dosis de coagulante natural de las semillas de *Moringa oleífera*.

Tabla 20

Prueba de Kruskal-Wallis para la turbidez respecto a las dosis

Variable	Dosis	N	Rango promedio
Turbidez	5 mL	3	3,17
	15 mL	3	5,33
	20 mL	3	11,00
	30 mL	3	6,50
	Total	12	

En la tabla 21, se puede evidenciar que no existen diferencias significativas en la turbidez obtenida a partir de las dosis de coagulante ($p>0,05$), pudiendo afirmar ello con un 95 % de confianza.

Tabla 21

Prueba de Kruskal-Wallis para la turbidez respecto a las dosis de coagulante

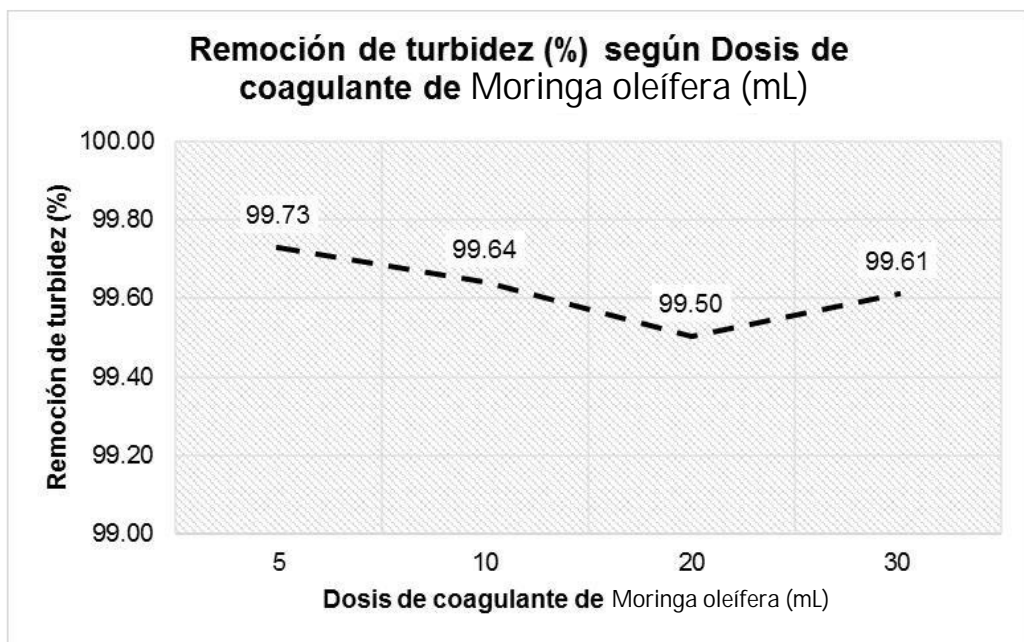
Prueba	Turbidez
Prueba de Kruskal-Wallis	7,631
gl	3
Sig. asintótica	0,054

Del resultado estadístico, se puede afirmar que no existen diferencias significativas entre las dosis aplicadas respecto a la remoción de turbidez. Por lo tanto, se debe optar por la menor dosis, toda vez que esto generará menores gastos operativos para su aplicación en el tratamiento de aguas.

En la figura 12, se observa que a una dosis de 5 mL (125 mg/L) de coagulante, el promedio del porcentaje de remoción es de 99,73 % (9 UNT), la remoción de turbidez disminuyó a medida que la dosis se incrementó con 10 mL y 20 mL, con 99,64 % (12 UNT) y 99,50 % (16 UNT) respectivamente. Sin embargo, al incrementar la dosis a 30 mL aumentó a 99,61 % (13 UNT).

Figura 12

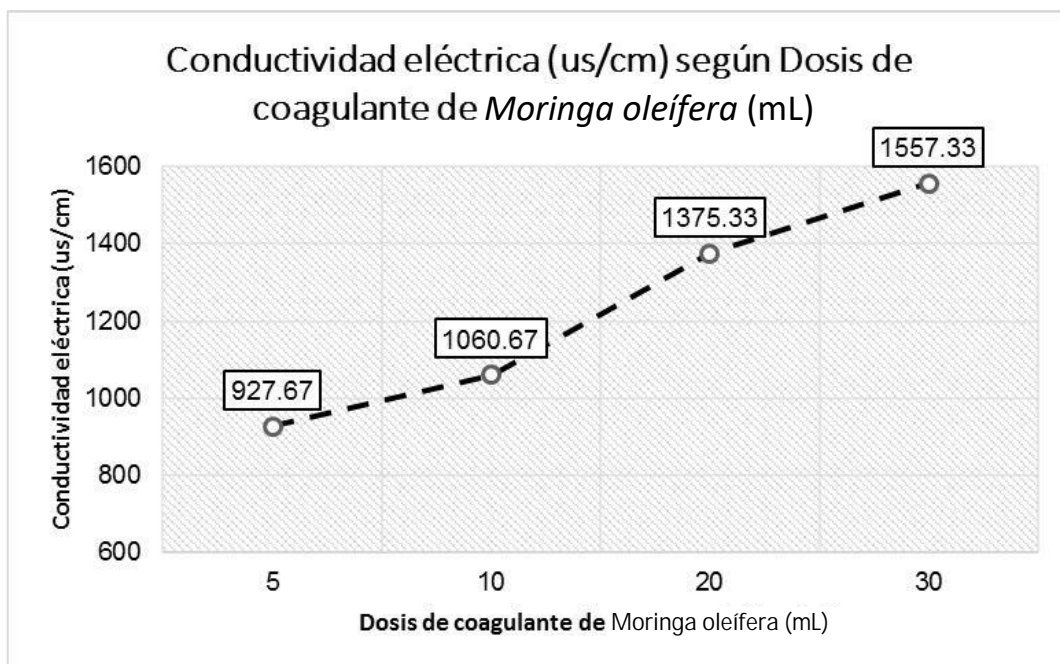
Remoción de turbidez (%) del agua del río Caplina por dosis de coagulante de Moringa oleífera



En la figura 13, se muestra los valores promedio de la medición de la conductividad en relación a la dosis de coagulante aplicada. Se obtuvo que el parámetro de la conductividad se incrementa a medida que aumenta las diferentes dosis de coagulante del extracto de *Moringa oleífera* con solución salina.

