

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y AMBIENTALES



Elaboración de un coagulante natural a base de la semilla de moringa y tallo de tuna para la remoción de turbidez del agua de lavado de banano orgánico para exportación

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL

AUTORES

Floreslid Yajahuanca Ticliahuanca

Magali Davila Concha

ASESOR

Humberto Rivera Calle

Morropón, Perú

2024

METADATOS COMPLEMENTARIOS**Datos de los Autores****Autor 1**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 2

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 3

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 4

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Datos de los Asesores**Asesor 1**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

Asesor 2

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

Datos del Jurado**Presidente del jurado**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Segundo miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Tercer miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Datos de la Obra

Materia*	
Campo del conocimiento OCDE Consultar el listado:	
Idioma	
Tipo de trabajo de investigación	
País de publicación	
Recurso del cual forma parte (opcional)	
Nombre del grado	
Grado académico o título profesional	
Nombre del programa	
Código del programa Consultar el listado:	

***Ingresar las palabras clave o términos del lenguaje natural (no controladas por un vocabulario o tesauro).**



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 018 - 2024/UCSS/FCAA/DI

Siendo las 08:00 a.m. del viernes 19 de abril de 2024 a través de la plataforma virtual zoom de la Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis integrado por:

- | | |
|-----------------------------------|-----------------|
| 1. José Víctor Ruiz Ccance | presidente |
| 2. Claudia Daniela Ramos Delgado | primer miembro |
| 3. Julián Alberto Álvarez Paredes | segundo miembro |
| 4. Humberto Rivera Calle | asesor(a) |

Se reunieron para la sustentación virtual de la tesis titulada **Elaboración de un coagulante natural a base de la semilla de moringa y tallo de tuna para la remoción de turbidez del agua de lavado de banano orgánico para exportación** que presentan las bachilleres en Ciencias Ambientales, **Floreslid Yajahuanca Ticlihuanca y Magali Davila Concha**, cumpliendo así con los requerimientos exigidos por el reglamento para la modalidad de titulación; la presentación y sustentación de un trabajo de investigación original, para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

Terminada la sustentación y luego de deliberar, el jurado acuerda:

APROBAR

DESAPROBAR

La tesis, con el calificativo de **SUFICIENTE** y eleva la presente acta al decanato de la Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales, a fin de que se declare EXPEDITA para conferirle el TÍTULO de INGENIERO AMBIENTAL.

Lima, 19 de abril de 2024.


José Víctor Ruiz Ccance
Presidente


Claudia Daniela Ramos Delgado
1° miembro


Julián Alberto Álvarez Paredes
2° miembro


Humberto Rivera Calle
Asesor(a)

Anexo 2

CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR(A) DE TESIS / INFORME ACADÉMICO/ TRABAJO DE INVESTIGACIÓN/ TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL CON INFORME DE EVALUACIÓN DEL SOFTWARE ANTIPLAGIO

Piura, 20 de agosto de 2024

Señor(a),
Wilfredo Mendoza Caballero
Jefe del Departamento de Investigación
Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales - UCSS

Reciba un cordial saludo.

Sirva el presente para informar que **la tesis**, bajo mi asesoría, con título: **“Elaboración de un coagulante natural a base de la semilla de moringa y tallo de tuna para la remoción de turbidez del agua de lavado de banano orgánico para exportación”**, presentado por Floreslid Yajahuanca Ticliahuanca (código de estudiante: 2013101966 y DNI: 76156472) y de Magali Dávila Concha (código de estudiante: 2013101893 y DNI: 74650995) para optar el título profesional de **Ingeniero Ambiental** ha sido revisado en su totalidad por mi persona y **CONSIDERO** que el mismo se encuentra **APTO** para ser sustentado ante el Jurado Evaluador.

Asimismo, para garantizar la originalidad del documento en mención, se le ha sometido a los mecanismos de control y procedimientos antiplagio previstos en la normativa interna de la Universidad, **cuyo resultado alcanzó un porcentaje de similitud de 0 %**. Por tanto, en mi condición de asesor(a), firmo la presente carta en señal de conformidad y **adjunto el informe de similitud del Sistema Antiplagio Turnitin**, como evidencia de lo informado.

Sin otro particular, me despido de usted. Atentamente,



Firma del Asesor (a)
Blgo. M.Sc Humberto Rivera Calle
DNI N°: 17896043
ORCID: 0000-0001-8472-2067
Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales
UCSS

(*) De conformidad con el artículo 8°, del Capítulo 3 del Reglamento de Control Antiplagio e Integridad Académica para trabajos para optar grados y títulos, aplicación del software antiplagio en la UCSS, se establece lo siguiente:

Artículo 8°. Criterios de evaluación de originalidad de los trabajos y aplicación de filtros

El porcentaje de similitud aceptado en el informe del software antiplagio para trabajos para optar grados académicos y títulos profesionales, **será máximo de veinte por ciento (20%) de su contenido, siempre y cuando no implique copia o indicio de copia.**

DEDICATORIA

A Dios por permitirme llegar a este punto y haberme brindado salud; y a mis padres por ser mi principal motivo, por ser mi ejemplo de perseverancia y constancia y que estuvieron conmigo en cada paso que di para realizar mi formación académica.

Floreslid Yajahuanca Ticliahuanca

A mi familia por su confianza depositada en mí, sin su apoyo nada de esto habría sido posible, mil gracias desde el alma

Magaly Dávila Concha

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por ser mi guía y protector, a mis padres y hermanos por cada aliento que me dieron para lograr mis metas, a todas aquellas familias que me brindaron un lugar donde vivir durante la época universitaria, gracias infinitas por la ayuda desinteresada y buena voluntad, a mi asesor de tesis Blgo Msc Humberto Rivera Calle y al Ing. Demetrio Javier Aponte Elera. A ustedes mi gratitud, por haberme brindado sus recomendaciones y consejos en la ejecución de esta investigación. Esta investigación es resultado de la confianza que en mi dejaron.

Floreslid Yajahuanca Ticliahuanca

A mis padres por el apoyo constante, a mis tíos Servando y Jesús por su motivación y a mi hija Khyana Fernanda por las fuerzas y motivación que me otorga para lograr mis objetivos.

Magali Dávila Concha

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE APÉNDICES	xv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	4
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	5
1.1. Antecedentes	5
1.2. Bases teóricas especializadas	12
1.2.1. El agua como solvente.....	12
1.2.2. Historia de los coagulantes usados en la clarificación de aguas	13
1.2.3. Partículas coloidales	13
1.2.4. Coagulación y floculación.....	15
1.2.5. Tipos de coagulantes	18
1.2.6. “Moringa” <i>Moringa oleifera</i> Lam.	21
1.2.7. “Tuna” <i>Opuntia ficus indica</i> (L.) Mill.	26
1.2.8. Proceso de empaque de banano orgánico.....	27
1.2.9. Coagulantes utilizados en el proceso de empaque de banano orgánico.....	29
1.2.10. Prueba de Jarras.....	30
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS	31
2.1. Diseño de la investigación.....	31
2.2. Lugar y fecha de ejecución.....	31
2.3. Descripción del experimento.....	32

2.3.1.	Extracción de los coagulantes	32
2.3.2.	Evaluación de las características físicas de los coagulantes	35
2.3.3.	Determinación de los efectos de los coagulantes, en los parámetros fisicoquímicos del agua residual	37
2.3.4.	Comparación de la eficiencia en remoción de turbidez de las formulaciones de coagulante, con respecto a la eficiencia del sulfato de aluminio.....	40
2.4.	Tratamientos.....	40
2.5.	Unidades experimentales.....	42
2.6.	Identificación de variables y su mensuración.....	42
2.7.	Diseño estadístico del experimento.....	43
2.8.	Análisis estadístico de datos.....	43
2.9.	Materiales y equipos.....	43
2.9.1.	Materiales	43
2.9.2.	Equipos e instrumentos	44
2.9.3.	Reactivos	44
2.9.4.	Materias primas e insumos	44
CAPÍTULO III: RESULTADOS		45
3.1.	Evaluación de las características físicas de las formulaciones de coagulantes naturales.....	45
3.1.1.	Características físicas de las semillas de moringa.....	45
3.1.2.	Tallo de tuna.....	46
3.2.	Determinación de los efectos de las formulaciones de coagulantes naturales en los parámetros fisicoquímicos del agua residual	46
3.2.1.	Efectos en la turbiedad final del agua residual.....	47
3.2.2.	Efectos en el pH final del agua residual.....	50
3.2.3.	Efectos en los sólidos disueltos totales del agua residual	53
3.2.4.	Efectos en la conductividad eléctrica del agua residual.....	56

3.2.5. Determinación de la concentración, dosis y pH ajustado óptimo	59
3.3. Comparación de la eficiencia en remoción de turbidez de los coagulantes a base de moringa y tuna, con respecto a la eficiencia de remoción del sulfato de aluminio	59
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN.....	61
4.1. Características físicas de los coagulantes naturales	61
4.2. Efectos de los coagulantes naturales en los parámetros fisicoquímicos del agua residual.....	62
4.3. Eficiencia en remoción de turbidez de los coagulantes a base de moringa y tuna, con respecto a la eficiencia de remoción del sulfato de aluminio	66
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES	68
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES	69
REFERENCIAS	70
TERMINOLOGÍA	79
APÉNDICES	81

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Contaminantes en los sistemas de agua.</i>	12
Tabla 2. <i>Coagulantes naturales, sus agentes activos y mecanismos</i>	19
Tabla 3. <i>Ventajas y desventajas de los coagulantes inorgánicos sintéticos</i>	20
Tabla 4. <i>Clasificación taxonómica de la especie M. oleifera</i>	21
Tabla 5. <i>Usos y aplicaciones del árbol de M. oleifera</i>	22
Tabla 6. <i>Factores considerados en la investigación de tipo experimental</i>	41
Tabla 7. <i>Estructura del diseño factorial 5x3x2 mostrando los tratamientos respectivos</i>	41
Tabla 8. <i>Resumen de las variables de estudio</i>	42
Tabla 9. <i>Características físicas del coagulante natural obtenido de moringa</i>	45
Tabla 10. <i>Características físicas del coagulante natural obtenido de tallo de tuna</i>	46
Tabla 11. <i>Parámetros fisicoquímicos iniciales del agua residual generada en el lavado de banano orgánico, por cada corrida</i>	46
Tabla 12. <i>Análisis de varianza para la turbiedad del agua residual generada en el lavado de banano orgánico</i>	47
Tabla 13. <i>Valores promedio de turbiedad del efluente, según los niveles de proporción de moringa y tuna, concentración y pH</i>	48
Tabla 14. <i>Análisis de varianza para el pH final del agua de lavado de banano orgánico</i>	50
Tabla 15. <i>Valores promedio de pH final del efluente, según los niveles de proporción de moringa y tuna, concentración y pH ajustados aplicados en cada tratamiento</i>	51
Tabla 16. <i>Análisis de varianza para los sólidos disueltos totales del agua de lavado de banano orgánico</i>	53
Tabla 17. <i>Valores promedio de sólidos disueltos totales del efluente, según los niveles de proporción de moringa y tuna, concentración y ajuste de pH, aplicados en cada tratamiento</i>	54
Tabla 18. <i>Análisis de varianza para la conductividad del agua de lavado de banano orgánico</i>	56

Tabla 19. <i>Valores promedio de conductividad del efluente, según los niveles de proporción de moringa y tuna, concentración y ajuste de pH, aplicados en cada tratamiento</i>	57
Tabla 20. <i>Determinación de la eficiencia en la remoción de la turbiedad</i>	60

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. <i>Fases de la coagulación</i>	17
Figura 2. <i>Semilla de Moringa oleifera L.</i>	23
Figura 3. <i>Mecanismo de coagulación/floculación de la proteína de M. oleifera</i>	24
Figura 4. <i>Planta de Opuntia ficus-indica “tuna”</i>	26
Figura 5. <i>Mecanismo de interacción entre polímeros naturales y coloides</i>	27
Figura 6. <i>Distribución del área de empaque de banano orgánico tradicional de un pequeño productor</i>	28
Figura 7. <i>Localización del laboratorio de la Universidad Católica Sedes Sapientiae</i>	32
Figura 8. <i>Flujograma de obtención del coagulante a partir de semillas de moringa</i>	33
Figura 9. <i>Flujograma de obtención de coagulación a partir de penca de tuna</i>	34
Figura 10. <i>Flujograma de operaciones en la remoción de la turbidez del agua residual generada por el lavado de banano orgánico de exportación</i>	39
Figura 11. <i>Interacción de las proporciones y concentraciones de las formulaciones de coagulantes a base de moringa y tuna, en la turbiedad del agua tratada a un pH ajustado de 6,5.</i>	49
Figura 12. <i>Interacción de las proporciones y concentraciones de las formulaciones de coagulantes a base de moringa y tuna, en la turbiedad del agua tratada a un pH ajustado de 8,0.</i>	49
Figura 13. <i>Interacción de las proporciones y concentraciones de las formulaciones de coagulantes a base de moringa y tuna, en el pH final del agua tratada a un pH ajustado de 6,5</i>	52
Figura 14. <i>Interacción de las proporciones y concentraciones de las formulaciones de coagulantes a base de moringa y tuna, en el pH final del agua tratada a un pH ajustado de 8,0</i>	52
Figura 15. <i>Interacción de las proporciones y concentraciones de las formulaciones de coagulantes a base de moringa y tuna, en los sólidos disueltos totales del agua tratada, a un pH ajustado de 6,5</i>	55
Figura 16. <i>Interacción de las proporciones y concentraciones de moringa y tuna como coagulantes naturales en los sólidos disueltos totales del agua tratada, a un pH ajustado de 8,0</i>	55

Figura 17. <i>Interacción de las proporciones y concentraciones de las formulaciones de coagulantes a base de moringa y tuna, en la conductividad eléctrica del agua tratada, a un pH ajustado de 6,5</i>	58
Figura 18. <i>Interacción de las proporciones y concentraciones de las formulaciones de coagulantes a base de moringa y tuna, en la conductividad eléctrica del agua tratada, a un pH ajustado de 8,0</i>	58
Figura 19. <i>Valores promedio de turbiedad por cada tratamiento del diseño experimental establecido</i>	59

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice 1 Tallo de <i>Opuntia ficus-indica</i>	81
Apéndice 2 Frutos de <i>M. oleifera</i>	81
Apéndice 3 Acondicionamiento de la <i>Opuntia ficus-indica</i>	82
Apéndice 4 Extracción del aceite de <i>M. oleifera</i> con alcohol al 96 %.	82
Apéndice 5 Filtración de la torta de la <i>M. oleifera</i>	83
Apéndice 6 Medida de parámetros iniciales del agua residual en el laboratorio de la UCSS- filial Morropón.....	83
Apéndice 7 Uso de la prueba de jarras para homogenizar los coagulantes agregados en diferentes proporciones.	84
Apéndice 8 Colocación de muestras de agua residual tratada con los coagulantes naturales para ser medido en el turbidímetro.	84
Apéndice 9 Turbidímetro y multiparámetro usados para la ejecución de tesis	85
Apéndice 10 Obtención de la penca de <i>Opuntia ficus-indica</i>	85
Apéndice 11 Secado de la pulpa de los cladodios de la <i>Opuntia ficus-indica</i> a 60°C x 3 horas	86
Apéndice 12 Selección de los mejores granos de semilla de <i>M. oleifera</i>	86

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo principal la obtención de un coagulante natural mixto a partir de semillas de *Moringa oleífera* Lam. y tallo de *Opuntia ficus-indica* (L). Mill, con capacidad de remover la turbiedad del agua residual generada en el lavado de banano orgánico de exportación. Para el desarrollo de la investigación se empleó un diseño experimental de tipo multifactorial 5x3x2, usando cinco proporciones de moringa y tuna, tres concentraciones de dichas proporciones de coagulantes y dos niveles de pH; representando 30 tratamientos y seis tratamientos control a una concentración de 0,02 % de sulfato de aluminio ($AL_2(SO_4)_3$). Se evaluaron algunas características físicas de los coagulantes obtenidos tanto de semillas de moringa y tallo de tuna, tal como rendimiento en base húmedo, porcentaje de humedad y cenizas. Posteriormente, se determinaron los efectos generados por las formulaciones de coagulantes naturales sobre los parámetros fisicoquímicos del agua residual. Por último, se comparó la eficiencia de remoción de turbidez de las formulaciones de coagulantes con respecto a la eficiencia del sulfato de aluminio. De acuerdo con los resultados, se obtuvieron rendimientos de 60,9 % para la conversión de semillas de moringa a coagulante, mientras que para la tuna el rendimiento representó 1,6 %. Por otro lado, se observaron efectos significativos ($p \leq 0,05$) por parte de la proporción de coagulantes moringa/ tuna, concentración y pH ajustado sobre los parámetros fisicoquímicos evaluados del agua residual. Además, se conoció que la mayor eficiencia en remoción en turbiedad fue 86,52 %, siendo el tratamiento conformado por 50 % moringa/ 50 % tuna, aplicada a una concentración del 0,3 % y regulada a un pH igual a 8,0. Por último, se conoció que el sulfato de aluminio es más eficiente (95,69 %) que las formulaciones de coagulantes elaboradas a partir de moringa y tuna.

Palabras clave: *Coagulante natural, Moringa oleífera, Opuntia ficus-indica, turbiedad.*

ABSTRACT

The main objective of this research was to obtain a natural coagulant from *Moringa oleifera* Lam. seeds and *Opuntia ficus-indica* stems, with the capacity to remove turbidity from wastewater generated in the washing of organic bananas for export. For the development of the research, a 5x3x2 multifactorial experimental design was used, using five proportions of moringa and tuna, three concentrations of these proportions of coagulants and two pH levels; representing 30 treatments, six control treatments and six control treatments, at a concentration of 0,02 % aluminum sulfate ($AL_2(SO_4)_3$). Some physical characteristics of the coagulants obtained from both moringa seeds and tuna stems were evaluated, such as yield on a wet basis, moisture percentage and ash. Subsequently, the effects generated by the natural coagulant formulations on the physicochemical parameters of the wastewater were determined. Finally, the turbidity removal efficiency of the coagulant formulations was compared with the efficiency of aluminum sulfate. According to the results, yields of 60,9 % were obtained for the conversion of moringa seeds to coagulant, while for tuna the yield represented 1,6 %. On the other hand, significant effects ($p \leq 0,05$) were observed by the moringa/tuna coagulant ratio, concentration, and adjusted pH on the evaluated physicochemical parameters of the wastewater. In addition, it was found that the highest turbidity removal efficiency was 86,52 % for the treatment consisting of 50 % moringa/50 % tuna, applied at a concentration of 0,3 % and adjusted at a pH equal to 8. Finally, it was found that aluminum sulfate is more efficient than the coagulant formulations made from moringa and tuna.

Key words: *Moringa oleifera*, Natural coagulant, *Opuntia ficus-indica*, turbidity,

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, a nivel mundial, el consumo de alimentos orgánicos se está incrementando exponencialmente. En el año 2020 se incrementaron las ventas de dichos productos en un volumen del 8 % con respecto al año 2017; representando un valor de US\$ 121 mil millones (Asociación de exportadores [ADEX], 2022). El interés por consumir alimentos saludables ha logrado un alto crecimiento del consumo de productos orgánicos; asimismo, la pandemia ha reforzado dicha tendencia (ADEX, 2022). Por esta razón, los productos agrarios orgánicos peruanos de mayor exportación en el año 2021 fueron el banano, el café y el arándano; los cuales representaron el 45 % de la cantidad de los productos que se exportan (Agencia Agraria de Noticias, 2022).

Para Redagrícola (2018), la superficie de campo bananero certificados como orgánico en el año 2018 representó 8 000 ha en el Perú, las cuales estuvieron en manos de 10 000 productores con 0,8 ha promedio cada uno, mientras que Agronoticias (2019) señala que para fines del 2019, en el país se contó con 15 000 ha dedicadas a la producción de banano orgánico, de las cuales el 85,3 % se encuentran en la región de Piura y el otro 14,7 % se encuentra en otras regiones como Lambayeque, Tumbes y la Libertad.

En el empaque de banano orgánico de exportación, se realizan distintas operaciones unitarias de importante relevancia para asegurar la calidad e inocuidad de la fruta (Quiroz, 2019). El fruto de banano debe pasar por un procesamiento primario que incluye operaciones tales como lavado, deslechado, desinfectado, acondicionado (formación de clústeres), etiquetado y empacado, para su posterior transporte al área de paletizado y su embarque al mercado internacional, en donde será consumido como fruta fresca (Gallo, 2018). Para los productores de banano orgánico, el deslechado es una operación unitaria que forma parte del proceso de empaque de banano, la cual consiste en sumergir los clústeres a una tina llena con solución clorada y sulfato de aluminio; cuyo objetivo es lavar la fruta, desprender el látex de la corona y disminuir la temperatura de campo de la fruta (Quiroz, 2019).

Las líneas de empaque de las asociaciones y cooperativas de productores de banano orgánico son básicas e ineficientes; además, en la zona costera el recurso hídrico es escaso y costoso para garantizar un buen lavado de la fruta exportable (Gallo, 2018); por lo que se utiliza al sulfato de aluminio como coagulante de los sólidos suspendidos generados por el látex y suciedad del campo. Aunque el Reglamento Técnico para los Productos Orgánicos (D.S. N°044-2006-AG), clasifica al sulfato de aluminio como producto de uso restringido para emplearlo en la agricultura orgánica, siendo observado por las certificaciones de tercera parte como: ORGANIC, UE, BIOLATINA y JASS.

