

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Evaluación de coagulantes naturales en la remoción de
materia orgánica del agua del río Shullcas, Huancayo -
2024**

Jose Maria Espinoza Palomino
Marco Antonio Vila Tinoco

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



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

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Jose Vladimir Cornejo Tueros
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 24 de noviembre de 2025

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

Título:

Evaluación de Coagulantes Naturales en la Remoción de Materia Orgánica del Agua del Río Shullcas, Huancayo - 2024

Autores:

1. Jose Maria Espinoza Palomino – EAP. Ingeniería Ambiental
2. Marco Antonio Vila Tinoco – EAP. Ingeniería Ambiental

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 17% de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

Filtro de exclusión de bibliografía	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
Filtro de exclusión de grupos de palabras menores Nº de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"): 20	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input checked="" type="checkbox"/>

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

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

Atentamente,

ASESOR

Jose Vladimir Cornejo Tueros

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los pobladores de Huancayo cercanos al punto la intersección del Rio Shullcas y Rio Mantaro por su apoyo y acompañamiento al dejarnos ingresar a la ribereña, así como su ayuda al obtener las muestras necesarias para que esta investigación se lleve a cabo. Igualmente agradecemos a nuestro asesor, familia, amistades, por darnos la seguridad y confianza de que podríamos realizar un buen estudio que contribuya con la ciencia y el progreso social.

DEDICATORIA

Este estudio ha sido motivado por pensar en las generaciones futuras, si algo debemos hacer en nuestros andar por la vida es aprender y compartir el conocimiento, pues a partir de esto alguien llegará más lejos. Dedicamos también parte de nuestro estudio a Dios y a la Virgen María Auxiliadora ya que cómo salesianos aprendimos a andar bajo la guía de nuestra madre eterna y sabemos que es necesario tener una luz en el cielo que nos indique el camino.

ÍNDICE

ASESOR	iv
AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIA.....	vi
ÍNDICE.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	15
1.1. Planteamiento y Formulación del Problema	15
1.1.1. Problema General.....	16
1.1.2. Problemas específicos	17
1.2. Objetivos	17
1.2.1. Objetivo General	17
1.2.2. Objetivos Específicos.....	17
1.3. Justificación e importancia	17
1.3.1. Justificación Ambiental.....	17
1.3.2. Justificación social	18
1.3.3. Justificación económica	18
1.3.4. Justificación tecnológica	19
1.3.5. Justificación Metodológica	19
1.3.6. Justificación teórica.....	19
1.4. Delimitación del proyecto.....	20
1.5. Hipótesis	20
1.6. Operacionalización de las variables.....	21
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	23
2.1. Antecedentes de la investigación.....	23
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	23
2.1.2. Antecedentes Nacionales	26
2.1.3. Antecedentes Locales.....	28
2.2. Bases Teóricas.....	30
2.2.1. Contaminación de ríos por materia orgánica.....	30
2.2.2. Coagulantes naturales.....	33
2.3. Definición de términos básicos.....	36

2.3.1.	Agua residual	36
2.3.2.	Calidad del agua.....	36
2.3.3.	pH.....	36
2.3.4.	Conductividad eléctrica.....	36
2.3.5.	Turbidez	36
2.3.6.	Coagulante	36
2.3.7.	Coagulantes naturales.....	36
2.3.8.	Coagulantes químicos	36
2.3.9.	Remoción de materia orgánica.....	37
2.3.10.	Ensayo de coagulación-floculación.....	37
CAPÍTULO III HIPÓTESIS Y VARIABLES		38
3.1.	Hipótesis	38
3.1.1.	Hipótesis general.....	38
3.1.2.	Hipótesis específicas.....	38
3.2.	VARIABLES.....	38
3.2.1.	Variable independiente.....	38
3.2.2.	Variable dependiente	38
CAPÍTULO IV METODOLOGÍA		39
4.1.	Métodos y Alcance de la Investigación.....	39
4.1.1.	Método General.....	39
4.1.2.	Método Específico	39
4.1.3.	Tipo de investigación	39
4.1.4.	Nivel de investigación.....	40
4.2.	Diseño de la investigación	40
4.3.	Población y muestra.....	42
4.3.1.	Población.....	42
4.3.2.	Muestra.....	42
4.3.3.	Muestreo en el río.....	43
4.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	43
4.4.1.	Técnicas	43
4.4.2.	Instrumentos.....	43
4.4.3.	Materiales, equipos e insumos	43
4.4.4.	Procedimientos.....	44
CAPÍTULO V RESULTADOS Y DISCUSIÓN		47
5.1.	Presentación de resultados	47
5.1.1.	Caracterización inicial del agua en el río Shullcas del distrito de Huancayo, Junín – 2024	47

5.1.2.	Dosificación y tiempo de coagulación en la variación de pH y conductividad eléctrica del agua del río tratada con semilla y de cáscara de semilla de Moringa oleífera	48
5.1.3.	Dosificación y tiempo de coagulación que maximice la remoción de la turbidez con semilla y de cáscara de semilla de Moringa oleífera.....	49
5.1.4.	Efecto de cáscara de semilla de <i>Moringa oleífera</i> que maximice la remoción de materia orgánica (DQO y DBO) del agua del río	52
5.2.	Prueba de Hipótesis.....	53
5.2.1.	Prueba de Normalidad.....	53
5.2.2.	Contrastación de hipótesis específica 01.....	54
5.2.3.	Contrastación de hipótesis específica 02.....	58
5.2.4.	Contrastación de hipótesis específica 03.....	64
5.3.	Discusión de resultados.....	66
	CONCLUSIONES	69
	RECOMENDACIONES.....	70
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71
	ANEXOS	76
	Anexo 01. Panel Fotográfico	76
	Anexo 02. Parámetros sistematizados de Semilla de Moringa	85
	Anexo 03. Parámetros sistematizados Cascara de Semilla de Moringa.....	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.	21
Tabla 2. Distribución de los tratamientos realizados.	41
Tabla 3. Características del agua del río.	47
Tabla 4. Variación de pH y C. E en agua tratada con coagulante de semilla de Moringa oleífera	48
Tabla 5. Variación de pH y C. E en agua tratada con coagulante de cascara de semilla de Moringa oleífera	49
Tabla 6. Remoción de turbidez con coagulante de semilla de Moringa oleífera	50
Tabla 7. Remoción de turbidez con cascara de coagulante de semilla de Moringa oleífera	51
Tabla 8. Remoción DQO, y DBO con cascara de semilla de Moringa oleífera.....	52
Tabla 9. Prueba de Normalidad.....	53
Tabla 10. Análisis de varianza coagulante de semilla de moringa para variación de pH.....	54
Tabla 11. Análisis de varianza coagulante de cascara de semilla de moringa par variación de pH	55
Tabla 12. Prueba de Kruskal-Wallis para variación de C. E según tiempo con semilla y cascara de semilla de moringa	56
Tabla 13. Prueba de Kruskal-Wallis para variación de C. E según masa de semilla y cascara de semilla de moringa.....	57
Tabla 14. Prueba de Kruskal-Wallis efecto de masa para semilla de Moringa Oleífera	58
Tabla 15. <i>Comparación entre dosis</i>	59
Tabla 16. Resumen estadístico para cada dosis del coagulante natural de semilla de Moringa con base en los valores de remoción.....	60
Tabla 17. Prueba de Kruskal-Wallis efecto de tiempo para semilla de Moringa Oleífera	60
Tabla 8. Prueba de Kruskal-Wallis para cascara de semilla de Moringa Oleífera	61
Tabla 19. Comparación entre dosis cascara de semilla de Moringa Oleífera	62
Tabla 20. Resumen estadístico para cada dosis del coagulante de cáscara de semilla de Moringa con base en los valores de remoción.....	63
Tabla 21. Prueba de Kruskal-Wallis efecto de tiempo para la cascara de semilla de Moringa Oleífera	63
Tabla 22. Remoción de DQO, y DBO con dos dosis de cascara de moringa oleífera	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principio de coagulación y floculación.	33
Figura 2. Factores que afectan la coagulación.	34
Figura 3. Efecto de pH y tiempo en variación de pH con coagulante de semilla de moringa.	55
Figura 4. Efecto de pH y tiempo en variación de pH con coagulante de cascara de semilla de moringa 56	56
Figura 5. Grafica de cajas efecto de tiempo en remoción de turbidez con coagulante de semilla de moringa 61	61
Figura 6. Grafica de cajas efecto de tiempo en remoción de turbidez con coagulante de cascara de semilla de moringa 64	64
Figura 7. Remoción de DQO y DBO 65	65

RESUMEN

El uso de coagulantes naturales ha cobrado relevancia en los últimos años mostrando ser una alternativa sostenible frente a los coagulantes químicos que se usan en el tratamiento de agua. Estos coagulantes, obtenidos principalmente de plantas, semillas, frutos y algunas fuentes minerales, destacan por su carácter biodegradable, baja toxicidad y disponibilidad en diversas regiones. El presente estudio tiene por objetivo evaluar coagulantes naturales de semilla y cáscara de semilla de *Moringa oleífera* en la remoción de materia orgánica del agua del río Shullcas, Huancayo – 2024. Como metodología de estudio estuvo alineado a un diseño experimental, de tipo aplicado, con nivel explicativo y un enfoque cuantitativo, la población estuvo definida por todo el río Shullcas y la muestra fueron 48 litros de agua del río los cuales se recolectaron en tres puntos estratégicos previamente definidos en el río. Por resultados principales se obtuvo que tanto la semilla como la cáscara fueron coagulantes naturales eficientes en la remoción de materia orgánica, pero la semilla de *Moringa oleífera* tuvo una efectividad mayor utilizando una dosis de 1 g del coagulante y 60 minutos como dosis y tiempo óptimo, asimismo, la masa del coagulante influye de manera significativa en el pH, pero no en la conductividad eléctrica. Por último, la investigación concluye que la semilla y la cáscara de semilla de *Moringa oleífera* pueden actuar como coagulantes naturales efectivos para la remoción de materia orgánica y turbidez en el agua del río Shullcas siendo una alternativa viable para optimizar los costos y minorar el impacto ambiental generado por subproductos nocivos que causan los coagulantes químicos usados convencionalmente.

Palabras claves: *Coagulantes naturales, Moringa oleífera, tratamiento de agua, materia orgánica, sostenibilidad.*

ABSTRACT

The use of natural coagulants has gained relevance in recent years as a sustainable alternative to conventional chemical coagulants in water treatment. These coagulants, obtained mainly from plants, seeds, fruits, and some mineral sources, stand out for their biodegradable nature, low toxicity, and availability in diverse regions. The present study aims to evaluate natural coagulants from *Moringa oleifera* seeds and seed husks in the removal of organic matter from the water of the Shullcas River, Huancayo (2024). The study methodology was aligned with an applied experimental design, with an explanatory level and a quantitative approach. The population was defined throughout the Shullcas River, and the sample consisted of 48 liters of river water, which were collected at three previously defined strategic points along the river. The main results showed that both the seed and the husk were efficient natural coagulants for removing organic matter, but the *Moringa oleifera* seed was more effective using a 1 g coagulant dose and 60 minutes as the optimal dose and time. Furthermore, the coagulant mass significantly influences pH, but not electrical conductivity. Finally, the research concludes that the *Moringa oleifera* seed and husk can act as effective natural coagulants for removing organic matter and turbidity in the water of the Shullcas River, representing a viable alternative for optimizing costs and reducing the environmental impact generated by harmful byproducts caused by conventionally used chemical coagulants.

Keywords: *Natural coagulants, Moringa oleifera, water treatment, organic matter, sustainability.*

INTRODUCCIÓN

La necesidad de encontrar un tratamiento adecuado del agua sigue siendo uno de los principales retos ambientales, sobre todo en zonas urbanas donde los ríos reciben continuamente descargas domésticas y residuos. La falta de acciones que ayuden a controlar y regular los vertimientos a los cuerpos de agua es un problema en la actualidad, como veremos a lo largo de nuestro estudio y en muchos de nuestros antecedentes, en nuestro país una gran proporción de aguas residuales urbanas no recibe procesamiento adecuado y contribuye al deterioro de los principales cuerpos hídricos. Un claro ejemplo lo encontramos en Huancayo, el río Shullcas constituye una fuente importante para las poblaciones asentadas en sus márgenes, pero presenta un deterioro progresivo por descargas domésticas, residuos sólidos y actividades agrícolas y comerciales. Estudios previos sobre su calidad confirman niveles preocupantes de contaminación orgánica y microbiológica, lo que compromete su uso y afecta directamente al ecosistema local (18). Ante esta problemática, nuestro estudio busca el uso de coagulantes naturales como una alternativa frente a los coagulantes químicos convencionales. Diversas investigaciones muestran que materiales vegetales como la Moringa oleífera poseen proteínas capaces de reducir turbidez y materia orgánica sin generar efectos tóxicos ni grandes volúmenes de lodos (26). Tanto la semilla como la cáscara de moringa son de bajo costo, fáciles de obtener y representan una opción viable para procesos de coagulación–floculación en contextos rurales y urbanos.

En ese marco, la presente investigación evalúa la eficiencia de la semilla y la cáscara de semilla de Moringa oleífera como coagulantes naturales para la remoción de materia orgánica del agua del río Shullcas, Huancayo – 2024. A través de ensayos de jarras, se analizó su efecto sobre parámetros como pH, conductividad eléctrica, turbidez, DBO y DQO, con el fin de determinar su potencial como alternativa ecológica y accesible para mejorar la calidad del agua en la cuenca.

La investigación se estructura en cinco capítulos: el capítulo I desarrolla el planteamiento del problema, los objetivos y la justificación; el capítulo II presenta los antecedentes y el marco teórico; el capítulo III presenta la hipótesis y las variables; el capítulo IV describe el tipo y diseño de investigación, el área de estudio, la población, la muestra y los procedimientos experimentales; finalmente, el capítulo V expone los resultados, su discusión, las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y Formulación del Problema

A nivel internacional La Organización Mundial de la Salud menciona que al menos el 80 % de las aguas residuales a nivel global se descargan sin tratamiento previo, lo cual afecta la salud de las personas y así mismo afecta la estabilidad de los ecosistemas acuáticos. El 44% de aguas residuales domésticas generadas a lo largo del mundo se vertieron sin que exista una depuración adecuada, esta situación se agrava en zonas urbanas, donde los ríos se convierten en receptores de aguas negras, residuos sólidos y contaminantes orgánicos (1).

La contaminación orgánica en los sistemas fluviales es un indicador clave de la calidad del agua del río, que afecta tanto la seguridad en la disponibilidad hídrica potable como la transferencia de materia orgánica disuelta. Se ha demostrado que la cantidad (es decir, concentración o masa) y la calidad química (es decir, composición) de la DQO en aguas superficiales influyen en la unión de metales. La contaminación orgánica de los ríos proviene de fuentes urbanas puntuales de vertido de aguas residuales y de fuentes difusas de desechos ganaderos, desbordamientos de alcantarillado, humedales y emisiones de organismos acuáticos. La seguridad del agua aún enfrenta problemáticas debido a la afectación de la calidad y un aumento en la demanda de agua, tanto en China como a nivel mundial, bajo las actividades humanas y el cambio climático. Con el progreso de la urbanización y el crecimiento poblacional, las fuentes de contaminación orgánica variarán enormemente (2).

La afectación de la calidad de agua en los ríos amenaza la disponibilidad de agua potable en gran parte del mundo, lo que dificulta el alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible 6 (ODS: agua limpia para todos) y 11 (ciudades sostenibles). Existen estudios recientes sobre los impactos de la rápida urbanización en el estrés hídrico o la escasez de agua a nivel mundial, pero a menudo se ignora la calidad del agua (3).

En el caso del Perú, la situación no es distinta, de acuerdo con el Ministerio del Ambiente, anualmente se vierten 243 087 012 m³ de aguas residuales domésticas sin un tratamiento previo generadas en zonas urbanas del país no recibe tratamiento alguno, lo que repercute directamente en la calidad de los ríos. Esta deficiencia en el manejo de aguas residuales ha ocasionado que varios cuerpos hídricos presenten niveles elevados de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), sólidos suspendidos totales (SST) y coliformes fecales, indicadores clave de contaminación orgánica (gianella). El informe de la Autoridad Nacional del Agua sustenta que ríos como el Rímac, el Chili y el Mantaro muestran una calidad del agua "mala" o "muy mala"

en zonas urbanizadas, por ejemplo, en el río Mantaro registraron superaciones de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA-agua) en parámetros microbiológicos y fisicoquímicos, incluyendo metales pesados (4).

Es de conocimiento que también se tienen actividades de diferente índole cerca a los cuerpos de agua, esto junto al crecimiento acelerado de las ciudades dentro de las cuencas hidrográficas impactan en la calidad de agua que consumimos en el país, ya sea debido a prácticas ilegales y no regularizadas como es la minería ilegal que genera vertimiento de lixiviados y residuos sólidos, o las aguas municipales e industriales no tratadas y pasivos ambientales que fueron dejados sin algún tipo de remediación. Dentro del Perú se tiene entre las cuencas más grandes del país la cuenca del Huallaga en la cual existe un aproximado de 359 fuentes de impacto a la calidad del agua superficial por las descargas de agua residual doméstica y municipal, a todo esto se suma una pésima gestión de residuos sólidos y el vertimiento de aguas residuales generadas en la agricultura (5).

A nivel local, en la provincia de Huancayo, el río Shullcas constituye una fuente hídrica de importancia para diversas actividades para las poblaciones asentadas en sus márgenes como en el rubro agrícola, comercial y recreativa, además forma parte de la subcuenca del río Mantaro, siendo parte importante en el sistema fluvial de la región. Sin embargo, este cuerpo de agua presenta un deterioro progresivo en su calidad debido al vertimiento directo de aguas residuales domésticas, el arrastre de residuos sólidos, así como las descargas provenientes de actividades comerciales y agrícolas. Estas prácticas generan un incremento significativo de la materia orgánica, lo cual repercute en la reducción de oxígeno disuelto, la proliferación de microorganismos patógenos y la alteración del equilibrio ecológico del río. En este contexto, el presente estudio se propone evaluar las capacidades de coagulación de la semilla de *Moringa oleífera* y la cáscara de esta misma como opciones de tratamiento naturales, a fin de determinar su eficacia en la remoción de materia orgánica de las aguas servidas del río Shullcas, distrito de Huancayo -2024.