Figura 13

Valores promedio de la conductividad en relación a la dosis de coagulante



5.3 Análisis fisicoquímico del agua tratada con *Moringa oleífera*

5.3.1 Caracterización del agua tratada con el coagulante natural de *Moringa oleífera*

La caracterización del agua tratada se realizó a través del análisis fisicoquímico de la muestra con mayor porcentaje de remoción de turbidez, la cual corresponde a la dosis de 5 mL, con un tiempo de sedimentación de 90 minutos.

En la tabla 22, se muestran los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del agua tratada del río Caplina con el coagulante de semillas de *Moringa oleífera*.

Tabla 22

Resultados del análisis fisicoquímico del agua tratada

Parámetro	Unidad	Valores
Turbiedad (UNT)	UNT	1,59
pH	pH	5,5
Conductividad	(μ S/cm)	936
Oxígeno disuelto	mg/L	7,24
Sólidos totales disueltos	mg/L	762
Color	U	<5
As	mg/L	<0,005
Cu	mg/L	<0,045
Fe	mg/L	<0,3

De los parámetros fisicoquímicos evaluados, se obtuvo que el valor de turbidez disminuyó hasta un 99,95 % sobre el valor inicial de 3350 UNT a 1,59 UNT. El valor del pH disminuyó mínimamente y la conductividad fue de 936 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Asimismo, respecto a los metales pesados, los resultados obtenidos son menores a $<0,005$, $<0,045$ y $<0,3$ respectivamente.

5.3.2 Comparación con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua de la categoría 1 – A2

De acuerdo a las características obtenidas del análisis del agua tratada se realiza la comparación con los Estándares de Calidad Ambiental del agua para la categoría 1 - A2 aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional.

En la tabla 23, se observa los resultados obtenidos y la comparación respectivamente. Se observa que todos los parámetros fisicoquímicos analizados cumplen con los valores máximos permitidos para aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional de la categoría 1 – A2 del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua.

Tabla 23

Comparación de la caracterización del agua tratada con los Estándares de calidad Ambiental del agua categoría 1 – A2

Parámetros	Agua del río Caplina		ECA Categoría 1- A2	Resultado
	Agua inicial	Agua tratada	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	
pH	5,9	5,5	5,5 – 9,0	CUMPLE
Conductividad (μ S/cm)	1423	936	1 600	CUMPLE
Sólidos totales disueltos (mg/L)	-	762	1 000	CUMPLE
Oxígeno disuelto (mg/ L)	≥ 4	7,24	≥ 5	CUMPLE
Color (b) Pt/Co	100(a)	<5	100 (a)	CUMPLE
As (mg/ L)	0,1	<0,005	0,01	CUMPLE
Cu (mg/ L)	0,2	<0,045	2	CUMPLE
Fe (mg/ L)	5	<0,3	1	CUMPLE

Del mismo modo, se realizó la evaluación de metales pesados, con la finalidad de poder conocer la concentración de los elementos en el agua tratada final, en la cual no sobrepasan los valores establecidos, validando la potencialidad del uso de las semillas de *Moringa oleífera* como coagulante natural.

5.4. Discusión de resultados

En relación a los resultados del análisis proximal de las semillas de *Moringa oleífera*, se obtuvo un 17,3 % de proteína, valor muy similar a lo reportado por Liñan (2010), quien encontró un 17,5 % de proteína. Por otro lado, Castillo & Avendaño (2020) reportaron que las semillas de *Moringa oleífera* contienen 30,78 % de proteína, valor superior y que difiere de los resultados de la investigación. Por lo tanto, los resultados referidos pueden variar por factores como las condiciones de siembra, el tipo de suelo, clima, entre otros (Melon, 2017).

Según Sánchez et al. (2013), la presencia de proteína en las semillas es el compuesto activo que permite la remoción de la turbidez. Del mismo modo, Campos et al. (2003) identificó 17 aminoácidos que constituyen la proteína activa que cumple la función de coagulante natural, entre ellos el ácido glutámico. Este proceso se produce mediante el

mecanismo de puente de polímero o neutralización de cargas (Amran et al., 2018).

Respecto al contenido de grasas, las semillas de *Moringa oleífera* presentaron 32,92 %, resultado que se encuentra dentro del rango de valores indicado por Velázquez et al. (2016) entre 30 % a 40 % en su condición natural. Según Mejía et al. (2020), menciona que el desengrasado potencializa la remoción de turbidez hasta 97,8 %, sin embargo, esto difiere de los resultados de la investigación, obteniendo porcentajes altos de remoción de turbidez hasta 99,84 % sin el tratamiento previo de extracción de aceites.

Asimismo, Camacho et al. (2017), demostró que la extracción de aceite de las semillas no fue necesaria para el proceso de coagulación y floculación teniendo un alto porcentaje de remoción de turbidez. Asimismo, esto es afirmado por Martínez & Yauri (2023), quien reportó un valor similar de 98,32 % de remoción de turbidez sin el tratamiento de extracción lipídica de las semillas.