El sulfato de aluminio tiene efectos perjudiciales para la salud. De acuerdo con New Jersey Department of Health [NJDH] (2017), los efectos agudos (corto plazo) que se presentan en los trabajadores expuestos al sulfato de aluminio son: la irritabilidad de los ojos, piel, nariz y garganta; mientras que, por otro lado, los efectos crónicos (largo plazo), los cuales pueden perdurar meses o años son las afecciones al pulmón, como: irritabilidad, bronquitis, tos y falta de aire. Por otra parte, el agua de lavado del banano orgánico es vertido a los campos de cultivo, el cual contaminan el suelo agrícola con aluminio residual; disminuyendo la calidad y los rendimientos del cultivo (Intagri, 2018).

En la naturaleza se encuentran especies vegetales como *Moringa oleifera* y *Opuntia ficus-indica* que funcionan como coagulantes naturales, siendo seguros, ecoamigables y exentos de tóxicos, que pueden utilizarse en el proceso de empaque de banano orgánico, logrando sustituir a los productos químicos que hoy en día se utilizan (López, 2018; Kumar *et al.*, 2017).

Diversos investigadores han estudiado los efectos de la *Moringa oleifera* en el tratamiento de agua relacionados con remoción de cianobacterias por tratamientos integrados (coagulación/ floculación/ disolución) verificando una eficiencia en remoción mayor a 80 %; asimismo, se ha determinado que la globulina contenida en la semilla promueve un alto rendimiento de eliminación de turbidez y color en aguas superficiales (De Paula *et al.*, 2018).

A la fecha, no existen reportes de estudios que se hayan realizado para resolver el problema que se describe en este estudio, por ende, existe la necesidad de llevar a cabo la investigación. La elaboración de un coagulante a base de especies vegetales de la zona lograría disminuir parcial o completamente el uso de sulfato de aluminio en el proceso de empaque de banano orgánico, de esta manera no se tendría problemas al momento de exportación de la fruta, asimismo contribuiría al cuidado del agua, suelo y ambiente, disminuyendo el riesgo de los trabajadores de contraer enfermedades (Intagri, 2018; NJDH, 2017).

Por lo antes expuesto, el presente estudio tuvo como objetivo principal elaborar un coagulante natural a partir de semillas de moringa y tallo de tuna para ser usado en la remoción de turbidez del agua residual generada en el lavado de banano orgánico para exportación. En cumplimiento al objetivo principal se evaluaron algunas características físicas de los coagulantes naturales, se determinaron los efectos de los coagulantes sobre los parámetros fisicoquímicos del agua residual en estudio. Asimismo, los resultados de la eficiencia de remoción de turbiedad del coagulante natural fueron comparados con la eficiencia del sulfato de aluminio.

La presente investigación está estructurada en seis capítulos, abarcando en el primer capítulo antecedentes y bases teóricas especializadas, las cuales respaldan el valor teórico y científico de las variables de estudio. En el segundo capítulo se describe la metodología empleada para lograr cada objetivo establecido en la investigación, además se describen los procedimientos y métodos aplicados en la fase experimental. En el capítulo tres se desarrollan los resultados obtenidos mediante el diseño experimental y en el capítulo cuatro se discuten los resultados, comparándolos con investigaciones similares ejecutados a nivel internacional y nacional. En el capítulo cinco se indican las conclusiones de la investigación desarrollada. Por último, en el capítulo seis se establecen recomendaciones para futuras investigaciones concernientes al tema.

OBJETIVOS

Objetivo general

Elaborar un coagulante natural a partir de semilla de moringa y tallo de tuna para la remoción de turbidez del agua residual generada en el lavado de banano orgánico para exportación.

Objetivos específicos

- Evaluar las características físicas de los coagulantes naturales obtenidos de las semillas de moringa y tallo de tuna (rendimiento, humedad, cenizas).
- Determinar los efectos de los coagulantes naturales obtenidos de semillas de moringa y tallo de tuna, en los parámetros fisicoquímicos (turbiedad, pH, sólidos disueltos totales y conductividad) del agua de lavado de banano orgánico.
- Comparar la eficiencia en remoción de turbidez de las formulaciones de coagulante de moringa y tuna, con respecto a la eficiencia de remoción del sulfato de aluminio.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

Internacionales

Safaa *et al.* (2022) ejecutaron el estudio “Optimización del proceso de coagulación para el tratamiento de aguas residuales de almazara utilizando *Moringa oleifera* como coagulante natural, CCD combinado con RSM para la optimización del tratamiento” en Mohammedia (Marruecos); el objetivo fue evaluar la eficiencia de *M. oleifera* como coagulante natural en el tratamiento de aguas residuales generados en la industria de procesamiento de oliva. Para ello emplearon un diseño experimental y un diseño completo al azar (DCA) combinado con la metodología de superficie de respuesta. En el diseño experimental analizaron tres variables respuestas (turbidez, DQO y polifenoles) y cuatro variables independientes (concentración, pH, velocidad de agitación y tiempo). El estudio mostró que el modelo fue caracterizado por un buen ajuste, justificado por el muy alto coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado = 86,73 %, R^2 ajustado = 90,39 % y R^2 ajustado = 93,33 % para la turbidez, DQO y polifenoles, respectivamente). Además, las condiciones óptimas para un buen rendimiento de purificación de las aguas residuales de almazara usando *M. oleifera* fueron las siguientes $[Mo] = M. oleifera = 65\text{g/L}$, $\text{pH} = 6$, velocidad de agitación (S_s)=35 rpm y tiempo de agitación (S_t)=25 mín. En esas condiciones, la turbidez, las eficiencias de eliminación de DQO y polifenoles fueron del 96, 88 y 86 %, respectivamente. El estudio concluyó que la moringa fue efectiva como coagulante en el manejo de efluentes generados en el procesamiento de frutos de oliva.

Mekonin y Ebba (2021), en la investigación “Tratamiento de aguas residuales utilizando un coagulante natural (semillas de *M. oleifera*): optimización mediante metodología de superficie de respuesta” en la ciudad Jimma (Etiopía) tuvieron como objetivo evaluar la capacidad del polvo de moringa en la eliminación de contaminantes de las aguas residuales,

reflejadas en el color, turbidez y DQO de la misma. El estudio fue experimental. Los investigadores realizaron un experimento en base a un diseño aleatorio de carga; empleando las siguientes concentraciones: 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 y 0,6 g/500 mL de polvo extraído de semillas de moringa. Los investigadores para conocer la eficiencia del coagulante natural midieron las siguientes características fisicoquímicas: demanda química de oxígeno (DQO), color, turbidez y pH de los tratamientos de agua residual tratada con semillas de moringa. Los resultados indicaron que la dosificación óptima de moringa era de 0,4 g/500 mL en ambas características del agua residual en el caso de color y turbidez. Asimismo, la reducción máxima de moringa en turbidez, color y DQO en aguas residuales ácidas fue de 98; 90,76 y 65,8 %, respectivamente; mientras que, la reducción máxima de turbidez, color y DQO en aguas residuales básicas fue de 99,5; 97,7 y 65,82 % respectivamente. Los resultados identificaron que el polvo de semilla de moringa funcionó mejor con un rango de pH de 7 a 9. Los autores concluyeron que el mejor equilibrio de adsorción sucedió cuando se usó 0,1 g de polvo de semillas de moringa. Todos los resultados mostraron que las semillas de moringa fueron muy efectivas para la remoción de impurezas.

Ruiz y Amaya (2021) realizaron un estudio de “Evaluación del biocoagulante extraído de la semilla de moringa (*M. oleifera*) como coadyuvante en el proceso de coagulación para el tratamiento de aguas superficiales en la cuenca Río Molino (Cauca - Colombia)”. El objetivo fue evaluar la eficacia del coagulante obtenido a partir de semillas de moringa comparada con el sulfato de aluminio, en el proceso de coagulación para el tratamiento de aguas superficiales de la cuenca Río Molino. La metodología estuvo estructurada en tres etapas: a) diagnóstico de la calidad hídrica del río de referencia, calculando las variables fisicoquímicas: DBO5, oxígeno disuelto, turbidez, pH, conductividad, alcalinidad, nitritos, nitratos, coliformes totales y *Escherichia coli* E.; con lo cual permitió determinar, mediante *Software* ICATEST el valor para el índice de contaminación del agua, siendo 0,811, un grado muy alto de contaminación; b) determinación de las dosis de los dos coagulantes, para ello realizaron la extracción y preparación de los agentes coagulantes en dos estaciones de tiempo, en el cual obtuvieron tres concentraciones: 10, 20 y 30 g/L; y c) comparación del comportamiento de los coagulantes de manera individual y combinado. Los resultados mostraron que, en verano, las dosis de 10 g/L de moringa y 5 mg/L de sulfato de aluminio, en proporciones de 84,2 y 15,8 % respectivamente, lograron un 96 % de remoción. Mientras que en tiempo lluvioso las dosis de 20 g/L de moringa y 5 mg/L de sulfato, en proporciones

de 82,3 y 17,7 % respectivamente, lograron una remoción de 98,3 %. Los autores concluyeron que las semillas de moringa deben encontrarse en buena calidad al momento de la extracción del agente coagulante, para obtener resultados óptimos en la remoción de turbiedad.

Gonzales y Fandiño (2018) ejecutaron el estudio experimental sobre la “Evaluación de la semilla de moringa como coagulante en aguas residuales de curtiembre” en Bogotá, Colombia; con el objetivo de evaluar la eficiencia de las semillas de moringa como coagulante natural en el tratamiento de efluentes generados en el proceso de curtido provenientes de una curtiembre. El método usado para la obtención del coagulante natural que realizaron fue un proceso de separación, secado y triturado de las semillas de moringa; el polvo obtenido fue mezclado con hidróxido de sodio para la obtención de una solución patrón donde variaron las dosificaciones. Como parámetros de estudio seleccionaron el pH, Cromo, DQO y SST. Asimismo, para el desarrollo del diseño experimental tomaron la teoría de cuadrado latino en donde por efectos estadísticos definieron nueve muestras y a cada una de estas le realizaron tres mediciones de turbidez dando un total de 27 resultados de remoción; el tratamiento de los datos fue mediante el programa estadístico ANOVA. Los resultados mostraron que si existían diferencias significativas entre los resultados de los nueve ensayos y seleccionaron las dos muestras con mejores resultados de remoción de turbidez para ser enviadas al laboratorio donde analizaron los parámetros de control mencionados. Los investigadores concluyeron que con la dosis de 50 mL de solución patrón de moringa se obtiene los mejores resultados de remoción de cromo, mientras que la DQO y los SST no presentaron mayores eficiencias bajo ninguno de los tratamientos realizados.

Camacho *et al.* (2017) realizaron un estudio denominado “El uso de *M. oleifera* como coagulante natural en el tratamiento de aguas superficiales”, Sergipe – Brasil; con el objetivo de evaluar la eficiencia de coagulación del polvo integral de las semillas de *M. oleifera* (Mo) y del polvo de Mo con reducida cantidad de aceite en el tratamiento de agua, para eliminar cianobacterias de aguas superficiales naturales. Los autores realizaron pruebas para aguas con turbidez baja (5 a 10 NTU) y alta (30 a 60 NTU) con y sin la adición de *Microcystis aeruginosa* (Kützing, 1846) respectivamente, empleando la moringa en tres formas distintas: polvo integral de semillas de Mo, polvo de semillas de Mo pasadas por un proceso de

extracción de aceite mediante la utilización de etanol y con una técnica de fluido presurizado. La investigación fue de tipo cuantitativo con enfoque experimental. Utilizaron tres niveles de contenido de Mo (0, 50 y 100 mg/L) en sus tres formas empleadas. Además, usaron la prueba de jarras para medir la coagulación, floculación y sedimentación de las muestras de agua analizada. Los resultados indicaron que la concentración de Mo a 50 mg/L, proporcionó la mayor eliminación de turbidez en aguas con baja turbidez que no contenían enterobacterias. En aguas con baja turbidez y con contenido de *M. aeruginosa*, la Mo con extracción de etanol removió más cianobacterias y turbiedad que la Mo integral y la Mo extraído por presurización; siendo 50 mg/L la dosis más eficiente. Para aguas con alta turbiedad y *M. aeruginosa*, la remoción de turbiedad y cianobacterias representó más del 80 % para las tres formas coagulativas de la moringa. Los investigadores concluyeron que no era necesario extraer el aceite de las semillas de Mo para su utilización en la eliminación de cianobacterias de aguas superficiales naturales.

Olivero *et al.* (2017) llevaron a cabo un estudio denominado “Evaluación de una mezcla para coagulantes naturales, *Opuntia ficus* y *Moringa oleífera* en clarificación de aguas” en Magdalena (Colombia), el cual tuvo como objetivo principal evaluar la capacidad de una mezcla de coagulante natural a partir de penca de tuna y de moringa para la remoción de turbidez y clarificación de las aguas superficiales, comparando su eficiencia con la del alumbre (sulfato de aluminio). Los investigadores emplearon operaciones unitarias para la obtención del coagulante en polvo a partir de órganos de la tuna y moringa. Las variables evaluadas fueron la turbidez, la absorbancia y la correlación entre las dos variables, para ello emplearon un turbidímetro y un espectrofotómetro. Por otro lado, aplicaron un diseño experimental multifactorial 8x3x2, conformado por tres factores: mezclas de coagulantes (tuna - alumbre, moringa - alumbre, tuna – moringa, tuna, moringa y alumbre), dosis del coagulante (35, 40 y 45 % por mezclas respectivamente) y el pH (7 y 8); 13 niveles y 48 tratamientos. Los valores resultantes del diseño experimental fueron tratados estadísticamente mediante un análisis de varianza. Los resultados determinaron que la mezcla con mayor eficiencia fue moringa – alumbre a una dosis de 45 mg/L y a pH 8. Por último, concluyeron que los coagulantes naturales pueden remover en más del 90 % de turbidez; mientras que la mezcla de coagulante natural con alumbre puede llegar a remover hasta el 99 % de turbidez en el agua.

Gomez y Salazar (2016) ejecutaron la investigación denominada “Evaluación de la eficiencia de semillas de *Moringa oleifera* como coagulante natural en la ciudad de Pasto – Colombia”; cuyo objetivo fue evaluar la eficiencia de coagulación de las semillas de moringa. El estudio fue de tipo experimental, con enfoque cuantitativo; por ello aplicaron un diseño unifactorial de efectos fijos, mediante la prueba de jarras siguiendo la Norma Técnica Colombiana NTC-3903, evaluando como factor la dosis del coagulante obtenido de las semillas de moringa. Además, emplearon un análisis de varianza para conocer los efectos del coagulante de moringa sobre el tratamiento de agua con diferentes turbiedades a nivel de laboratorio. Los resultados mostraron que el método óptimo para la extracción del coagulante fue mediante solución salina debido que presentó remociones superiores a 90 % de la turbiedad inicial con una significancia de $p = 0,17$. También determinaron que el extracto de *M. oleifera* fue más eficiente al utilizar una dosis de 274,9 mg/L de coagulante y un pH de 7,1 a un nivel de confianza de 95 % ($p < 0,05$). Los autores concluyeron que el tiempo máximo de remoción de turbiedad fue 20 minutos, a una velocidad de sedimentación de 0,003 cm/s, empleando un mecanismo de coagulación de adsorción y neutralización de cargas.

Nacionales

Nieto (2021) realizó un estudio denominado “Utilización de tuna (*Opuntia ficus indica*) como coagulante orgánico en el tratamiento de aguas turbias” en la provincia de Huacho (Lima), cuyo objetivo principal fue obtener un coagulante orgánico a partir de tuna para el tratamiento de aguas turbias. El estudio fue de tipo cuantitativo, de nivel descriptivo – explicativo. El autor empleó tres proporciones diferentes de la relación pulpa/agua destilada (1/1), (1/2) y (1/3) para su posterior comparación; dichas mezclas fueron sometidas a temperaturas superiores de 70 °C durante un período de tres horas para luego filtrarlas, extrayendo así la fase acuosa correspondiente a cada proporción. Estos filtrados fueron sometidos a una velocidad de rotación de 3 000 rpm, lo que le permitió obtener sólidos remanentes; los cuales fueron secados hasta obtener la forma sólida del coagulante. Las tres porciones de coagulantes fueron caracterizadas, midiendo el porcentaje de humedad, ceniza, grasa, carbohidratos y densidad. Para determinar la eficiencia del coagulante, el autor empleó tres concentraciones de este; siendo 10, 20 y 30 ppm (en base seca). Como resultados obtuvo que la proporción más adecuada para la obtención del coagulante de tuna fue 1:1; por otro

lado, el porcentaje de humedad de las muestras de coagulantes estuvieron entre 58,9 a 69,2 %, cenizas de 1,98 a 2,54 %, grasas de 0,06 a 0,09 %, carbohidratos de 27,46 a 37,28 % y densidad de 1,19 a 1,32 kg/cm³. La autora concluyó que la concentración de coagulante de tuna a 30 ppm obtuvo el mayor porcentaje de remoción de turbiedad, siendo 86,54 %. Además, indicó que el color para los tratamientos aplicados fue más clara con respecto a las demás muestras.

Álvarez (2019) ejecutó la investigación “Extracto de moringa (*Moringa oleifera*) para la remoción de turbidez de efluentes de la producción de néctar de maracuyá” en la ciudad de Lima; cuyo objetivo fue evaluar la eficiencia del extracto de moringa para la remoción de turbidez de efluentes generados en la producción de néctar de maracuyá. El estudio tuvo un enfoque cuantitativo de tipo experimental, siendo los factores: turbidez del efluente (101, 170, 335, 500 y 568 NTU) y las dosis del extracto de moringa (134,4, 180, 290, 400 y 445,6 mg/L); considerando como variable respuesta el porcentaje de remoción de la turbidez del efluente. También, analizó los parámetros fisicoquímicos: pH, turbidez, color y la conductividad eléctrica del efluente en estudio. Los resultados obtenidos indicaron que los tratamientos de 335 NTU y 290 mg/L; 500 NTU y 400 mg/L, permitieron una reducción de turbidez de 92,25 y 94,16 % respectivamente. Además, el extracto de moringa fue caracterizado con el método de electroforesis en gel de poliacrilamida (PAGE- SDS) encontrando una banda principal de polipéptido de 6,5 kDa que serían los principales responsables de la coagulación – floculación. Así mismo, el valor de pH no presentó modificaciones significativas, manteniéndose entre 2,74 a 3,64. A dosis de 290 y 400 mg/L la remoción de color fue de 71,57 y 79,80 % respectivamente y la conductividad de 2,43 y 2,96 mS/cm respectivamente. Por lo tanto, el autor concluyó que el extracto de moringa fue eficiente en la remoción de turbidez, siendo una alternativa viable para el tratamiento de efluentes agroindustriales.

López (2018) ejecutó el estudio “Evaluación del uso de la cactácea *Opuntia ficus-indica* como coagulante natural para el tratamiento de aguas” en Lima; cuyo objetivo fue evaluar la eficiencia de la tuna como coagulante natural para remover la turbiedad de muestras de agua preparada a nivel de laboratorio con valores iniciales de turbiedad de 20, 50, 100, 300 y 500 UNT. También realizó una evaluación comparativa del coagulante natural versus un

coagulante químico (sulfato de aluminio) con respecto a las variables fisicoquímicas de las muestras de agua en estudio tales como: conductividad, color, pH y turbiedad. El autor utilizó la prueba de jarras para determinar la eficiencia de remoción del coagulante obtenido a partir de la tuna. Aplicó un diseño completamente al azar, para lo cual estableció 16 dosis de coagulante para las distintas turbiedades del agua preparada; Asimismo, para la determinación de las interacciones estadísticas empleó en análisis de varianza, empleando el *Software* SPSS para la validación estadística de los resultados. Como resultado obtuvo que el poder de remoción de turbiedad fue encontrado en el rango de 58 a 86 %. Por otra parte, la dosis óptima para cada muestra resultó 30, 45, 55, 75 y 90 mg/L respectivamente. La concentración óptima para las muestras de 20 y 50 UNT (turbiedad baja) fue 2 %, para 100 y 300 UNT (turbiedad media) fue 1 % y para 500 UNT (turbiedad alta) fue 0,5 %. El valor de pH óptimo para todas las muestras fue 9. El investigador comprobó que el sulfato de aluminio fue más eficiente en la eliminación de turbiedad con respecto al coagulante natural elaborado a partir de la tuna. Sin embargo, el poder de remoción del cactus fue 86 % en muestras con turbiedad alta.

Urquía (2017) ejecutó la investigación “Eficiencia de la *Opuntia ficus-Indica* frente a la *Moringa oleifera*, en el tratamiento de aguas del Río Huaycoloro, SJL-2017”, en Lima; cuyo objetivo principal fue evaluar la eficiencia de la *O. ficus indica* y de las semillas de *M. oleifera* en el tratamiento de las aguas del caudal del río Huaycoloro, en el distrito de San Juan de Lurigancho - Lima. La investigación fue de tipo experimental, cuantitativa y comparativa. Utilizó el método de jarras para determinar la dosis óptima de los polímeros vegetales a emplear en el tratamiento de agua. Las pruebas las realizó por cada coagulante natural para luego hacer un análisis comparativo de la eficiencia en mejoramiento de las variables fisicoquímicas del agua. El investigador, para determinar la dosis óptima de cada coagulante, utilizó niveles de velocidad lenta (60 rpm x 20 min.) y velocidad rápida (240 rpm x 4 min.), seguido de un tiempo de sedimentación de 60 min. Los resultados para el coagulante elaborado de moringa fueron: dosis óptima 0,75 mg/L, rango de pH entre 7,29 a 7,64; turbidez entre 6,21 a 560 UNT, sólidos disueltos de 30,33 a 303 g/L. Por otra parte, los resultados del coagulante elaborado de la *O. ficus indica* fueron: dosis óptima 0,5 mg/L, rango de pH entre 7,49 a 7,64, turbidez entre 14,68 a 560 UNT, sólidos disueltos de 34,33 a 300 g/L. Por último, concluyó que los dos coagulantes fueron eficientes para la remoción de

contaminantes fisicoquímicos del agua, siendo en mayor grado el coagulante de las semillas de moringa.