1.1.1. Problema General

¿Cuál es la eficiencia del uso de coagulantes naturales de semilla y cáscara de semilla de *Moringa oleífera* en la remoción de materia orgánica del agua del río Shullcas, Huancayo – 2024?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la influencia de la dosificación de coagulantes naturales de semilla y de cáscara de semilla de *Moringa oleifera* y tiempo de coagulación en la variación de pH y C.E en el tratamiento del agua del río Shullcas, Huancayo – 2024?
- ¿Cuál es la influencia de la dosificación de coagulantes naturales de semilla y de cáscara de semilla de *Moringa oleifera* y tiempo de coagulación en la remoción de la turbidez en el tratamiento del agua del río Shullcas, Huancayo – 2024?
- ¿Cuál es la influencia de tipo de coagulantes naturales de semilla y cáscara de semilla de *Moringa oleifera* en la remoción de materia orgánica (DBO y DQO) en el tratamiento del agua del río Shullcas, Huancayo – 2024?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Evaluar coagulantes naturales de semilla y cáscara de semilla de *Moringa oleifera* en la remoción de materia orgánica del agua del río Shullcas, Huancayo – 2024.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Determinar la influencia de la dosificación de coagulantes naturales de semilla y de cáscara de semilla de *Moringa oleifera* y tiempo de coagulación en la variación de pH y C.E en el tratamiento del agua del río Shullcas, Huancayo – 2024.
- Determinar la influencia de la dosificación de coagulantes naturales de semilla y de cáscara de semilla de *Moringa oleifera* y tiempo de coagulación en la remoción de la turbidez en el tratamiento del agua del río Shullcas, Huancayo – 2024.
- Determinar la influencia de tipo de coagulantes naturales de semilla y cáscara de semilla de *Moringa oleifera* en la remoción de materia orgánica (DBO y DQO) en el tratamiento del agua del río Shullcas, Huancayo – 2024.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación Ambiental

El presente estudio busca evaluar las vías alternas en tratamiento de aguas residuales domésticas, teniendo en cuenta el papel de las herramientas ecológicas para afrontar problemáticas ambientales. El agua representa una sustancia invaluable con propiedades únicas que sustentan la vida, considerándose una necesidad básica que genera estragos cuando es contaminada o escasa. Este estudio responde a la necesidad urgente de mitigar los efectos

negativos de la contaminación orgánica en cuerpos de agua como el río Shullcas, el cual recibe descargas de aguas residuales de características domésticas, industriales y agrícolas sin tratamiento adecuado. La aplicación de coagulantes naturales representa una alternativa ecológica para la remoción de materia orgánica, lo que contribuiría a la recuperación paulatina de la calidad del agua y, por tanto, a la protección de los ecosistemas acuáticos locales. Evaluar exclusivamente los subproductos de *Moringa oleífera* (semilla y cáscara) responde a la necesidad de encontrar coagulantes de origen vegetal que no introduzcan metales ni generen lodos tóxicos en un sistema de tratamiento, preservando al mismo tiempo los procesos ecológicos propios de la cuenca.

1.3.2. Justificación social

En el ámbito social, es crucial que la población reconozca la importancia de investigar vías de tratamiento físico y biológico que empleen coagulantes naturales para remediar aguas residuales domésticas, lo que permitiría su implementación tanto en áreas urbanas como rurales. El impacto que tendrá en la comunidad si se llega a implementar en viviendas, sería muy positivo puesto que la calidad del agua mejoraría y se promoverían prácticas sostenibles para las poblaciones asentadas en sus márgenes.

En la comunidad de Huancayo, gran parte de la población utiliza directamente el agua del río Shullcas para riego y otras actividades de subsistencia. Probar el uso de semilla y cáscara de semilla de *Moringa oleífera* como coagulantes naturales ofrece una alternativa de tratamiento sencilla, económica y de fácil manejo en áreas urbanas y periurbanas. Al mejorar los parámetros de pH, turbidez y conductividad en el agua tratada, se reducen los riesgos de enfermedades transmitidas por agua contaminada garantizando un recurso hídrico de calidad para los pobladores haciendo su uso pleno para optimizar sus actividades económicas y mejorar su calidad de vida.

1.3.3. Justificación económica

Desde una perspectiva económica, el empleo de coagulantes naturales puede disminuir significativamente los costos de inversión en sistemas de tratamiento de aguas residuales. Los sistemas de tratamiento convencionales en su representan un alto costo para poder ser implementados y así mismo para su mantenimiento. En contraste, el uso de coagulantes naturales como la *Moringa oleífera*, disponibles fácilmente y de bajo costo, ofrece una alternativa económica y eficiente. Este estudio busca demostrar que es posible aplicar soluciones económicas viables para mejorar la calidad del agua sin requerir grandes inversiones, lo cual es especialmente relevante en zonas con recursos limitados. Además, la

semilla y la cáscara de semilla de *Moringa oleifera* son subproductos agrícolas de bajo costo y de amplia disponibilidad local. Evaluar únicamente estos materiales permite reducir los gastos en insumos y en manejo de lodos, ya que los coagulantes vegetales producen menor volumen de residuo y su disposición final es menos costosa.

1.3.4. Justificación tecnológica

En términos tecnológicos, el tratamiento de aguas residuales con coagulantes naturales para remover materia orgánica se presenta como una solución sencilla. Al emplearlos no se requieren tecnologías de alto costo, ya que la depuración se lleva a cabo en tanques o jarras de dimensiones relativamente modestas. La validación de esta técnica puede aportar al desarrollo de tecnologías limpias y adaptadas a las necesidades locales, facilitando su implementación en otras regiones con problemáticas similares.

1.3.5. Justificación Metodológica

Una vez determinando la veracidad y confiabilidad de la evaluación de eficiencia de remoción de los coagulantes naturales usados, éste podrá ser usado en futuros trabajos de investigación los cuales estén relacionados en espacios como la remoción de materia orgánica de aguas servidas.

En dicho sentido, los aportes metodológicos a través de la presente investigación podrán ser aplicados en otras evaluaciones de alternativas ambientales con similar contexto. El estudio adopta un enfoque experimental que permite evaluar de manera cuantitativa la eficiencia de diferentes coagulantes naturales en la remoción de materia orgánica y turbidez. Esta metodología puede ser replicada o adaptada en futuras investigaciones que busquen mejorar procesos de tratamiento de agua en contextos similares, aportando así herramientas prácticas a la investigación aplicada en ingeniería ambiental. Se involucra la utilización de grupos experimentales y de control para realizar comparaciones de resultados.

1.3.6. Justificación teórica

Los resultados obtenidos en esta investigación van a aportar conocimientos al estudio de los coagulantes naturales, donde a partir de ello será posible determinar decisiones sobre medidas de dosificación para los tratamientos de aguas servidas en el distrito de Huancayo, todo ello con la finalidad de prevenir los daños a la salud pública, ambiental y socioeconómica, puesto que la presencia de contaminantes orgánicos es un problema realmente preocupante en la actualidad. Desde el punto de vista teórico, este trabajo busca contribuir al cuerpo de conocimientos sobre el uso de biocoagulantes para el tratamiento de aguas contaminadas,

particularmente en escenarios de contaminación orgánica. Al medir la eficiencia de nuestros coagulantes naturales, se generan datos relevantes que pueden ser utilizados como base para futuros estudios científicos sobre tecnologías limpias y sostenibles.

1.4. Delimitación del proyecto

El presente estudio estuvo delimitado temporalmente desde agosto del 2024 a noviembre del 2025 para su desarrollo. Asimismo, estuvo delimitado espacialmente en el departamento de Junín, provincia de Huancayo específicamente en el río Shullcas el cual forma parte de la cuenca del Mantaro, aportando sus aguas como afluente.

1.5. Hipótesis

- Ho: Los coagulantes naturales de la cáscara de *Moringa oleífera* y de la semilla de *Moringa oleífera* no son significativamente eficientes en la remoción de materia orgánica en el río Shullcas del distrito de Huancayo, Junín – 2024.
- Ha: Los coagulantes naturales de la cáscara de *Moringa oleífera* y de la semilla de *Moringa oleífera* son significativamente eficientes en la remoción de materia orgánica en el río Shullcas del distrito de Huancayo, Junín – 2024.

1.6. Operacionalización de las variables

Tabla 1. Operacionalización de variables.

Tipo de Variable	Variables	Definición	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida / Técnica	Escala de medición
Independiente	Dosificación del coagulante	Cantidad de coagulante (semilla o cáscara molida) añadida por litro de agua residual en el jar-test.	–Concentración de coagulante	–Gramos de coagulante (semilla o cáscara) por litro de muestra (g/L)	g/L	Razón
	Tiempo de agitación (rpm)	Número de revoluciones por minuto constantes aplicadas durante la fase de coagulación en el jar-test.	–Velocidad de mezcla	– rpm de mezcla	Agitador magnético con control de velocidad (rpm)	Intervalo
	Tipo de coagulante	Materia prima vegetal empleada esto proviene de la semilla o de la cáscara de semilla de <i>Moringa oleifera</i> .	–Origen del coagulante	–Coagulante de semilla – Coagulante de cáscara	–Clasificación en dos niveles: “Semilla” o “Cáscara”	Nominal
Dependiente	pH	Medida del potencial de hidrógeno en el agua tratada, indicador de acidez o	– Nivel de acidez/alcalinidad	– Valor numérico de	pH-metro digital (lectura	Intervalo

	alcalinidad tras la coagulación con <i>Moringa</i> .		pH después del tratamiento	directa)	
Turbidez	Medida de la opacidad del agua tratada, relacionada con la concentración de materia orgánica y sólidos suspendidos que quedaron tras el jar-test.	– Grado de opacidad del agua	– Lectura de turbidez en NTU después del tratamiento	Turbidímetro (NTU)	Intervalo
Conductividad eléctrica	Capacidad del agua tratada para conducir corriente eléctrica, proporcional a la concentración iónica que permanece tras la coagulación con <i>Moringa</i> .	– Nivel de iones disueltos	– Lectura de conductividad en $\mu\text{S}/\text{cm}$ después del tratamiento	Conductímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Intervalo

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales

En el estudio realizado por Barreto et al. (6) titulado “Evaluación de coagulantes naturales para el tratamiento de aguas residuales domésticas”, se investigó la eficacia de dos coagulantes naturales, uno a base de semilla de aguacate y otro elaborado con mucílago de café y una solución buffer de fosfato, en comparación con el tradicional sulfato de aluminio, para tratar aguas contaminadas provenientes de la quebrada La Guayacana, en Santander (Colombia). A través de ensayos de jarras, se evaluó la capacidad de remoción de turbidez y color de cada coagulante, obteniéndose que el extracto de mucílago de café fue el más eficiente, con una reducción del 64,29 % en turbidez y 52,20 % en color, superando incluso al coagulante químico convencional. Este trabajo concluye que los coagulantes naturales pueden ser utilizados como alternativas viables para el tratamiento primario de aguas con alta carga contaminante, especialmente en contextos donde se busca reducir el uso de productos químicos. El aporte de este estudio a nuestra investigación es fundamental, ya que refuerza la pertinencia de explorar soluciones sostenibles a base de productos naturales como la *Moringa oleífera*, y valida el uso de la metodología de jarras como una herramienta experimental eficaz para determinar la eficiencia de los coagulantes.

Según Gutiérrez (7) en su tesis “*Moringa Oleífera* como coagulante para la disminución de la turbidez en la planta de tratamiento de agua potable Tundayme - Cantón El Pangui, provincia de Zamora Chinchipe” nos da a conocer que el uso de las semillas de *Moringa Oleífera* nos ayudara a equilibrar los siguiente parámetros: pH, turbidez, alcalinidad, color, conductividad, TDS, OD y salinidad. El objetivo general de dicha tesis fue reducir la turbidez del agua de la planta de tratamiento por medio del uso de *Moringa Oleífera*, lo evaluó por medio de las pruebas de jarras y comparó el uso de la *Moringa Oleífera* con el coagulante sulfato de aluminio, la tesis analizada dio los siguiente resultados: en una turbidez promedio de 227.33 NTU aplicando *Moringa Oleífera* se redujo a una turbidez promedio de 5.5 NTU, para un tiempo aproximado de 40 minutos, lo que nos demuestra que es posible elegir nuevos coagulante de origen orgánico y que evitan el daño a la salud pública y medio ambiental Dicha tesis nos servirá al construir nuestro marco conceptual ya que tiene dimensiones similares en el manejo de variables.

Además, en la tesis de Million Ebba (8) titulada “Tratamiento de aguas residuales mediante coagulante natural (*Moringa Oleífera*): Optimización mediante la metodología de superficie de respuesta”, defendida en la Universidad de Jimma (Etiopía), planteó como objetivo evaluar la eficiencia de la semilla de *Moringa oleifera* como coagulante natural en el tratamiento de aguas residuales de lavandería, aplicando un diseño experimental de superficie de respuesta (RSM) para optimizar variables como dosis y pH. Los resultados fueron contundentes: con una dosis óptima de 0,4 g de semilla por cada 500 ml de muestra, se logró una remoción de turbidez de hasta 99,5 %, color 97,7 % y reducción de DQO de aproximadamente 65,8 % tanto en aguas de carácter ácido como básico, manteniendo el pH en un rango estable de 7-9. El autor concluyó que la semilla de Moringa es una alternativa altamente efectiva, económica y sostenible frente a los coagulantes químicos, además de adaptable a variaciones de calidad del agua y con procesos replicables. Este estudio aporta directamente a nuestra investigación ya que, valida el uso de la metodología de pruebas de jarras combinada con optimización experimental, destaca los increíbles niveles de remoción de materia orgánica y establece condiciones operativas (pH y dosis) relevantes para el tratamiento del río Shullcas.

Valdiviezo (9) afirma en su estudio que evaluó la eficiencia de la semilla de *M. Oleífera* como coagulante en el tratamiento de aguas residuales de una central de sacrificio. Realizó pruebas de coagulación/floculación utilizando una prueba de jarra, donde se añadieron dosis predeterminadas del coagulante natural *M. Oleífera*, que obtuvo mediante la pulverización de las semillas y extracción de su polvo. Recolectó su muestra de agua residual a la salida de la central de sacrificio tras un tratamiento preliminar que incluía una rejilla de limpieza manual. En cada ensayo se midieron parámetros como pH, turbiedad, color, temperatura, DBO5, DQO, sólidos suspendidos totales (SST), coliformes totales y fecales, antes y después de cada prueba, para calcular la remoción lograda. Los resultados más destacados muestran que, con una dosis óptima de 7500 mg/l y una concentración del 5%, se puede alcanzar una eficiencia de remoción de color y turbiedad de aproximadamente 87% y 80%, respectivamente. Este antecedente respalda la presente investigación al demostrar la efectividad de este coagulante natural en condiciones reales, y orienta sobre rangos de dosificación eficientes, siendo especialmente útil para su aplicación en la mejora de la calidad del agua del río Shullcas.

En el trabajo de grado de Mesa y Palacio (10) titulado “Uso de la *Moringa oleifera* como coagulante alternativo en la potabilización de agua en zonas rurales de Colombia”, plantearon evaluar la viabilidad del polvo de semilla de moringa como alternativa al sulfato de aluminio en la coagulación de agua cruda. Para ello, se recolectaron muestras de agua de ríos y vertientes rurales, siguiendo una planificación previa de muestreo por punto de captación, y se registraron parámetros fisicoquímicos antes del tratamiento. El coagulante fue preparado mediante

recolección, secado y pulverización de semillas de moringa, aplicándose en ensayos de jarras a concentraciones del 5 % al 10 % con tiempos de mezcla rápida y lenta diferenciados. Los resultados mostraron reducciones variables en turbidez y coliformes, evaluadas antes y después del tratamiento con monitoreo en cada intervalo de tiempo. Aunque la remoción promedio de turbidez no alcanzó los estándares de potabilidad requeridos, el estudio evidenció la necesidad de optimizar dosis y protocolos para fortalecer la estandarización del uso de coagulantes naturales en comunidades rurales. Este antecedente aporta a nuestra investigación porque provee un modelo metodológico detallado: desde la obtención de muestras hasta la preparación del coagulante, señalando la importancia de calibrar dosis y tiempos para maximizar eficiencia, información que será fundamental al diseñar los protocolos de muestreo y jar test para evaluar la Moringa en el contexto del río Shullcas.

En el estudio de Talla (11) titulado “Caracterización fisicoquímica de semillas de *Moringa Oleifera* y posibilidad de utilizar tortas de extracción de aceite en el tratamiento de agua potable”, realizaron un análisis detallado de la semilla y los subproductos resultantes tras la extracción de aceite, incluyendo su secado, molienda, tamizado y disolución en agua para la preparación del coagulante. Los autores determinaron que las semillas secas contienen un 5,7 % de humedad, 31,3 % de proteínas, 50,7 % de lípidos y 7,5 % de fibras. Después de extraer el aceite mediante Soxhlet, el “cake” restante se secó a 60 °C, se redujo a polvo fino y se disolvió en agua para las pruebas de coagulación. Se encontraron niveles proteínicos significativos, lo que respaldó la eficacia del extracto como coagulante natural. El aceite se obtuvo con un rendimiento del 35 % y, tras su retirada, el polvo mostró capacidad coagulante en el tratamiento de agua potable, con dosis de 20 g/L y mezcla durante una hora. Este antecedente es esencial para nuestra tesis porque proporciona un protocolo claro para la preparación del coagulante a partir de semillas y tortas, así como datos cuantitativos sobre composición que permiten justificar el abanico de variables a medir en los jar test con Moringa para el río Shullcas.

Cevallos et al. (12) llevaron a cabo un estudio experimental de corte cuantitativo para evaluar la capacidad de coagulantes de origen vegetal frente a coagulantes convencionales en la disminución de la turbidez y en la influencia de variables que afectan este proceso. Como coadyuvantes naturales se probaron el gel de Aloe vera y el mucílago extraído de pitahaya (*Selenicereus undatus*); como referencias sintéticas se emplearon policloruro de aluminio (PAC) y sulfato de aluminio.