La caracterización de las semillas de *Moringa oleífera* realizada respecto a los compuestos de proteína (17,23 %), humedad (17,23 %) y

cenizas (3,88 %) se asemejan a lo reportado por Salokún & Osarumwense (2023) donde fue usada como materia prima apta para obtención de coagulante natural.

Los resultados del análisis inicial de la muestra de agua del río Caplina reportaron 3350 UNT de turbidez y 6,1 de pH, siendo valores superiores a lo reportado por la (Autoridad Nacional del Agua, 2012), que de acuerdo a los monitoreos realizados al río Caplina presenta un valor de 3 de pH, considerado ácido debido a la presencia de minerales por la actividad geotermal en la cuenca (Peña et al., 2009). Sin embargo, Pino (2013) reporta que, en época de verano durante los meses de diciembre a marzo las precipitaciones originan el incremento del caudal, provocando la neutralización del pH por la dilución de los compuestos (Pino et al., 2017), situación que coincide con la presente investigación.

En ese sentido, el agua del río Caplina presenta características fisicoquímicas que exceden los valores y no son aptas para actividades de agricultura o consumo humano, siendo necesario realizar un tratamiento para su aprovechamiento (ANA, 2014).

Respecto a los factores evaluados, el tamaño de partícula no tuvo influencia significativa en la remoción de turbidez del agua, sin embargo, el polvo de semilla de *Moringa oleífera* obtuvo la mayor remoción, resultado que concuerda con Ahmad et al. (2023), quien reportó que el polvo de *Moringa oleífera* tuvo mayor porcentaje de remoción hasta un 80 %.

La humedad que presentan las semillas de *Moringa oleífera*, no influyó en la remoción de turbidez, resultado que concuerda con Cabrera et al. (2018), quien indicó que el proceso de secado de las semillas no influyó en el proceso de coagulación y floculación, siendo posible el uso directo de las semillas.

Respecto a la concentración del solvente, diversos autores mencionan que la aplicación de una solución salina activa el agente coagulante de la *Moringa oleífera*. De acuerdo a los resultados obtenidos, los valores de turbidez disminuyeron considerablemente al valor inicial, infiriendo que sí es eficiente para la remoción de turbidez, sin embargo, la concentración del solvente de NaCl a 1 M y 0,5M, estadísticamente no existe diferencias significativas.

Es importante mencionar que, la no influencia de los factores de tamaño de partícula y humedad nos permite hacer uso de las semillas de *Moringa oleífera* en su condición natural, obteniendo altos porcentajes de remoción de turbidez, y a la vez generar la menor inversión de recursos y proceso previo, siendo más rentable y sostenible.

El cloruro de sodio (NaCl) permite la extracción del componente activo del coagulante natural, convirtiéndolo más soluble en el agua turbia con mayor adherencia de las partículas optimizando el coagulante (Gómez & Salazar, 2016).

Para Tumbaco & Acebo (2018), la *Moringa oleífera* es eficiente en aguas con alta turbiedad, sin embargo, menciona que mejora su rendimiento al ser disuelto en solución salina (NaCl 1M). Esto se debe a la mayor adherencia de las partículas presentes en el agua por la acción de la proteína catiónica que contiene las semillas.

El parámetro del pH no demostró variación luego de los tratamientos aplicados con el coagulante natural; es decir, se mantuvieron estables con un promedio de 6,1 de pH, resultado que coincide con Ndabigengesere et al. (1995), el cual demostró que el pH no tuvo cambios significativos luego de los tratamientos.

Según Arias et al. (2017), menciona que no existe la necesidad de ajustar o corregir el pH durante el proceso de coagulación y floculación, siendo una característica importante del empleo de un coagulante natural como la *Moringa oleífera*. Así mismo, manifiesta que el valor del pH no incide durante el proceso de coagulación.

Según Cabrera et al. (2018), el uso de las semillas de *Moringa oleífera* como coagulante natural para el tratamiento de aguas residuales de industriales, permitió que el pH del agua permanezca en el valor inicial, siendo el promedio de varias repeticiones. A comparación del uso de un coagulante químico, como el sulfato de aluminio o de cobre, los cuales generan la disminución del pH y, por consiguiente, un costo adicional para el proceso de estabilización.

En relación a la aplicación de dosis de coagulante natural, los resultados obtenidos de remoción de turbidez (%) demostró que la mejor dosis de coagulante natural de *Moringa oleífera* corresponde a 5 mL de coagulante, equivalente a 125 mg/ L de concentración de *Moringa oleífera*, obteniendo un 99,84 % de remoción de turbidez (5 UNT), valor que coincide y es corroborado por Nkurunziza et al. (2009), con un resultado de 99.8 % de remoción de turbidez. Mientras que, para Castillo & Avendaño (2020),

demonstró remover hasta 98,9 % de la turbidez del río de Sama, resultado que es menor a lo obtenido para aguas del río Caplina, sin embargo, el porcentaje de remoción de turbidez se mantiene alto.

Esto es debido a que, el cloruro de sodio (NaCl) incrementa los iones disueltos en el agua tratada, resultado que es reportado por Sandoval et al. (2013), quien menciona que el aumento de iones incrementa la conductividad. Además, Okuda et al. (2001), indica que el extracto con solución salina tiene mayor eficiencia de coagulación a comparación del uso de agua destilada.