1.2. Bases teóricas especializadas

1.2.1. El agua como solvente

López (2018) menciona que “el agua es un solvente universal porque puede disolver o dispersar la mayoría de las sustancias y formar con ellas iones, complejos solubles e insolubles, coloides o simplemente partículas dispersas de diferente tamaño y peso” (p. 15). Las partículas que se encuentran en el agua superficial provienen de la descomposición de materias orgánicas, materias inorgánicas provenientes de la erosión de los suelos, sustancias minerales, así como sustancias producidas en las distintas actividades realizadas por el hombre (Andía, 2000).

Investigadores informan que las sustancias orgánicas en los distintos cuerpos de aguas adoptan cargas negativas, lo cual influyen en la estabilidad de esta (Ramírez y Jaramillo, 2016). La eficiencia de materias orgánicas en los procesos de coagulación y floculación dependen generalmente del tipo de carga superficial coloidal encontrados en los cuerpos hidráulicos (Andía, 2000). Ramírez y Jaramillo (2016) clasifican los contaminantes encontrados en el agua de la manera que se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1

Contaminantes en los sistemas de agua

Clase	Ejemplos
Sólidos suspendidos	Materiales coloidales, polvo, óxidos de metales insolubles, e hidróxidos
Órganos disueltos	Químicos orgánicos sintéticos, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos
Iónicos disueltos (sales)	Metales pesados, sílice, arsénico, nitrato, cloruros, carbonatos
Microorganismos	Bacterias, virus, quistes protozoarios, hongos, algas, células de levadura
Gases	Sulfuro de hidrógeno, metano, radón, bióxido de carbono

Nota. Elaboración propia, adaptado de “Agentes naturales como alternativas para el tratamiento del agua” (p. 140), por Ramírez, H. y Jaramillo, J., 2016. Revista Facultad de Ciencias Básicas, 11(2). <https://doi.org/10.18359/rfcb.130>

Según los grupos de contaminantes que se encuentran en los sistemas de agua (Tabla 1), en el agua residual generada del lavado de banano orgánico, se encuentran órganos disueltos como látex, sólidos suspendidos como polvo, así como microorganismos encontrados en las frutas, en el ambiente y provenientes de los campos agrícolas.

1.2.2. Historia de los coagulantes usados en la clarificación de aguas

Los órganos vegetales naturales, orgánicos con propiedades coagulativas, se han empleado desde hace 4 000 años en pueblos rurales de India, China y en África como mejoradores y reductores de alta turbidez en aguas para consumo humano (Ramírez y Jaramillo, 2016). De acuerdo con Aldana (2012) las personas de pueblos rurales de diferentes países del mundo utilizan productos naturales para la clarificación de aguas para uso doméstico, por ejemplo, en Bolivia emplean la harina de *Vicia faba* L. “haba” y pepas de *Prunus pérsica* L. “durazno”, mientras que en México y Perú utilizan los cladodios de la *Opuntia ficus-indica* “tuna” o “nopal”. De los muchos vegetales conocidos con características coagulativas, a nivel científico solo cuatro son reconocidos y valorados, tales son las semillas de Nirmali, Moringa, taninos y cactus (Ramírez y Jaramillo, 2016).

1.2.3. Partículas coloidales

Lee (2019) define a una partícula coloidal como un elemento pequeño con una escala de dimensiones que va de nanómetros a micrómetros, según el comportamiento coloidal específico que se esté considerando.

a. Propiedades de los coloides

Diversos autores, tales como Lee (2019) y Singh (2020), indican que los coloides tienen las siguientes propiedades:

Propiedades cinéticas (Movimiento browniano)

Gensdarmes (2015), define al movimiento browniano como el “movimiento aleatorio de una partícula como resultado de las colisiones con las moléculas gaseosas circundantes” (p.56). El movimiento browniano lleva el nombre de su descubridor Robert Brown.

Propiedades ópticas (Efecto Tyndall)

Efecto Tyndall, también llamado fenómeno Tyndall consiste en la dispersión de un haz de luz por un medio que contiene pequeñas partículas en suspensión, por ejemplo, humo o polvo en una habitación, que hace visible un haz de luz que entra por una ventana. El efecto Tyndall se produce a partir de partículas aproximadamente del mismo tamaño que la longitud de onda de la luz. Este efecto debe su nombre al físico británico John Tyndall, quien observó que si un fuerte haz de luz pasa a través de una solución coloidal, el camino de la luz se ilumina (Britannica y Editors of Encyclopaedia, 2021).

Propiedades eléctricas

Flowers *et al.* (2022) indica que las partículas coloidales dispersas suelen estar cargadas eléctricamente. Una partícula coloidal de hidróxido de hierro (III), por ejemplo, no contiene suficientes iones de hidróxido para compensar exactamente las cargas positivas de los iones de hierro (III). Así, cada partícula coloidal individual tiene una carga positiva y la dispersión coloidal está formada por partículas coloidales cargadas y algunos iones de hidróxido libres que mantienen la dispersión eléctricamente neutra. La mayoría de los coloides de hidróxido metálico tienen cargas positivas, mientras que la mayoría de los metales y sulfuros metálicos forman dispersiones con carga negativa. Todas las partículas coloidales de cualquier sistema tienen cargas del mismo signo. Esto ayuda a mantenerlas dispersas porque las partículas que contienen cargas similares se repelen entre sí.

b. Estabilidad e inestabilidad de los coloides

Matusiak y Grzadka (2017) describen la estabilidad de los sistemas coloidales como la energía de interacción de las partículas en la solución. Las interacciones entre las partículas se pueden dividir en fuerzas de atracción de Van Der Waals y fuerzas eléctricas repulsivas de doble capa. Si la suma de las fuerzas de repulsión es mayor que la de las fuerzas de atracción, el sistema descrito puede considerarse estable. En otras palabras, cuando las fuerzas de atracción son más fuertes que las fuerzas repulsivas, las partículas se adhieren entre sí y como resultado se produce la floculación. La adición de diferentes sustancias, así como otros factores como la concentración, la fuerza iónica o el pH, pueden cambiar la energía potencial total de las interacciones (Lee, 2019). En el caso de la adición de

macromoléculas la estabilidad de la suspensión coloidal depende del mecanismo de estabilización (Singh, 2020).

Los diferentes mecanismos de estabilización pueden dividirse de la siguiente manera: estabilización estérica, estabilización electrostérica y estabilización por agotamiento. Los mecanismos de estabilización estérica y electrostérica se aplican cuando el polímero se une a la superficie de la partícula. En el caso de la estabilización estérica, el polímero adsorbido no posee carga electrostática. La estabilización electrostérica se refiere al sistema en el que el polímero tiene una naturaleza iónica. El último mecanismo que es la estabilización por agotamiento se aplica a la situación en la que el polímero no se adsorbe sobre las partículas sólidas (Matusiak y Grzadka 2017).

c. Remoción de las partículas coloidales

La remoción de las partículas coloidales está relacionada estrictamente con una adecuada coagulación, pues de ella depende la eficiencia de las siguientes etapas: floculación, sedimentación y filtración (Canepa, 2004).

López (2018) indica que la labor de los coagulantes en la remoción de los coloides se basa en dos procesos: la coagulación y la floculación. La primera inicia en el instante en que se agrega el coagulante y consiste en la desestabilización de los coloides mediante la remoción de las fuerzas que los mantenían separados; la segunda consiste en el transporte de las partículas coloidales en el líquido para que hagan contacto y permitan su crecimiento, dando origen a un “flóculo” suficientemente grande y pesado para que pueda sedimentar con facilidad.

1.2.4. Coagulación y floculación

Son dos procesos fisicoquímicos utilizados para eliminar las partículas coloidales. Este evento sucede al adicionar un agente coagulante, el cual reduce las cargas electrostáticas de las partículas coloidales, al tiempo que origina una compresión de la capa difusa que rodea los coloides, lo cual les permite la formación de flóculos a través de un mecanismo de

puentes entre partículas, produciendo una malla porosa en función de su radio efectivo, facilitando así la formación de macro flóculos (Bravo, 2017).

a. Coagulación

La coagulación es un proceso en donde partículas pequeñas se adhieren formando agregados más grandes conocidos como flóculos (Gandiwa et al., 2020). El agente coagulante cumple un rol importante, ya que es el que hace contacto con los coloides suspendidos, mediante enlaces de hidrógeno, interacciones electrostáticas y fuerzas intermoleculares atractivas (fuerza de Van Der Waals), ello conlleva a la desestabilización de las partículas coloidales, generando la adsorción de los coloides en suspensión, reordenándose para formar macro flóculos fáciles de gestionar su retiro (Bravo, 2017; Gandiwa *et al.*, 2020).

Mecanismos de coagulación

Sobre la conceptualización de coagulación, Andía (2000) menciona que “es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de coagulantes (químicos o naturales) y la aplicación de la energía de mezclado” (p.9). El propósito fundamental de la coagulación consiste en desestabilizar los cuerpos coloidales que se encuentran en suspensión, para posteriormente favorecer su aglomeración, de esta manera elimina materias estables orgánicas, así como microorganismos (Andía, 2000).

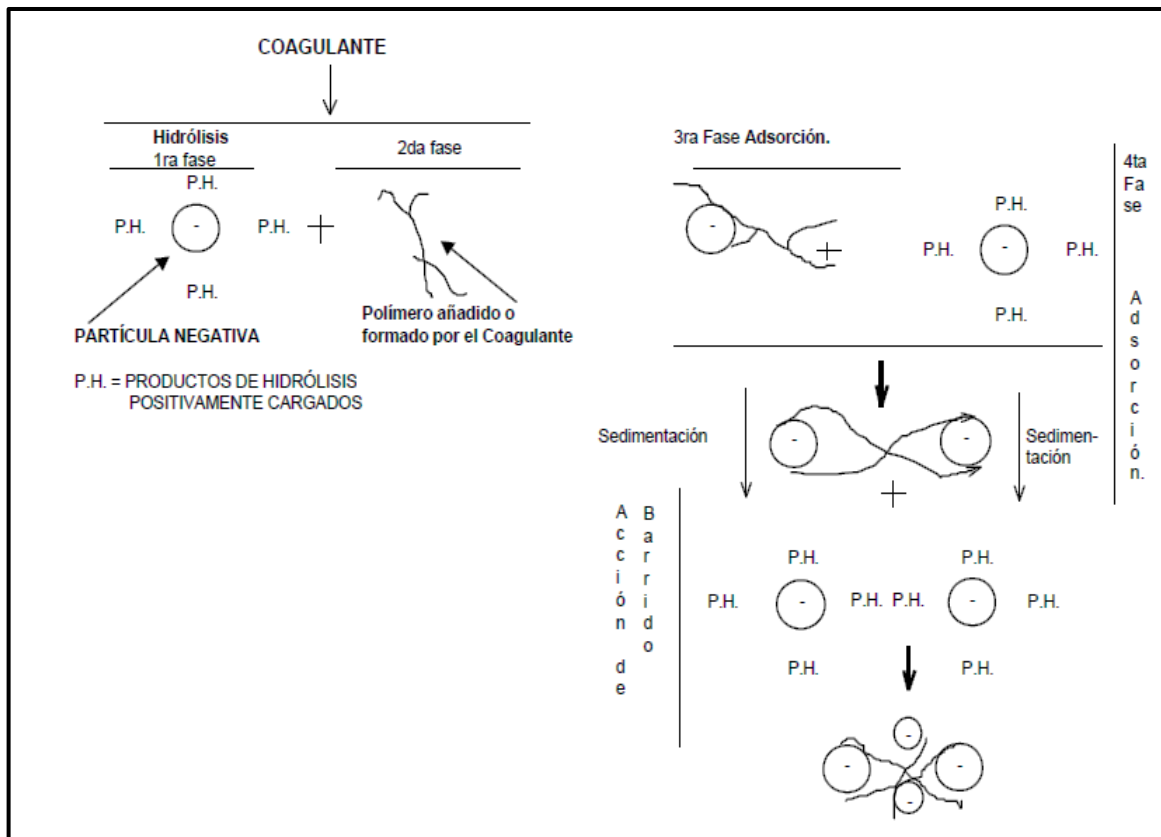
Etapas de coagulación

El proceso de coagulación se lleva a cabo en un tiempo muy corto, siguiendo una secuencia de etapas (Figura 1), presentadas a continuación:

- Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas en suspensión
- Formación de compuestos químicos poliméricos
- Adsorción de cadenas poliméricas por los coloides
- Adsorción mutua de coloides y acción de barrido.

Figura 1

Fases de la coagulación



Nota. En el diagrama se detalla de manera gráfica las cuatro fases de la coagulación, en donde las partículas que se encuentran en el fluido son atrapadas por el polímero coagulante, formando cadenas poliméricas. Las cuales terminan sedimentándose. Figura tomada de “Tratamiento de agua. Coagulación y floculación” (p.26), por Andía, Y., 2000. http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_fileuuid=2792

b. Floculación

La floculación consiste en la aglomeración de las partículas que se desestabilizaron durante la coagulación, mediante la agitación moderada del agua para formar partículas de mayor tamaño y peso específico superior al agua, denominados flóculos, a fin de que puedan sedimentar con facilidad (López, 2018). La floculación se favorece durante la mezcla lenta, lo que permite que los flóculos se junten, ya que una mezcla intensa podría romperlos (López, 2018).

Mecanismos de floculación

La floculación tiene lugar después de producirse la coagulación, para ello es necesario la agitación de la solución para permitir la formación mediante aglomeración de los flóculos, con el propósito de incrementar el tamaño de las partículas, aumentando su peso para que puedan sedimentarse (Gonzales y Rivera, 2021). El floculante funciona como un puente entre los coloides en suspensión para formar flóculos más grandes fácilmente sedimentables (Gandiwa *et al.*, 2020).

1.2.5. Tipos de coagulantes

Coagulantes naturales

Coagulante natural se refiere a polímeros naturales, solubles en agua, orgánicos, iónicos (catiónicos, aniónicos o poliiónicos) y no iónicos de diversos pesos moleculares, extraídos de diversos órganos vegetales (Saleem y Bachmann, 2018). Los coagulantes naturales pueden provenir del origen vegetal y animal.

Los coagulantes naturales son biodegradables y no generan daños al ambiente, representando una forma renovable, degradable, no peligroso y amigable con el ambiente, los cuales están recibiendo mayor atención para reemplazar los coagulantes convencionales (Saleem y Bachmann, 2018). Asimismo, los coagulantes naturales son una forma segura para la salud de las personas (Muthuraman y Sasikala, 2014).

Los coagulantes naturales actúan sobre sistemas de partículas coloidales neutralizando las cargas y formando puentes entre estas partículas, y este proceso es responsable para la formación de flóculos (Formentini *et al.*, 2018). Dichos coagulantes naturales son principalmente polisacáridos o proteínas, cuya funcionalidad es similar a la de los coagulantes químicos, sin embargo, tienen la ventaja de ser biodegradables y no presentan toxicidad, además de formar lodos en cantidades reducidas si se compara con los coagulantes químicos, y con menor contenido de metales (Vigneshwaran *et al.*, 2020). Lima *et al.* (2020) indican que los lodos generados por los coagulantes naturales son fácilmente biodegradables

y menos voluminosos, alcanzando sólo entre el 20 y el 30 % de los generados por los coagulantes metálicos, como las sales de aluminio.

La posibilidad de utilizar coagulantes de origen vegetal en el tratamiento de las aguas residuales o efluentes es bastante útil para alcanzar los objetivos medioambientales, de saneamiento y de desarrollo sostenible, ya que estos se consideran generalmente seguros para la salud humana, baratos y disponibles localmente, por lo que son asequibles a nivel mundial. La Tabla 2 presentan los coagulantes naturales más conocidos por su eficiencia.

Tabla 2

Coagulantes naturales, sus agentes activos y mecanismos

Tipo de coagulante	Fuente	Forma de actuar	Agente activo	Principales mecanismos
<i>Moringa oleifera</i>	Vegetal	Biocoagulante	Polímeros orgánicos y péptidos catiónicos	Adsorción y neutralización de carga de absorción
<i>Opuntia ficus-indica</i>	Vegetal	Biocoagulante y floculante	Carbohidratos	Biocoagulante y floculante, biosorción, ayuda a la eliminación de la turbidez
<i>Abelmoschus esculentus</i>	Vegetal	Biocoagulante y floculante	Polímero aniónico	Coagulación y neutralización Auxiliar de floculación y filtración, así como el barrido, adsorción y neutralización
Taninos	Animal	Coagulante y floculante	Poliectrolito catiónico	Cobertura de neutralización de carga, adsorción y precipitación electrostática
Quitosano	Animal	Quitosano	Polímero pseudocatiónico	Bioadhesivo, biocompatible y biodegradable

Nota. Elaboración propia a partir de “Potential of the *Moringa oleifera* saline extract for the treatment of dairy wastewater: application of the response surface methodology”, (p. 8), por Formentini *et al.*, 2018, Environ. Technol., 40(17) y “Os diferentes tipos de coagulantes naturais para o tratamento de agua: uma revisão”, (p. 13), por Lima *et al.*, 2020, Evidencia Biociencia, Saude e Inovacao, 20(1).

Coagulantes químicos

Los coagulantes químicos son productos obtenidos mediante procesos industriales; a nivel comercial existen diversos productos químicos empleados en el tratamiento de aguas para el

consumo humano, así como en aguas residuales. Entre los principales coagulantes comerciales empleados a nivel mundial se encuentran los sulfatos (de aluminio, férrico y ferroso), cloruro férrico, carbonato de calcio y polielectrolíticos orgánicos sintéticos como la acrilamida. Los más utilizados son las sales de aluminio y fierro (Meza *et al.*, 2018; Ramírez y Jaramillo, 2016). Los coagulantes químicos son fabricados en los países desarrollados, por lo tanto, el costo de adquisición para los países en vías de desarrollo es alto (Valeriano y Matos, 2013). En la Tabla 3 se presentan las ventajas y desventajas de los coagulantes químicos.

Tabla 3

Ventajas y desventajas de los coagulantes inorgánicos sintéticos

Nombre	Ventajas	Desventajas
Sulfato de aluminio (alumbre) $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	Fácil para manipular y aplicar, es usado mayormente, es efectivo a pH entre 6,5 a 7,5	Añade sales disueltas al agua. efectividad limitada a rango de pH, provoca enfermedades en el humano
Aluminato de sodio $Na_2Al_2O_4$	Efectivo en aguas duras; usualmente se necesita una pequeña dosis	A menudo se utiliza con alumbre; Alto costo; ineficaz en aguas blandas
Sulfato férrico $Fe_2(SO_4)_3$	Efectivo a pH entre 4 a 6 y 8,8 a 9,2	Añade sólidos disueltos (sales) al agua, por lo general se debe agregar alcalinizantes
Cloruro de poli aluminio $Al_{13}(OH)_{20}(SO)_4Cl_{15}$	En algunas aplicaciones, <i>Floc</i> , formado es más denso y rápido de sedimentación que el alumbre.	No es muy utilizado, existen pocos datos a escala completa en comparación con otros derivados de aluminio.

Nota. Elaboración propia a partir de “Applications of natural coagulants to treat wastewater – a review”, (p. 3), por Kumar *et al.* (2017), MATEC Web of conferences, 103(1). <http://dx.doi.org/10.1051/matecconf/201710306016>

1.2.6. *Moringa oleifera* “Moringa”

La planta de moringa pertenece a la familia Moringaceae, esta posee un único género, *Moringa*, con un aproximado de 33 especies, de las cuales 13 de ellas están documentadas (Singh *et al.*, 2013). En la Tabla 4 se muestra la clasificación taxonómica de la especie *M. oleifera*.

Tabla 4

Clasificación taxonómica de la especie M. oleifera

Clase	Nombre científico
Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
Super División	Spermatophyta
División	Magnoliophyta
Clase	Eudicots
Subclase	Rosids
Orden	Brassicales
Familia	Moringaceae
Género	<i>Moringa</i>
Especie	<i>Moringa oleifera</i> Lam.

Nota. Adaptado de “Bioprospecting of Moringa (Moringaceae): Microbiological Perspective”, (p. 194), por Singh *et al.*, 2013, Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 1(6). <https://www.phytojournal.com/archives/2013.v1.i6.86/bioprospecting-of-moringa-moringaceae-microbiological-perspective>

El árbol de moringa proviene de la India, Arabia y posiblemente de África. Las especies de *Moringa* se cultivan en las regiones tropicales y subtropicales del mundo (Vigneshwaran *et al.*, 2020). Requiere de una precipitación anual entre 250 y 2000 mm dependiendo de las condiciones del suelo; es de rápido crecimiento, puede crecer hasta una altura de 4 metros y dar frutos desde el primer año (Díaz y Margarita, 2019).

a. Beneficios de la moringa

Es un árbol multipropósito de gran importancia económica y social, ya que tiene aplicaciones nutricionales, industriales y medicinales (Lakshmidamma *et al.*, 2021). Casi todas las partes del árbol (semillas, raíces, hojas, flores y corteza) son útiles con variados usos finales. Es una planta interesante por sus compuestos bioactivos. A continuación, se muestra en la Tabla 5 un resumen de algunos posibles usos y aplicaciones de cada parte del árbol de moringa.

Tabla 5

Usos y aplicaciones del árbol de moringa

Parte	Usos y aplicaciones
	- Ayudan en el tratamiento del hipertiroidismo
Semillas	- Las semillas pueden emplearse como coagulante natural para purificar el agua debido a que pueden precipitar partículas orgánicas y minerales de una solución
	- El aceite de las semillas se puede usar como fertilizante
Hojas	- Son ricas en minerales como calcio, potasio, zinc, magnesio, hierro y cobre
Raíces	- Contiene propiedades antiinflamatorias
Flores	- Posee propiedades para reducir la hipocolesterolemia

Nota: Elaborado a partir de “*Moringa oleifera*: A review on nutritive importance and its medicinal application”, (p. 52), por Gopalakrishnan *et al.*, 2016, Food Science and Human Wellness, 5(2); “Health benefits of bases and applications of *Moringa oleifera* in bakery products”, (p. 322), por Milla *et al.*, 2021, Plants, 10(2)

Semilla de moringa en el tratamiento de agua

Una planta de moringa puede producir entre 15 000 a 25 000 semillas por año y cada una con un peso promedio de 0,3 gramos (Díaz y Margarita, 2019). En la Figura 2 se muestran las semillas de moringa empleadas en la investigación.