Ante la presencia de un contenido lipídico elevado en la muestra, se implementó una etapa inicial previa a la sedimentación sin aporte mecánico ni adición de reactivos, lo que permitió una remoción de grasas del 92%. La turbidez de partida fue de 1130,67 NTU; tras el tratamiento,

los porcentajes de reducción observados fueron 99,59% (PAC), 99,87% (sulfato de aluminio), 62,26% (pitahaya) y 75,15% (Aloe vera).

Respecto a la demanda química de oxígeno (DQO), el mejor coagulante sintético alcanzó un valor de 18 mg O₂/L, mientras que el coagulante natural más eficaz registró 839,35 mg O₂/L. El objetivo declarado del trabajo fue impulsar el uso de alternativas ambientalmente sostenibles para el tratamiento de aguas residuales, demostrando su efecto sobre la eliminación de contaminantes y aportando información útil para optimizar procesos de remoción de materia orgánica con coagulantes naturales.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Alegre y Mendoza (13) desarrollaron la investigación titulada “Coagulantes y floculantes naturales para el tratamiento de las aguas residuales de refinación del aceite de soya, Chosica – 2021”, cuyo propósito fue evaluar en qué grado agentes de origen natural mejoran los parámetros de efluentes generados en la refinación de aceite de soya. El trabajo tuvo un enfoque cuantitativo, aplicado, con diseño experimental y carácter explicativo.

Se ensayaron como coagulantes/floculantes la harina de cáscara de papa y la penca de tuna, administradas en cinco dosis (100, 200, 300, 400 y 500 mg/L) y sobre soluciones ajustadas a distintos niveles de pH (7; 7,5; 8; 8,5 y 9). Los hallazgos mostraron que 500 mg/L de harina de cáscara de papa a pH 7,5 permitió eliminar el 99,94 % de aceites y grasas y el 95,95 % de los sólidos suspendidos totales (SST). Por su parte, la penca de tuna a 400 mg/L y pH 8 obtuvo remociones del 99,84 % y 99,17 % en esos mismos parámetros, respectivamente.

Además, los autores reportaron que ambos materiales lograron disminuir SST, DBO₅, DQO y sólidos disueltos totales en más del 69,53 % sin sobrepasar los límites máximos permitidos por el DS N° 010-2019-VIVIENDA. Este estudio resulta relevante para nuestra investigación porque evidencia la viabilidad de coagulantes naturales en aguas industriales semejantes a las del río Shullcas y aporta referencias prácticas de dosis, pH y rangos de eficiencia útiles para adaptar y optimizar coagulantes a base de *Moringa oleifera*.

Cañari y León (14) hablan en su tesis “Reducción de turbidez mediante los coagulantes naturales (*Moringa oleifera*) y (*Opuntia ficus-indica*) en aguas superficiales de la quebrada huaycoloro” sobre la aplicación de dos coagulantes naturales en dosis óptimas de 40 mg/L y 65 mg/L, siendo la *Moringa oleifera* quien obtuvo un porcentaje de reducción de turbidez mayor (48,10%), esta tesis tuvo como objetivo evaluar los porcentajes de remoción de ambos coagulantes y así distinguir al más apto para uso en tratamiento de aguas residuales, se concluyó que ambos coagulantes servían para la reducción del parámetro mencionado siendo la *Moringa*

oleifera el más óptimo. La semilla de *Moringa oleifera* es más eficaz que el mucilago de *Opuntia ficus-indica* para reducir la turbidez de las aguas superficiales de la quebrada Huaycoloro, con una eficiencia de 48.10 % frente a 35.68 %. Dicho estudio es de relevancia para el presente trabajo de investigación ya que se cuenta con un tema enfocado en coagulantes naturales donde se propone uno similar, ayudándonos también a la obtención de información para el marco conceptual y desarrollo de la metodología a emplear.

En la tesis de Aranda Aranda y Esquia (15), Aplicación del polvo de moringa (*Moringa oleifera*) como coagulante natural en el tratamiento de agua turbia sintética, desarrollada en la Universidad Nacional del Callao, se buscó determinar la eficacia del polvo de semilla de moringa como coagulante mediante pruebas de jarras en laboratorio. Para ello, primero se realizó extracción de aceite por Soxhlet y pulverización del residuo a tamaños de partícula de 100 y 140 μm . Las pruebas se ejecutaron sobre agua sintética elevada a turbidez de 150, 300 y 600 NTU, probando concentraciones de polvo de 5, 10, 20 y 40 ppm. Con una turbidez inicial de 600 NTU, se alcanzó una remoción superior al 98 % utilizando 40 ppm y partículas de 140 μm . También se evaluó una mezcla de 50 % polvo de moringa + 50 % sulfato de aluminio, aunque no mostró mejoras significativas respecto al uso individual del coagulante natural. Se concluyó que el polvo de semilla de moringa, correctamente procesado y dosificado ofrece una solución altamente eficaz y ecológica para aguas con alta turbidez. Este antecedente es de gran utilidad para el marco conceptual, pues ofrece detalles metodológicos claros sobre preparación del coagulante, tamaño óptimo de molienda, rangos de concentración, y diseño experimental de jar test —todos elementos que podemos replicar y adaptar en el análisis y optimización del tratamiento del río Shullcas.

En la tesis de Martínez Huaira y Yauri Felipe (16), titulada “Eficiencia de la remoción de la turbidez en aguas sintéticas a nivel de laboratorio, aplicando como coagulante natural la *Moringa oleifera* con y sin extracción lipídica de la semilla, defendida en la Universidad Nacional de Huancavelica”, evaluaron la eficiencia de la semilla molida y extractos de *Moringa* en la reducción de turbidez de dos rangos definidos de agua sintética (<50 NTU y entre 50–150 NTU). La metodología incluyó la extracción lipídica con Soxhlet y la preparación de polvo fino, seguido por ensayos de jarras con dosis variables (10 a 110 mg/L según nivel de turbidez). El estudio destacó una remoción de turbidez que alcanzó el 82,18 % en acuafrescas leves y más del 95 % en niveles altos, sin necesidad de eliminar los lípidos previamente. Además, utilizaron un análisis estadístico no paramétrico para comparar las eficiencias de tratamiento con y sin extracción lipídica. Concluyeron que la *Moringa* molida es altamente eficaz y que el pretratamiento no es necesario, lo que simplifica el proceso y reduce costos. Este antecedente es muy valioso para el trabajo de tesis, pues ofrece una referencia clara de cómo diseñar y

analizar metodológicamente ensayos experimentales con niveles de turbidez, incluye recomendaciones sobre el rango de dosis y tipo de análisis estadístico adecuado para evaluar diferencias significativas en la eficiencia de remoción que son aspectos clave que planeo implementar en el estudio del río Shullcas.

2.1.3. Antecedentes Locales

Carrizales y Enríquez-Nateros (17) en su estudio titulado “Determinación de la dosis y concentración óptima del coagulante de *Moringa oleifera* en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica”, plantearon como problema determinar la eficiencia de remoción de turbidez y carga orgánica de agua de quebrada altoandina usando partículas molidas de semilla de moringa. En un diseño experimental de laboratorio aplicando pruebas de jarras con distinta dosis y tamaños de partícula evaluaron parámetros como turbidez y pH antes y después del tratamiento. Los resultados demostraron una eficiencia de hasta 97,77 % en remoción de turbidez, sin alterar significativamente el pH del agua, lo que confirmó la hipótesis de que la moringa es altamente eficaz incluso en aguas con carga orgánica alta. Este antecedente es fundamental para nuestra investigación, ya que proporciona referencias claras sobre dosis, rango de partícula, diseño experimental y parámetros críticos a medir, sirviendo como base para replicar metodología y compararla con los resultados obtenidos en el río Shullcas.

Gutiérrez Vilela y Baldeón Quispe (18), en su tesis titulada “Evaluación de la calidad del agua de las subcuencas Achamayo y Shullcas (Junín-Perú) utilizando el índice de calidad CCME”, tuvieron como objetivo evaluar la calidad del agua en ambas subcuencas mediante el Índice de Calidad del Agua del Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (CCME-WQI). Es por esto por lo que se tomaron los resultados de los monitoreos de calidad del agua realizados entre los años 2015 y 2020 por la Autoridad Nacional del Agua, considerando tanto parámetros fisicoquímicos como microbiológicos. Los resultados mostraron que la subcuenca Shullcas presentó un índice de calidad de 46.2, clasificado como “marginal”, debido principalmente a las elevadas concentraciones de coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*, asociadas a los vertimientos municipales sin tratamiento. En comparación, la subcuenca Achamayo obtuvo un valor de 67.8 (“regular”). Se concluye que la subcuenca Shullcas es la más impactada por la contaminación, recomendándose la implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales con tecnologías adecuadas. Este antecedente respalda de forma directa el planteamiento del problema de esta investigación, al evidenciar científicamente el deterioro de la calidad del agua del río Shullcas, así como la urgencia de intervenir con soluciones de tratamiento. Además, aporta parámetros de referencia para el estado inicial de contaminación,

que pueden ser utilizados para contextualizar los resultados de remoción logrados mediante coagulantes naturales como la *Moringa oleífera*.

En su tesis, Gaspar Cahuana (19) planteó como finalidad cuantificar la disminución de la turbidez en las aguas del río Shullcas mediante la coagulación empleando penca de tuna y sulfato de aluminio. El trabajo utilizó un enfoque cuantitativo con un diseño factorial 4×3: se probaron cuatro concentraciones (100, 200, 300 y 360 mg/L) y tres tiempos de agitación lenta (20, 30 y 40 min) posteriores a una agitación rápida previa estandarizada de 150 rpm durante 2 minutos. Partiendo de una turbidez inicial de 300 NTU, los experimentos mostraron que la condición óptima fue 300 mg/L combinada con 40 minutos de agitación lenta; bajo ese protocolo la penca de tuna disminuyó la turbidez hasta 1,13 NTU (reducción del 99,62 %) y el sulfato de aluminio la dejó en 4,67 NTU (reducción del 98,41 %). Los autores concluyeron que, en las condiciones estudiadas, la penca de tuna constituye una alternativa natural más eficaz que el coagulante químico para este tipo de parámetros. Este precedente resulta especialmente relevante para nuestra investigación porque prueba que, en el contexto del río Shullcas, un coagulante de origen vegetal puede igualar o superar el desempeño de uno químico y refuerza la validez del diseño experimental que utilizaremos para evaluar la *Moringa oleífera*.

Según Cahuana y Meza (20), en su trabajo titulado “Análisis de la influencia de los coagulantes sulfato de aluminio y cloruro férrico en la remoción de turbidez de las aguas del río Shullcas, Huancayo – 2022”, evaluaron experimentalmente la eficiencia de coagulantes convencionales para reducir la turbidez del agua proveniente del río Shullcas. El estudio aplicó un diseño factorial sobre muestras crudas, realizando pruebas de jar test con dosis variables de sulfato de aluminio y cloruro férrico combinadas con un coadyuvante natural de almidón de yuca, midiendo parámetros como turbidez, color, pH y conductividad eléctrica antes y después del tratamiento. Los resultados demostraron que una dosis de 0,60 g de sulfato de aluminio con 30 min de agitación logró una remoción de turbidez y color cercana al 98,8 %, superando significativamente al tratamiento con coagulante químico puro. Además, el estudio incorporó un bloque de diseño experimental (3 dosis × 3 tiempos) con réplicas, y utilizó pruebas estadísticas para confirmar la diferenciación de la eficiencia entre tratamientos. Este antecedente es sumamente valioso para nuestra tesis, pues no solo confirma de forma empírica el nivel de turbidez del río Shullcas y la efectividad de coagulantes químicos, sino que también proporciona un modelo metodológico sólido (uso de coadyuvante natural, diseño experimental, análisis estadístico), que puede ser adaptado para evaluar la eficiencia de la *Moringa oleífera* como alternativa natural en el tratamiento de este mismo río.

En la tesis de Canchanya y Huamán (21), titulada “Influencia del coagulante natural de semillas de *Moringa oleífera* Lam. en la calidad de agua residual del centro piscícola “La Cabaña” del

distrito de Sapallanga, Huancayo”, se evaluó la eficacia del coagulante extraído de semillas de *Moringa oleífera* en un contexto real, usando un diseño experimental con prueba de jarras que incluyó cuatro dosis (5, 10, 15 y 20 mg/L), tres réplicas y análisis de 1 000 mL por ensayo. El coagulante fue preparado mediante extracción Soxhlet con etanol y pretratamiento con NaCl al 1 %, y se sometió a agitación rápida (200 rpm por 2 min), agitación lenta (30 rpm por 30 min) y sedimentación de 2 h. Las aguas provenientes de la piscícola, con parámetros iniciales como 13,01 °C, 680 μ S/cm, 44 mg/L de sólidos disueltos totales, pH 7,63, 4,68 ppm de oxígeno disuelto y 14,07 NTU de turbidez, mostraron una reducción máxima de turbidez del 74 % (de 14,07 a 3,66 NTU), de conductividad en un 66 % y de sólidos totales en un 28 %, sin alteraciones significativas en temperatura, pH u oxígeno. Los resultados indican que una dosis de 15 mg/L fue óptima para el tratamiento del agua residual piscícola, evidenciando que las semillas de *Moringa oleífera* actúan como coagulante eficaz en el contexto local de Huancayo. Este antecedente es fundamental para nuestra tesis, ya que ofrece un ejemplo práctico y realista de aplicación de jar test, dosis, parámetros físicoquímicos y protocolo de preparación del coagulante, lo cual puede ser adaptado y comparado directamente con las condiciones del río Shullcas para evaluar su eficiencia en remoción de materia orgánica y turbidez.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Contaminación de ríos por materia orgánica

Con la rápida urbanización, se han importado cantidades sustanciales de contaminantes orgánicos a los ríos urbanos debido a las actividades humanas y la escorrentía de aguas pluviales. Los contaminantes excesivos se depositan y acumulan en los sedimentos, lo que lleva a que la contaminación orgánica de los sedimentos haya alcanzado niveles peligrosos (22).

La contaminación orgánica en los sistemas fluviales es un indicador clave de la calidad del agua fluvial. Identificar las fuentes de contaminación orgánica y cuantificar sus contribuciones es importante para mejorar la planificación y la gestión de la calidad del agua (23).

Las aguas residuales son los desechos líquidos generados en hogares, hospitales, fábricas y otras instalaciones como consecuencia inevitable del uso del agua. Si no son gestionadas adecuadamente, provocan serios problemas sanitarios, especialmente en países en desarrollo. No obstante, con tecnologías modernas y una gestión eficiente, pueden convertirse en recursos útiles, por ejemplo, mediante su reutilización en la agricultura, lo que contribuye al ahorro de agua dulce y a la rentabilidad económica. Una mala gestión de estas aguas tiene consecuencias graves y agrava la crisis mundial del agua, poniendo en riesgo la salud y la supervivencia humana (24).

La materia orgánica presente en aguas residuales está compuesta principalmente por restos biológicos como proteínas, carbohidratos, lípidos y ácidos orgánicos, que provienen de residuos animales y vegetales. Estos compuestos se caracterizan fisicoquímicamente por ser susceptibles de oxidación, lo que se mide mediante la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y la demanda química de oxígeno (DQO). La DBO₅ representa la cantidad de oxígeno presente en los microorganismos para descomponer la fracción biodegradable, mientras que la DQO estima la totalidad de compuestos oxidables, incluyendo los no biodegradables. Además, los sólidos suspendidos totales (SST) pueden incluir partículas orgánicas que incrementan la carga contaminante del agua. Parte de estos parámetros son esenciales para evaluar la presencia y remoción de materia orgánica durante los métodos de tratamiento (9).

2.2.1.1. La Demanda Bioquímica de Oxígeno y la Demanda Química de Oxígeno

Las dos medidas básicas del nivel de contaminación orgánica son la demanda química de oxígeno (DQO, mg L⁻¹) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO, mg L⁻¹). La DQO_{cr} y la DBO₅ representan dos procesos integrados de contaminación orgánica: la carga de contaminantes orgánicos y la degradación microbiana. La cantidad y calidad de la DQO y la DBO del río tienen el potencial de influir en la idoneidad de la calidad del agua para el consumo humano, así como en la salud de los componentes no humanos del ecosistema que dependen del río (23).

2.2.1.2. Calidad del agua en la subcuenca del río Shullcas

La calidad del agua de un cuerpo fluvial depende de múltiples factores antropogénicos y naturales. En el caso de la subcuenca del río Shullcas, ubicada en la región Junín, Perú, diversos estudios han reportado niveles preocupantes de contaminación que comprometen tanto el uso humano como la salud de los ecosistemas acuáticos. El Índice de Calidad de Agua del Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (CCME-WQI) es usado para evaluar las subcuencas de los ríos Achamayo y Shullcas (18).

2.2.1.3. Normativa peruana de calidad de agua

Para determinar si el agua tratada con coagulantes naturales cumple con los requisitos de potabilidad y vertimiento, es necesario comparar los resultados con la normativa nacional:

D.S. N° 002-2008-MINAM establece las disposiciones generales para la gestión del agua para consumo humano

D.S. N° 004-2017-MINAM define los estándares para aguas de Categoría 3, correspondientes a cuerpos receptores de vertimientos de aguas servidas tratado.

Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338, 2009) establece principios como gestión integrada, priorización, valorización del recurso y participación ciudadana.

2.2.1.4. Estándar de Calidad de Agua – Categoría 3

A. Potencial de hidrógeno

El pH, conocido como potencial de hidrógeno, expresa la concentración de iones de hidrógeno en una solución y permite identificar el grado de acidez o alcalinidad del agua. Su escala va de 0 a 14, donde el valor 7 nos dice que es neutro: valores por debajo indican acidez y valores por encima señalan alcalinidad o carácter básico. La medición de este parámetro se realiza mediante un método electrométrico, que registra la actividad de los iones de hidrógeno a través de un electrodo de vidrio acompañado de un electrodo de referencia, o mediante un electrodo combinado. Para garantizar resultados confiables, es fundamental que los equipos utilizados se encuentren debidamente calibrados, ya que de esta precisión depende la adecuada interpretación de la calidad del agua (25).