En la figura 12, se muestra que el resultado es similar a lo reportado por Arango & Martinez (2022), quienes evaluaron el efecto de las dosis de coagulante de *Moringa oleífera* en el río Shullcas, en la cual obtuvo un porcentaje de remoción de 78,87 % y disminuyó a 75,19 %, sin embargo, cuando aplicó una dosis mayor logró un 82,10 % de remoción de turbidez. Esto es debido a que, la concentración de la *Moringa oleífera* como coagulante puede ocasionar el aumento de la turbidez cuando es agregado más de lo requerido (Núñez, 2007). Esta observación es explicada por Andía (2000), quien menciona que la reacción que se produce es la neutralización de cargas ocasionado por la falta de partículas para

adherirse y sedimentar, quedando suspendidas en el agua tratada en forma orgánica el coagulante.

Por otro lado, se obtuvo un porcentaje mayor a 99 % en todas las concentraciones aplicadas de coagulante de *Moringa oleífera*, lo que demuestra que es eficiente para la remoción de turbidez de agua del río Caplina, y a la vez puede ser comparado con coagulantes químicos como el sulfato de aluminio (Cabrera et al., 2018). Asimismo, la menor dosis obtuvo la mayor eficiencia, es decir, con menos recursos, se infiere que el uso de las semillas de *Moringa oleífera* es una alternativa para remover aguas con alto nivel de turbidez y una alternativa sostenible para su aplicación en zonas rurales.

El comportamiento del pH, con la aplicación de las dosis de coagulante se mantuvo en el rango de 5,7 a 5,9, similar a lo reportado por Meléndez (2019), quien no evidenció alteraciones significativas en el pH. Por otro lado, los valores de conductividad fueron aumentando a medida que la dosis de coagulante incrementó. Esto coincide con Álvarez (2019), quien indicó que la presencia de sales o iones disueltos es directamente proporcional con la concentración del coagulante.

Diversos autores mencionan que, las semillas de *Moringa oleífera* tienen la capacidad de remover elementos inorgánicos como Nkurunziza et al. (2009), quien demostró la disminución del hierro y manganeso en el agua tratada. Por ello, se realizó el análisis de los elementos de arsénico, cobre y hierro, considerando que una de las características del río Caplina es la presencia de hierro por la actividad geotermal presente en la cuenca.

El agua tratada con el coagulante natural de *Moringa oleífera* cumple con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua de la categoría 1- A2, agua que puede ser potabilizada por tratamiento convencional. Además, ser un coagulante vegetal con características ambientalmente viable (Cuayla & Diaz, 2022).

CONCLUSIONES

El efecto del uso de *Moringa oleífera* como coagulante natural para la clarificación del agua del río Caplina es eficiente en la remoción de turbidez. Los factores de tamaño de partícula y humedad no tuvieron influencia significativa en la remoción de turbidez.

Las características fisicoquímicas de las semillas de *Moringa oleífera* contienen 17,3 % de proteína, 17,3 % de humedad, 32,92 % de grasas y 3,8 % de cenizas siendo apta como coagulante natural; asimismo el agua del río Caplina presentó 5,9 pH, 1423 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de conductividad y 3350 UNT de turbidez inicial.

La mejor dosis de coagulante natural de *Moringa oleífera* al 5 % es de 5 mL, equivalente a 125 mg/L, obteniendo un 99,84 % de remoción de turbidez del agua del río Caplina.

El agua tratada con coagulante natural de *Moringa oleífera* tiene 5,5 de pH final, 936 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de conductividad, 7,24 mg/ L de oxígeno disuelto y 1,59 UNT de turbidez. Los valores se encuentran dentro de los Estándares de Calidad Ambiental del agua para la categoría 1 - A2, para aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda experimentar el proceso de extracción de aceite de las semillas de *Moringa oleífera* para evaluar su influencia en el proceso de coagulación y floculación en aguas del río Caplina.
- Se recomienda evaluar la eficiencia del coagulante natural de *Moringa oleífera* a concentraciones menores a las empleadas en la presente investigación y a distintos niveles de turbidez, para conocer su capacidad de clarificación del agua y realizar análisis de los parámetros microbiológicos.
- Se recomienda evaluar la generación de lodos con el uso del coagulante de *Moringa oleífera* a comparación de coagulantes químicos, con la finalidad de conocer su impacto al ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

- Adeniran, K. A., Akpenpuun, T. D., Akinyemi, B. A., & Wasiu, R. A. (2017). Effectiveness of *Moringa oleifera* seed as a coagulant in domestic wastewater treatment. *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*, 9(3), 323–328. <https://doi.org/10.1080/20421338.2017.1327475>
- Ahmad, A., Qaisrani, T. B., Samee, A., & Waqar, M. (2023). *Evaluating the purification potential of Moringa oleifera seed in drinking water*. <https://doi.org/10.56810/jkjagri.003.02.0062>
- Alburqueque, M., Ramos, J., Marchena, C., & Ramírez, E. (2021). Gestión y estudio evolutivo del agua para el desarrollo sostenible de la región Piura, Perú. *Revista Innova Educación*, 3(3), 109–122. <https://doi.org/10.35622/j.rie.2021.03.008>
- Alvarez, H. (2019). *Extracto de Moringa (Moringa oleifera) para la remoción de turbidez de efluentes de la producción de néctar de maracuyá*.
- Amran, A., Zaidi, N., Muda, K., & Wai Loan, L. (2018). Effectiveness of Natural Coagulant in Coagulation Process: A Review. In *International Journal of Engineering & Technology* (Vol. 7, Issue 3). www.sciencepubco.com/index.php/IJET