Figura 2

Semilla de Moringa oleifera



Nota: La figura representa a las semillas de moringa usadas en la presente investigación.

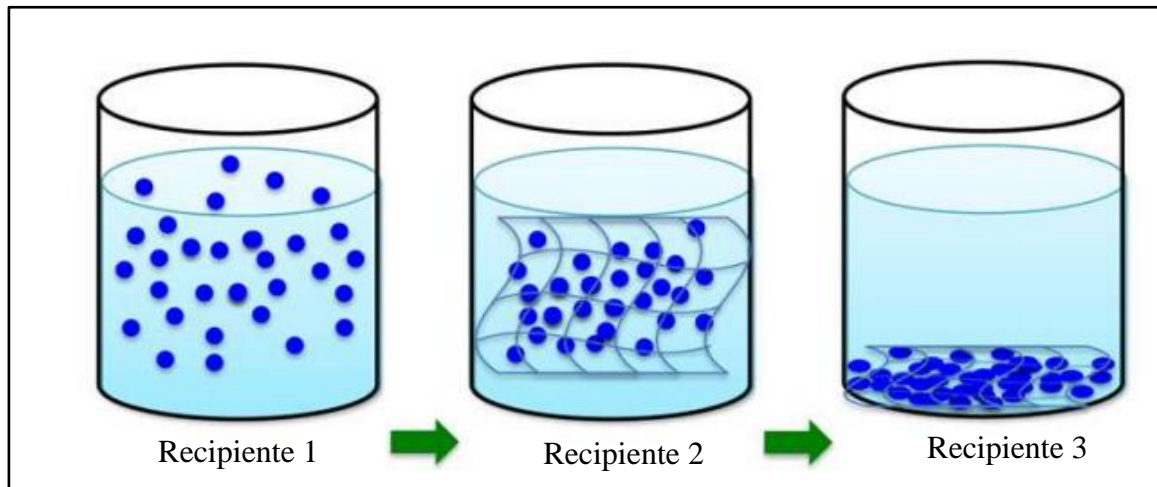
Las semillas de moringa actúan como un agente clarificador de agua, ya que producen un polímero orgánico soluble en agua, también conocido como polielectrolito catiónico natural (carga positiva neta) (Singh *et al.*, 2013).

Singh *et al.* (2013) indica que las semillas de la moringa son una fuente de proteínas soluble en agua de bajo peso molecular que actúa como un coagulante responsable de unirse con partículas predominantemente cargadas negativamente que enturbian el agua sin tratar. Además, las semillas contienen un principio antibiótico conocido como pterigospermina que es responsable de la destrucción de los microorganismos en el agua.

Las proteínas han sido designadas como proteínas hemaglutinantes, llamadas lectinas. Estos productos se obtienen mediante la extracción acuosa de semillas molidas desgrasadas o integrales (Saleem y Bachmann, 2018). Las proteínas producen cargas positivas, las cuales actúan como imanes, atrayendo partículas coloidales cargadas, en su mayoría, negativamente (arcillas, bacterias y otras sustancias tóxicas) (Tumbaco y Acebo, 2017). El coagulante de moringa se une con los coloides aniónicos, logrando colisionar y neutralizar las partículas, generando la formación de flóculos capturados por una red del coagulante. Este fenómeno se aprecia en la Figura 3 reportada por Tumbaco y Acebo (2017).

Figura 3

Mecanismo de coagulación/floculación de la proteína de M. oleifera



Nota: En el primer recipiente se observa la dispersión de los sólidos en el fluido, mientras que en el segundo recipiente se observa la actuación del coagulante en forma de una red, la cual captura los sólidos que se encuentran en el fluido. Por último, se observa en el tercer recipiente que una vez capturados los sólidos son colisionados y sedimentados al fondo del depósito. Figura tomada de “Eficiencia de biocoagulante a base de semilla de *M. oleifera* para aplicación de tratamiento de agua usando como captación el río Guayas”, (p. 26), por Tumbaco y Acebo, 2017. Universidad de Guayaquil.

Gandiwa *et al.* (2020) indican que las semillas de *Moringa oleifera* contienen proteínas que producen una carga positiva cuando se introducen en el agua, lo que provoca la atracción electrostática con las partículas cargadas negativamente en el agua. Además, estudios revelaron que la moringa no es tóxica, es menos costosa en comparación con los coagulantes químicos, es biodegradable y, por lo tanto, ecológica, generando menos volúmenes de lodos (Gandiwa *et al.*, 2020).

Díaz y Margarita, (2019) reportan las proteínas más importantes con actividad coagulante en las semillas de moringa:

Moringa oleifera 2,1

Es una proteína de aproximadamente 6,5 kDA de peso molecular con 60 aminoácidos en su estructura. Posee un 14,7 por ciento de aminoácidos cargados positivamente (7 argininas y

1 histidina) y solo un aminoácido cargado negativamente (ácido aspártico) que representa el 1,6 por ciento.

Lectinas

Las lectinas constituyen un grupo de proteínas heterogéneas, entre las proteínas coagulantes se encuentran las lectinas cMol y WSMol. La proteína cMol (coagulant *Moringa oleifera lectin*) pertenece a un grupo de lectinas provenientes de las semillas de *Moringa* esta proteína posee una actividad coagulante similar al sulfato de aluminio.

Cecropin A

Es un pequeño péptido antimicrobiano de 4 kDa de peso molecular cuya actividad coagulante es muy parecida al sulfato de aluminio.

Moringa oleifera 3,1 y 4,1

Existen estudios que identifican fracciones de proteínas con actividad floculante, por ejemplo, secuencias cortas de aminoácidos de 2 proteínas, MO 3,1 y MO 4,1 que guardan homologías con la proteína MO 2,1.

Polielectrolito orgánico

Al purificar el componente activo del coagulante natural de las semillas de *Moringa* extraídos con NaCl no es una proteína, polisacárido o lípido sino un polielectrolito orgánico de 3 kDa de peso molecular capaz de tratar las aguas de baja turbiedad y no aumentar la concentración de carbono orgánico residual posterior al proceso de coagulación.

Proteína 66 kDa

La proteína de 66 kDa solo posee actividad coagulante y no antimicrobiana como otros péptidos catiónicos que lo poseen.

1.2.7. *Opuntia ficus-indica* “Tuna”

La tuna es una planta nativa del continente americano, pertenece a la familia de las Cactáceas. Son plantas suculentas que se desarrollan en zonas áridas y subáridas, resisten las sequías, suelos pobres y erosionados (López, 2018). En la Figura 4 se muestra la planta de tuna.

Figura 4

Planta de Opuntia ficus-indica “tuna”

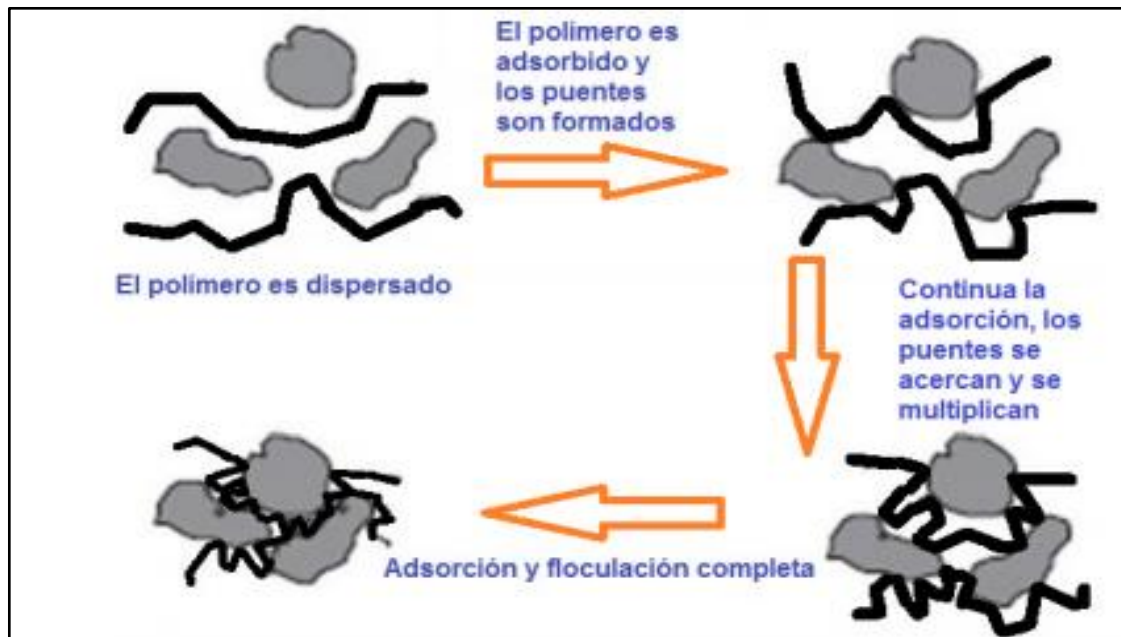


Nota. En la figura se muestra la planta de *Opuntia ficus-indica*

La tuna está formada por una sustancia llamada mucílago, el cual es consistente, gelatinosa y altamente ramificada (Castillo y Silva, 2018), siendo las moléculas de los polímeros de cadenas largas y flexibles, pudiendo adsorber diferentes sólidos en suspensión más eficientemente; esto ha sido comprobado al observar la forma ramificada de los flóculos (López 2018). De acuerdo con Martínez (2017) sostiene que la interacción de los polímeros solubles contenidos en el nopal entre las sustancias coloidales se da principalmente por puenteo (Figura 5).

Figura 5

Mecanismo de interacción entre polímeros naturales y coloides



Nota. Figura tomada de "Método alternativo para tratar lixiviados maduros mediante el proceso de coagulación-floculación con mucílago de *Opuntia ficus-indica*", (p. 32), por Martínez, 2017, Universidad Autónoma de México. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/63744>

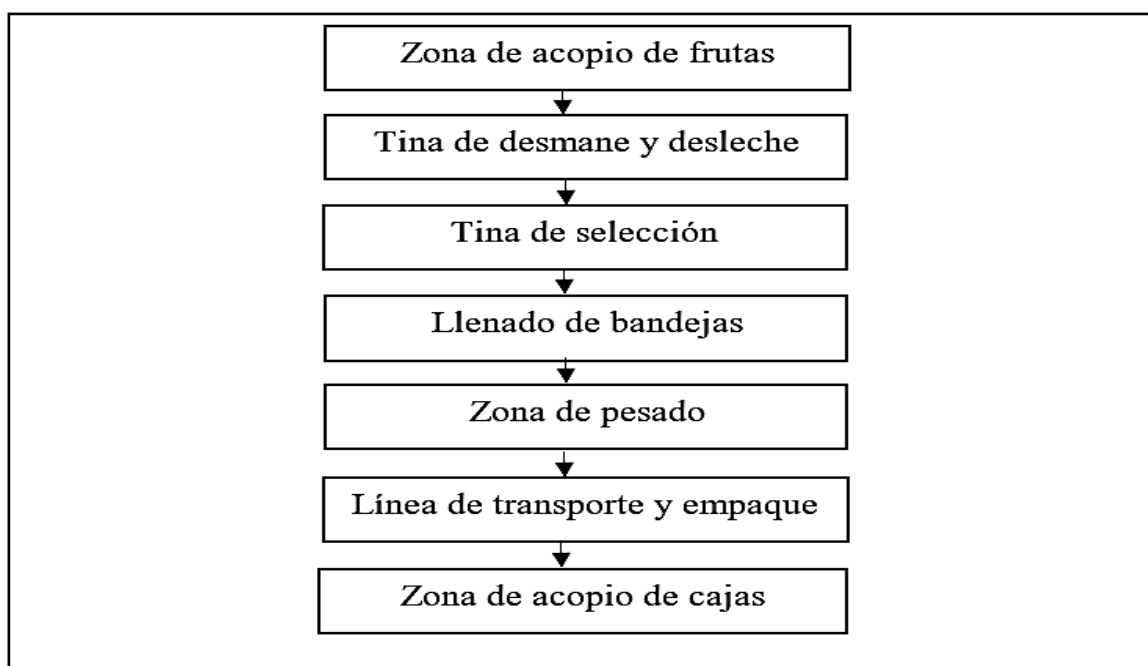
Los cactus contienen en su mucílago ácido galacturónico, el cual es un agente de coagulación; asimismo, a la tuna se le atribuye como la más eficiente en la eliminación de turbidez en este grupo; esto debido a que contiene composiciones altas de arabinosa, galactosa y ramnosa los cuales tienen efectos sinérgicos con el ácido galacturónico para promover la coagulación (Choy *et al.*, 2014).

1.2.8. Proceso de empaque de banano orgánico

Según Gallo (2018) el empaque de banano orgánico para exportación es un proceso conformado por operaciones sencillas, pero claves para asegurar la inocuidad y calidad de la fruta. De acuerdo con Vegas (2012) la zona de empaque de un pequeño productor de banano orgánico está conformada por las siguientes áreas (Figura 6):

Figura 6

Distribución del área de empaque de banana orgánico tradicional de un pequeño productor



Nota. Elaboración propia, adaptado de Vegas (2012) “Asistencia técnica dirigida en cosecha y post cosecha de banana orgánico. AGROBANCO”

Zona de acopio de fruta: es el lugar donde son ubicadas las racimas de banana cosechadas provenientes del campo, estas son colgadas en vigas. En esta área se encuentra el desmanador, quien corta los gajos de la racima y los coloca a la tina de desmane y desleche (Centro de Investigación y Promoción del Campesinado [CIPCA], 2014).

Tina de desmane y desleche: es el área donde los gajos de banana expulsan el látex de las heridas realizadas a la corona. Aquí se lleva el lavado de la fruta y la dispersión del látex y otras partículas provenientes del campo. Al cuerpo de agua los trabajadores adicionan un kg de alumbre por cada 50 cajas empacadas, esta dosificación se hace sin conocer el volumen del agua contenida en la tina, incluso la turbiedad del agua (Vegas, 2012).

El pH debe encontrarse por debajo de siete para la óptima disponibilidad y acción del hipoclorito de sodio que se utiliza como desinfectante del agua de lavado de la fruta. Para esto los productores adicionan jugo de limón para disminuir la alcalinidad y alcanzar el pH neutro.

Tina de selección: aquí se colocan los “*clústers*” para ser seleccionados y colocados en las bandejas de acuerdo con el tamaño de la fruta. En esta tina también se coloca alumbre, el cual funciona como cicatrizante (Vegas, 2012).

Llenado de bandejas: los dedos de banano se retiran de la tina y se colocan en una bandeja de manera ordenada, según el tamaño y forma. Cada bandeja contiene 12 *clústers*.

Zona de pesado: se coloca la bandeja de plástico sobre la balanza electrónica y se pesan los *clústers* de banano; el peso tarado debe ser de 18,14 kg.

Línea de transporte y empaque: en este momento se fumiga las coronas de los *clústeres* de banano con una solución de alumbre y un producto comercial antifúngico para cicatrizar heridas y evitar pudrición del órgano vegetal. Luego se colocan *stikers*, se precede a forrar las coronas con un adhesivo plástico biodegradable, para posteriormente empacarlos en cajas de cartón. No existe un protocolo estándar en el manejo de la fruta, ya que depende de las políticas de trabajo de cada cooperativa agraria o empresa, es por ello por lo que no existe una sola metodología (Vegas, 2012).

Zona de acopio de cajas: previa verificación del buen llenado de las cajas, estas son colocadas encima de parihuelas para posteriormente transportarlos al área de paletizado y embarque (CIPCA, 2014).

1.2.9. Coagulantes utilizados en el proceso de empaque de banano orgánico

De acuerdo con Ramírez *et al.* (2011) menciona que:

El sistema de proceso y empaque de banano utilizado para la exportación en la actualidad incluye el uso de depósitos con agua circulante para mantener los racimos durante periodos determinados, y favorecer el flujo y la dispersión de látex proveniente principalmente de las heridas provocadas al momento de la confección de estos. Al medio se le adicionan diferentes compuestos para mejorar la dispersión y evitar la formación de complejos de látex con la materia orgánica, que puede afectar la fruta o dificultar la eliminación del material. (p. 2)

Los pequeños productores de banano orgánico del departamento de Piura emplean en mayor proporción el sulfato de aluminio (alumbre) como coagulante para dispersar el látex secretado por las heridas de la corona provocadas al momento de acondicionar las presentaciones. Aunque según Decreto Supremo N°044-2006-AG que aprueba el Reglamento Técnico para los Productos Orgánicos, este producto es de uso restringido para emplearlo en la agricultura orgánica (D.S. N°044-2006-AG), siendo observado por las certificaciones de tercera parte como: ORGANIC, UE, BIOLATINA y JASS.

1.2.10. Prueba de Jarras

La prueba de jarras es un método de laboratorio, empleado para simular los procesos de coagulación y floculación que logran la eliminación de coloides, con distintos coagulantes naturales o químicos en el tratamiento de aguas tanto residuales como provenientes de actividades industriales. Esta técnica permite realizar ajustes en el pH, las variaciones en la dosis del coagulante o polímero en estudio, alternando velocidades de mezclado, a pequeña escala con el fin de predecir el funcionamiento de una operación a gran escala de tratamiento (Henaó *et al.*, 2015).

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Diseño de la investigación

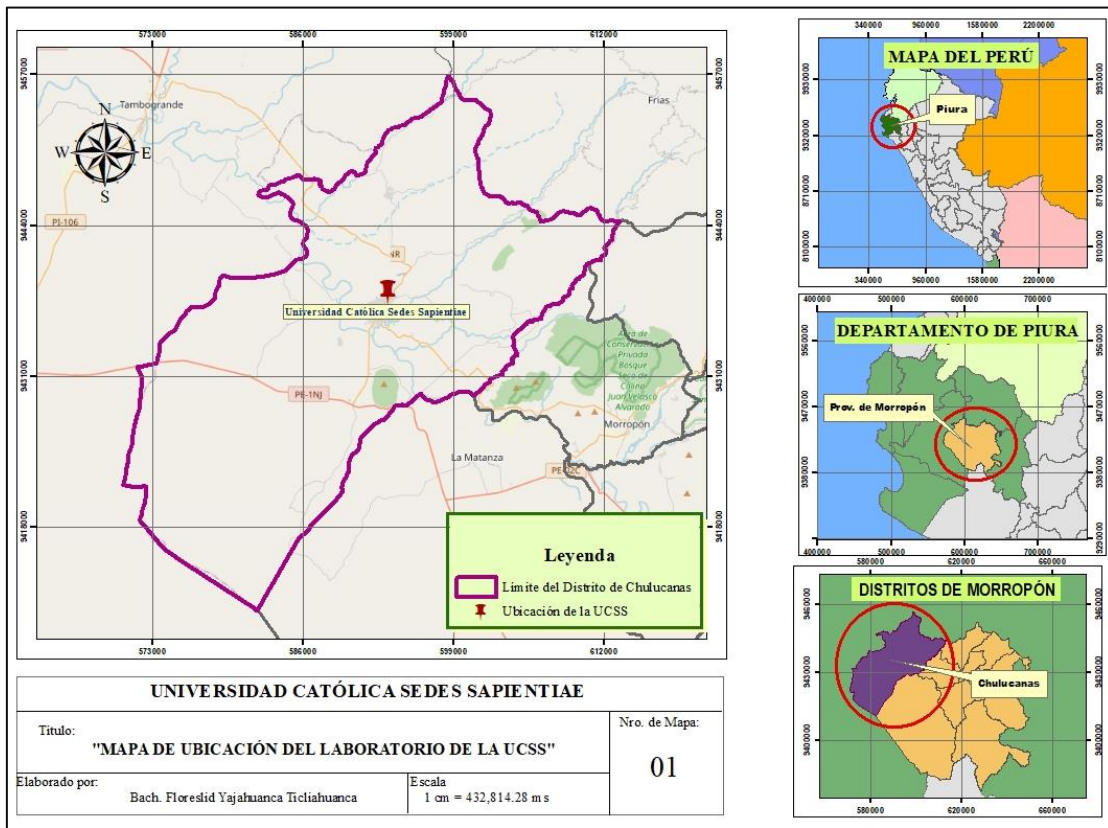
De acuerdo con la naturaleza del estudio y al tipo de intervención realizada, el diseño de la investigación fue de tipo experimental, ya que se manipuló de manera intencional las variables independientes (proporciones de coagulante de moringa y tuna) para evaluar los efectos que lograron sobre la variable dependiente (turbidez del agua de lavado de banano orgánico). Asimismo, el estudio tuvo un enfoque cuantitativo, debido a que siguió un proceso secuencial y probatorio basado en la recolección de valores cuantificables y su posterior análisis estadístico, para establecer el comportamiento de las variables de estudio (Hernández *et al.*, 2010). Por otro lado, presentó un alcance explicativo debido a que se pretendió determinar los efectos de las variables independientes en las variables respuestas.

2.2. Lugar y fecha de ejecución

El estudio experimental se llevó a cabo en el Laboratorio de Ciencias Básicas de la Universidad Católica Sedes Sapientiae (Filial Morropón, Chulucanas) ubicado en el jirón Lima del distrito de Chulucanas, provincia de Morropón (Figura 7). El experimento se realizó en los meses de julio a agosto del 2021.