B. Turbiedad

La turbiedad, que evalúa la opacidad o brumosis de un líquido, inicialmente se concibió como una medida subjetiva de la calidad estética del agua potable. No mide directamente las partículas presentes en el agua, sino cómo estas afectan la transmisión de luz a través del agua o cómo la luz se refleja en las partículas. Los estándares y métodos actuales de medición de turbidez han sido estandarizados para proporcionar una evaluación cuantitativa consistente de las propiedades estéticas y de la potencial presencia de agentes patógenos en el agua potable (25).

C. Conductividad

La conductividad eléctrica del agua expresa la característica de conducción eléctrica, la cual depende de la cantidad de sales o electrolitos disueltos; a mayor concentración, mayor será la conductividad. Su unidad en el Sistema Internacional es el siemens por metro (S/m), aunque en aguas con un contenido mínimo de sales se emplea el microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$), considerando que un siemens equivale a un millón de microsiemens. Este parámetro resulta de gran utilidad por su sencillez y bajo costo de medición, ya que permite monitorear procesos ambientales e industriales y evaluar la eficiencia de sistemas de purificación como la ósmosis

inversa, el intercambio iónico, la destilación o la electrodeionización. Cuando los sólidos disueltos se encuentran mayormente disociados, la conductividad se relaciona de manera directa con su concentración, lo que explica por qué equipos de sólidos disueltos totales (TDS) reportan la conductividad en mg/L, tomando como referencia el cloruro de sodio, donde 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ equivale a 0.6 mg/L de NaCl (25).

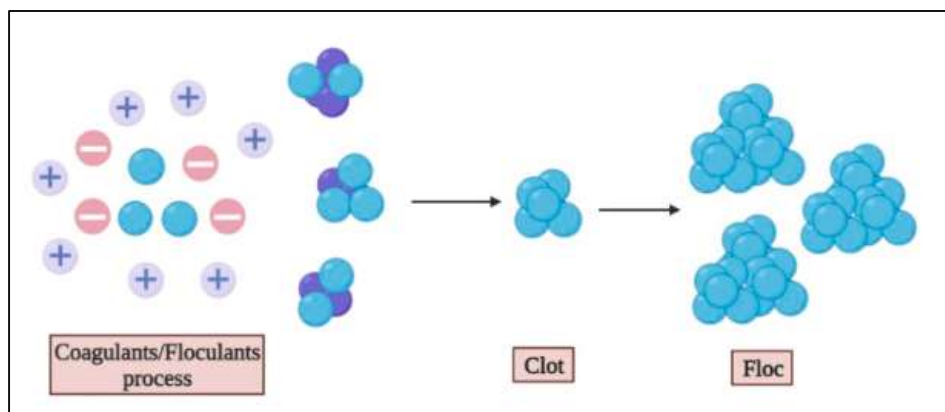
2.2.2. Coagulantes naturales

Los coagulantes naturales han cobrado gran importancia como agentes eficaces para los procesos de tratamiento de agua residuales en específico para la disminución de los metales pesados presentes en estas. Los coagulantes naturales, derivados de fuentes vegetales, animales y microbianas, han surgido como una alternativa prometedora para la eliminación de metales pesados en el tratamiento de aguas residuales. Estos coagulantes son polielectrolitos, que pueden ser polímeros aniónicos, catiónicos o neutros. No solo son seguros y rentables, sino que también poseen la capacidad de mantener el pH de las aguas residuales que se tratan sin aumentar la carga de metal durante el proceso. Además, los coagulantes naturales generan menores volúmenes de lodos, lo que reduce significativamente los costos de eliminación (26).

2.2.2.1. Coagulación y floculación

La coagulación/floculación es un método de tratamiento fisicoquímico ampliamente utilizado que elimina eficazmente los sólidos suspendidos y los contaminantes resistentes de las aguas residuales. Este método implica neutralizar la carga de partículas coloidales y promover su agregación en flóculos más grandes, que luego pueden eliminarse fácilmente. Sin embargo, los coagulantes químicos tradicionales, como las sales de Fe y Al, están asociados con varios inconvenientes, incluidos los altos costos, la toxicidad, las alteraciones significativas del pH en el agua tratada y la generación de grandes volúmenes de lodos peligrosos (26).

Figura 1. Principio de coagulación y floculación.

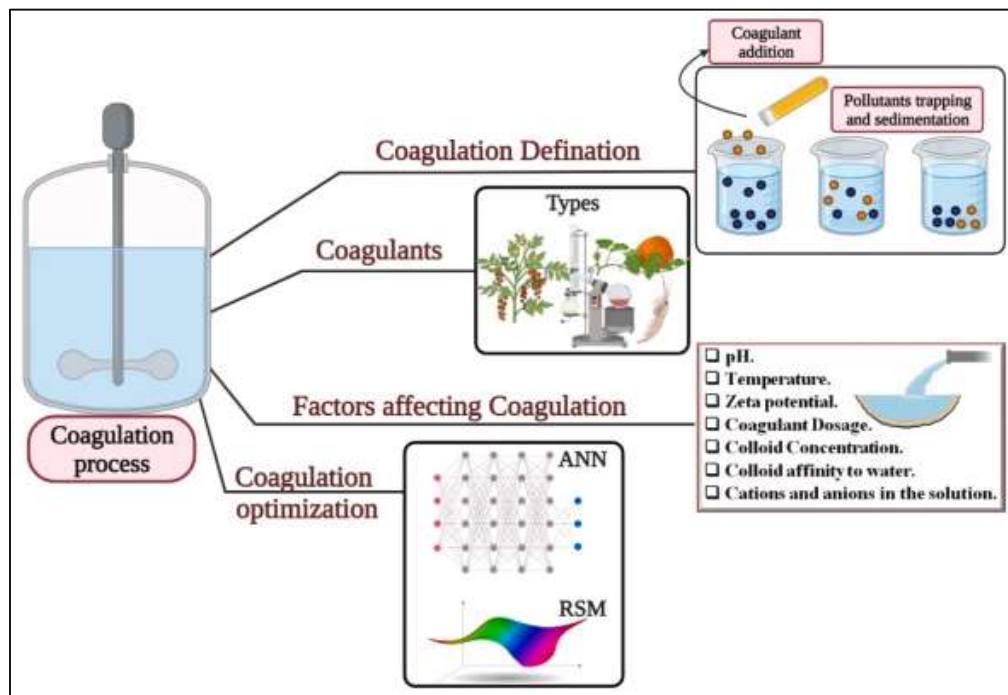


Fuente. Obtenido de El-Taweel et al. (27).

A. Eficiencia

La eficiencia de remoción en procesos de coagulación y floculación se define como la capacidad de un coagulante para reducir significativamente los parámetros contaminantes del agua (como turbidez, sólidos suspendidos, DBO o DQO), expresada generalmente en porcentaje. Esta se calcula comparando los valores iniciales y finales del contaminante medido, bajo condiciones controladas de agitación, dosis y tiempo de sedimentación (19).

Figura 2. Factores que afectan la coagulación.



Fuente. Obtenido de El-Taweel (27).

2.2.2.2. Diferencias entre coagulantes naturales y convencionales

Los coagulantes naturales se dividen en coagulantes de origen vegetal, como la goma guar, la goma arábica, el extracto de semillas de *Strychnos potatorum*, el almidón de patata y el extracto de cactus latifaria. Además, existen coagulantes de origen animal, como el quitosano, y coagulantes de origen microbiano, como la goma xantana. Los coagulantes químicos aplicados se clasificaron en tres clases: sales metálicas hidrolizantes como alumbre, cloruro férrico, sulfato férrico y cloruro de magnesio; sales metálicas prehidrolizantes como sulfato de polialuminio, cloruro de polialuminio, cloruro poliférrico, cloruro férrico de polialuminio y sulfato poliferroso; y polímeros catiónicos sintéticos como aminoetil poli(acrilamida), poliamina polialquileno, polietilenimina y cloruro de polidialildimetil amonio. Los coagulantes naturales y los coagulantes químicos se diferencian principalmente en su origen, impacto ambiental y nivel de eficiencia. Los naturales son de carácter biodegradable, menos tóxicos y más seguros

para la salud y el entorno, lo que los convierte en una alternativa sostenible y amigable con el ambiente, aunque suelen presentar una eficiencia de remoción más limitada y variable. En contraste, los coagulantes químicos se caracterizan por su alta eficacia y rapidez en los métodos de clarificación y tratamiento del agua, lo que explica su uso extendido a nivel industrial; sin embargo, su aplicación conlleva riesgos como la generación de residuos secundarios, posibles efectos negativos en la salud y mayor impacto ambiental. En conjunto, los coagulantes naturales priorizan la sostenibilidad y seguridad, mientras que los químicos destacan por su efectividad técnica, aunque con mayores riesgos asociados (27).

2.2.2.3. Coagulación mediante el uso de *Moringa oleífera*

Las semillas de *Moringa oleífera* han recibido atención entre los coagulantes de origen vegetal para el tratamiento de agua potable y aguas residuales hacia una economía verde y una producción más limpia. Es una planta originaria del sur de Asia, pero se cultiva ampliamente en todo el mundo en los trópicos. El compuesto activo presente en las semillas de *M. oleífera* responsable de la actividad coagulante está formado por proteínas catiónicas solubles en agua con un punto isoeléctrico a pH 10-11 y un peso molecular que varía entre 6,5 y 30 kDa. Se cree que el mecanismo de coagulación dominante es consistente con la adsorción y la neutralización de la carga. Las proteínas catiónicas presentes en las semillas de *M. oleífera* no están fácilmente disponibles, y se necesitan uno o más pasos de procesamiento antes de su uso. Los pasos generalmente consisten en etapas primarias (procesamiento de polvo), pretratamiento secundario (extracción de aceite), secundarias (extracción de proteínas catiónicas) y terciarias (purificación). Las semillas de *M. oleífera* se pueden usar como coagulante durante cualquiera de las etapas mencionadas. Cuanto más avanzada sea la etapa de procesamiento, mayores serán los costos y la complejidad involucrados, y se pueden encontrar diferentes resultados en el tratamiento del agua. Las etapas primarias, secundarias de pretratamiento y secundarias son las más estudiadas y generalmente se aplican donde se carece de experiencia y equipo especializado. Una etapa terciaria de purificación, como la liofilización, el intercambio iónico o la diálisis, rara vez se aplica en coagulantes de origen vegetal debido a la complejidad y los altos costos involucrados (28).

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Agua residual

Agua que ha sido utilizada en diferentes actividades y contiene impurezas físicas, químicas o biológicas que alteran su calidad (5).

2.3.2. Calidad del agua

Grupo de parámetros que pueden ser de carácter físico , químicos y biológico , estos sirven para conocer si el agua puede ser de consumo humano , riego o recreación. (5).

2.3.3. pH

Medida que da a conocer el nivel de acidez o alcalinidad de una sustancia en una escala de 0 a 14, donde 7 representa neutralidad (6).

2.3.4. Conductividad eléctrica

Parámetro que mide el grado de conducción eléctrica presente en el agua en función de la concentración de sales disueltas (6).

2.3.5. Turbidez

Grado de opacidad del agua causado por partículas en suspensión, que impiden el paso de la luz (8).

2.3.6. Coagulante

Sustancia que, al añadirse al agua, desestabiliza y agrupa partículas suspendidas, facilitando su sedimentación y remoción (23).

2.3.7. Coagulantes naturales

Sustancias de origen no sintético, biodegradables y de bajo impacto ambiental, utilizadas en el proceso de clarificación del agua (24).

2.3.8. Coagulantes químicos

Sustancias de origen sintético, de alta eficacia y rápida acción, aplicadas en el tratamiento del agua, aunque con posibles efectos secundarios para la salud y el ambiente (24).

2.3.9. Remoción de materia orgánica

Proceso mediante el cual se reduce la concentración de compuestos orgánicos presentes en el agua, mejorando su calidad (26).

2.3.10. Ensayo de coagulación-floculación

Prueba de laboratorio que evalúa la eficiencia de diferentes coagulantes en la clarificación del agua a través de la formación y sedimentación de flóculos (24).

CAPÍTULO III

HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

- Ho: Los coagulantes naturales de semilla y cáscara de semilla de *Moringa oleífera* no son significativamente eficientes en la remoción de materia orgánica en el río Shullcas del distrito de Huancayo, Junín – 2024
- Ha: Los coagulantes naturales de semilla y cáscara de semilla de *Moringa oleífera* son significativamente eficientes en la remoción de materia orgánica en el río Shullcas del distrito de Huancayo, Junín – 2024

3.1.2. Hipótesis específicas

- La dosificación de coagulantes naturales de semilla y de cáscara de semilla de *Moringa oleífera* y tiempo de coagulación influye en la variación de pH y C.E en el tratamiento del agua del río Shullcas, Huancayo – 2024.
- La dosificación de coagulantes naturales de semilla y de cáscara de semilla de *Moringa oleífera* y tiempo de coagulación influye en la remoción de la turbidez en el tratamiento del agua del río Shullcas, Huancayo – 2024.
- El tipo de coagulantes naturales de semilla y cáscara de semilla de *Moringa oleífera* influye en la remoción de materia orgánica (DBO y DQO) en el tratamiento del agua del río Shullcas, Huancayo – 2024.

3.2. Variables

3.2.1. Variable independiente

Semilla y cáscara de semilla de *Moringa Oleífera*

3.2.2. Variable dependiente

Eficiencia en los parámetros de conductividad, pH y turbidez.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1. Métodos y Alcance de la Investigación

4.1.1. Método General

El método que se usó para la presente tesis es el método “científico” ya que se tuvo procedimientos sistematizados de los cuales se obtuvo un problema, objetivos, hipótesis formuladas, resultados, discusiones y conclusiones que fueron validadas. Tamayo y Tamayo (29) se refieren a que este método no solo implica la ejecución de técnicas, sino que representa un proceso riguroso que garantiza la objetividad y la confiabilidad del conocimiento generado. Además, facilita la formulación de preguntas precisas y la comprobación empírica de las hipótesis, asegurando que las conclusiones se fundamenten en evidencia verificable y reproducible. Por tanto, el método científico es fundamental para desarrollar investigaciones sólidas y confiables, especialmente en áreas donde se requiere un análisis profundo y sistemático.

4.1.2. Método Específico

El enfoque utilizado en esta investigación es de carácter experimental e inductivo, dado que parte del análisis de casos o hechos particulares para llegar a formulaciones más amplias y generales. Este método se basa en un proceso lógico que permite construir conocimiento a partir de observaciones específicas, con la intención de generar conclusiones que puedan aplicarse en contextos más amplios, el razonamiento inductivo es fundamental en la investigación científica porque facilita la identificación de patrones y la elaboración de teorías a partir de datos concretos (30).

4.1.3. Tipo de investigación

La presente investigación estuvo enmarcada en un estudio aplicado, ya que busca abordar una problemática la cual está relacionada con la degradación de cuerpos de agua causada por diversas actividades humanas. Su objetivo principal es encontrar soluciones prácticas que respondan a las necesidades sociales actuales (30). En este caso, se propuso evaluar el uso de coagulantes naturales, como la semilla y la cáscara de semilla de *Moringa oleífera*, para la reducción de turbidez, ubicada en el Río Shullcas.

4.1.4. Nivel de investigación

El estudio estuvo alineado a un nivel explicativo, cuyo propósito es identificar las causas de ciertos fenómenos y establecer relaciones de causa y efecto. Este tipo de investigaciones busca profundizar en la comprensión del fenómeno analizado, y aunque no siempre ofrece conclusiones definitivas, permite generar un conocimiento más detallado y fundamentado (31). En este contexto, el presente trabajo pretendió evaluar la efectividad de un coagulante natural en la reducción de turbidez presente en el río Shullcas el cual se ve afectado por actividades industriales y domésticas explicando porque fue significativa o no.

4.2. Diseño de la investigación

El presente estudio fue experimental debido a que involucra la modificación deliberada de ciertas variables para observar cómo afectan a otras variables relacionadas. Este tipo de investigación permite al investigador controlar y supervisar cuidadosamente las condiciones bajo las cuales se realiza el análisis, con el fin de establecer relaciones de causa y efecto entre los factores estudiados. Según Ñaupas et al. (31) la investigación experimental se caracteriza por la manipulación intencional de variables independientes para evaluar su influencia en variables dependientes, lo que facilita la obtención de resultados precisos y confiables.

En el estudio se realizó evaluaciones previas y después a los tratamientos en tres repeticiones para semilla y cáscara de *Moringa Oleífera* como se muestra en la Tabla 1, de 8 tratamientos por triplicado.

Tabla 2. Distribución de los tratamientos realizados.

Criterios de variables			Criterios de variables		REP 1			REP 2			REP 3		
Tratamiento 1	Tiempo	Cant coag	Tiempo	Cant coag	C.E	Ph	Turbidez	Conductividad	Ph	Turbidez	Conductividad	Ph	Turbidez
1	-	--	30	0.5									
2	+	--	60	0.5									
3	-	-	30	1									
4	+	-	60	1									
5	-	+	30	2									
6	+	+	60	2									
7	-	++	30	4									
8	+	++	60	4									

Fuente: Los autores.

La tesis se llevó a cabo mediante la implementación de un grupo control sin tratamiento, junto con ocho grupos experimentales que recibieron diferentes dosis de coagulantes naturales, específicamente semilla de *Moringa oleifera* y la cáscara de semilla de *Moringa oleifera*. Cada grupo fue sometido a tres repeticiones para asegurar la consistencia de los resultados. Además, se evaluó dos tiempos distintos de coagulación, de 30 y 60 minutos, con el propósito de determinar cuál es el periodo más efectivo para la disminución óptima de turbidez en las muestras tratadas. Este diseño experimental permitió analizar cómo varían los resultados en función de la dosis aplicada y el tiempo de coagulación, aspectos fundamentales para optimizar el proceso de tratamiento de aguas.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

De acuerdo con Hernández y Mendoza (30), la población en una investigación se define como el conjunto total de elementos que comparten características comunes y sobre los cuales se pretende obtener conclusiones válidas. En el presente estudio, la población objeto de análisis corresponde al Río Shullcas, lugar donde se desarrolló la investigación para evaluar la efectividad de los coagulantes naturales en el tratamiento de aguas.