- ANA. (2014). *Informe técnico del cuarto monitoreo participativo 2014 de calidad de agua superficial en las cuencas Caplina, Maure, Uchusuma e Intercuenca 13155.*
- Andía, Y. (2000). *Tratamiento de agua coagulación y floculación.*
- Ang, W. L., & Mohammad, A. W. (2020). State of the art and sustainability of natural coagulants in water and wastewater treatment. *Journal of Cleaner Production*, 262. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.121267>
- Arango, R., & Martinez, A. (2022). *Evaluación del efecto de la semilla de Moringa oleífera en la reducción de turbidez y E. Coli en el proceso de coagulación para el tratamiento de aguas naturales del río Shullcas.*
- Arias, A., Hernández, J., Castro, A., & Sánchez, N. (2017). Tratamiento de aguas residuales de una central de sacrificio: Uso del polvo de la semilla de la M. Oleífera como coagulante natural. *Bioteología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial Edición Especial No, 1*, 29–39. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(Edición\)](https://doi.org/10.18684/BSAA(Edición))
- Autoridad Nacional del Agua. (2012). *Proyecto de Modernización de la gestión de los recursos hídricos.*
- Autoridad Nacional del Agua. (2013). *Plan de Gestión de los Recursos Hídricos de la Cuenca Caplina-Locumba.*

- Cabrera, N., Simancas Vásquez, E., & Hernández Julio, A. (2018). Ensayo de coagulantes naturales extraídos de *Ipomoea incarnata* y *Moringa oleífera* en la depuración de aguas residuales industriales en Cartagena de Indias. *Prospectiva*, 16(2), 94–99. <https://doi.org/10.15665/RP.V16I2.1434>
- Camacho, F. P., Sousa, V. S., Bergamasco, R., & Ribau Teixeira, M. (2017). The use of *Moringa oleifera* as a natural coagulant in surface water treatment. *Chemical Engineering Journal*, 313, 226–237. <https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2016.12.031>
- Campos, J., Fernández, N., & Colina, G. (2003). Caracterización del agente coagulante activo de las semillas de *Moringa oleífera* mediante HPLC. *Centro de Investigaciones Biológicas*, 35–43.
- Carrizales, R., & Enriquez, N. (2019). *Determinación de la dosis y concentración óptima del coagulante de Moringa oleífera en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica*. Universidad Nacional de Huancavelica.
- Castillo, M., & Avendaño, E. (2020). Efecto de las semillas de moriga (*Moringa oleífera* Lam.) en las condiciones para la clarificación del agua del río Sama. *Soc. Quim Perú*, 86(1), 47–56.
- Castro, V. (2023). *Evaluación del producto Clear Chem como coadyuvante en el proceso de coagulación-floculación del sulfato*

de aluminio en la Planta Potabilizadora AyA Guadalupe, Goicoechea. Instituto Tecnológico de Costa Rica .

Choque, D., Choque, Y., Solano, A., & Ramos, B. (2018). *Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de aguas agua.*

Cuayla, C., & Diaz, M. (2022). *Eficiencia de los vegetales coagulantes para la minimización de turbidez en el tratamiento de agua: Revisión sistemática de los últimos 10 años.* Universidad Cesar Vallejo .

Djouina, M., Esquerre, N., Desreumaux, P., Vignal, C., & Body-Malapel, M. (2016). Toxicological consequences of experimental exposure to aluminum in human intestinal epithelial cells. *Food and Chemical Toxicology*, 91, 108–116. <https://doi.org/10.1016/J.FCT.2016.03.008>

Dueñas, C. (2021). *La Calidad del agua potable y su influencia en la salud humana.* 1(3).

Fernández, L. (2022). *Evaluación de la calidad de aguas del río Tingo utilizando el índice biológico como indicador, ubicados en los distritos de Yanacancha, Yarusyacán y Pallanchacra de la provincia de Pasco -2022.* Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

- Fernández, L. M. (2020). *Optimización de los procesos de Coagulación y floculación en los Sistemas de las plantas de tratamiento de agua potable, 2010-2020*. Universidad Privada del Norte.
- Gómez, F., & Salazar, L. (2016). Evaluación de la eficiencia de semillas de (*Moringa oleífera* Lam.) como coagulante natural en la Ciudad de Pasto - Colombia. *Vltae*, 23.
- Gómez Gutiérrez, K. R. (2010). *Eficiencia del coagulante de la semilla de Moringa oleifera en el tratamiento de agua con baja turbidez*.
- Hassan, N. (2020). *Water Quality Parameters*. www.intechopen.com
- Liñan, F. (2010). *Moringa oleifera* el árbol de la nutrición. *Ciencia y Salud Virtual*, 2(1), 130–138.
- Martinez, A., & Yauri, K. (2023). *Eficiencia de la remoción de la turbidez en aguas sintéticas a nivel de laboratorio, aplicando como coagulante natural la Moringa oleífera con y sin extracción lipídica de la semilla - 2022*. Universidad Nacional de Huancavelica.
- Mejía, P. W., Urquía Collantes, K., Cabello Torres, R. J., & Valdiviezo Gonzales, L. G. (2020). Evaluación de la *Moringa oleífera* en el tratamiento de aguas con alta turbidez y carga orgánica. *Ingeniería Del Agua*, 24(2), 119. <https://doi.org/10.4995/ia.2020.12274>