Figura 7

Localización del laboratorio de la Universidad Católica Sedes Sapientiae



2.3. Descripción del experimento

2.3.1. Extracción de los coagulantes

La semilla de moringa y tallo de tuna (ver Apéndice 1 y 2) fueron recolectados del fundo “La Tila” ubicado en el sector Huápalas, distrito de Chulucanas, provincia de Morropón. Luego se llevaron a cabo distintas operaciones unitarias para cada materia vegetal con el fin de obtener los coagulantes. Dicha metodología comprendió las siguientes etapas:

a) Extracción del coagulante natural de moringa

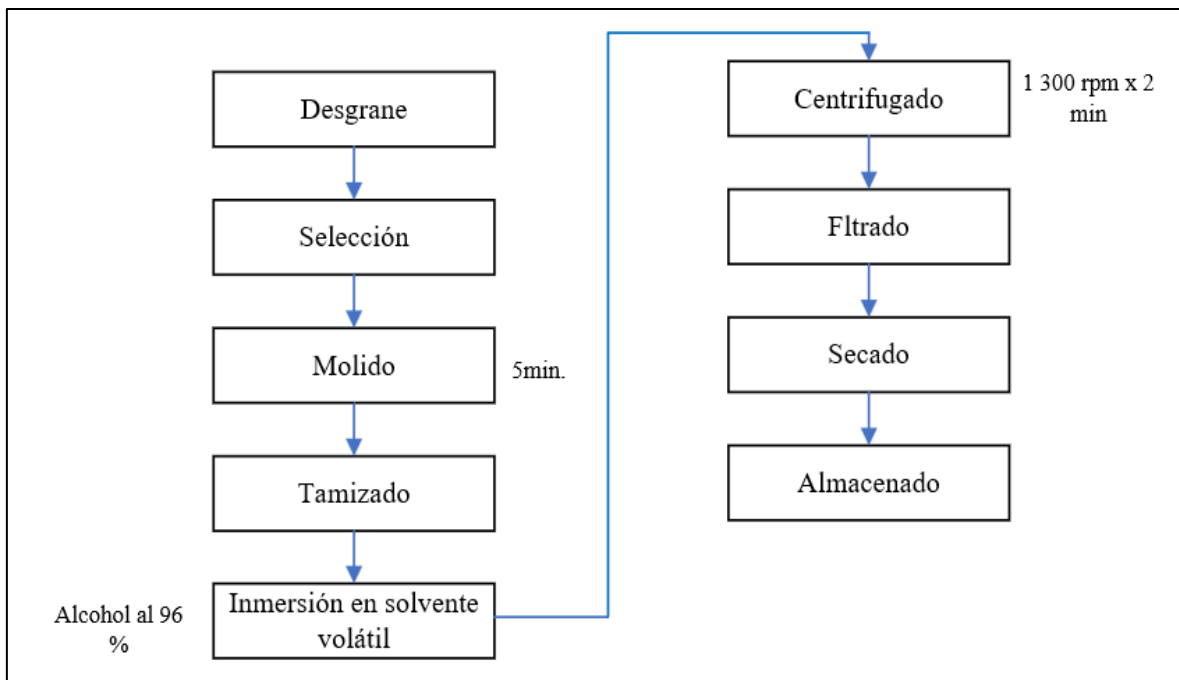
Para la extracción y elaboración del coagulante de moringa se evaluaron las operaciones reportadas por Aldana (2012), Sáenz (2015), Tumbaco y Acebo (2017). Dichos autores proponen la extracción del aceite de la semilla de moringa antes de ser utilizada como coagulante. Considerando que el agua de lavado de banano era altamente turbia debido a las

partículas orgánicas provenientes del campo y del látex de la corona de las racimas del banano, se realizó la extracción del aceite a las semillas de moringa, empleado etanol.

Las semillas de moringa fueron separadas de la vaina, luego se seleccionaron los mejores granos (ver Apéndice 12), para posteriormente proceder a molerlas con la ayuda de una licuadora durante cinco minutos. Enseguida, se procedió a extraer el aceite de las semillas mediante el uso de alcohol al 96 %, cabe indicar que existen otros métodos para la extracción de aceite, pero este fue el más factible para nuestra investigación. Se agregó 400 g de alcohol para 100 g de polvo de moringa, luego se agitó con la ayuda de un separador magnético a 1 300 rpm x 2 min, para finalmente filtrarlo con ayuda de papel filtro (ver Apéndice 4 y 5). La torta obtenida se secó a temperatura ambiente. Con esta operación unitaria se eliminaron aceites y grasas del material micro granulado, en seguida se almacenaron en un frasco impermeable. En la Figura 8 se indica la secuencia de las operaciones ejecutadas para la obtención del coagulante de moringa.

Figura 8

Flujograma de obtención del coagulante a partir de semillas de moringa

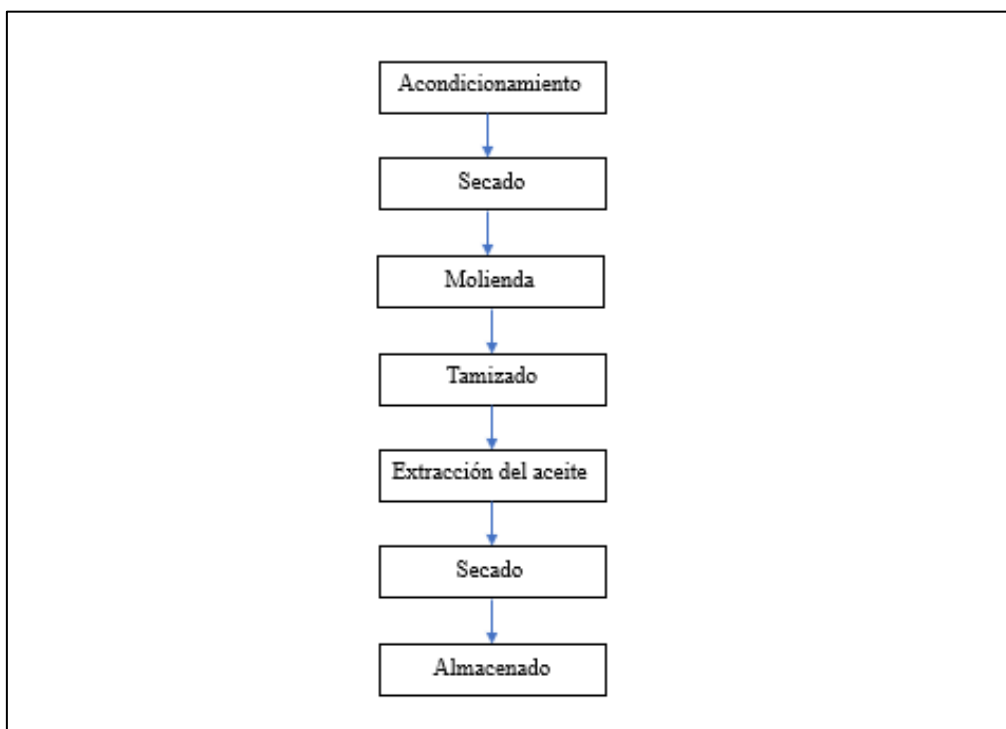


b) Extracción del coagulante a partir de tuna

Para la extracción y elaboración del coagulante de tuna se siguieron las operaciones unitarias reportadas por López (2018) y Urquía (2017), las que se ilustran en la Figura 9.

Figura 9

Flujograma de obtención de coagulación a partir de penca de tuna



Acondicionamiento: se lavaron los tallos de la tuna, luego se eliminaron las espinas y cáscara; seguidamente se cortó en forma de cubos (ver Apéndice 3).

Secado: la pulpa de los cladodios se secó a 60 °C x 3 horas por convección (ver Apéndice 11), empleando una estufa de laboratorio (López, 2018).

Molienda y tamizado: la pulpa disecada se molió hasta obtener un material granulado, el cual se tamizó para obtener una harina homogénea con partículas finas (López, 2018).

Extracción del aceite: la harina obtenida se sometió a un proceso de extracción mediante el método químico empleando como solvente etanol al 96 %. Se agregó 400 g de alcohol para 100 g de polvo de tuna, luego se agitó con la ayuda de un separador magnético a 1 300 rpm

x 2 min, para posteriormente filtrarlo con ayuda de papel filtro. La torta obtenida se secó a temperatura ambiente. Con esta operación unitaria se eliminaron aceites y grasas del material micro granulado (Urquía, 2017).

Almacenamiento: la harina se secó a temperatura ambiente y se almacenó en un desecador con sílica gel hasta su posterior uso en la siguiente etapa de investigación (Urquía, 2017).

2.3.2. Evaluación de las características físicas de los coagulantes

Se contempló tres parámetros físicos (rendimiento humedad y cenizas), los cuales nos sirvieron para evaluar la viabilidad en la obtención de coagulante a partir de órganos vegetales. El rendimiento nos permitió conocer la cantidad de materia prima a utilizar para la obtención de cada coagulante; la humedad nos permitió conocer la cantidad de agua presente en cada órgano vegetal estudiado; por último, se determinó las cenizas ya que este parámetro puede influir en el proceso de coagulación y eficacia del tratamiento.

Rendimiento

Para el cálculo del rendimiento del coagulante, se procedió a pesar la cantidad de semillas o de tallo (Pi) antes de iniciar el proceso de extracción del coagulante, luego se pesó el producto obtenido al final del proceso de cada coagulante (Pf). Los valores se expresaron en porcentaje. Se empleó la siguiente fórmula establecida por la Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM], (2008).

$$\% R = \frac{P_i (g)}{P_f (g)} \times 100$$

Donde:

% R: rendimiento (%)

Pi: peso inicial (g)

Pf: peso final (g)

Humedad

Para conocer el contenido de agua libre de los coagulantes obtenidos de las semillas de moringa y tallo de tuna, se procedió a analizar el contenido de humedad expresado en valor porcentual, empleando el procedimiento reportado por la UNAM (2008).

Se procedió a pesar 3 g de muestra de cada coagulante, por separado, en placas Petri con tapa previamente disecadas (130 °C x 2 hrs) y taradas; a continuación, las muestras fueron llevadas a una estufa convencional a 105 °C x 2 hrs. Como siguiente paso se procedió a retirar de la estufa y colocarlas en un desecador con sílica de gel, hasta su enfriamiento, para luego proceder a pesarlas en una balanza analítica. Se aplicó la fórmula reportada por la UNAM (2008).

$$\text{Humedad} = \frac{\text{Pérdida de peso}}{\text{peso de la muestra}} \times 100$$

Cenizas

Para el análisis de cenizas se empleó el método de cenizas totales por calcinación reportado por la UNAM (2008), con algunas modificaciones.

Se procedió a pesar 3 g de muestra de cada coagulante en crisoles previamente deshumedecidos y tarados en la estufa. Después se calcinó la muestra con la ayuda de un mechero hasta que no se desprendieron humos. Consecutivamente se colocó en la mufla a 550 °C x 2 hrs. Posterior a ello se retiró y se colocó dentro de un desecador para su enfriamiento, luego se procedió a pesar y realizar los cálculos matemáticos. Los valores se expresaron en porcentaje.

$$\text{Ceniza} = \frac{\text{Peso de la ceniza}}{\text{peso de la muestra}} \times 100$$

2.3.3. Determinación de los efectos de los coagulantes, en los parámetros fisicoquímicos del agua residual

Elaboración de la solución madre por cada coagulante

Para la elaboración de la solución madre del coagulante de *M. oleifera* se empleó la metodología de Tumbaco y Acebo (2017), quienes señalan que:

Para que la proteína catiónica que compone el coagulante de moringa se vuelva más soluble en el agua turbia, este debe mezclarse con NaCl a 1M, pues el cloruro de sodio permite la extracción del componente activo de la *M. oleifera*, este procedimiento provoca que exista una mayor adherencia con las partículas presentes en el agua, lo que potencializa el coagulante. (p.36)

Proporciones de coagulantes naturales

Teniendo como base los reportes de Tumbaco y Acebo (2017), Camacho *et al.* (2017), Palmero y Lías (2018), Saleem y Bachmann (2018), López (2018); se emplearon proporciones de 50/50, 60/40, 40/60, 100/0 y 0/100 % del coagulante de *M. oleifera* y *Opuntia ficus-indica* respectivamente, a concentraciones de 0,1; 0,3 y 0,5 %; acondicionado a pH de 6,5 y 8. Para determinar las dosis de los coagulantes, a cada jarra se aplicó la ecuación de balance de masa, para conocer el volumen de solución madre adicionado, reportado por Choy (2014):

$$P = D \times Q = V \times CC$$

$$V = \frac{D \times Q \times 1000}{CC}$$

Donde:

P: Peso del coagulante

V: Volumen del coagulante que se aplicará en la jarra con la jeringa (mL)

D: Dosis del coagulante (mg/L)

Q: Capacidad de la jarra (L)

CC: Concentración de la solución del coagulante (mg/L)

Para la formulación del coagulante mixto, se prepararon soluciones con cada coagulante al 10 % (p/v) en un litro de agua destilada. Se realizaron 24 horas antes de la utilización en la prueba de jarras. Para el caso del coagulante de *M. oleifera* se elaboró en una solución de 1M de NaCl.

Determinación de los parámetros fisicoquímicos del agua residual tratada con las formulaciones de coagulantes naturales

Para la determinación de los parámetros fisicoquímicos del agua residual tratada con las formulaciones de coagulantes naturales, se imitaron las operaciones de desleche y lavado de la fruta (banano orgánico) proveniente del campo agrícola, cosechado el mismo día de realizado el estudio experimental. Se siguió la siguiente secuencia:

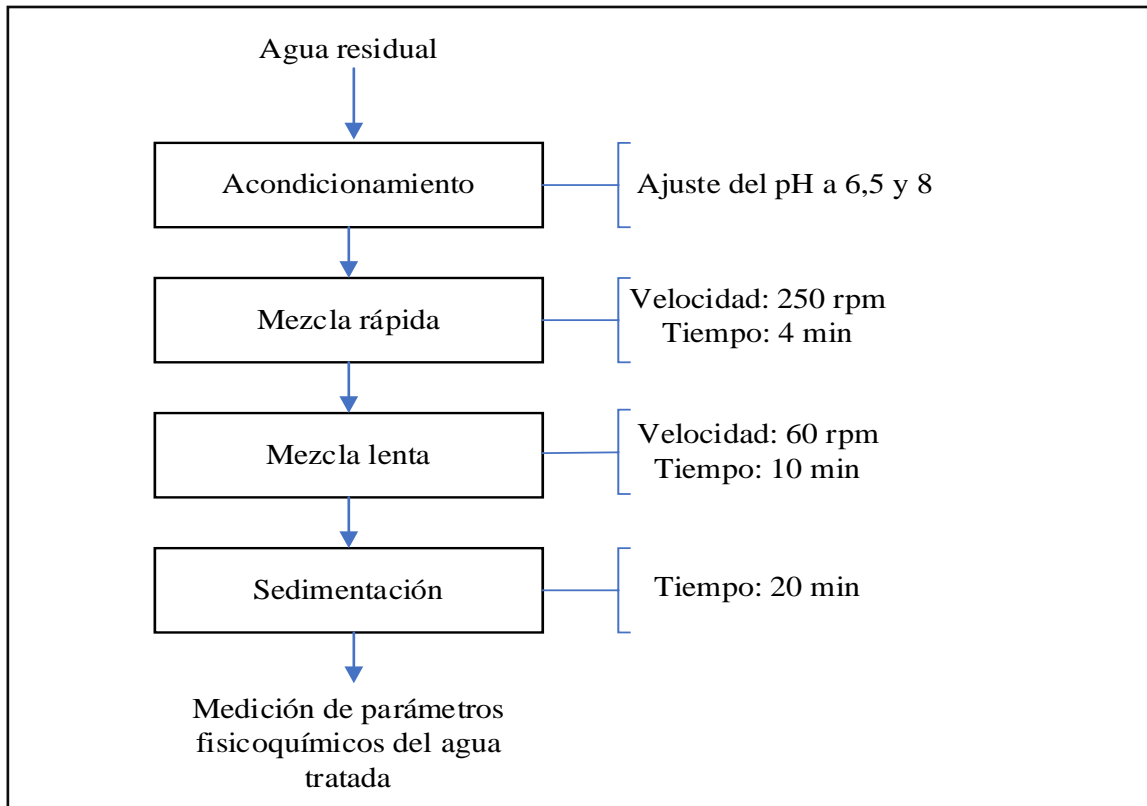
- a. Medición de turbiedad, pH, sólidos disueltos totales y conductividad del agua residual: se midió la turbidez inicial al agua de la tina de lavado del banano orgánico. Para la medición de esta variable se utilizó un turbidímetro digital. Adicionalmente se midió el pH, sólidos disueltos y conductividad inicial, empleándose un equipo multiparámetro (ver Apéndices 6 y 9).

Para la realización del ajuste de pH a 6,5 y 8 se utilizó zumo de limón y bicarbonato de sodio (NaHCO_3) respectivamente.

En esta investigación se empleó la prueba de jarras de velocidad variable (ver Apéndice 7) para simular los procesos de coagulación del efluente generado en la postcosecha de banano orgánico, a nivel de laboratorio. En la Figura 10 se muestran las etapas de remoción de turbidez de las aguas residuales generadas por el lavado de banano orgánico.

Figura 10

Flujograma de operaciones en la remoción de la turbidez del agua residual generada por el lavado de banana orgánico de exportación



- b. Determinación de los efectos generados por los coagulantes naturales en las características fisicoquímicas del agua residual: para ello se empleó la herramienta estadística análisis de varianza.
- c. Determinación de la dosis óptima del coagulante natural: para conocer la dosis óptima de las formulaciones de coagulantes naturales se trabajó en la prueba de jarras cinco proporciones del coagulante obtenido de moringa/tuna a tres distintas concentraciones y a dos ajustes del pH. Finalizado el trabajo de la prueba de jarras, se midió la turbidez final de los tratamientos para conocer las dosis que mayor remoción logró, considerándolas como las dosis óptimas. Adicionalmente fue medido el pH para conocer la existencia de alguna interacción debido a la adición de los coagulantes naturales a distintas dosis.
- d. Determinación de la concentración óptima: para conocer la concentración óptima del coagulante mixto, se ejecutó la prueba de jarras utilizando el agua de la tina de lavado con la adición de las cinco proporciones de moringa/tuna, ajustando los valores de pH

establecidos para posteriormente medir la turbidez. Adicional a ello se midió el pH para conocer las interacciones debido a la adición de coagulantes naturales en estudio.

- e. Determinación del pH óptimo: mediante los resultados de la remoción de turbiedad de los tratamientos, se determinó el pH en el que la mezcla de coagulantes naturales fue más eficiente.

2.3.4. Comparación de la eficiencia en remoción de turbidez de las formulaciones de coagulante, con respecto a la eficiencia del sulfato de aluminio

Para evaluar la eficiencia de remoción de turbidez de las formulaciones de coagulante natural mixto ante el sulfato de aluminio se tuvo en cuenta el valor de turbidez del agua de la tina de lavado sin adicionarle ningún tipo de coagulante (T_i), así como el valor de la turbidez del agua a la que se añadió los tres niveles de proporciones de coagulantes (T_f). Se corrió la prueba de jarras con un tratamiento control (T_c) empleando sulfato de aluminio al 0,02 % de concentración. Para el cálculo de la eficiencia de remoción de turbiedad se empleó la ecuación establecida por Choy *et al.* (2014).

$$E = \frac{T_i - T_f}{T_i} \times 100 ; E = \frac{T_i - T_c}{T_i} \times 100$$

Donde:

E: Eficiencia de remoción de turbidez (%)

T_i : valor de turbidez inicial del agua (NTU)

T_f : valor de turbidez final del agua con adición de coagulante natural (NTU)

T_c : valor de turbidez final del agua con adición de sulfato de aluminio (NTU)

2.4. Tratamientos

Para obtener los tratamientos, se han propuesto 3 factores de investigación (Tabla 6):

- A: Proporción de coagulante de Moringa (M) y de Tuna (T)
- B: pH de la solución
- C: Concentración del coagulante

La variable respuesta del experimento fue la turbidez (NTU):

Tabla 6

Factores considerados en la investigación de tipo experimental

Proporción de moringa (M)/tuna (T) en el coagulante natural final (%) (A)	pH (B)	
	6,5	8
	Concentración (%) (C)	
50/50		
60/40		0,1
40/60		0,3
100/0		0,5
0/100		

Se contó con un tratamiento control (Tc) con sulfato de aluminio al 0,02 % de concentración. Con este se realizó las comparaciones de eficiencia con las formulaciones de coagulantes naturales.

Se usó un Diseño Completo al Azar con arreglo factorial 5x3x2 con 30 tratamientos y dos réplicas por tratamiento, siendo el primer factor la proporción de coagulante (moringa/ tuna) (50/50, 60/40, 40/60, 100/0 y 0/100 %), el segundo la concentración del coagulante (0,1; 0,3 y 0,5 %) y el tercer factor el pH del agua (6,5 y 8) empleada para el lavado de banano orgánico de exportación. Además, se consideró seis tratamientos control, en donde se empleó una concentración de 0,02 % de sulfato de aluminio, tal como se indica en la Tabla 7.

Tabla 7

Estructura del diseño factorial 5x3x2 mostrando los tratamientos respectivos

Proporción (M/T)	pH					
	6,5			8		
	Concentración			Concentración		
	0,1	0,3	0,5	0,1	0,3	0,5
50/50	T1	T2	T3	T4	T5	T6
60/40	T7	T8	T9	T10	T11	T12
40/60	T13	T14	T15	T16	T17	T18
100/0	T19	T20	T21	T22	T23	T24
0/100	T25	T26	T27	T28	T29	T30
Tratamiento control (0,02 % $Al_2(SO_4)_3$)	Tc1	Tc2	Tc3	Tc4	Tc5	Tc6

2.5. Unidades experimentales

La unidad experimental evaluada en la presente investigación representó 1 L de agua proveniente de la tina de desleche y lavado de banano orgánico contenido en cada vaso de la prueba de jarras. En la primera corrida se llevaron a cabo 30 tratamientos, además se ejecutaron seis tratamientos control; para lo cual se requirió 36 L de agua, siendo un total de 72 L en las dos corridas (repeticiones) consideradas en la investigación.