4.3.2. Muestra

La muestra utilizada en esta investigación consistió en un volumen total de 48 litros de agua extraídos del Río Shullcas, siguiendo los lineamientos establecidos en el Protocolo Nacional para la supervisión y análisis de recursos hídricos superficiales, aprobado por la Resolución Jefatural 010-2016-ANA. Esta cantidad se determinó considerando la necesidad experimental del estudio, que incluye el uso de seis jarras de un litro con tres repeticiones y dos litros adicionales como reserva. Las muestras se recolectaron en tres puntos estratégicos previamente definidos en el río, con el fin de representar la variabilidad espacial del cuerpo de agua. El primer punto se ubicó cerca del área recreativa “Juanka” en las coordenadas UTM WSG 18L E: 476299.51; N: 8665698.31, el segundo 50 metros arriba del primer punto y el tercero 50 metros abajo del primer punto. Debido a que la calidad del agua superficial varía en diferentes zonas, esta estrategia de muestreo múltiple permitió obtener una representación más homogénea y precisa para el análisis.

4.3.3. Muestreo en el río

Según el protocolo de monitoreo de agua superficial elaborado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) para cuerpos de tipo río se denomina la letra "R", basándonos en este protocolo se establecieron puntos para el monitoreo, espaciados los cuales fueron establecidos en una separación de unos 50 metros, se establecieron 3 puntos de monitoreo para el área de estudio.

4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.4.1. Técnicas

La técnica utilizada en la investigación fue la observación experimental, debido a que los datos fueron recolectados por los tesisistas a través de la observación.

4.4.2. Instrumentos

- a) Cadena de custodia: Sirve para identificar cada punto donde se tomó la muestra además de describir el tipo de muestra y parámetros a ser analizadas.
- b) Ficha de registro de datos: Recolección de datos de la muestra antes y después de cada experimento.

4.4.3. Materiales, equipos e insumos

Equipos de Laboratorio

- Prueba de Jarras
- Mortero
- Balanza analítica
- Estufa eléctrica
- Molino
- Tamizador

Materiales

- Jarras (plástico)
- Termómetro
- Probeta
- Papel toalla
- Varilla
- Guantes quirúrgicos

- Papel craft
- Tamiz
- Etiquetas
- Baldes
- Agua destilada

4.4.4. Procedimientos

4.4.4.1. Etapa de Pre-Campo

Usando el Protocolo de monitoreo de agua superficial del Autoridad Nacional del Agua (ANA) mencionado anteriormente se procedió al monitoreo de los 3 puntos de control, los cuales fueron establecidos teniendo en consideración la accesibilidad al lugar para asegurar la seguridad de los tesisas y evitar áreas con espuma por el caudal y turbulencia del río. Asimismo, se preparó los materiales a utilizar para la toma de muestra y se solicitó los permisos necesarios para disponer del laboratorio de la Universidad Continental.

4.4.4.2. Etapa de Campo

- Se tomaron las muestras de agua según la metodología establecida en el Protocolo de monitoreo de agua superficial del Autoridad Nacional del Agua (ANA)
- Al tener las muestras recolectadas, se procedió a rellenar las cadenas de custodia y se llevaron al laboratorio de la Universidad Continental en el menor tiempo posible, establecidos dentro de las 6 horas de realizar la toma, debido a esto no se necesitó de algún tipo de preservantes, ya que se respetó el protocolo de monitoreo de agua superficial del Autoridad Nacional del Agua (ANA) que garantiza que todos los parámetros cumplieran con los tiempos óptimos de almacenamiento.

4.4.4.3. Etapa de laboratorio

A. Procedimiento para la obtención de la semilla de *Moringa oleifera*

- Obtención de la semilla: Se compro la semilla de *Moringa oleifera* en el Mercado Modelo de la ciudad de Huancayo.
- Lavado de la semilla: Se lavo con detalle cada semilla de *Moringa oleifera* utilizando agua destilada para su correcta desinfección y limpieza de sedimentos de polvo, tierra, etc. que estén presentes en la semilla.
- Secado: Este paso fue realizado de manera natural dejándose secar a temperatura ambiente durante una semana.

- Despulpado: Se extrajo la pulpa de la semilla seca.
- Deshidratación: El coagulante natural estuvo en exposición a una temperatura de 52 °C durante un tiempo total de 30 horas.
- Trituración: Se trituró con un mortero hasta obtener el tamaño ideal.
- Tamizado: Se tamizó con el número de malla 28, para obtener un polvo fino.
- Pesado: Se pesó en la balanza analítica cada porción de pulpa de semilla de moringa triturada según la necesidad de cada repetición.

B. Procedimiento para la obtención de la cascara de semilla de *Moringa oleífera*

- Obtención de la cascara de semilla: Se compró la cascara de la semilla en varios mercados de la ciudad de Huancayo.
- Lavado de la cascara de la semilla: Se lavó con detalle cada cáscara de la semilla utilizando agua destilada para su correcta desinfección y limpieza de sedimentos de polvo, tierra, etc. que estén presentes en la semilla.
- Secado: Este paso fue realizado de manera natural dejándose secar a temperatura ambiente durante una semana.
- Separación: Se separó la pulpa de la semilla seca.
- Deshidratación: : El coagulante natural estuvo en exposición a una temperatura de 52 °C durante un tiempo total de 30 horas.
- Trituración: Se trituro con un mortero hasta obtener el tamaño ideal.
- Tamizado: Se tamizo con el número de malla 28, para obtener el polvo fino.
- Pesado: Se peso en la balanza analítica cada porción de la cascara de semilla triturada según la necesidad de cada repetición.

C. Preparación del coagulante Natural

Se elaboró una mezcla con ambos coagulantes naturales la cáscara de la semilla de *Moringa oleífera* y la propia semilla que se incorporó directamente a la muestra de agua. La suspensión obtenida se empleó de inmediato en ensayos de jarras con volúmenes de 1 L para evaluar el desempeño combinado de los dos reactivos en el tratamiento del agua.

La determinación de la dosis óptima se orientó a partir de rangos sugeridos por antecedentes bibliográficos y de pruebas experimentales propias. En una fase preliminar, no formalmente registrada, las cantidades de semilla y de cáscara de semilla de *Moringa* se seleccionaron de forma aleatoria; pese a la carencia de documentación en esa etapa, la observación directa mostró una clara efectividad en la remoción de contaminantes. Esa evidencia fue suficiente para incorporar la dosis probada al experimento principal, adoptando además procedimientos

metodológicos reportados en estudios sobre la semilla de *Moringa*, dado que la cáscara forma parte integrante de la semilla y por tanto puede considerarse un material análogo.

D. Prueba de Jarras

Para este paso se adaptó la metodología de Valdiviezo et al. (9) y Talla (11) en el cual utilizo dosis de 0,4mg hasta 20 g/l, debido a esto se estableció el rango de coagulante para cada repetición.

Se utilizaron seis vasos de precipitados, cada uno con 1 L de la muestra de agua.

En ellos se aplicaron dosis distintas de los coagulantes, añadiendo tanto la cáscara de la semilla de *Moringa oleifera* como la semilla misma en las diferentes proporciones ensayadas.

Tras la adición del coagulante, se mezcló durante un rango de 30-60 minutos y una velocidad de agitación de 150 rpm.

Después del tiempo mencionado se dejó en reposo la mezcla durante 30 minutos para permitir la sedimentación.

Se realizaron tratamientos (08) de cada coagulante natural (02) por cada punto de tratamiento (03), y se obtuvo 48 datos en total.

4.4.4.4. Etapa de gabinete

Los datos obtenidos de las evaluaciones del laboratorio se organizaron en el software Excel y procesados utilizando el software estadístico SPSS. Este programa permitió realizar el procedimiento de la información, así como la aplicación de análisis descriptivos e inferenciales según los objetivos planteados con el fin de determinar la eficacia de los coagulantes naturales en la reducción de materia orgánica.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Presentación de resultados

5.1.1. Caracterización inicial del agua en el río Shullcas del distrito de Huancayo, Junín – 2024

Tabla 3. Características del agua del río.

Parámetro físicoquímico	Unidad de medida	Valor	Normativas
			ECA-Categoría 3
Temperatura	° C	22.78	-
pH	Unid. pH	7.60	6.5-8.5
C. Eléctrica	μS/cm	2790	2500
Turbidez	NTU	826	100*
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	472.2	40
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	245.9	15

*Nota. Categoría 3-DI: Riego de vegetales y bebida de animales *Categoría 1- B1: agua destinada a contacto primario.*

La Tabla 3 presenta los parámetros físicoquímicos del agua de un río, evaluados según los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Los resultados muestran que la temperatura del agua es de 22.78°C, lo cual es adecuado para muchas especies acuáticas. El pH se encuentra en 7.60, dentro del rango permitido de 6.5 a 8.5, según los ECA. Sin embargo, la conductividad eléctrica es de 2790 μS/cm, lo que excede el límite de 2500 μS/cm establecido para esta categoría de agua. La turbidez del agua es de 826 NTU, lo que está muy por encima del límite permitido de 100 NTU, indicando una alta cantidad de sólidos suspendidos. Además, la Demanda Química de Oxígeno (DQO) es de 472.2 mg/L, y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es de 245.9 mg/L, ambos valores superiores a los límites establecidos por el ECA para aguas de esta categoría, lo que indica una alta carga orgánica en el agua.

5.1.2. Dosificación y tiempo de coagulación en la variación de pH y conductividad eléctrica del agua del río tratada con semilla y de cáscara de semilla de *Moringa oleífera*

Tabla 4. Variación de pH y C. E en agua tratada con coagulante de semilla de *Moringa oleífera*

Criterios de variables		REP 1		REP 2		REP 3	
Tiempo	Cant coag	Conductividad $\mu\text{S/cm}$	Ph	Conductividad $\mu\text{S/cm}$	Ph	Conductividad $\mu\text{S/cm}$	Ph
30	1	278	7.68	270	7.61	290	7.69
60	1	277	7.86	280	7.67	300	7.72
30	2.5	284	8.06	270	7.57	310	7.88
60	2.5	283	8.01	290	7.63	290	7.81
30	5	292	7.85	280	7.4	290	7.88
60	5	293	7.91	270	7.47	320	7.76
30	10	303	7.4	280	7.44	280	7.58
60	10	298	7.59	290	7.42	300	7.61

La tabla 4 muestra los resultados de la variación de pH y conductividad eléctrica (C.E.) en agua tratada con el coagulante de semilla de *Moringa oleífera*, considerando diferentes tiempos y cantidades de coagulante. Se observó que a medida que aumenta el tiempo de coagulación y la cantidad de coagulante, el pH se mantiene relativamente estable, mientras que la conductividad varía dependiendo de la dosificación y el tiempo de tratamiento, indicando la efectividad del coagulante en la modificación de las propiedades del agua

Tabla 5. Variación de pH y C. E en agua tratada con coagulante de cascara de semilla de Moringa oleifera

Criterios de variables		REP 1		REP 2		REP 3	
Tiempo	Cant coag	Conductividad $\mu\text{S/cm}$	Ph	Conductividad $\mu\text{S/cm}$	Ph	Conductividad $\mu\text{S/cm}$	Ph
30	0.5	293	7.85	280	7.62	300	7.65
60	0.5	292	7.88	280	7.63	310	7.71
30	1	288	8.11	290	7.86	290	7.69
60	1	286	8.03	280	7.84	280	7.79
30	2	286	7.92	270	7.75	310	7.81
60	2	291	7.98	280	7.84	280	7.78
30	4	285	7.82	270	7.7	280	7.64
60	4	286	7.71	280	7.67	290	7.66

En la tabla 5 se detallan los resultados de la variación de pH y conductividad eléctrica (C.E.) en el agua tratada con cáscara de semilla de Moringa oleifera, también a diferentes tiempos y cantidades de coagulante. Los datos muestran que, similar al tratamiento con la semilla, la conductividad disminuye a medida que aumenta la cantidad de coagulante y el tiempo de tratamiento, mientras que el pH presenta una ligera disminución, lo que refleja el efecto del coagulante en el agua.

5.1.3. Dosificación y tiempo de coagulación que maximice la remoción de la turbidez con semilla y de cáscara de semilla de Moringa oleifera

Tabla 6. Remoción de turbidez con coagulante de semilla de Moringa oleífera

Criterios de variables		REP 1		REP 2		REP 3		Promedio	
Tiempo	Cant coag	Turbidez	% remoción	Turbidez	% remoción	Turbidez	% remoción	turbidez	% Remoción
30	1	101	87.77%	110	84.59%	114	85.18%	108.3	85.85%
60	1	48.2	94.16%	43	93.98%	58	92.46%	49.7	93.53%
30	2.5	405	50.97%	188	73.67%	198	74.25%	263.7	66.30%
60	2.5	392	52.54%	81	88.66%	174	77.37%	215.7	72.86%
30	5	472	42.86%	272	61.90%	231	69.96%	325.0	58.24%
60	5	411	50.24%	196	72.55%	214	72.17%	273.7	64.99%
30	10	182	77.97%	157	78.01%	198	74.25%	179.0	76.74%
60	10	161	80.51%	142	80.11%	157	79.58%	153.3	80.07%

Nota: turbidez inicial para REP 1=826, REP 2=714, REP 3= 769 NTU.

Remoción de turbidez con coagulante de semilla de Moringa oleífera: La tabla 6 presenta los resultados de la remoción de turbidez en el agua tratada con coagulante de semilla de Moringa oleífera, calculando el porcentaje de remoción en función del tiempo de coagulación y cantidad de coagulante. Los resultados muestran una mejora significativa en la remoción de turbidez con el aumento de la dosificación del coagulante, alcanzando los mejores porcentajes de remoción (más del 80%) con dosis de 10 g y tiempos de coagulación de 60 minutos, lo que indica la eficacia del coagulante en la mejora de la calidad del agua.

Tabla 7. Remoción de turbidez con cascara de coagulante de semilla de Moringa oleífera

Criterios de variables		REP 1		REP 2		REP 3		Promedio	
Tiempo	Cant coag	Turbidez	% remoción	Turbidez	% remoción	Turbidez	% remoción	turbidez	% Remoción
30	0.5	177	78.57%	148	79.27%	187	75.68%	170.7	77.84%
60	0.5	155	81.23%	140	80.39%	152	80.23%	149.0	80.62%
30	1	217	73.73%	167	76.61%	201	73.86%	195.0	74.73%
60	1	192	76.76%	160	77.59%	161	79.06%	171.0	77.80%
30	2	202	75.54%	189	73.53%	187	75.68%	192.7	74.92%
60	2	140	83.05%	125	82.49%	115	85.05%	126.7	83.53%
30	4	90	89.10%	102	85.71%	126	83.62%	106.0	86.14%
60	4	47	94.31%	38	94.68%	61	92.07%	48.7	93.69%

Nota: turbidez inicial para REP 1=826, REP 2=714, REP 3= 769 NTU.

En la tabla 7 se detallan los resultados de remoción de turbidez usando cáscara de semilla de *Moringa oleífera* como coagulante. Se observa que el porcentaje de remoción mejora con el incremento en la cantidad de coagulante, alcanzando un máximo de hasta 94% en algunas dosis de 4 g a 60 minutos. Estos datos destacan la efectividad del coagulante de cáscara de semilla en la reducción de la turbidez, especialmente en los niveles más altos de dosificación y tiempo de coagulación prolongado.

5.1.4. Efecto de cáscara de semilla de *Moringa oleífera* que maximice la remoción de materia orgánica (DQO y DBO) del agua del río

La tabla 8, es en base a los resultados previos de la remoción de turbidez, como se obtuvo una mayor remoción para 4 g de coagulante de cascara se semilla y 1 g semilla de moringa. Las cuales fueron seleccionadas para la remoción de materia orgánica medida en DQO y DBO.

Tabla 8. Remoción DQO, y DBO con cascara de semilla de *Moringa oleífera*

Cantidad	RPM	TIEMPO SEDIMENTACION	Ensayo			
			DBO (mg/l)	% remoción	DQO (mg/L)	% remoción
concentración inicial			245.9		472.2	
4 g cascara se semilla	150	40 MIN	206.1	16.19	344.5	27.04
	RPMS		209.3	14.88	345.8	26.77
			200.3	18.54	348.6	26.18
1 g semilla de moringa	150	40 MIN	123.4	49.82	224.1	52.54
	RPMS		122.8	50.06	227.8	51.76
			115	53.23	222.5	52.88

La Tabla 8 muestra los resultados de la remoción de materia orgánica, expresada en términos de DBO y DQO, utilizando cáscara de semilla de *Moringa oleífera*. Los resultados muestran que, con 4 g de cáscara de semilla, la remoción de DBO varió entre el 14.88% y el 18.54%, y la remoción de DQO estuvo entre el 26.18% y el 27.04%. En comparación, con 1 g de semilla de Moringa, los porcentajes de remoción fueron más altos, alcanzando un 53.23% en DBO y 52.88% en DQO, lo que resalta la mayor efectividad de la semilla de Moringa en la remoción de materia orgánica. Estos resultados subrayan la eficacia de la *Moringa oleífera* como coagulante para la mejora de la calidad del agua, mostrando una remoción significativa de DBO y DQO en ambas dosis.

5.2. Prueba de Hipótesis

5.2.1. Prueba de Normalidad

La prueba de normalidad se realizó con la prueba Shapiro-Wilk en el software IBM SPSS Statistics 27 por tener 48 tratamientos evaluados. Teniendo como pauta lo siguiente:

H0: Los datos siguen una distribución normal

H1: Los datos no siguen una distribución normal

Regla de decisión:

Sig. \leq 0.05 se rechaza H0 y se acepta H1

Sig. $>$ 0.05 se acepta H0 y se rechaza H1

Tabla 9. Prueba de Normalidad

		Pruebas de normalidad					
		Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Coagulante	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Turbidez	Cáscara	,132	24	,200*	,906	24	,029
	Semilla	,176	24	,053	,920	24	,058
pH	Cáscara	,143	24	,200	,937	24	,136
	Semilla	,094	24	,200	,961	24	,460
C. E	Cáscara	,173	24	,060	,903	24	,025
	Semilla	,118	24	,200	,951	24	,286
DBO	Cáscara	,301	6	,095	,758	6	,024
DQO	Cáscara	,312	6	,069	,711	6	,008

Fuente: IBM SPSS Statistics 27

La tabla anterior es la prueba de normalidad obtenida al introducir nuestros datos por el software IBM SPSS Statistics 27, dado que nuestras muestras eran menos de 50 nos guiamos con la prueba estadística de Shapiro-Wilk, la cual nos muestra una significancia de 0,029 para la cáscara de semilla de *Moringa Oleifera* y 0,058 para la semilla de Moringa. De acuerdo con las hipótesis planteadas antes nos encontramos con un caso mixto donde un grupo es paramétrico (semilla) y el otro no (cáscara), es por esto por lo que descartamos las pruebas paramétricas para evaluar los coagulantes ya que pruebas como ANOVA suponen normalidad en todos los grupos. Para ver la diferencia entre grupos aplicarnos pruebas no paramétricas como Mann-

Whitney U y para corroborar si la variación de dosis influye en la eficiencia de cada coagulante se usaron pruebas como la de Kruskal-Wallis.