- Melendez, L. (2019). *Eficiencia de la Moringa oleífera como coagulante natural en la remoción de turbidez del agua residual doméstica del efluente del uasb-citrar.*
- Melon, S. I. (2017). *Caracterización fisicoquímica de la Moringa oleífera.* Universidad Nacional de Trujillo.
- Ministerio del Ambiente. (2017). *Estándar de Calidad Ambiental del agua.*
- Napoleão, T. H., Santos, A., Luz, L., Pontual, E., Paiva, P., & Coelho, L. (2019). *Moringa oleífera: A Powerful Source of Environmentally, Medicinally and Biotechnologically Relevant Compounds. Advances in Applied Science and Technology Vol. 5, 5(6), 388.*
<https://doi.org/10.9734/bpi/aast/v5>
- Ndabigengesere, A., Narasiah, K. S., & Talbot, B. G. (1995). Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleífera*. *Water Research, 29(2), 703–710.*
[https://doi.org/10.1016/0043-1354\(94\)00161-Y](https://doi.org/10.1016/0043-1354(94)00161-Y)
- Nkurunziza, T., Nduwayezu, J. B., Banadda, E. N., & Nhapi, I. (2009). The effect of turbidity levels and *Moringa oleífera* concentration on the effectiveness of coagulation in water treatment. *Water Science and Technology, 59(8), 1551–1558.*
<https://doi.org/10.2166/wst.2009.155>

- Núñez, E. (2007). *Validación de la efectividad de la semilla de Moringa oleífera como coagulante natural del agua, destinada al consumo humano, Morocelí, Honduras.*
- Okuda, T., Baes, A. U., Nishijima, W., & Okada, M. (2001). Improvement of extraction method of coagulation active components from *Moringa oleífera* seed. In *Department of Environmental Science.*
- Peña, F., Cotrina, G., & Acosta, H. (2009). *Hidrogeología de la cuenca del río Caplina.*
- Pino, C. (2013). *Caracterización hidrogeomorfológica de la cuenca del río Caplina-Tacna.* Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
- Pino, E. (2021). Conflictos por el uso del agua en una región árida: Caso Tacna, Perú. *Diálogo Andino*, 65, 405–415.
- Pino, E., Tacora, P., Steenken, A., Alfaro, L., Valle, A., Chávarri, E., Ascencios, D., & Mejía Marcacuzco, J. A. (2017). Efecto de las características ambientales y geológicas sobre la calidad del agua en la cuenca del río Caplina, Tacna, Perú. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 8(6), 77–99. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-06-06>

- Reyes, M. Q., Vera, M. A., & Belmonte López, C. J. (2021). *¿Qué es el cloruro de sodio? Beneficios y propiedades*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17344.05129>
- Salokún, O., & Osarumwense, J. (2023). Evaluation of Coagulation Activities of *Moringa oleífera* Seeds and Aluminium sulphate on the Treatment of Wastewater from Biodiesel Production. *African Journal of Health, Safety and Environment*, 4(1), 10–18. <https://doi.org/10.52417/ajhse.v4i1.382>
- Sánchez, Y., Martínez, G., Sinagawa, S., & Vázquez, J. (2013). *Moringa oleífera; Importancia, Funcionalidad y Estudios Involucrados*. *Revista Científica de La Universidad Autónoma de Coahuila*, 5(9).
- Sandoval, M., Laines, J., & Canepa, L. (2013). *Moringa oleífera una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales*. *Revista Académica de la Facultad de Ingeniería*, 17(2).
- Tumbaco, D., & Acebo, K. (2018). *Eficiencia de biocoagulante a base de semilla de Moringa oleífera para aplicación de tratamiento de agua usando como fuente de captación el río Guayas* [Universidad de Guayaquil]. <http://www.fiq.ug.edu.ec/>

- Vargas, M., & Romero, L. (2011). *Desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en países en desarrollo*.
- Velázquez, M., Peón, I. E., Zepeda, R., & Jiménez, M. A. (2016). Moringa (*Moringa oleifera* Lam.): Potential uses in agriculture, industry and medicine. In *Revista Chapingo, Serie Horticultura* (Vol. 22, Issue 2, pp. 95–116). Universidad Autonoma Chapingo. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2015.07.018>

ANEXOS

Anexo 1

Resultados de pruebas de normalidad y homogeneidad

Tabla 24

Pruebas de normalidad para la remoción de turbidez

	Kolmogórov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	GL	Sig.	Estadístico	GL	Sig.
Polvo	0,169	12	0,200	0,928	12	0,356
Granos	0,219	12	0,117	0,882	12	0,093
Húmedo	0,178	12	0,200	0,930	12	0,380
Seco	0,239	12	0,057	0,913	12	0,235
Solvente 1 M	0,256	12	0,029	0,903	12	0,176
Solvente 0,5 M	0,114	12	0,200	0,953	12	0,678

Tabla 25

Prueba de homogeneidad de varianzas para turbidez respecto al tamaño de partícula

Variable	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Turbidez	2,149	1	22	0,157
	1,425	1	22	0,245
	1,425	1	16,976	0,249
	1,936	1	22	0,178

Tabla 26

Prueba de homogeneidad de varianzas para turbidez respecto a la humedad

Variable	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
	0,403	1	22	0,532
Turbidez	0,216	1	22	0,647
	0,216	1	16,8	0,648
	0,341	1	22	0,565

Tabla 27

Prueba de homogeneidad de varianzas para turbidez y concentración del solvente

Variable	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
	0,953	1	22	0,340
Turbidez	1,129	1	22	0,299
	1,129	1	21,2	0,300
	1,037	1	22	0,319