2.6. Identificación de variables y su mensuración

En la Tabla 8 se presentan las variables de estudio de cada objetivo específico, señalando la metodología a aplicada para su medición.

Tabla 8

Resumen de las variables de estudio

	Dimensiones	Unidad	Método/ equipo	Referencia
Análisis físicos de coagulantes naturales de semillas de moringa y tallo de tuna				
Moringa	Rendimiento	%	Balance de masa	
	Humedad	%	Secado en estufa	
	Ceniza	%	Calcinación en mufla	
Tuna	Rendimiento	%	Balance de masa	UNAM, (2008)
	Humedad	%	Secado en estufa	
	Ceniza	%	Calcinación en mufla	
Establecimiento de los parámetros óptimos de las mezclas de coagulantes naturales				
Mezclas de coagulantes naturales	Turbidez inicial	UNT	Turbidímetro	Andía, (2000)
	Dosis	mg/L	Prueba de jarras, turbidímetro	
	Concentración	%	Pruebas de jarras	
	pH	Adimensional	Potenciómetro	
Comparación de la eficiencia del coagulante mixto y el sulfato de aluminio				
Coagulante mixto a dosis y concentración óptima	Eficiencia	%	Prueba de jarras, turbidímetro	Andía, (2000)

Variable independiente (VI): proporciones de coagulante de moringa y tuna

Variable dependiente (VD): turbidez del agua de lavado de banano orgánico

2.7. Diseño estadístico del experimento

En la presente investigación se aplicó un Diseño Completo al Azar con arreglo factorial 5x3x2, formado por tres factores experimentales: a) proporción del coagulante de moringa/tuna, b) pH y c) concentración de la mezcla de coagulantes; y diez niveles respectivamente. Se tuvo en cuenta seis tratamientos control (T_c) empleando sulfato de aluminio como coagulante para realizar las comparaciones establecidas en el estudio. Asimismo, se consideró dos réplicas por cada tratamiento.

2.8. Análisis estadístico de datos

Una vez obtenidos los datos experimentales, estos fueron analizados en el paquete estadístico IBM SPSS (Statistical Product and Service Solutions) versión 24; en el cual se aplicó el análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia del 5 %. Por otra parte, se utilizó la herramienta MINITAB (programa estadístico diseñado para ejecutar funciones estadísticas básicas y avanzadas) para la elaboración de gráficas y figuras a partir de los resultados obtenidos.

2.9. Materiales y equipos

Para obtener los coagulantes naturales de Moringa y Tuna y realizar los análisis de la calidad del agua residual fue necesario el uso de materiales de laboratorio, equipos e instrumentos, reactivos y materias primas e insumos.

2.9.1. Materiales

- Cuchillos
- Envases de vidrio
- Tinas
- Mortero manual
- Tamiz
- Jeringas
- Vaso de precipitado
- Picetas

- Probetas de 250 mL
- Agitadores de vidrio
- Probetas

2.9.2. Equipos e instrumentos

- Laptop
- Calculadora
- Turbidímetro
- Prueba de jarras
- Potenciómetro
- Termómetro
- Multiparámetro
- Balanza digital
- Balanza analítica
- Conductímetro
- Agitador magnético
- Estufa
- Desecador

2.9.3. Reactivos

- Etanol al 96 %
- Agua destilada
- Solución buffer

2.9.4. Materias primas e insumos

- Racima de banano orgánico
- Semillas de moringa
- Tallo de tuna
- Sulfato de aluminio
- Agua destilada
- Sal común y limones

CAPÍTULO III: RESULTADOS

En el presente capítulo se presentan los resultados obtenidos, de acuerdo con cada objetivo establecido en la investigación de tipo experimental.

3.1. Evaluación de las características físicas de las formulaciones de coagulantes naturales

3.1.1. Características físicas de las semillas de moringa

En la Tabla 9 se presentan los resultados de los ensayos físicos realizados al coagulante obtenido de semillas de moringa. El rendimiento de coagulante de moringa, considerando como insumo desde la vaina que contiene las semillas es 21,6 %; mientras que, si se considera solo las semillas, el rendimiento de obtención de coagulante natural es 60,9 %; es decir, de 100 g de semillas de moringa, es posible obtener cerca de 61 g de coagulante para ser empleado en el tratamiento de efluentes. El porcentaje de humedad (base húmeda) del coagulante de moringa fue 26,7 %, mientras que el porcentaje de cenizas representó 2,2 %.

Tabla 9

Características físicas del coagulante natural obtenido de moringa

Insumo	Rendimiento vaina (%)	Rendimiento semilla (%)	Humedad (%)	Materia seca (%)	Cenizas
Coagulante de moringa	21,6 ± 0,03	60,9 ± 0,02	26,7 ± 0,01	73,3 ± 0,01	2,2 ± 0,21

Nota. Los valores se expresan como promedio ± desviación estándar (n =3)

3.1.2. Tallo de tuna

En la Tabla 10 se presentan los resultados de los análisis físicos del coagulante natural obtenido del tallo de tuna. El rendimiento del coagulante de tuna representó 1,6 %, siendo un valor bajo debido a la gran cantidad de agua disponible que contiene dicha variedad de cactus. Para la obtención de 100 g de coagulante natural de tuna, es necesario de 6 250 g de materia prima. La humedad del coagulante de tuna fue 1,3 %, mientras que el contenido de cenizas representó un 14,3 %.

Tabla 10

Características físicas del coagulante natural obtenido de tallo de tuna

Insumo	Rendimiento (%)	Humedad (%)	Materia seca (%)	Cenizas (%)
Coagulante de tallo de tuna	1,6 ± 0,05	1,3 ± 0,01	98,7 ± 0,01	14,3 ± 0,02

Nota. Los resultados se expresan como promedio ± desviación estándar (n =3)

3.2. Determinación de los efectos de las formulaciones de coagulantes naturales en los parámetros fisicoquímicos del agua residual

Al agua residual generada por el lavado de banano orgánico se procedió a medir los parámetros fisicoquímicos, tales como la turbidez inicial, pH final, conductividad y sólidos disueltos totales, esto con la finalidad de comparar dichos parámetros, al utilizar las dosis y concentraciones del coagulante natural. En la Tabla 11 se presentan los valores promedios de los parámetros fisicoquímicos iniciales del agua residual por cada medición en la prueba de jarras, realizándose 10 corridas.

Tabla 11

Parámetros fisicoquímicos iniciales del agua residual generada en el lavado de banano orgánico, por cada corrida

	T1	T4	T7	T10	T13	T16	T19	T22	T25	T28
Corridas en la prueba de jarras	T2	T5	T8	T11	T14	T17	T20	T23	T26	T29
	T3	T6	T9	T12	T15	T18	T21	T24	T27	T30
	Tc	Tc	Tc	Tc	Tc	Tc	Tc	Tc	Tc	Tc
	Tc	Tc	Tc	Tc	Tc	Tc	Tc	Tc	Tc	Tc
Turbiedad (UNT)	20,00	20,17	20,02	19,99	20,49	20,21	20,27	20,15	20,23	20,12
SDT (ppm)	316,50	314,00	316,50	309,00	146,23	304,00	320,50	309,00	307,00	310,50
Conductividad (mS/cm)	0,48	0,47	0,47	0,46	0,51	0,46	0,48	0,45	0,45	0,47
pH	7,54	7,49	7,37	7,32	7,43	7,44	7,25	7,39	7,41	7,41

Nota. Los resultados se expresan como promedio (n =2)

3.2.1. Efectos en la turbiedad final del agua residual

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) revelaron que la proporción y concentración de las formulaciones de coagulantes a base de moringa y tuna, afectaron significativamente ($p \leq 0,05$) en la turbiedad final del agua residual generada en el lavado de banano orgánico para exportación. Del mismo modo, el control del pH afectó ($p \leq 0,05$) en la turbiedad final del agua analizada. Asimismo, la relación de los tres factores generó efectos de interacción, afectando de manera significativa ($p \leq 0,05$) en la turbiedad final del efluente (Tabla 12).

Tabla 12

Análisis de varianza para la turbiedad del agua residual generada en el lavado de banano orgánico

Origen	SC	GL	MC	F	Sig.
Proporción	1984,631	4	496,158	39,974	0,00
Concentración	536,405	2	268,202	21,608	0,00
pH ajustado	1057,877	1	1057,877	85,230	0,00
Proporción x Concentración	972,669	8	121,584	9,796	0,00
Proporción x pH ajustado	345,702	4	86,426	6,963	0,00
Concentración x pH ajustado	108,750	2	54,375	4,381	0,02
Proporción x concentración x pH ajustado	240,499	8	30,062	2,422	0,03
Error	496,483	40	12,412		

De acuerdo con la Tabla 13, los valores promedios de turbiedad final de los tratamientos variaron en un rango de 2,02 a 39,79 UNT, correspondiendo la menor turbiedad para el tratamiento T5 (50/50 % proporción de coagulante moringa/tuna, 0,3 % de concentración de la solución coagulante y pH ajustado 8), mientras que la mayor turbiedad la obtuvo el tratamiento T25 (0/100 % proporción de coagulante moringa/tuna, 0,1 % de concentración de solución coagulante y pH corregido de 6,5). Para esta medida fisicoquímica, el tratamiento que presenta menor turbiedad final, indica la mayor eficiencia de la dosis del coagulante. Se puede evidenciar que a pH alcalinos ($\text{pH} = 8$) los coagulantes naturales son más eficientes en la remoción de turbiedad, con respecto a pH menores a 7 (Figuras 11 y 12). Se observa en la Tabla 13 que los tratamientos control, en los cuales se empleó sulfato de aluminio, presentaron incluso valores menores a 1 UNT, a un pH ajustado de 8,0.

Tabla 13

Valores promedio de turbiedad del efluente, según los niveles de proporción de moringa y tuna, concentración y pH

Tratamiento	Proporción	Concentración	pH corregido	Dosis moringa (mg/L)	Dosis tuna (mg/L)	Promedio turbiedad (UNT)	DS turbiedad
T1	50/50	0,1	6,5	5	5	23,19	1,40
T2	50/50	0,3	6,5	15	15	14,37	1,98
T3	50/50	0,5	6,5	25	25	22,39	0,15
T4	50/50	0,1	8	5	5	17,01	0,00
T5	50/50	0,3	8	15	15	2,02	0,15
T6	50/50	0,5	8	25	25	4,63	1,57
T7	60/40	0,1	6,5	6	4	18,66	3,32
T8	60/40	0,3	6,5	18	12	14,36	0,92
T9	60/40	0,5	6,5	30	20	17,43	4,17
T10	60/40	0,1	8	6	4	16,73	3,32
T11	60/40	0,3	8	18	12	15,18	3,27
T12	60/40	0,5	8	30	20	6,66	0,59
T13	40/60	0,1	6,5	4	6	19,33	3,45
T14	40/60	0,3	6,5	12	18	15,57	0,53
T15	40/60	0,5	6,5	20	30	23,03	5,47
T16	40/60	0,1	8	4	6	16,93	0,95
T17	40/60	0,3	8	12	18	19,34	1,22
T18	40/60	0,5	8	20	30	18,30	1,87
T19	100/0	0,1	6,5	10	0	30,16	1,86
T20	100/0	0,3	6,5	30	0	9,61	0,51
T21	100/0	0,5	6,5	50	0	17,95	0,11
T22	100/0	0,1	8	10	0	29,03	5,85
T23	100/0	0,3	8	30	0	2,88	2,94
T24	100/0	0,5	8	50	0	11,03	2,92
T25	0/100	0,1	6,5	0	10	39,79	3,29
T26	0/100	0,3	6,5	0	30	34,05	7,86
T27	0/100	0,5	6,5	0	50	35,82	5,53
T28	0/100	0,1	8	0	10	17,32	2,93
T29	0/100	0,3	8	0	30	28,75	3,21
T30	0/100	0,5	8	0	50	23,33	1,80
TC	TC	0,02	6,5	0	0	23,98	3,51
TC	TC	0,02	6,5	0	0	32,81	5,84
TC	TC	0,02	6,5	0	0	33,72	0,06
TC	TC	0,02	8	0	0	1,33	0,35
TC	TC	0,02	8	0	0	1,43	0,88
TC	TC	0,02	8	0	0	0,87	0,08

Nota. Los resultados de la turbiedad se presentan como promedio (n = 2); DS = desviación estándar

Figura 11

Interacción de las proporciones y concentraciones de las formulaciones de coagulantes a base de moringa y tuna, en la turbiedad del agua tratada a un pH ajustado de 6,5

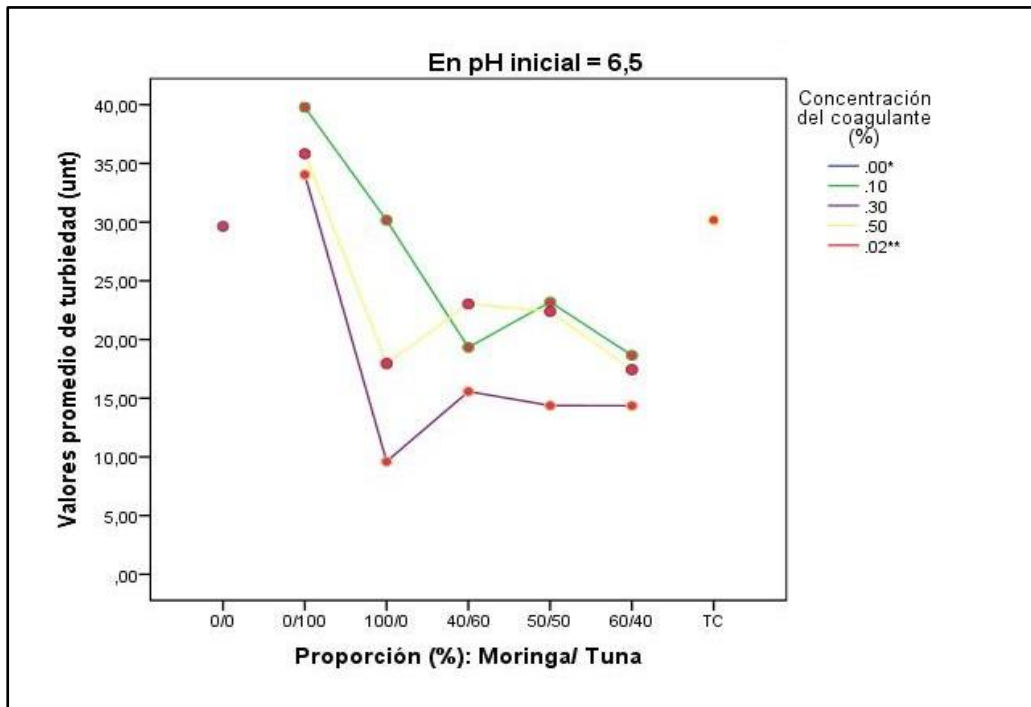
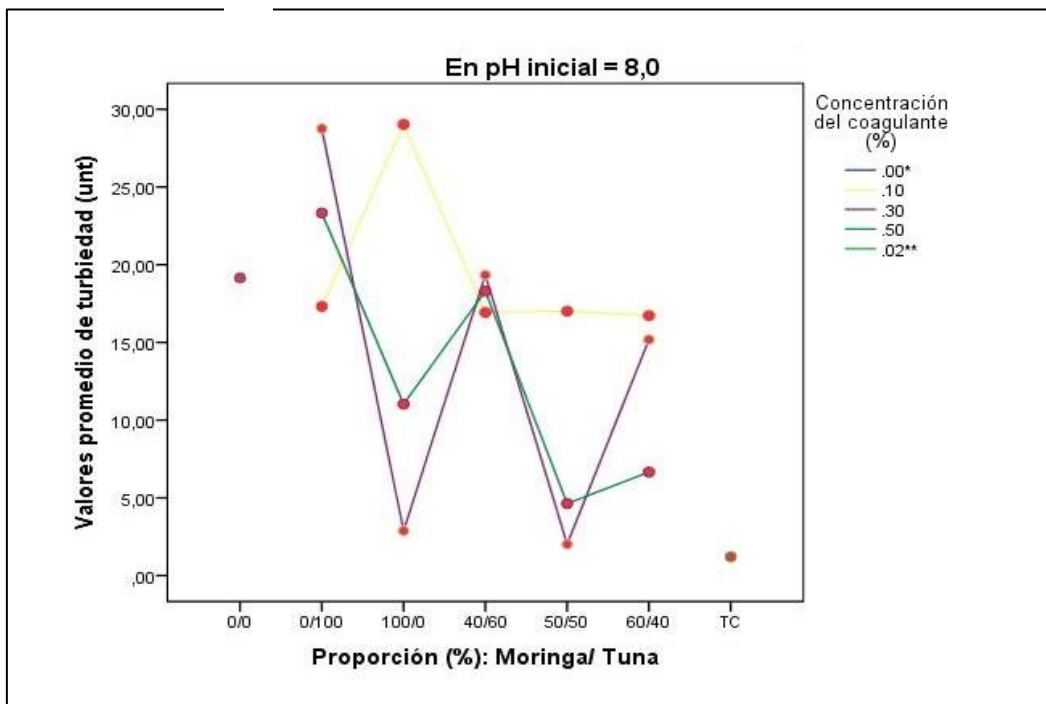


Figura 12

Interacción de las proporciones y concentraciones de las formulaciones de coagulantes a base de moringa y tuna, en la turbiedad del agua tratada a un pH ajustado de 8,0



3.2.2. Efectos en el pH final del agua residual

Los resultados del análisis de varianza del potencial de hidrógeno final muestran que hubo efectos significativos de la proporción ($p \leq 0,05$), concentración ($p \leq 0,05$) y pH ajustado ($p \leq 0,05$), representando que cada uno de estos factores influyó en la variación del pH final del agua residual. Por otro lado, no se observaron efectos de interacción ($p > 5$), lo que indica que los factores experimentales actuaron de manera independiente (Tabla 14).

Tabla 14

Análisis de varianza para el pH final del agua de lavado de banano orgánico

Origen	SC	GL	MC	F	Sig.
Proporción	0,39	4,00	0,10	8,89	0,00
Concentración	0,61	2,00	0,31	27,75	0,00
pH ajustado	35,17	1,00	35,17	3186,24	0,00
Proporción x Concentración	0,06	8,00	0,01	0,70	0,69
Proporción x pH ajustado	0,04	4,00	0,01	0,84	0,51
Concentración x pH ajustado	0,00	2,00	0,00	0,07	0,93
Proporción x Concentración x pH ajustado	0,02	8,00	0,00	0,19	0,99
Error	0,44	40,00	0,01		

La Tabla 15 presenta las medias y desviación estándar del potencial de hidrógeno final, según los niveles de proporción y concentración de las formulaciones de coagulantes a base de moringa y tuna, a un pH ajustado de 6,5 y 8,0. Los valores promedio de pH final de los tratamientos variaron en un rango de 6,10 a 8,04; correspondiendo el menor pH final al tratamiento T27 (0/100 % proporción de coagulante moringa/ tuna, 0,5 % de concentración de solución coagulante y pH ajustado 6,5) mientras que el tratamiento con mayor valor promedio de pH final lo obtuvo el tratamiento T4 (50/50 % proporción de coagulante moringa/ tuna, 0,1 % de concentración de solución coagulante y pH ajustado 8) (Tabla 15).

Su pudo evidenciar que la adición de los coagulantes naturales al efluente varió los valores de pH final del efluente mínimamente, dependiendo mucho de las proporciones y concentraciones de los coagulantes añadidos en conjunto y de manera individual (Figuras 12 y 13). Para el caso de los tratamientos control en los que se utilizó sulfato de aluminio como coagulante, se puede evidenciar una reducción del pH final con respecto al pH ajustado del experimento (Figuras 13 y 14).