5.2.2. Contrastación de hipótesis específica 01

- **Ha:** La dosis de semilla y de cáscara de semilla de Moringa oleífera y tiempo de coagulación influyen en la variación de pH y conductividad eléctrica en el tratamiento de las aguas servidas del río Shullcas, Huancayo – 2024.
- **Ho:** La dosis de semilla y de cáscara de semilla de Moringa oleífera y tiempo de coagulación no influyen en la variación de pH y conductividad eléctrica en el tratamiento de las aguas servidas del río Shullcas, Huancayo – 2024

Tabla 10. Análisis de varianza coagulante de semilla de moringa para variación de pH

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tiempo	1	0.007350	0.007350	0.27	0.608
Masa	3	0.317750	0.105917	3.91	0.025
Error	19	0.514750	0.027092		
Falta de ajuste	3	0.012083	0.004028	0.13	0.942
Error puro	16	0.502667	0.031417		
Total	23	0.839850			

Según la tabla 10 y Figura 3, la masa tuvo un efecto significativo en la variación de pH, como se muestra en la figura a masa de 2.5 g el pH se incrementó mayor a 7.8, con un incremento a 10 g el pH redujo a 7.5. Mientras que el tiempo en el tratamiento no ha generado una diferencia en ambos tiempos el pH se mantuvo sin variación considerable.

Figura 3. Efecto de pH y tiempo en variación de pH con coagulante de semilla de moringa.

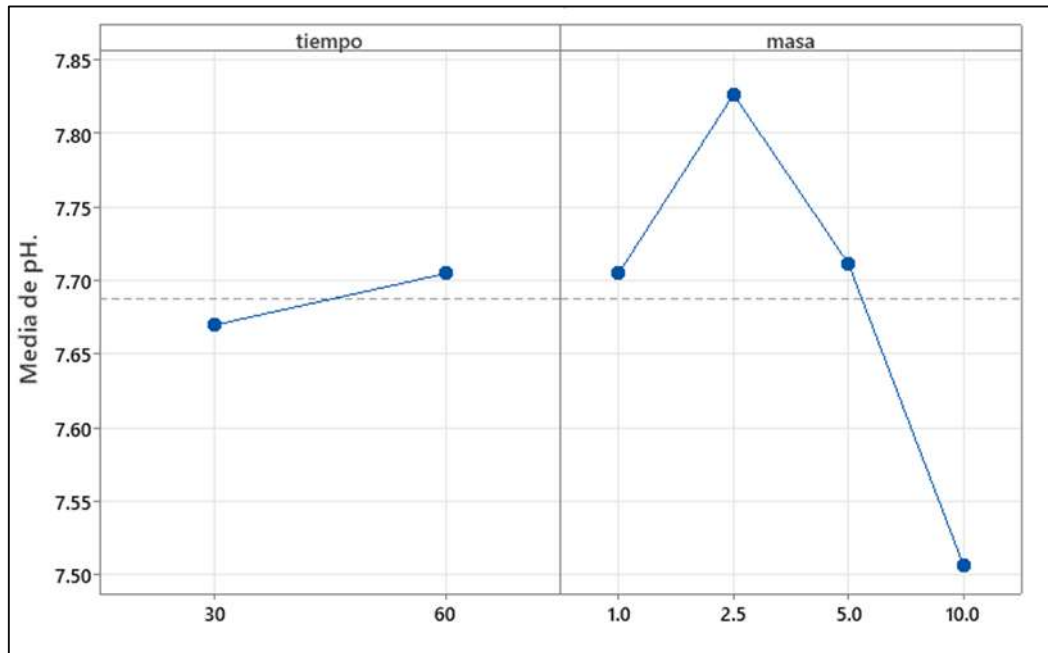


Tabla 11. Análisis de varianza coagulante de cascara de semilla de moringa par variación de pH

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tiempo	1	0.000417	0.000417	0.03	0.859
Masa	3	0.150583	0.050194	3.89	0.025
Error	19	0.245383	0.012915		
Falta de ajuste	3	0.006050	0.002017	0.13	0.938
Error puro	16	0.239333	0.014958		
Total	23	0.396383			

Según la tabla 11 y figura 4, la masa tuvo un efecto significativo en la variación de pH, como se muestra en la figura a masa de 2.5 g el pH se incrementó mayor a 7.85, con un incremento a 10 g el pH redujo a 7.7. Mientras que el tiempo en el tratamiento no ha generado una diferencia en ambos tiempos el pH se mantuvo sin variación considerable.

Figura 4. Efecto de pH y tiempo en variación de pH con coagulante de cascara de semilla de moringa

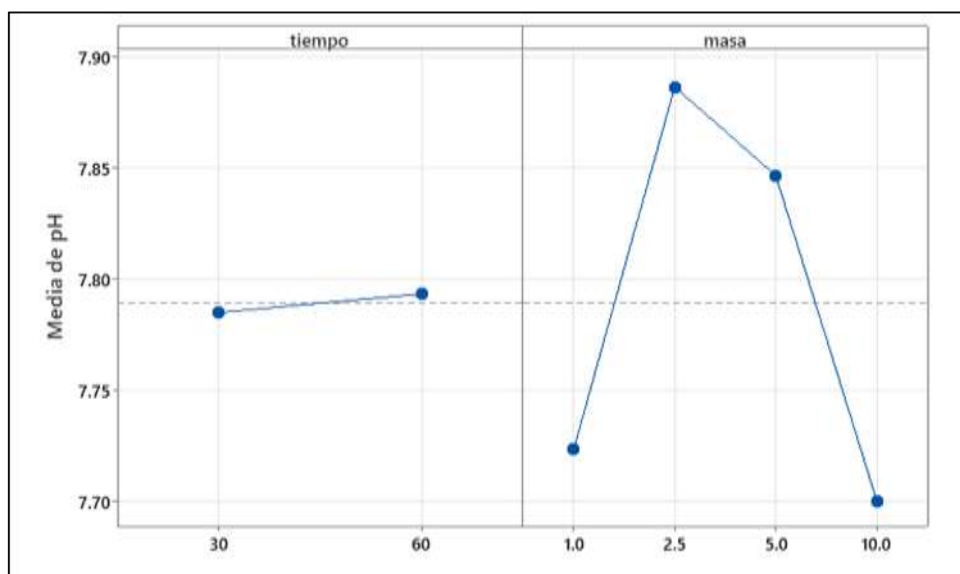


Tabla 22. Prueba de Kruskal-Wallis para variación de C. E según tiempo con semilla y cascara de semilla de moringa

Tiempo	N	Mediana	Valor H	Valor p
Con coagulante de semilla				
30	12	282	1.02	0.312
60	12	290		
Con coagulante de cascara de semilla				
30	12	287	0.10	0.751
60	12	283		

La Tabla 12 muestra los resultados de la prueba de Kruskal-Wallis para evaluar la variación de la conductividad eléctrica (C.E.) según el tiempo utilizando semilla y cáscara de semilla de Moringa oleífera como coagulantes. Para el coagulante de semilla, a 30 minutos, la mediana de la C.E. fue 282, con un valor p de 0.312, lo que indica que no existe una diferencia estadísticamente significativa en la C.E. a este tiempo. A 60 minutos, la mediana aumentó a 290, pero el valor p sigue siendo mayor a 0.05, indicando nuevamente que el tiempo no afecta significativamente la C.E. con este coagulante. Para el coagulante de cáscara de semilla, a 30 minutos, la mediana fue 287 con un valor p de 0.751, lo que también sugiere que no hay diferencias significativas. A 60 minutos, la mediana disminuyó a 283, pero el valor p sigue

siendo alto, lo que implica que el tiempo no tiene un efecto significativo sobre la C.E. con el coagulante de cáscara de semilla.

Tabla 33. Prueba de Kruskal-Wallis para variación de C. E según masa de semilla y cascara de semilla de moringa

Tiempo	N	Mediana	Valor H	Valor p
Con coagulante de semilla				
1.0	6	279	2.60	0.457
2.5	6	287		
5.0	6	291		
10.0	6	294		
Con coagulante de cascara de semilla				
0.5	6	292.5	3.35	0.341
1	6	287.0		
2	6	283.0		
4	6	282.5		

La Tabla 13 presenta los resultados de la prueba de Kruskal-Wallis para la variación de la conductividad eléctrica (C. E.) según la masa de semilla y cáscara de semilla de Moringa oleífera. Para el coagulante de semilla, a medida que se aumenta la masa, las medianas de C.E. fueron 279 (1.0 g), 287 (2.5 g), 291 (5.0 g), y 294 (10.0 g), con un valor p de 0.457, lo que sugiere que no hay diferencias significativas en la C.E. según la masa del coagulante. En el caso del coagulante de cáscara de semilla, las medianas de C. E. fueron 292.5 (0.5 g), 287.0 (1 g), 283.0 (2 g), y 282.5 (4 g), con un valor H de 3.35 y un valor p de 0.341, indicando también que no existen diferencias estadísticamente significativas en la C. E. según la masa del coagulante de cáscara de semilla. Estos resultados indican que la C. E. no está influenciada significativamente ni por el tiempo ni por la cantidad de coagulante utilizado en ambos casos.

5.2.3. Contrastación de hipótesis específica 02

- **Ha:** La dosis de semilla y de cáscara de semilla de Moringa oleífera y tiempo de coagulación influyen en la remoción de la turbidez para el tratamiento de las aguas servidas del río Shullcas, Huancayo – 2024.
- **Ho:** La dosis de semilla y de cáscara de semilla de Moringa oleífera y tiempo de coagulación no influyen en la remoción de la turbidez para el tratamiento de las aguas servidas del río Shullcas, Huancayo – 2024

En primer lugar, se analizó el efecto de la dosis dentro de cada coagulante con la prueba de Kruskal-Wallis, esto para ver si las distintas dosis dentro de un mismo coagulante generan diferencias significativas en la remoción.

5.2.3.1. Para semilla de Moringa Oleífera

Tabla 14. Prueba de Kruskal-Wallis efecto de masa para semilla de Moringa Oleífera

Estadísticos de prueba	
	Remoción
H de Kruskal-Wallis	16,899
gl	3
Sig. asin.	,001

Fuente: IBM SPSS Statistics 27

Una vez comparadas las dosis con la prueba estadística Kruskal-Wallis entendemos que el $p < 0.05$ nos lleva a rechazar la hipótesis nula que indicaría que todas las dosis tienen la misma eficacia. El valor de $p (< 0.001)$ denota que existen diferencias estadísticamente significativas entre las dosis de semilla de Moringa. Lo que nos lleva a realizar pruebas de comparaciones múltiples con Mann-Whitney U para identificar entre qué dosis específicas existen diferencias significativas y así elegir la dosis óptima.

Dado que se compararán todas las dosis, se debe hacer una corrección de Bonferroni para obtener el nuevo umbral de significancia. Teniendo las comparaciones entre todas las dosis: 1 vs 2.5, 1 vs 5, 1 vs 10, 2.5 vs 5, 2.5 vs 10, 5 vs 10, encontramos 6 comparaciones. Entonces:

$$\text{Significancia ajustada} = 0.05/6 = 0.0083$$

Se aplicó Mann-Whitney U por cada comparación y obtuvimos los siguientes resultados:

Tabla 45. Comparación entre dosis

Comparación	Estadístico U	p-valor
1.0g vs 5.0g	36	0.0022
1.0g vs 10.0g	36	0.0022
5.0g vs 10.0g	0	0.0022
1.0g vs 2.5g	33	0.0152
2.5g vs 10.0g	7.5	0.1087
2.5g vs 5.0g	28	0.132

Fuente: Autores

De acuerdo con la Tabla 15 hubo diferencias estadísticamente significativas entre las dosis de 1.0g vs 5.0g, 1.0g vs 10.0g, y 5.0g vs 10.0g. Estos hallazgos sugieren que las dosis de 1.0g y 10.0g presentan una mayor eficiencia de remoción en comparación con la dosis de 5.0g, la cual mostró resultados considerablemente menores. No se observaron diferencias significativas con la dosis de 2.5g respecto a las demás. Este patrón evidencia que el comportamiento del coagulante no es lineal: dosis intermedias no necesariamente incrementan la eficiencia. La caída de rendimiento en 5.0g podría estar asociada a fenómenos de sobresaturación del agente coagulante o a interferencias en la formación y sedimentación de flóculos, algo que debería estudiarse en investigaciones posteriores. Por otro lado, el hecho de que tanto 1g como 10 g hayan mostrado altos porcentajes de remoción indica la posibilidad de más de un punto óptimo de dosificación, lo cual es importante desde el punto de vista operativo y económico.

Tabla 56. Resumen estadístico para cada dosis del coagulante natural de semilla de Moringa con base en los valores de remoción

Dosis (g)	Media (%)	Mediana (%)	Desv. Estándar	Mínimo	Máximo	N (datos)
1	89.69	90.12	4.38	84.59	94.16	6
2.5	69.58	73.96	14.83	50.97	88.66	6
5	61.61	65.93	12.5	42.86	72.55	6
10	78.4	78.8	2.29	74.25	80.51	6

Fuente: Los autores.

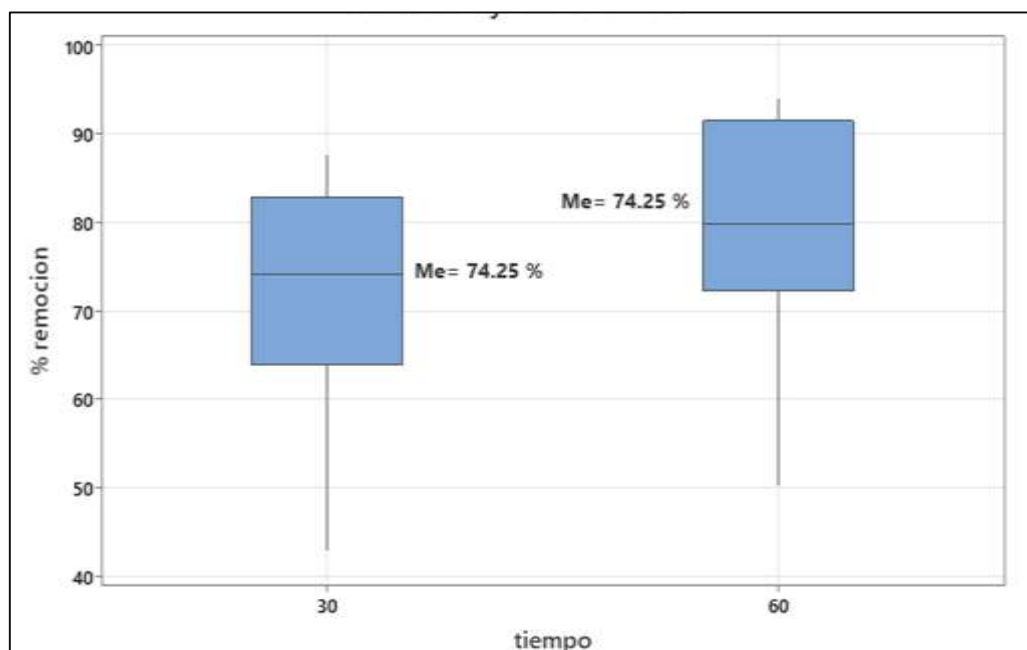
Además, si consideramos como “óptima” la dosis con mayor eficiencia y menor variabilidad, entonces la dosis de 1g tiene el mejor rendimiento en promedio (media más alta de 89.69%) y una baja desviación estándar (4.38) en comparación con las dosis de 2.5 g y 5 g que tienen menores eficiencias y mayores desviaciones, por lo que serían menos recomendables. Al encontrar la dosis de 10 gramos también con una media alta (78.4) podemos igual elegir la dosis óptima al tratamiento con 1 gramos de semilla por ser más económica y sostenible.

Tabla 67. Prueba de Kruskal-Wallis efecto de tiempo para semilla de Moringa Oleífera

Tiempo	N	Mediana	Valor H	Valor p
30	12	74.25 %	1.47	0.225
60	12	79.85 %		

La Tabla 17 presenta los resultados de la prueba de Kruskal-Wallis para evaluar el efecto del tiempo en la remoción de turbidez con semilla de Moringa oleífera. A 30 minutos, la remoción de turbidez fue del 74.25% con un valor p de 0.225, lo que indica que no hay una diferencia estadísticamente significativa en la remoción de turbidez a este tiempo. A 60 minutos, la remoción aumentó a 79.85%, pero, aun así, el valor p sigue siendo mayor a 0.05, sugiriendo que el tiempo no influye con un efecto significativo en la remoción de turbidez en este caso. La Figura 5 muestra la gráfica de cajas, que ilustra cómo la remoción de turbidez varía con el tiempo, aunque no se observe una diferencia significativa.

Figura 5. Grafica de cajas efecto de tiempo en remoción de turbidez con coagulante de semilla de moringa



5.2.3.2. Para cascara de Semilla de *Moringa oleífera*

Tabla 8. Prueba de Kruskal-Wallis para cascara de semilla de Moringa Oleífera

Estadísticos de prueba	
	Remoción
H de Kruskal-Wallis	14,074
gl	3
Sig. asin.	,003

Fuente: IBM SPSS Statistics 27

Una vez comparadas las dosis con la prueba estadística Kruskal-Wallis entendemos que el $p < 0.05$ nos lleva a rechazar la hipótesis nula que indicaría que todas las dosis tienen la misma eficacia. El valor de $p (< 0.003)$ señala que existen diferencias estadísticamente significativas entre las dosis de cáscara de semilla de *Moringa oleífera*. Lo que nos lleva a realizar pruebas de comparaciones múltiples con Mann-Whitney U para identificar entre qué dosis específicas existen diferencias significativas y así elegir la dosis óptima.