Tabla 28*Prueba de normalidad para la conductividad*

Factores	Kolmogórov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	GL	Sig.	Estadístico	GL	Sig.
Polvo	0,205	12	0,175	0,881	12	0,091
Granos	0,182	12	0,200*	0,916	12	0,254
Húmedo	0,269	12	0,017	0,829	12	0,020
Seco	0,208	12	0,160	0,898	12	0,148
Solvente 1	0,189	12	0,200*	0,946	12	0,579
Solvente 0,5	0,143	12	0,200*	0,947	12	0,599

Tabla 29*Prueba de homogeneidad de varianzas para conductividad respecto al tamaño de partícula*

Variable	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Conductividad	2,456	1	22	0,131
	1,520	1	22	0,231
	1,520	1	16,722	0,235
	2,412	1	22	0,135

Tabla 30*Pruebas de normalidad para pH*

	Kolmogórov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Polvo	0,241	12	0,052	0,894	12	0,133
Granos	0,206	12	0,170	0,931	12	0,386
Húmedo	0,304	12	0,003	0,840	12	0,028
Seco	0,218	12	0,120	0,859	12	0,048
Solvente 1	0,219	12	0,115	0,939	12	0,487
Solvente 0,5	0,161	12	0,200*	0,936	12	0,449

Tabla 31*Pruebas de normalidad para turbidez en función a las dosis*

N°	Kolmogórov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
1	0,272	3	.	0,947	3	0,554
2	0,175	3	.	1,000	3	1,000
3	0,385	3	.	0,750	3	0,000
4	0,175	3	.	1,000	3	1,000

Tabla 32

Prueba de homogeneidad de varianzas para turbidez en función a las dosis

Variable	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
	1,525	3	8	0,281
Turbidez	0,849	3	8	0,505
	0,849	3	4,916	0,524
	1,480	3	8	0,292

Tabla 33

Prueba de homogeneidad de varianzas para conductividad respecto a la concentración del solvente

Variable	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
	0,121	1	22	0,732
Conductividad	0,149	1	22	0,703
	0,149	1	18,601	0,704
	0,133	1	22	0,718

Tabla 34

Prueba de homogeneidad de varianza para conductividad respecto a la humedad

Variable	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
	1,834	1	22	0,189
	1,352	1	22	0,257
Conductividad	1,352	1	16,112	0,262
	1,852	1	22	0,187

Tabla 35

Prueba de homogeneidad de varianzas para pH respecto al tamaño de partícula

Variable	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
	0,952	1	22	0,340
	1,224	1	22	0,281
pH	1,224	1	11,060	0,292
	0,990	1	22	0,331

Tabla 36*Prueba de homogeneidad de varianzas para pH respecto a la humedad*

Variable	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
	0,952	1	22	0,340
pH	1,224	1	22	0,281
	1,224	1	11,055	0,292
	0,990	1	22	0,331

Tabla 37*Prueba de homogeneidad de varianzas para pH y concentración del solvente*

Variable	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
	0,006	1	22	0,941
pH	0,000	1	22	0,987
	0,000	1	21,999	0,987
	0,005	1	22	0,947

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA SUPERFICIAL DE RÍO	
		Código punto de muestreo: RC-02 (Con tratamiento)	UNIDADES
FQ	Color	48	U de color
FQ	Elemento As	+0.005	mg/L
FQ	Elemento Cu	+0.045	mg/L
FQ	TDS Sólidos Disueltos Totales	760	mg/L
FQ	pH	8.8	U de pH
FQ	Turbidez	1.99	NTU
FQ	Elemento Fe	+0.3	mg/L

ABREVIATURAS:

mg/L	Miligramos por litro
U de pH	Unidades de pH
NTU	Unidades nefelométricas de turbidez
U de color	Unidades de color

MÉTODOS UTILIZADOS:

Color	: Water Analysis Handbook HACH: Color True and Apparent, Method 8005 Platinum-Cobalt Standard Method, Pag 361, 4th Ed, Rev 2.
Elemento As	: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 3000, Method 3114-C, Arsenic and Selenium by Hydride Generation/Flame Absorption Spectrometry Method, 23rd Ed, 2017.
Elemento Cu	: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 3000, Method 3111-B, Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry, Direct Air-Acetylene Flame Method, 23rd Ed, 2017.
TDS Sólidos Disueltos Totales	: Med. Directa
pH	: AOAC Official Method 970.41 Chapter 11 Subchapter 1.11.1.03 pH of Water, 21st Ed, Rev. Online 2019
Turbidez	: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 3000, Method 2130-B, Turbidity Nephelometric Method, 23rd Ed, 2017
Elemento Fe	: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 3000, Method 3111-B, Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry, Direct Air-Acetylene Flame Method, 23rd Ed, 2017.

OBSERVACIONES:

El resultado corresponde al promedio de tres repeticiones.
Cualquier valor precedido por "v" indica menor al límite de cuantificación del método.

FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS: FQ 06/03/2024 al 13/03/2024

FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS: 13/03/2024



Miguel Valdivia Martínez
Gerente Técnico

Fin del Informe

Anexo 3

Resultados de laboratorio de análisis proximal de la semilla *Moringa oleífera*



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRONOMICA
LABORATORIO DE SUELOS Y AGUA



RESULTADO DE ANÁLISIS

ASUNTO: ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DE SEMILLAS DE MORINGA

Muestra: 001

PROCEDENCIA : Distrito de Tacna, Provincia de Tacna – Perú.

PRODUCTO : SEMILLAS DE MORINGA
TAMAÑO DE MUESTREO : 1 kilo aprox.
FECHA DE MUESTREO : 03/12/2023
FECHA DE RECEPCION : 04/12/2023
FECHA DE ANALISIS : 06/12/2023

CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS DE LA MUESTRA:

ASPECTO : SÓLIDO
COLOR : BLANCO CREMA
SABOR : Característico, propia del producto.