Tabla 15

Valores promedio de pH final del efluente, según los niveles de proporción de moringa y tuna, concentración y pH ajustados aplicados en cada tratamiento

Tratamiento	Proporción (%)	Concentración (%)	pH corregido	Dosis moringa (mg/L)	Dosis tuna (mg/L)	Promedio pH final	DS pH
T1	50/50	0,1	6,5	5	5	6,66	0,08
T2	50/50	0,3	6,5	15	15	6,47	0,06
T3	50/50	0,5	6,5	25	25	6,33	0,10
T4	50/50	0,1	8	5	5	8,04	0,06
T5	50/50	0,3	8	15	15	7,88	0,27
T6	50/50	0,5	8	25	25	7,74	0,34
T7	60/40	0,1	6,5	6	4	6,57	0,01
T8	60/40	0,3	6,5	18	12	6,51	0,02
T9	60/40	0,5	6,5	30	20	6,40	0,13
T10	60/40	0,1	8	6	4	7,94	0,01
T11	60/40	0,3	8	18	12	7,82	0,01
T12	60/40	0,5	8	30	20	7,69	0,01
T13	40/60	0,1	6,5	4	6	6,62	0,00
T14	40/60	0,3	6,5	12	18	6,49	0,03
T15	40/60	0,5	6,5	20	30	6,38	0,01
T16	40/60	0,1	8	4	6	7,99	0,02
T17	40/60	0,3	8	12	18	7,85	0,03
T18	40/60	0,5	8	20	30	7,73	0,01
T19	100/0	0,1	6,5	10	0	6,68	0,08
T20	100/0	0,3	6,5	30	0	6,57	0,09
T21	100/0	0,5	6,5	50	0	6,51	0,06
T22	100/0	0,1	8	10	0	7,99	0,02
T23	100/0	0,3	8	30	0	8,02	0,12
T24	100/0	0,5	8	50	0	7,91	0,08
T25	0/100	0,1	6,5	0	10	6,47	0,13
T26	0/100	0,3	6,5	0	30	6,29	0,21
T27	0/100	0,5	6,5	0	50	6,10	0,20
T28	0/100	0,1	8	0	10	7,93	0,07
T29	0/100	0,3	8	0	30	7,74	0,08
T30	0/100	0,5	8	0	50	7,62	0,07
Tc	Tc	0,02	6,5	0	0	6,33	0,12
Tc	Tc	0,02	6,5	0	0	6,38	0,14
Tc	Tc	0,02	6,5	0	0	6,34	0,01
Tc	Tc	0,02	8	0	0	7,59	0,19
Tc	Tc	0,02	8	0	0	7,61	0,06
Tc	Tc	0,02	8	0	0	7,66	0,00

Nota. Los resultados del pH final se presentan como promedio (n = 2); DS = desviación estándar

Figura 13

Interacción de las proporciones y concentraciones de las formulaciones de coagulantes a base de moringa y tuna, en el pH final del agua tratada a un pH ajustado de 6,5

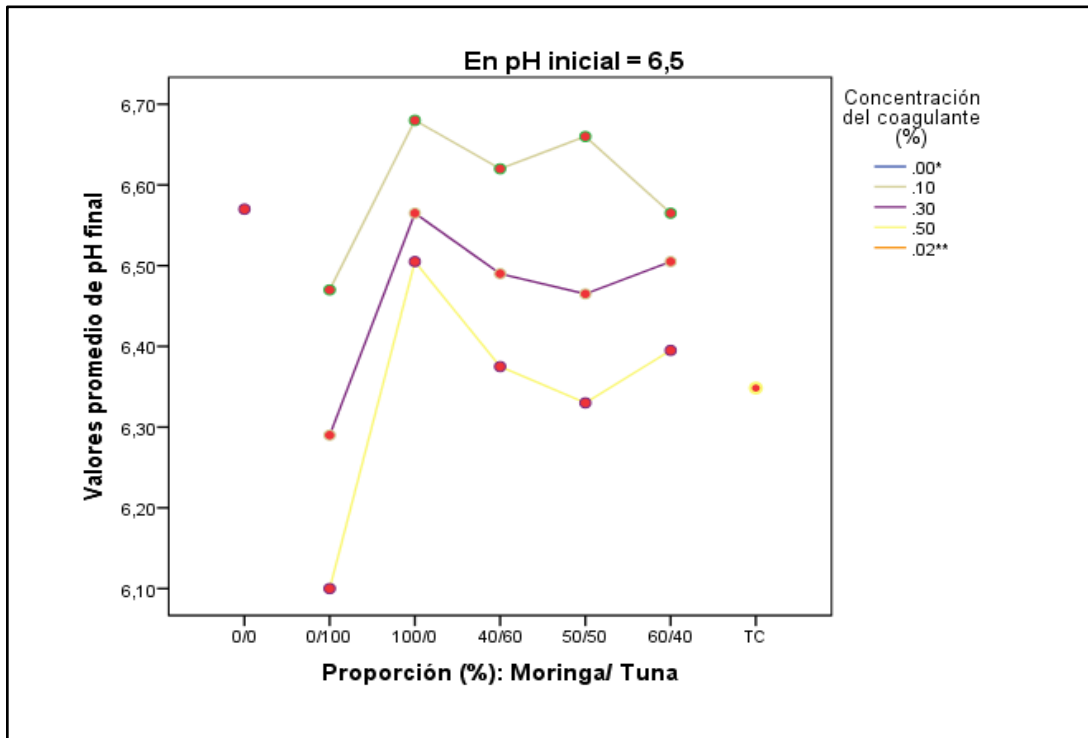
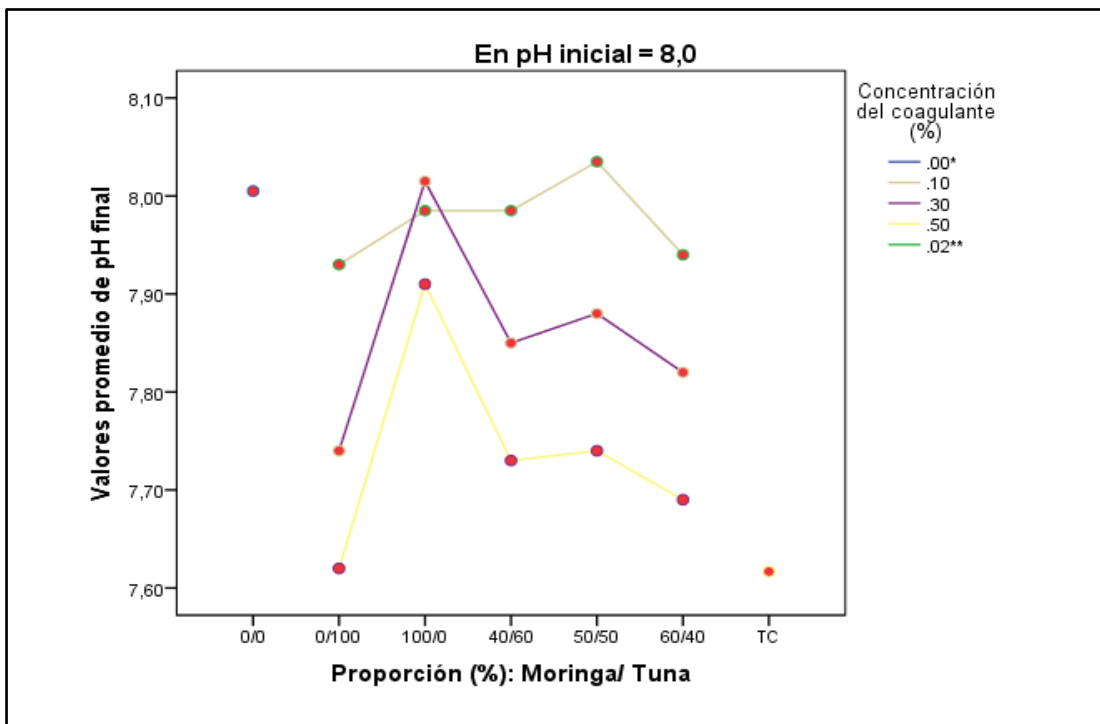


Figura 14

Interacción de las proporciones y concentraciones de las formulaciones de coagulantes a base de moringa y tuna, en el pH final del agua tratada a un pH ajustado de 8,0



3.2.3. Efectos en los sólidos disueltos totales del agua residual

Conforme al resultado del análisis de varianza de los sólidos disueltos totales (Tabla 16) se evidenció la existencia de efectos significativos de la proporción ($p \leq 0,05$), concentración ($p \leq 0,05$) y pH ajustado ($p \leq 0,05$), representando que los tres factores influyeron en la variación de los sólidos disueltos totales del efluente analizado. Del mismo modo se observó efectos de interacción ($p \leq 0,05$) entre los factores, indicando que dichos factores actuaron de manera conjunta.

Tabla 16

Análisis de varianza para los sólidos disueltos totales del agua de lavado de banano orgánico

Origen	SC	GL	MC	F	Sig.
Proporción	4000718,17	4,00	1000179,54	141,72	0,00
Concentración	4319226,30	2,00	2159613,15	306,00	0,00
pH ajustado	22174470,13	1,00	22174470,13	3141,92	0,00
Proporción * concentración	1658962,03	8,00	207370,25	29,38	0,00
Proporción * pH ajustado	639526,43	4,00	159881,61	22,65	0,00
Concentración * pH ajustado	108144,70	2,00	54072,35	7,66	0,00
Proporción * Concentración * pH ajustado	131804,97	8,00	16475,62	2,33	0,04
Error	282304,50	40,00	7057,61		

La Tabla 17 contiene las medias y desviaciones estándares de los sólidos disueltos totales de cada tratamiento, según los niveles de proporción y concentración de las formulaciones de coagulantes a base de moringa y tuna, a un pH ajustado de 6,5 y 8,0. Los valores de los sólidos disueltos totales se encontraron en el rango de 311,5 a 2 330 ppm, correspondiendo el menor valor de SDT al tratamiento T25 (0/100 % proporción de coagulante moringa/ tuna; 0,1 % de concentración de la solución coagulante y pH ajustado 6,5), mientras que el tratamiento con mayor valor de SDT fue tratamiento T6 (50/50 % proporción de coagulante moringa/ tuna; 0,5 % de concentración de la solución coagulante y pH ajustado 8). De acuerdo con la Figura 15, se pudo evidenciar que, al aumentar la proporción y concentración del coagulante de moringa, a pH ajustado de 6,5; los valores de SDT se incrementaron. Del mismo modo, en la Figura 16 se observó que, a mayor concentración de los coagulantes a base de moringa y tuna y a un pH ajustado de 8,0; mayor eran los valores de SDT. En cuanto a los tratamientos control en donde se empleó una concentración de 0,02 % de sulfato de aluminio se evidenció mayores valores de SDT a pH ajustado de 8 (Tabla 17).

Tabla 17

Valores promedio de sólidos disueltos totales del efluente, según los niveles de proporción de moringa y tuna, concentración y ajuste de pH, aplicados en cada tratamiento

Tratamiento	Proporción (%)	Concentración (%)	pH corregido	Dosis moringa (mg/L)	Dosis tuna (mg/L)	Promedio SDT (ppm)	DS SDT
T1	50/50	0,1	6,5	5	5	580,5	7,8
T2	50/50	0,3	6,5	15	15	982,0	11,3
T3	50/50	0,5	6,5	25	25	1302,5	13,4
T4	50/50	0,1	8	5	5	1715,0	49,5
T5	50/50	0,3	8	15	15	2025,0	35,4
T6	50/50	0,5	8	25	25	2330,0	56,6
T7	60/40	0,1	6,5	6	4	759,5	2,1
T8	60/40	0,3	6,5	18	12	1178,0	7,1
T9	60/40	0,5	6,5	30	20	1322,0	2,8
T10	60/40	0,1	8	6	4	1438,5	16,3
T11	60/40	0,3	8	18	12	1905,5	6,4
T12	60/40	0,5	8	30	20	2310,5	13,4
T13	40/60	0,1	6,5	4	6	573,0	21,2
T14	40/60	0,3	6,5	12	18	1137,0	14,1
T15	40/60	0,5	6,5	20	30	865,5	21,9
T16	40/60	0,1	8	4	6	1777,5	31,8
T17	40/60	0,3	8	12	18	2067,5	31,8
T18	40/60	0,5	8	20	30	2329,5	43,1
T19	100/0	0,1	6,5	10	0	733,5	6,4
T20	100/0	0,3	6,5	30	0	1284,0	8,5
T21	100/0	0,5	6,5	50	0	2065,0	7,1
T22	100/0	0,1	8	10	0	1985,0	7,1
T23	100/0	0,3	8	30	0	2315,0	7,1
T24	100/0	0,5	8	50	0	3245,0	7,1
T25	0/100	0,1	6,5	0	10	311,5	7,8
T26	0/100	0,3	6,5	0	30	396,5	10,6
T27	0/100	0,5	6,5	0	50	516,5	7,8
T28	0/100	0,1	8	0	10	1810,0	14,1
T29	0/100	0,3	8	0	30	1755,0	7,1
T30	0/100	0,5	8	0	50	1969,0	15,6
Tc	Tc	0,02	6,5	0	0	385,5	62,9
Tc	Tc	0,02	6,5	0	0	479,5	150,6
Tc	Tc	0,02	6,5	0	0	455,0	29,7
Tc	Tc	0,02	8	0	0	1137,5	597,5
Tc	Tc	0,02	8	0	0	1435,0	275,8
Tc	Tc	0,02	8	0	0	1820,0	226,3

Nota. Los resultados de los sólidos disueltos totales - SDT se presentan como promedio (n = 2); DS = desviación estándar

Figura 15

Interacción de las proporciones y concentraciones de las formulaciones de coagulantes a base de moringa y tuna, en los sólidos disueltos totales del agua tratada, a un pH ajustado de 6,5

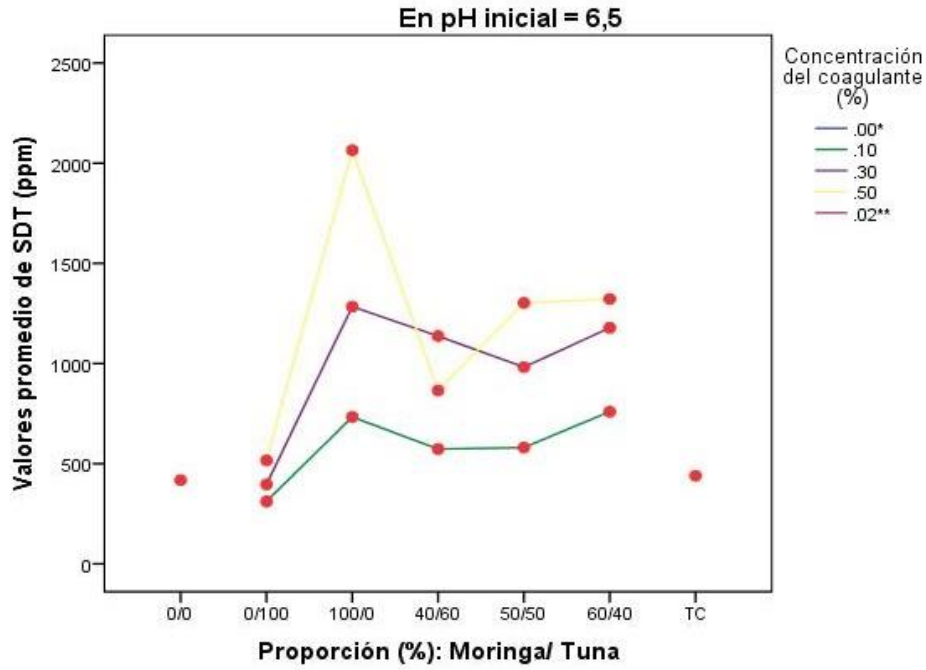
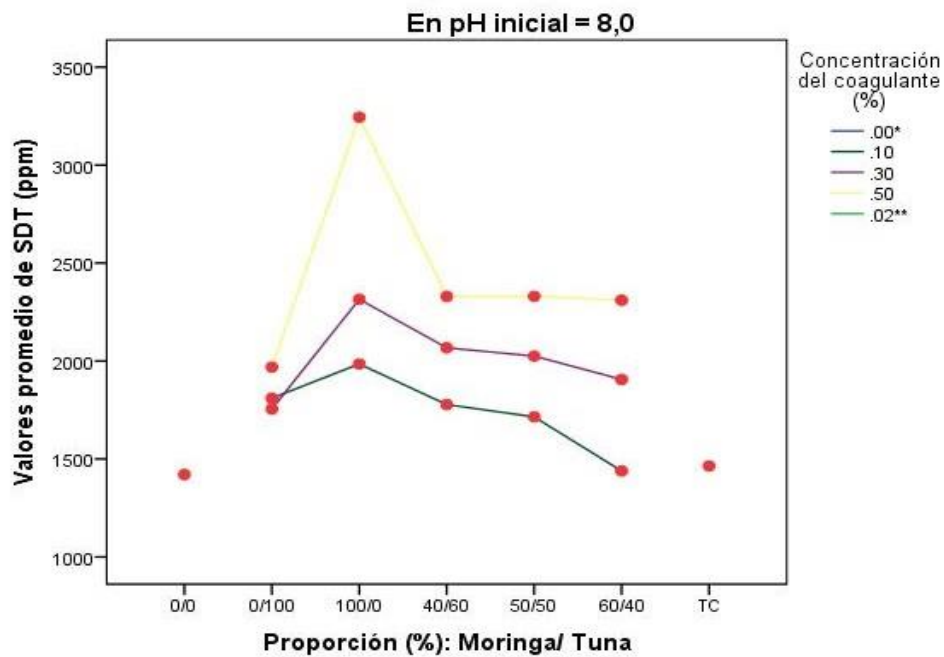


Figura 16

Interacción de las proporciones y concentraciones de moringa y tuna como coagulantes naturales en los sólidos disueltos totales del agua tratada, a un pH ajustado de 8,0



3.2.4. Efectos en la conductividad eléctrica del agua residual

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) revelaron que la proporción y concentración de los coagulantes naturales a base de moringa y tuna, así como el control del pH; afectaron de manera significativa ($p \leq 0,05$) en los valores de conductividad final del agua residual generada en el lavado de banano orgánico para exportación. Además, se evidenciaron relaciones de interacción entre las variables proporción – concentración y proporción y pH ajustado; afectando de manera significativa ($p \leq 0,05$) en el efluente (Tabla 18).

Tabla 18

Análisis de varianza para la conductividad del agua de lavado de banano orgánico

Origen	SC	GL	MC	F	Sig.
Proporción	11,44	4,00	2,86	19,59	0,00
Concentración	11,45	2,00	5,72	39,19	0,00
pH ajustado	49,83	1,00	49,83	341,17	0,00
Proporción x concentración	3,26	8,00	0,41	2,79	0,01
Proporción x pH ajustado	1,70	4,00	0,42	2,91	0,03
Concentración x pH ajustado	0,09	2,00	0,05	0,32	0,73
Proporción x concentración x pH ajustado	0,09	8,00	0,01	0,07	1,00
Error	5,84	40,00	0,15		

De acuerdo con la Tabla 19, los valores promedios de la conductividad final de los tratamientos oscilaron en un rango de 0,55 a 4,88 mS/cm, correspondiendo el menor valor para el tratamiento T25, con proporción 0/100 %, concentración 0,1 % y pH ajustado 6,5, mientras que el tratamiento con mayor conductividad fue el tratamiento T24, con proporción 100/0 %, concentración 0,5 % y pH ajustado 8. Conforme a las Figuras 17 y 18 se evidenció que, a mayor proporción de moringa, se incrementaba los valores de conductividad, asimismo, a mayor concentración de los coagulantes, mayor representaba los valores de dicha variable fisicoquímica. Se presentaron valores mayores de conductividad en los tratamientos que se reguló el pH a 8,0. En caso de los tratamientos control se observó valores de conductividad menor a 2,74 mS/cm, los cuales contenían sulfato de aluminio.

Tabla 19

Valores promedio de conductividad del efluente, según los niveles de proporción de moringa y tuna, concentración y ajuste de pH, aplicados en cada tratamiento

Tratamiento	Proporción (%)	Concentración (%)	pH corregido	Dosis moringa (mg/L)	Dosis tuna (mg/L)	Promedio conductividad (mS/cm).	DS conductividad
T1	50/50	0,1	6,5	5	5	0,82	0,080
T2	50/50	0,3	6,5	15	15	1,44	0,06
T3	50/50	0,5	6,5	25	25	1,94	0,04
T4	50/50	0,1	8	5	5	1,99	0,89
T5	50/50	0,3	8	15	15	2,46	0,88
T6	50/50	0,5	8	25	25	3,06	0,69
T7	60/40	0,1	6,5	6	4	1,00	0,20
T8	60/40	0,3	6,5	18	12	1,66	0,16
T9	60/40	0,5	6,5	30	20	2,14	0,21
T10	60/40	0,1	8	6	4	2,44	0,38
T11	60/40	0,3	8	18	12	3,13	0,37
T12	60/40	0,5	8	30	20	3,73	0,33
T13	40/60	0,1	6,5	4	6	0,86	0,03
T14	40/60	0,3	6,5	12	18	1,57	0,21
T15	40/60	0,5	6,5	20	30	1,57	0,35
T16	40/60	0,1	8	4	6	2,93	0,32
T17	40/60	0,3	8	12	18	3,38	0,33
T18	40/60	0,5	8	20	30	3,81	0,40
T19	100/0	0,1	6,5	10	0	1,05	0,08
T20	100/0	0,3	6,5	30	0	1,91	0,03
T21	100/0	0,5	6,5	50	0	3,10	0,01
T22	100/0	0,1	8	10	0	3,00	0,01
T23	100/0	0,3	8	30	0	3,71	0,31
T24	100/0	0,5	8	50	0	4,88	0,01
T25	0/100	0,1	6,5	0	10	0,55	0,10
T26	0/100	0,3	6,5	0	30	0,69	0,12
T27	0/100	0,5	6,5	0	50	0,85	0,12
T28	0/100	0,1	8	0	10	2,54	0,28
T29	0/100	0,3	8	0	30	2,41	0,31
T30	0/100	0,5	8	0	50	2,81	0,23
Tc	Tc	0,02	6,5	0	0	0,58	0,09
Tc	Tc	0,02	6,5	0	0	0,72	0,23
Tc	Tc	0,02	6,5	0	0	0,68	0,05
Tc	Tc	0,02	8	0	0	1,71	0,90
Tc	Tc	0,02	8	0	0	2,15	0,42
Tc	Tc	0,02	8	0	0	2,74	0,35

Nota. Los resultados de la conductividad se presentan como promedio (n = 2); DS = desviación estándar

Figura 17

Interacción de las proporciones y concentraciones de las formulaciones de coagulantes a base de moringa y tuna, en la conductividad eléctrica del agua tratada, a un pH ajustado de 6,5