Dado que se compararán todas las dosis, se debe hacer una corrección de Bonferroni para obtener el nuevo umbral de significancia. Teniendo las comparaciones entre todas las dosis: 0.5 vs 1, 0.5 vs 2, 0.5 vs 4, 1 vs 2, 1 vs 4, 2 vs 4, encontramos 6 comparaciones. Entonces:

Significancia ajustada= $0.05/6 = 0.0083$

Se aplicó Mann-Whitney U por cada comparación y obtuvimos los siguientes resultados:

Tabla 19. Comparación entre dosis cascara de semilla de Moringa Oleifera

Comparación	Estadístico U	p-valor
0.5g vs 1.0g	31	0.0411
0.5g vs 2.0g	17.5	1
0.5g vs 4.0g	0	0.0022
1.0g vs 2.0g	14	0.5887
1.0g vs 4.0g	0	0.0022
2.0g vs 4.0g	1	0.0043

Fuente: Autores

De acuerdo con la Tabla 19 se observa que la dosis de 4.0 g se diferencia significativamente de todas las demás dosis (0.5 g, 1.0 g y 2.0 g), con mayor eficiencia en la remoción de turbidez. En contraste, no se detectaron diferencias significativas entre las dosis menores entre sí, lo que indica un desempeño estadísticamente similar entre 0.5 g, 1.0 g y 2.0 g. A diferencia del comportamiento observado en la semilla, donde la eficiencia no sigue un patrón lineal claro, en el caso de la cáscara se evidencia una tendencia creciente en la eficiencia conforme aumenta la dosis. Esta afirmación se respalda con el patrón de significancia observado. Las comparaciones con la dosis más alta (4.0 g) son todas estadísticamente diferentes y más eficaces, lo que sugiere que hay un incremento sistemático y sostenido en la remoción de turbidez conforme se incrementa la cantidad de coagulante. Aunque entre las dosis menores no hay diferencias significativas, la diferencia marcada entre 2.0 g y 4.0 g ($U = 0.0$, $p = 0.0022$) refuerza esta tendencia ascendente. Este comportamiento podría indicar una relación directamente proporcional entre la dosis de cáscara utilizada y su capacidad coagulante, lo cual es valioso desde un punto de vista práctico, ya que permite ajustar la dosis según la carga contaminante del agua tratada.

Tabla 207. Resumen estadístico para cada dosis del coagulante de cáscara de semilla de Moringa con base en los valores de remoción.

Dosis (g)	Media (%)	Mediana (%)	Desviación estándar	Mínimo (%)	Máximo (%)	N
0.5	79.2	79.27	2.15	75.68	81.23	6
1	76.1	76.69	1.6	73.73	79.06	6
2	78.72	79.3	4.14	73.53	85.05	6
4	89.92	91.09	4.17	83.62	94.68	6

Fuente: Los autores

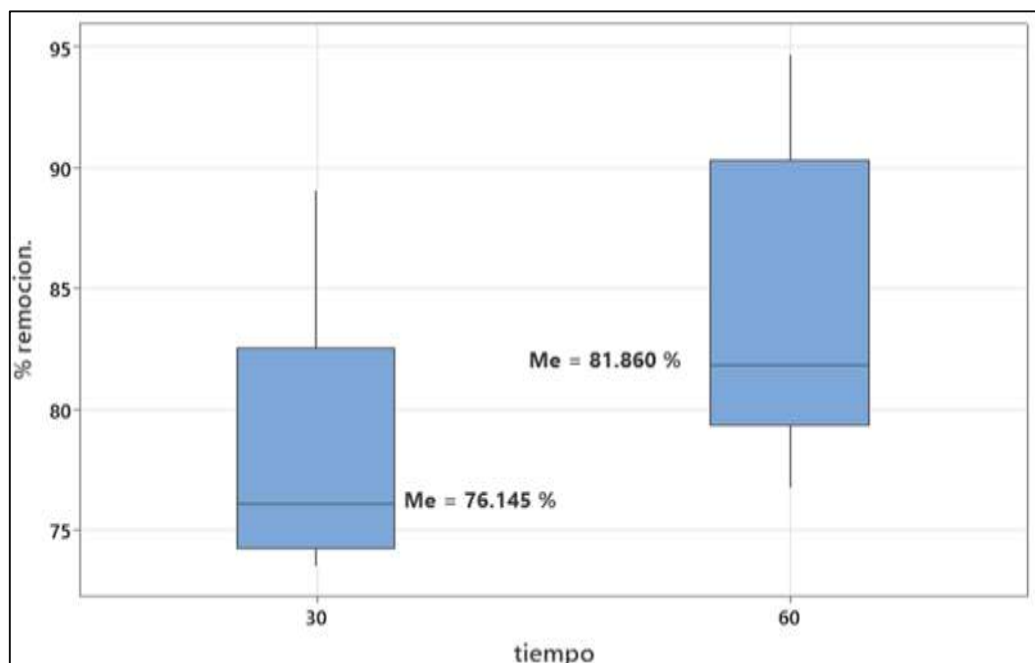
El análisis descriptivo de los datos obtenidos para la cáscara de Moringa oleifera evidencia que la dosis de 4.0 g presenta la mayor media de remoción de turbidez (89.92%), así como la mediana más elevada (91.09%), en comparación con las demás dosis evaluadas. Los resultados obtenidos mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis ($p = 0.003$) indicaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, lo cual fue corroborado a través de comparaciones múltiples con la prueba de Mann-Whitney U, ajustando el nivel de significancia mediante la corrección de Bonferroni ($\alpha = 0.0083$). Estas comparaciones mostraron que la dosis de 4.0 g difiere significativamente de las dosis de 0.5 g y 1.0 g, confirmando su superioridad en términos de eficiencia. Además, se observa una tendencia creciente en la eficiencia de remoción a medida que se incrementa la dosis aplicada, lo cual sugiere un patrón de respuesta dosis-dependiente. En base a estos hallazgos, se concluye que la dosis de 4.0 g constituye la dosis óptima de cáscara de moringa dentro de los niveles experimentales evaluados para la remoción de turbidez en aguas residuales del río Shullcas.

Tabla 81. Prueba de Kruskal-Wallis efecto de tiempo para la cascara de semilla de Moringa Oleifera

Tiempo	N	Mediana	Valor H	Valor p
30	12	76.145 %	5.60	0.018
60	12	81.860 %		

La Tabla 21 nos da conocer los resultados de la prueba de Kruskal-Wallis para evaluar el efecto del tiempo en la remoción de turbidez con cáscara de semilla de *Moringa oleífera*. Los resultados indican que, a 30 minutos, la remoción de turbidez fue del 76.145% con un valor H de 5.60 y un valor p de 0.018, lo que es significativo ($p < 0.05$). A 60 minutos, la remoción aumentó a 81.860%, lo cual sugiere una mejora en la eficiencia de la remoción de turbidez con el tiempo. La Figura 6 presenta la gráfica de cajas, mostrando cómo la remoción de turbidez mejora con el tiempo, lo que confirma el efecto positivo del aumento del tiempo en la eficacia del coagulante.

Figura 6. Gráfica de cajas efecto de tiempo en remoción de turbidez con coagulante de cascara de semilla de moringa



5.2.4. Contrastación de hipótesis específica 03

- **Ha:** El tipo de coagulante de *Moringa oleífera* influye en la remoción de materia orgánica (DQO y DBO) para el tratamiento de las aguas servidas del río Shullcas, Huancayo – 2024
- **Ho:** El tipo de coagulante de *Moringa oleífera* no influye en la remoción de materia orgánica (DQO y DBO) para el tratamiento de las aguas servidas del río Shullcas, Huancayo – 2024

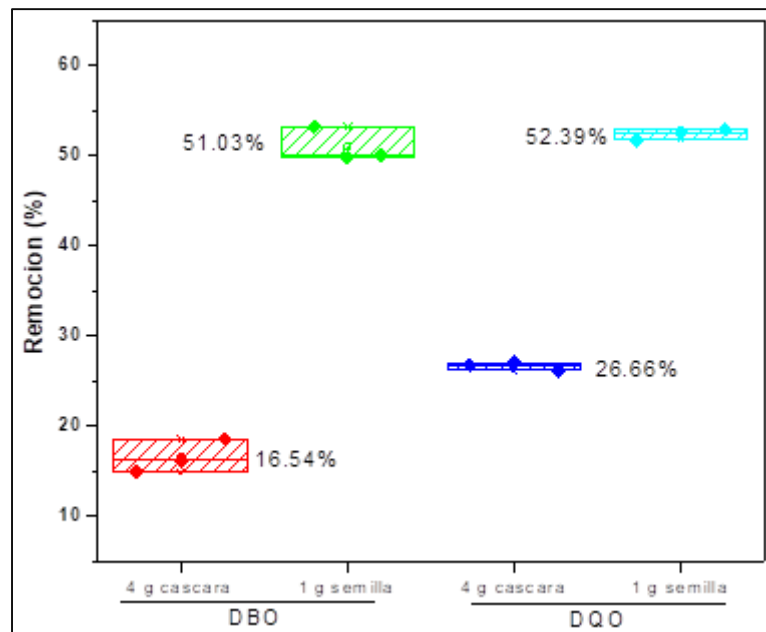
Tabla 22. Remoción de DQO, y DBO con dos dosis de cascara de moringa oleífera

Estadísticos de prueba ^a		
	DBO	DQO
Estadístico U	0,000	0,000
Z	-1,964	-1,964
Sig. asin. (bilateral)	,050	,050

Nota. a. Variable de agrupación: Dosis

La Tabla 22 muestra los resultados de la remoción de DQO y DBO con dosis diferentes para coagulante de semilla y cáscara de semilla de *Moringa oleífera* para el tratamiento de las aguas servidas del río Shullcas, Huancayo – 2024. El valor de significancia (p) es 0.050 para ambas, lo que se encuentra justo en el umbral crítico para aceptar o rechazar la hipótesis nula (Ho). Dado que el valor de p es exactamente 0.05, se rechaza la hipótesis nula (Ho) y se acepta la hipótesis alternativa (Ha), lo que indica que el tipo de coagulante de *Moringa oleífera* influye en la remoción de materia orgánica (DQO y DBO) en el tratamiento de las aguas servidas del río Shullcas.

Figura 7. Remoción de DQO y DBO



Como se muestra en la Figura 7, se obtuvo mayor porcentaje de remoción en promedio de 51.03% DBO con 1 g de semilla de *Moringa oleífera* y 52.39% de DQO con 1 g de semilla de *Moringa oleífera*. Con coagulante de cascara de semilla de *Moringa oleífera* se logro remover solo 16.54% de DBO y 25.66 % de DQO.

5.3. Discusión de resultados

En el presente estudio se planteó como propósito evaluar la eficiencia de la semilla y la cáscara de semilla de *Moringa oleífera* como coagulantes naturales en la remoción de materia orgánica, específicamente turbidez, del agua del río Shullcas. Como objetivo general los resultados obtenidos mediante pruebas estadísticas confirman que la evaluación de coagulantes naturales de semilla y cáscara de semilla de *Moringa oleífera* en el agua del río Shullcas mostraron que la masa del coagulante influyó significativamente en el pH, aunque no en la conductividad eléctrica. En la remoción de turbidez, la semilla presentó una dosis óptima de 1 g con una efectividad cercana al 90 %, mientras que la cáscara evidenció un patrón lineal, alcanzando mayor eficiencia con 4 g y a tiempos prolongados, llegando a 81.86 % a los 60 minutos. Asimismo, la semilla de *Moringa oleífera* obtuvo una reducción significativa de la materia orgánica, con remociones superiores al 50 % en DBO y DQO, destacando su capacidad como coagulante natural en la mejora de la calidad del agua. Con estos resultados obtenidos se pueden constatar con Canchanya y Huamán (21) reportaron reducciones significativas en la turbidez (74 %), la conductividad (66 %) y los sólidos disueltos (28 %) en aguas residuales piscícolas, demostrando la aplicabilidad del coagulante en escenarios reales. Por su parte, Carrizales y Enríquez (17) alcanzaron una remoción de turbidez cercana al 98 % en aguas altoandinas, confirmando la alta eficiencia del tratamiento sin alterar el pH. De manera complementaria, Martínez y Yauri (16) mostraron que la *Moringa*, tanto en semilla molida como con extracción lipídica, logra remover entre el 82 % y 95 % de la turbidez en aguas sintéticas, destacando que el pretratamiento no es relevante lo cual simplifica el proceso. Finalmente, Mesa y Palacio (10) demostraron que, aunque la reducción de turbidez y coliformes en aguas rurales fue positiva, no siempre se alcanzaron los estándares de potabilidad, lo que señala la importancia de optimizar dosis y protocolos de aplicación.

Para el primer objetivo, se obtuvieron los resultados en las pruebas de coagulación utilizando semilla y cáscara de semilla de *Moringa oleífera*, mostrando variaciones en el pH y la conductividad eléctrica (C.E.), con una influencia significativa de la masa del coagulante en el pH, pero no en la C.E. En el caso del coagulante de semilla, se observó que la masa de 2.5 g elevó el pH a más de 7.8, mientras que, con 10 g de coagulante, el pH disminuyó a 7.5. Los resultados fueron consistentes con el estudio de Gutiérrez (7), que también mostró que la *Moringa* es eficaz en la reducción de parámetros fisicoquímicos como pH y turbidez. Sin

embargo, el tiempo de coagulación no mostró efectos significativos en ninguno de los tratamientos, lo cual se corrobora con los hallazgos de Barreto et al. (6), que indicaron que el tiempo de coagulación no siempre incide de manera importante en la variación de estos parámetros. Además, Talla (11) también señalaron que, en algunos casos, la Moringa mantiene su eficacia sin grandes fluctuaciones en el pH o la conductividad, lo que refuerza la idea de que las dosis adecuadas son clave para obtener los mejores resultados, más que el tiempo de tratamiento. Los resultados de la conductividad para ambos coagulantes no presentaron diferencias significativas ni con el tiempo ni con la masa utilizada, lo que coincide con lo reportado por Cañari y León (14), quienes también observaron una variabilidad mínima en la C.E. cuando se utilizaron coagulantes naturales como la Moringa. Estos hallazgos sugieren que, aunque la Moringa es un coagulante eficiente, su efectividad en la remoción de materia orgánica no depende tanto de las variaciones en C.E. y pH, sino de las dosis correctas de coagulante.

Para el segundo objetivo específico donde busca evaluar la influencia de la cáscara de semilla y la semilla de Moringa oleífera empleando la dosis y tiempo óptimo en la remoción de la turbidez los resultados evidencian que en el caso de la semilla de Moringa oleífera se obtuvo que la dosis óptima para la remoción de la turbidez muestra un patrón no lineal y existe una mayor efectividad utilizando 1 g del coagulante natural alcanzando una media de 89.69% con una desviación estándar de 4.38 siendo la más baja, además se halló que el tiempo no tiene una diferencia significativa para la remoción siendo esta despreciable, para el caso de la cáscara de semilla de Moringa oleífera se encontró que a diferencia de la semilla de Moringa oleífera si tiene un patrón lineal en el caso de usar 4 g de coagulante. Las comparaciones con la dosis más alta (4.0 g) son todas estadísticamente diferentes y más eficaces, lo que sugiere que hay un incremento sistemático y sostenido en la remoción de turbidez conforme se incrementa la cantidad de coagulante; y para el tiempo se encontró que a medida que aumenta el tiempo se obtiene una mayor eficiencia del coagulante en la remoción de la turbidez, mostrando que a 60 minutos se alcanzó 81.86% de remoción. Con estos resultados es posible comparar con Canchanya y Huamán (21) demostraron que la aplicación de semillas de moringa logró una reducción máxima de turbidez del 74 % en aguas residuales de un centro piscícola, con dosis óptima de 15 mg/L y sin alteraciones significativas en pH u oxígeno disuelto, lo cual valida su aplicabilidad en escenarios reales. De forma complementaria, Carrizales y Enríquez (17) alcanzaron hasta 97,77 % de remoción de turbidez en agua de quebrada altoandina, confirmando que la moringa puede mantener una alta eficiencia incluso en condiciones de elevada carga orgánica, sin modificar el pH del agua. Por su parte, Martínez y Yauri (16) comprobaron que tanto la semilla molida como los extractos de moringa pueden superar el 95 % de reducción en aguas con mayor turbidez, destacando además que la extracción lipídica no resulta indispensable para la eficacia, lo que simplifica el proceso. Finalmente, Mesa y Palacio

(10) resaltaron la viabilidad de la moringa como descontaminante en zonas rurales, aunque advirtieron que la remoción de turbidez no siempre alcanzó estándares de potabilidad, subrayando la importancia de optimizar la dosis y estandarizar protocolos.

Para el tercer objetivo, los resultados de esta investigación muestran que 1 g de semilla de *Moringa oleífera* logró una remoción significativa de DBO (53.23%) y DQO (52.88%), lo que resalta la alta eficiencia de este coagulante natural en la remoción de materia orgánica. Dichos resultados concuerdan con estudios previos, como el de Million (8), quien reportó una remoción de DQO de hasta 65.8% con 0.4 g de semilla de *Moringa*. Sin embargo, al revisar el trabajo de Gutiérrez (7), que también usó *Moringa oleífera* para turbidez, los porcentajes de remoción de DBO y DQO obtenidos en este estudio son superiores, destacando la eficacia de la semilla de *Moringa* en relación a otros coagulantes. Comparando con la cáscara de semilla de *Moringa*, que presentó una remoción más baja de 16.19% en DBO y 27.04% en DQO, la semilla resultó ser mucho más efectiva, lo que se debe probablemente a su mayor capacidad de interacción con las moléculas de materia orgánica. Estos hallazgos el validan el uso de la semilla de *Moringa oleífera* como un coagulante natural eficiente, más efectivo que su cáscara, y comparable a los resultados obtenidos en estudios internacionales, lo que refuerza su aplicabilidad para el tratamiento de aguas residuales en el río Shullcas.