RESULTADOS:

		M1
Humedad	%	17.23
Materia Seca	%	82.77
Proteína Cruda	%	17.23
Grasas	%	32.92
Carbohidratos	%	28.77
Energía	Kcal	480.28
Ceniza	%	3.88

CONCLUSIONES:

Los debidos resultados, serán de interés del solicitante para los estudios respectivos.

ANALISTA
Téc. Denia Peralta de Calomay
ANALISTA DE LAS UNIDADES DE CONTROL DE CALIDAD
PLANTA INDUSTRIAL DE SUELOS Y AGUA

Anexo 4

Panel fotográfico del desarrollo de la investigación

Figura 14

Preparación de tratamientos para extracción de coagulante natural de Moringa oleífera



Figura 15

Preparación de dosis de coagulante natural de Moringa oleífera



Figura 16

Aplicación de diferentes dosis de coagulante de Moringa oleífera

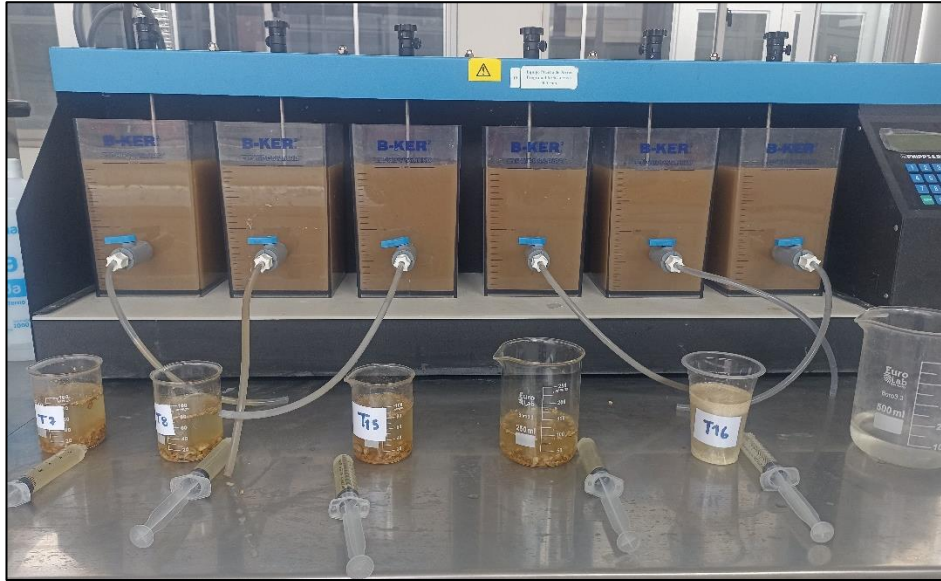


Figura 17

Tratamientos para extracción de coagulante natural de Moringa oleífera



Figura 18

Extracción de muestras de agua tratada para el analisis fisicoquimicos

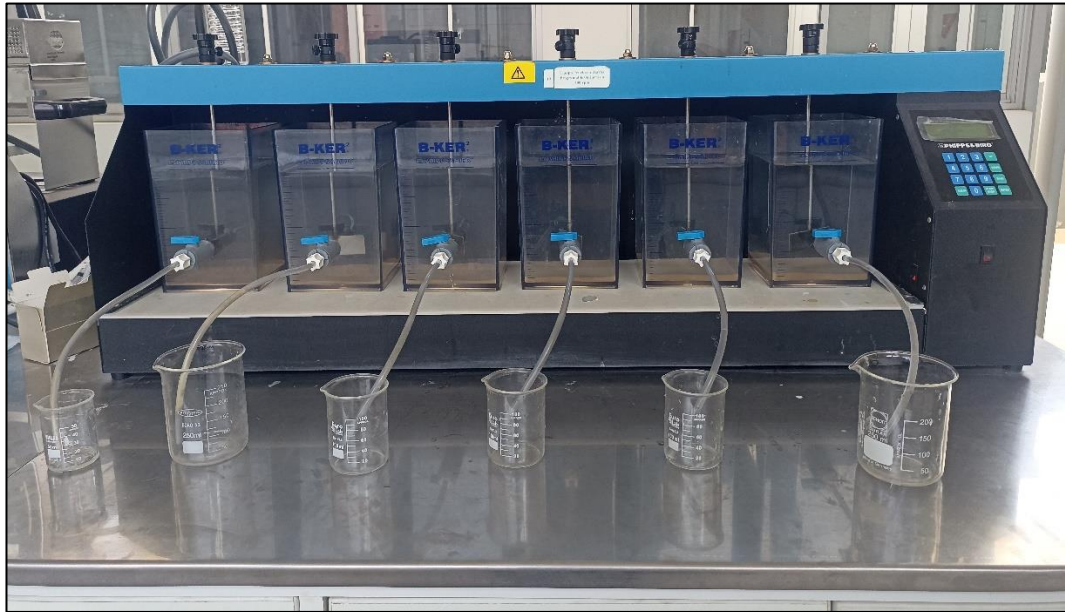


Figura 19

Tratamientos y repeticiones de dosis de coagulante natural de Moringa oleífera



Figura 20

Medición de parámetro de turbidez de muestras finales



Figura 21

Medición del parámetro del pH de muestras finales



Figura 22

Medición del parámetro de conductividad



Figura 23

Equipo Turbidímetro (HANNA, Modelo HI88703)



Figura 24

Recolección de muestra de agua inicial del rio Caplina



Figura 25

Recolección de semillas de Moringa oleífera