CONCLUSIONES

1. Se pudo concluir que la semilla y la cáscara de semilla de Moringa oleífera pueden usarse como coagulantes naturales efectivos para la remoción de materia orgánica y turbidez en el agua del río Shullcas. La masa del coagulante influye de manera significativa en el pH, pero no en la conductividad eléctrica, y la semilla mostró una capacidad superior en eliminar turbidez y materia orgánica, confirmando su potencial en el tratamiento de aguas.
2. La variación en el pH durante la coagulación depende más de la dosis del coagulante que del tiempo de coagulación, ya que las dosis mayores alteran el pH, mientras que la conductividad eléctrica permanece relativamente estable. Esto indica que para obtener los mejores resultados es crucial seleccionar la dosis adecuada más que prolongar el tiempo de tratamiento, en línea con estudios revisados en los antecedentes que señalan la dosis como factor clave en la eficacia del coagulante Moringa oleífera.
3. La dosis óptima para la semilla de Moringa oleífera en la remoción de turbidez es 1 g, presentando un patrón no lineal, y que el tiempo no afecta significativamente la eficiencia. En contraste, la cáscara de semilla muestra un patrón lineal, con mayor eficacia a dosis más altas (4 g) y a tiempos prolongados (60 minutos), alcanzando una remoción considerable. Esto refleja diferentes comportamientos entre semilla y cáscara, subrayando la necesidad de ajustar dosis y tiempos según el material utilizado.
4. La semilla de Moringa oleífera es mucho más eficaz en la reducción de materia orgánica medida por DBO y DQO que la cáscara, logrando remociones superiores al 50%. Esto valida su uso como un coagulante natural eficiente en el tratamiento de aguas residuales y destaca su ventaja sobre el uso de la cáscara, respaldado por la correlación con estudios internacionales que confirman su alto potencial en mejorar la calidad del agua.

RECOMENDACIONES

1. El uso de coagulantes como la semilla de Moringa oleífera en el tratamiento de aguas residuales es de necesaria evaluación, asegurando la aplicación de dosis adecuadas para preservar el pH dentro de rangos óptimos y maximizar la eliminación de materia orgánica y turbidez. Esto permite un tratamiento eficiente y amigable con el medio ambiente sin afectar negativamente las propiedades del agua.
2. Es importante ajustar cuidadosamente la cantidad de coagulante de manera que no se presenten alteraciones significativas en el pH del agua. Se recomienda que la dosificación se mantenga bajo control para conseguir un balance adecuado entre eficacia y estabilidad química del agua tratada, evitando modificar innecesariamente parámetros como la conductividad eléctrica.
3. Para la remoción de turbidez, es aconsejable usar una baja dosis de semilla, que en la práctica se sitúa alrededor de 1 g para obtener alta eficiencia sin requerir tiempos prolongados, facilitando así un proceso simple y efectivo. En contraste, la cáscara de la semilla puede emplearse en dosis superiores y con tiempos más largos para mejorar la eficiencia, ajustando el proceso según los recursos disponibles.
4. Es recomendable el priorizar la semilla de Moringa oleífera en la reducción de materia orgánica, dada su mayor eficiencia en disminuir parámetros como DBO y DQO en comparación con la cáscara. Esto asegura un tratamiento más robusto y óptimo para mejorar la calidad del agua y es conveniente ajustar las dosis según las condiciones específicas de la fuente de agua para optimizar los resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD [OMS]. *Saneamiento* Online. 2024. [Accessed 25 August 2025]. Available from: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/sanitation>
2. SCHERGER, LEONARDO E., LUENGO, CARINA V., ZANELLO, VICTORIA, LUNA, NICOLAS, LEXOW, CLAUDIO AND AVENA, MARCELO J. *Vertical distribution and contamination assessment of heavy metals in the vadose zone of a 50-year-old smelter dumpsite, San Antonio Bay, Argentina. Journal of Environmental Chemical Engineering.* April 2024. Vol. 12, no. 2, p. 111954. DOI 10.1016/j.jece.2024.111954.
3. STROKAL, MARYNA, BAI, ZHAOHAI, FRANSSEN, WIETSE, HOFSTRA, NYNKE, KOELMANS, ALBERT A., LUDWIG, FULCO, MA, LIN, VAN PUIJENBROEK, PETER, SPANIER, J. EMIEL, VERMEULEN, LUCIE C., VAN VLIET, MICHELLE T. H., VAN WIJNEN, JIKKE AND KROEZE, CAROLIEN. *Urbanization: an increasing source of multiple pollutants to rivers in the 21st century. npj Urban Sustainability.* 27 April 2021. Vol. 1, no. 1, p. 24. DOI 10.1038/s42949-021-00026-w.
4. AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA [ANA]. *ANA difunde resultados del monitoreo de calidad del agua en la unidad hidrográfica del río Mantaro 2022-II.* Perú, 2023.
5. CERNA-CUEVA, ALBERTO FRANCO, AGUIRRE-ESCALANTE, CASIANO, WONG-FIGUEROA, BERTHA LEONOR, TELLO-CORNEJO, JANETH LEYNIG AND PINCHI-RAMÍREZ, WERNER. *Water quality for irrigation in the Huallaga basin, Peru. Scientia Agropecuaria.* 6 September 2022. Vol. 13, no. 3, p. 239–248. DOI 10.17268/sci.agropecu.2022.022.
6. BARRETO PARDO, JUAN SEBASTIAN, VARGAS MONCADA, DIANA KARINA, RUIZ MARTÍNEZ, LIDA ESPERANZA AND GOMEZ AYALA, SANDRA LILIANA. *Evaluación de coagulantes naturales para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Revista de Investigación Agraria y Ambiental.* 11 December 2019. Vol. 11, no. 1, p. 105–116. DOI 10.22490/21456453.3081.
7. GUTIERREZ, JESSICA AND ZEA, ANGÉLICA. *Moringa Oleifera como coagulante para la disminución de la turbidez en la Planta de Tratamiento de Agua Potable Tundayme - cantón El Pangui, provincia de Zamora Chinchipe.* Online. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, 2022. [Accessed 25 August 2025]. Available from: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22948>

8. DESTA, WENDESEN MEKONIN AND BOTE, MILLION EBBA. *Wastewater treatment using a natural coagulant (Moringa oleifera seeds): optimization through response surface methodology*. Heliyon. Online. November 2021. Vol. 7, no. 11, p. e08451. [Accessed 25 August 2025]. DOI 10.1016/j.heliyon. 2021.e08451.
9. MEJÍA CARRILLO, P. W., URQUIA COLLANTES, K., CABELLO TORRES, R. J. and VALDIVIEZO GONZALES, L. G. *Evaluación de la Moringa oleifera en el tratamiento de aguas con alta turbidez y carga orgánica*. Ingeniería del agua. 30 April 2020. Vol. 24, no. 2, p. 119. DOI 10.4995/ia.2020.12274.
10. MESA, CESAR AND PALACIO, JORGE. *Uso de la Moringa oleifera como coagulante alternativo en la potabilización de agua en zonas rurales de Colombia*. Online. Tecnológico de Antioquia, Institución Universitaria, 2021. [Accessed 25 August 2025]. Available from: <https://dspace.tdea.edu.co/entities/publication/399b07b2-ecfc-4c09-8697-9a2b7e773844>
11. TALLA, ANDRÉ. *Physicochemical characterization of Moringa Oleifera seeds and possibility of using oil extraction cakes in the treatment of drinking water*. International Journal of Innovative Studies in Sciences and Engineering Technology (IJISSET). Online. 2020. Vol. 6, no. 3. [Accessed 25 August 2025]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/340755986_Physicochemical_characterization_of_Moringa_Oleifera_seeds_and_possibility_of_using_oil_extraction_cakes_in_the_treatment_of_drinking_water
12. CEVALLOS, NAOMY, BURGOS, GABRIEL AND CÓRDOVA, ALEXANDRA. *Evaluación de la eficacia de coagulantes sintéticos y naturales en el tratamiento de aguas residuales generadas en la producción de harina de pescado*. UCLA Venezuela Publications. Online. 2022. Vol. 16, no. 2. [Accessed 25 August 2025]. Available from: <https://zenodo.org/records/6993155>
13. ALEGRE, PAOLA AND MENDOZA, ESTRELLA. *Coagulantes y floculantes naturales para el tratamiento de las aguas residuales de refinación del aceite de soya, Chosica – 2021*. Online. Perú : Universidad Cesar Vallejo, 2021. [Accessed 25 August 2025]. Available from: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_5381128ee77eaf8357b4fa61a3e06d1c
14. CAÑARI, ANGIELY AND LEON, KAROLL. *Reducción de turbidez mediante los coagulantes naturales (Moringa oleifera) y (Opuntia ficus-indica) en aguas superficiales*

- de la Quebrada Huaycoloro, 2022. Online. Perú : Universidad Privada del Norte, 2023. [Accessed 25 August 2025]. Available from: https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/33816*
15. ARANDA, EBERTH AND ESQUIA, IVAN. *Aplicación del polvo de moringa (moringa oleífera) como coagulante natural en el tratamiento de agua turbia sintética. Online. Perú : Universidad Nacional del Callao, 2021. [Accessed 25 August 2025]. Available from: https://repositorio.unac.edu.pe/item/a1618b67-388c-4898-b567-07c5f87c1ff8*
 16. MARTINEZ, ADRIANA AND YAURI, KAROL. *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. Online. Universidad Nacional de Huancavelica, 2023. [Accessed 25 August 2025]. Available from: https://repositorio.unh.edu.pe/items/5298dd89-e84a-499a-b93a-1d931137ad85*
 17. CARRISALES, ROSALI AND ENRIQUEZ, NILO. *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. Online. Perú : Universidad Nacional de Huancavelica, 2019. [Accessed 25 August 2025]. Available from: https://repositorio.unh.edu.pe/items/0e9c13ce-982f-4d90-82b8-c3f7ffe9964c*
 18. GUTIÉRREZ VILELA, MILAGROS AND LDEÓN QUISPE, WILFREDO CELESTINO. *Evaluación de la calidad del agua de las subcuencas Achamayo y Shullcas (Junín-Perú) utilizando el índice de calidad CCME. Ecología Aplicada. 31 July 2024. Vol. 23, no. 1, p. 87–101. DOI 10.21704/rea.v23i1.2168.*
 19. GASPAR, FLORENCIA. *Reducción de la turbidez de las aguas del rio Shullcas, utilizando penca de Tuna y Sulfato de Aluminio en el proceso de coagulación para el tratamiento de agua potable. Online. Perú: Universidad Cesar Vallejo, 2021. [Accessed 25 August 2025]. Available from: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_a51a40d52d6639b088f23f6f7e9ca59a*
 20. CAHUANA, YENIFFER AND MEZA, CINTYA. *Análisis de la influencia de los coagulantes sulfato de aluminio y cloruro férrico en la remoción de turbidez de las aguas del río Shullcas, Huancayo, 2022. Online. Perú: Universidad Continental, 2024. [Accessed 25 August 2025]. Available from: https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/14500*

21. CANCHANYA, VANNESA AND HUAMÁN, CIRILO. *Influencia del coagulante natural de semillas de moringa oleífera Lam. en la calidad de agua residual del centro piscícola “La cabaña” del distrito de Sapallanga, Huancayo*. Online. Perú : Universidad Nacional del Centro del Perú, 2024. [Accessed 25 August 2025]. Available from: <https://agris.fao.org/search/en/providers/125075/records/6749820f7625988a3722ddeb>
22. YUN, MINGHAO, ZHANG, CHAO, WANG, BIN, HUANG, JIANJUN AND SUN, JINGMEI. *The effects and mechanisms of organic matter degradation in river sediment driven by humic-reducing bacteria*. *Journal of Water Process Engineering*. November 2024. Vol. 67, p. 106150. DOI 10.1016/j.jwpe.2024.106150.
23. WANG, FANG, ZHANG, PEIPEI, YAN, WEIJIN, JIA, MINGRUI, SU, XIAOKANG, WANG, JIANING AND TIAN, SIYU. *Riverine organic pollution source and yield from the whole Changjiang river network: Effects of urbanization under changing hydrology*. *Journal of Hydrology*. May 2023. Vol. 620, p. 129544. DOI 10.1016/j.jhydrol.2023.129544.
24. SHRIFUL, ISLAM, AKRAMUZZAMAN, SOJIB AND TASKIA, ISLAM. *A review on Natural Coagulants in Wastewater Treatment*. *Architecture and Civil Engineering*. Online. 2023. Vol. 12, no. 14. [Accessed 27 August 2025]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/376681325_A_review_on_Natural_Coagulants_in_Wastewater_Treatment
25. KOTHARI, VINOD, VIJ, SUMAN, SHARMA, SUNESHKUMAR AND GUPTA, NEHA. *Correlation of various water quality parameters and water quality index of districts of Uttarakhand*. *Environmental and Sustainability Indicators*. February 2021. Vol. 9, p. 100093. DOI 10.1016/J.indic.2020.100093.
26. ALAZAIZA, MOTASEM Y. D., ALZGHOUL, THARAA M., NASSANI, DIA EDDIN AND BASHIR, MOHAMMED J. K. *Natural Coagulants for Sustainable Wastewater Treatment: Current Global Research Trends*. *Processes*. 2 June 2025. Vol. 13, no. 6, p. 1754. DOI 10.3390/pr13061754.
27. EL-TAWEEL, REEM M., MOHAMED, NORA, ALREFAEY, KHLOOD A., HUSIEN, SH, ABDEL-AZIZ, A.B., SALIM, ALYAA I., MOSTAFA, NAGWAN G., SAID, LOBNA A., FAHIM, IRENE SAMY AND RADWAN, AHMED G. *A review of coagulation explaining its definition, mechanism, coagulant types, and optimization models; RSM, and ANN*. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*. 2023. Vol. 6, p. 100358. DOI 10.1016/j.crgsc.2023.100358.

28. CHALES, GEANE GARCIA, TIHAMERI, BEATRIZ SIQUEIRA, MILHAN, NOALA VICENSOTO MOREIRA, KOGA-ITO, CRISTIANE YUMI, ANTUNES, MARIA LÚCIA PEREIRA AND REIS, ADRIANO GONÇALVES DOS. *Impact of Moringa oleifera Seed-Derived Coagulants Processing Steps on Physicochemical, Residual Organic, and Cytotoxicity Properties of Treated Water*. *Water*. 27 June 2022. Vol. 14, no. 13, p. 2058. DOI 10.3390/w14132058.
29. TAMAYO, MARIO. *El proceso de la investigación científica*. Online. 4. 2004. [Accessed 30 July 2025]. Available from: <https://books.google.com.mx/books?id=BhymmEqkkJwC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
30. HERNÁNDEZ, ROBERTO AND MENDOZA, CHRISTIAN PAULINA. *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Online. Mc Graw Hill. Mexico, 2018. [Accessed 15 November 2024]. ISBN 978-1-4562-6096-5. Available from: <https://virtual.cuautitlan.unam.mx/rudics/?p=2612>
31. ÑAUPAS, HUMBERTO, VALDIVIA, MARCELINO, PALACIOS, JESÚS AND ROMERO, HUGO. *Metodología de la investigación Cuantitativa-Cualitativa y Redacción de la Tesis*. . Colombia, 2018.

ANEXOS

Anexo 01. Panel Fotográfico

Rio Shullcas





Descarga de efluentes domiciliarios en el Rio Shullcas



Desmonte y Residuos sólidos cerca al Rio Shullcas



Obtención de cascara de semilla de Moringa y semilla de Moringa



Muestreo en el Rio Shullcas



Secado de la Semilla de Moringa



Tamizado de la semilla de Moringa



Pesado de coagulante natural para cada experimento



Prueba de Jarras con el coagulante





Resultados de agua tratada



Medición de Parámetros de los Resultados





Anexo 02. Parámetros sistematizados de Semilla de Moringa

Criterios de variables			Criterios de variables			REP 1			REP 2			REP 3		
Tratamiento 1	Tiempo	Cant coag	Tiempo	Cant coag	Conductividad	Ph	Turbidez	Conductividad	Ph	Turbidez	Conductividad	Ph	Turbidez	
1	-	--	30	1	2.78	7.68	101	0.27	7.61	110	0.29	7.69	114	
2	+	--	60	1	2.77	7.86	48.2	0.28	7.67	43	0.3	7.72	58	
3	-	-	30	2.5	2.84	8.06	405	0.27	7.57	188	0.31	7.88	198	
4	+	-	60	2.5	2.83	8.01	392	0.29	7.63	81	0.29	7.81	174	
5	-	+	30	5	2.92	7.85	472	0.28	7.4	272	0.29	7.88	231	
6	+	+	60	5	2.93	7.91	411	0.27	7.47	196	0.32	7.76	214	
7	-	++	30	10	3.03	7.4	182	0.28	7.44	157	0.28	7.58	198	
8	+	++	60	10	2.98	7.59	161	0.29	7.42	142	0.3	7.61	157	

Anexo 03. Parámetros sistematizados Cascara de Semilla de Moringa

Criterios de variables			Criterios de variables			REP 1			REP 2			REP 3		
Tratamiento 1	Tiempo	Cant coag	Tiempo	Cant coag	Conductividad	Ph	Turbidez	Conductividad	Ph	Turbidez	Conductividad	Ph	Turbidez	
1	-	--	30	0.5	2.93	7.85	177	0.28	7.62	148	0.3	7.65	187	
2	+	--	60	0.5	2.92	7.88	155	0.28	7.63	140	0.31	7.71	152	
3	-	-	30	1	2.88	8.11	217	0.29	7.86	167	0.29	7.69	201	
4	+	-	60	1	2.86	8.03	192	0.28	7.84	160	0.28	7.79	161	
5	-	+	30	2	2.86	7.92	202	0.27	7.75	189	0.31	7.81	187	
6	+	+	60	2	2.91	7.98	140	0.28	7.84	125	0.28	7.78	115	
7	-	++	30	4	2.85	7.82	90	0.27	7.7	102	0.28	7.64	126	