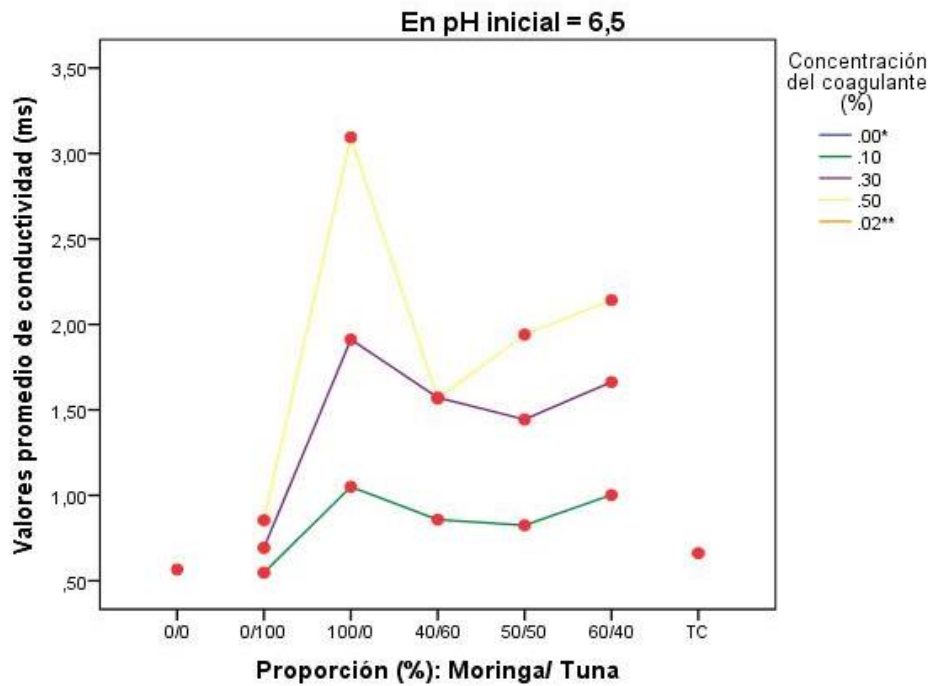
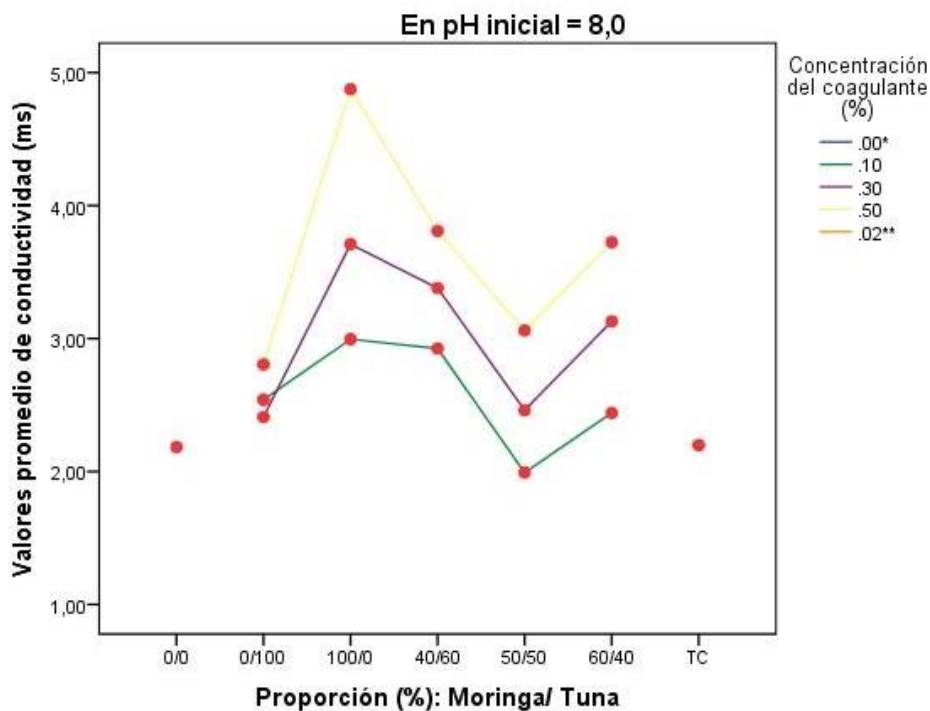


Figura 18

Interacción de las proporciones y concentraciones de las formulaciones de coagulantes a base de moringa y tuna, en la conductividad eléctrica del agua tratada, a un pH ajustado de 8,0

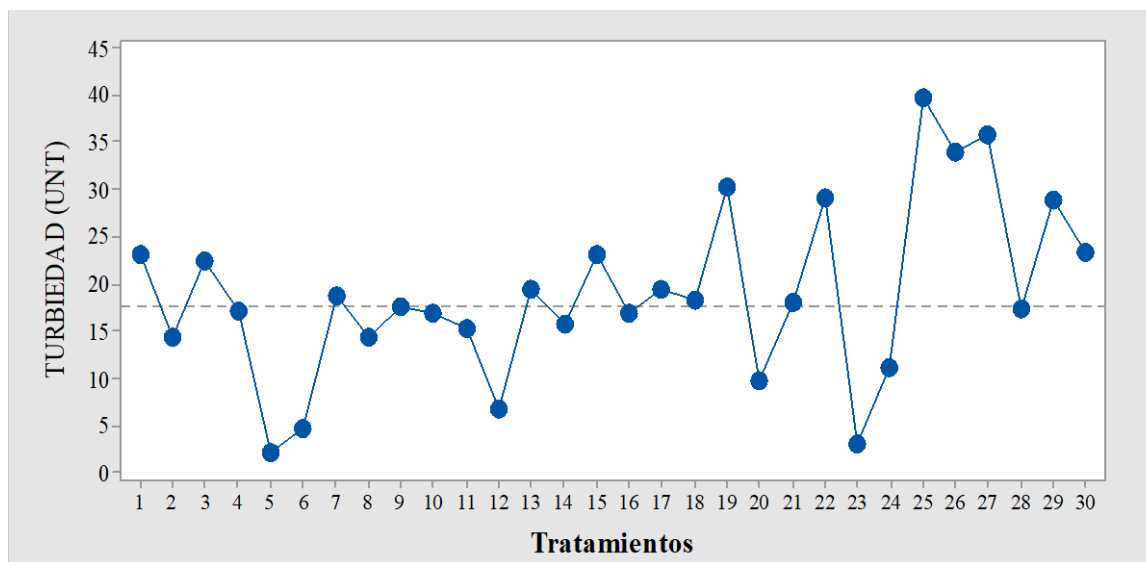


3.2.5. Determinación de la concentración, dosis y pH ajustado óptimo

Conforme a los resultados obtenidos, la concentración y dosis óptima lo obtuvo el tratamiento T5, siendo proporción 50/50 % (moringa/ tuna), concentración 0,3 % y pH ajustado 8,0; representando una dosis de 30 mg/L de coagulante natural (Figura 19); debido que este tratamiento obtuvo el valor mínimo de turbiedad, indicando que los factores experimentales propuestos influyeron en la reducción de dicho parámetro fisicoquímico del agua residual.

Figura 19

Valores promedio de turbiedad por cada tratamiento del diseño experimental establecido



3.3. Comparación de la eficiencia en remoción de turbidez de los coagulantes a base de moringa y tuna, con respecto a la eficiencia de remoción del sulfato de aluminio

La Tabla 20 presenta los valores porcentuales de la eficiencia de cada tratamiento establecido. Los valores se encuentran en el rango de -96,68 a 86,52 %, siendo el tratamiento más eficiente T5, proporción 50/50 %, concentración 0,3 % y pH 8. Se observa que los tratamientos control presentan valores de eficiencia cercanos a 96 %, evidenciándose la influencia del pH 8 en mejorar la eficiencia de remoción de turbiedad (Tabla 20).

Tabla 20*Determinación de la eficiencia en la remoción de la turbiedad*

Tratamiento	Proporción (%)	Concentración (%)	pH corregido	Turbiedad inicial (UNT)	Turbiedad final (UNT)	Eficiencia (%)
T1	50/50	0,1	6,5	20	23,19	-15,95
T2	50/50	0,3	6,5	20	14,37	28,15
T3	50/50	0,5	6,5	20	22,385	-11,93
T4	50/50	0,1	8	20,165	17,0075	15,66
T5	50/50	0,3	8	20,165	2,0205	89,98
T6	50/50	0,5	8	20,165	4,634	77,02
T7	60/40	0,1	6,5	20,015	18,655	6,79
T8	60/40	0,3	6,5	20,015	14,36	28,25
T9	60/40	0,5	6,5	20,015	17,43	12,92
T10	60/40	0,1	8	19,985	16,73	16,29
T11	60/40	0,3	8	19,985	15,18	24,04
T12	60/40	0,5	8	19,985	6,6595	66,68
T13	40/60	0,1	6,5	20,49	19,33	5,66
T14	40/60	0,3	6,5	20,49	15,565	24,04
T15	40/60	0,5	6,5	20,49	23,025	-12,37
T16	40/60	0,1	8	20,21	16,93	16,23
T17	40/60	0,3	8	20,21	19,335	4,33
T18	40/60	0,5	8	20,21	18,295	9,48
T19	100/0	0,1	6,5	20,27	30,155	-48,77
T20	100/0	0,3	6,5	20,27	9,606	52,61
T21	100/0	0,5	6,5	20,27	17,95	11,45
T22	100/0	0,1	8	20,15	29,025	-44,04
T23	100/0	0,3	8	20,15	2,884	85,69
T24	100/0	0,5	8	20,15	11,0335	45,24
T25	0/100	0,1	6,5	20,23	39,785	-96,66
T26	0/100	0,3	6,5	20,23	34,045	-68,29
T27	0/100	0,5	6,5	20,23	35,82	-77,06
T28	0/100	0,1	8	20,115	17,32	13,90
T29	0/100	0,3	8	20,115	28,75	-42,93
T30	0/100	0,5	8	20,115	23,325	-15,96
Tc1	0/0	0,02*	6,5	20	23,98	-19,90
Tc2	0/0	0,02*	6,5	20,165	32,81	-62,71
Tc3	0/0	0,02*	6,5	20,015	33,72	-68,47
Tc4	0/0	0,02*	8	19,985	1,3345	93,32
Tc5	0/0	0,02*	8	20,49	1,426	93,04
Tc6	0/0	0,02*	8	20,21	0,8715	95,69

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN

4.1. Características físicas de los coagulantes naturales

Los resultados generados en la investigación han permitido conocer el rendimiento de las semillas de moringa en la obtención del material que sirve como coagulante natural, representando el 60,9 %. Ello indica que para obtener 100 g de coagulante se necesitaría 164,2 g de semillas (Tabla 9). El rendimiento de la moringa obtenido en esta investigación se asemeja al rendimiento reportado por Gonzales y Fandiño (2018) quienes obtuvieron rendimientos del 56 %. A lo cual Gómez y Salazar (2016) justifican que el rendimiento de la moringa por encima de 50 % al momento de obtener coagulante natural, se debe al alto contenido de proteínas, carbohidratos y cationes que contiene en su composición.

El rendimiento de la penca de tuna en la obtención de coagulante natural representó el 1,6 %. Dichos resultados obtenidos se encontraron dentro del rango reportado por Silva (2017), quien investigó la efectividad de diferentes métodos empleados en la extracción de coagulante a partir del mucílago de tuna, obteniendo valores de 0,49 a 2,42 %. Es evidente que el bajo rendimiento se debe al alto contenido de agua que contienen los tejidos de la tuna, siendo la humedad contenida mayor al 97 % (Huanca, 2017), el cual es característica de la familia de los cactus. Obtenido el coagulante natural en base seco, a partir de procesos tal como secado y tamizado, se midió el porcentaje de humedad y contenido de cenizas; obteniéndose valores de 1,3 y 14,3 %, respectivamente; siendo valores similares a los reportados por Huanca (2017).

4.2. Efectos de los coagulantes naturales en los parámetros fisicoquímicos del agua residual

En esta investigación se analizaron los efectos generados por los coagulantes naturales obtenidos a partir de semillas de moringa y tallo de tuna sobre los parámetros fisicoquímicos del agua residual generada en el lavado de banano orgánico de exportación, tales como la turbiedad, pH final, sólidos disueltos totales y conductividad.

La medición de la turbiedad mediante la prueba de jarras ha demostrado la existencia de diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en los tres factores experimentales e interacciones entre ellos (Tabla 12). Esto se reflejó en la variación de los valores de turbiedad de los 30 tratamientos ejecutados, reportándose un rango entre 2,02 a 39,79 UNT. Fue observable la efectividad de remoción de algunas proporciones y concentraciones de los coagulantes a niveles de pH alcalino (pH = 8,0), tal es el caso del tratamiento T5, cuya proporción fue 50 % de moringa y 50 % de tuna, adicionado a una concentración de 0,3 % y a pH ajustado en 8, logró el menor valor de turbiedad (2,02 UNT). Dicha condición fue reportada por otros autores, tal como Mekonin y Ebba (2021), quienes obtuvieron 99,99 % de remoción de turbiedad en aguas residuales a valores de pH ajustado entre 7 a 9. Asimismo, Aldana (2012) quien obtuvo resultados de turbiedad menores a 2 UNT en aguas turbias generadas en laboratorio (>30 UNT). En caso de la moringa, el contenido de proteínas de bajo peso molecular son los responsables de adherirse a las partículas cargadas negativamente encontradas en el agua tratada (Tumbaco y Acebo, 2017). En el caso de la tuna, sus biopolímeros son adsorbidos formando puentes entre las partículas flotantes a nivel acelerada hasta que se genera el flóculo (Martínez, 2017). Se evidenció la efectividad de los coagulantes naturales de moringa y tuna a una proporción igual (50 %) para remover sólidos orgánicos del agua residual del lavado de banano. Esta propiedad del coagulante mixto se expresó en agua residual acondicionada a un pH alcalino ajustado. Niveles de turbiedad por debajo a 5 UNT significa una baja concentración de sólidos suspendidos, siendo un valor aceptable en la calidad de agua para consumo humano (Andía, 2000).

Diversos investigadores han experimentado con extractos de cactus *Opuntia ficus-indica* y han encontrado que son efectivos en la eliminación de la turbidez del agua. Las almohadillas internas y externas poseen ácido poli galacturónico, que es un biopolímero aniónico con capacidad de coagulación (López, 2018). La adsorción y el puente entre partículas son los mecanismos dominantes para la formación de flóculo. Además, no es tóxico y es biodegradable, por lo que tiene un impacto ambiental reducido (Gandiwa *et al.*, 2020). También se indica que, los cladodios (tallos modificados) de la tuna contienen complejos no galactomananos, compuestos de galactosa, xilosa, arabinosa, restos de ramnosa y ácido galacturónico respectivamente. El esqueleto de la goma contiene ácido galacturónico, ramnosa y galactosa; y la xilosa y la arabinosa se unen como cadenas laterales a través de glucósidos (Saleem y Bachmann, 2018). López (2018) establece que el alto contenido de carbohidratos que presenta la tuna es el responsable de su poder coagulante.

Se evidenció que el pH ajustado tuvo un impacto significativo en la eliminación de la turbiedad, ya que se obtuvo mayor eficiencia de remoción en las formulaciones de agua residual a pH = 8,0. Dicho comportamiento de los coagulantes fue reportado también en el estudio de Olivero *et al.* (2017), quienes obtuvieron eficiencias de 90 % a pH = 8,0. Por otra parte, se constató que el tratamiento T25 mantuvo el valor más alto de turbiedad (39,79 NTU); dicho tratamiento estuvo constituido por una proporción de coagulante de 0 % moringa y 100 % tuna al 0,1 % de concentración y 6,5 de pH ajustado. Ello indica la baja eficiencia de la tuna para remover turbiedad en efluentes con pH ácidos.

Según el análisis de varianza para el parámetro pH final del agua residual tratada, la proporción entre coagulantes de moringa y tuna, la concentración del coagulante mixto aplicada y el pH ajustado del agua, afectaron significativamente ($p \leq 0,05$) en el pH final del efluente (Tabla 14). De acuerdo a los resultados obtenidos, los valores promedios del pH final de los tratamientos se encontraron en el rango de 6,10 a 8,04 (Tabla 15); siendo los valores del pH ajustado considerados en el experimento de 6,5 y 8,0. Por lo tanto la variación fue mínima, la cual dependió en principio de la proporción del coagulante (porcentaje de moringa y tuna) que contuvieron las formulaciones de coagulantes, la concentración de coagulantes adicionado y el pH ajustado de los tratamientos. Dichos resultados obtenidos coinciden con lo reportado por Alvares (2019) quien indica que la adición de diferentes dosis

de extracto de moringa (134,4 a 445,6 mg/L) como coagulante natural sobre aguas residuales de una planta de procesamiento de néctar de maracuyá, no generan modificaciones significativas en el pH residual del efluente.

En la presente investigación se establecieron dos valores de pH a las que se ajustó al agua residual en estudio, considerando un valor ácido y otro alcalino. Ello debido que las aguas del valle Piura, en específico de Chulucanas presentan un pH promedio de 7,4 (Universidad de Piura [UDEP], 1998). De acuerdo con los resultados obtenidos se evidenció que las formulaciones de coagulantes naturales presentaron mayores resultados en remoción de turbiedad a pH 8,0; siendo este el valor óptimo. Investigadores como Mekomim y Ebba (2021), Ruiz y Amaya (2021) y Safaa *et al.* (2022), reportaron que en pH mayores a 7,0 los coagulantes a base de moringa se comportan muy efectivos en la remoción de turbiedad. Además, cabe indicar que el pH final de los tratamientos ejecutados, empleando diferentes proporciones de moringa y tuna y concentraciones de la solución coagulante, presentaron valores de pH final dentro del rango aceptable para potencial de hidrógeno (pH) de efluentes que pueden ser empleados para el riego de vegetales y bebida de animales, establecido en la categoría 3 de los ECA para agua (Decreto Supremo N°004-MINAM, 2017).

Los sólidos disueltos totales (SDT) reflejan la materia más pequeña a dos micras encontrada en una muestra de agua, que no pueden ser removidos por un filtro tradicional. Los principales constituyentes de los sólidos disueltos son: calcio, magnesio, sodio, potasio, carbonatos, cloratos, sulfatos y aniones de nitrato (World Health Organization, 2016). Según el análisis de varianza se conoció que la proporción entre coagulantes de moringa y tuna, la concentración del coagulante mixto aplicada y el pH ajustado del agua, afectaron significativamente ($p \leq 0,05$) en los SDT (Tabla 16). Además, se determinó que los factores experimentales actuaron de manera conjunta. Los valores promedio de SDT de los tratamientos, se encontraron dentro del rango de 311,5 a 2 330 ppm (Tabla 17). Es así como se puede aseverar que, a mayor proporción de moringa y tuna contenga la formulación del coagulante, y mayor concentración del coagulante sea adicionado a los tratamientos, considerando un pH ajustado alcalino (pH =8); el valor del SDT tiende a incrementarse. Otros autores presentan remociones de SDT poco significativos al emplear coagulantes naturales. En el caso Cañari y León (2022) en su estudio de las aguas de la quebrada

Huaycoloro, en donde presentó 4 240 mg/L de SDT como valores iniciales. Aplicando coagulante de tuna en base seca, obtuvo una reducción mínima de SDT (230 puntos por debajo al valor inicial), mientras que la aplicación de coagulante de moringa en base seca redujo 190 puntos respecto al valor inicial (p. 94). Aunque Ruiz y Amaya (2021) reportaron porcentajes de remoción de SDT mayores a 60 % en efluentes de coagulantes de tuna, los cuales han sido extraídos de la penca de tuna y usados en forma de gel. La diferencia con esta investigación sería que se emplearon compuestos coagulantes de moringa y tuna deshidratados.

La conductividad se interpreta como la capacidad del agua para conducir electricidad, además indica la cantidad de sales contenidas y se utiliza para determinar la pureza del líquido (Brunner, 2014). Según el análisis de varianza se conoció que la proporción entre coagulantes de moringa y tuna, la concentración del coagulante mixto aplicada y el pH ajustado del agua afectaron de manera significativa en la conductividad del agua en estudio. También, se conoció que las interacciones entre las variables proporción – concentración y proporción y pH ajustado afectaron los valores de conductividad del efluente (Tabla 18). Además, los valores de conductividad eléctrica resultantes de los diferentes tratamientos se encontraron entre 0,55 a 4,88 mS/cm (Tabla 19), estando dentro del rango aceptable para aguas empleadas para riego de vegetales y bebida de animales (2,5 a 5,0 mS/cm) establecidas en los ECA para agua (Decreto Supremo N°004-MINAM, 2017). Ello significa que el efluente tratado con las formulaciones de coagulantes naturales puede emplearse para el riego de cultivos, tal como plantaciones de banano orgánico; sin correr el riesgo que se alteren las características del suelo e influyan en el desarrollo fisiológico vegetal. Los resultados obtenidos se asemejaron a los reportes de Álvarez (2019), quien obtuvo valores de conductividad entre 2,43 a 2,96 mS/cm en aguas residuales generadas en la producción de néctar de maracuyá tratadas con extracto de moringa. Mencionar que en todos los casos que la conductividad residual es directamente proporcional con las concentraciones de las formulaciones de los coagulantes. Además, en caso de las formulaciones con mayor proporción de moringa se observó mayores valores de conductividad eléctrica. Esto podría deberse a la presencia de los iones de cloruro de sodio, presentes en los extractos de moringa, que serían los causantes del incremento de la conductividad. Lo mencionado anteriormente es confirmado por Safaa *et al.* (2022), quienes indicaron que el aumento de la concentración de iones provoca un aumento en la conductividad eléctrica del agua (Álvarez, 2019).

El tratamiento T5, en donde se empleó un coagulante constituido por una proporción 50/50 % de moringa/ tuna, aplicado a una concentración de 0,3 % y a un pH ajustado de 8,0; obtuvo el menor valor de turbiedad. Ello significa que dicha formulación de coagulante natural fue aplicada en la concentración óptima. A esta concentración, la dosis del coagulante viene a ser 30 mg/L. No se han reportado investigaciones que hayan empleado la moringa y tuna en un compuesto coagulante para tratar efluentes generados en el proceso postcosecha de banano orgánico, pero si existen reportes por separados, tal como Camacho *et al.* (2017) quien reportó 50 mg/L como dosis óptimas de coagulante a base de moringa, al igual que Olivero *et al.* (2017) reportó 45 mg/L como dosis óptima de tuna y moringa.

4.3. Eficiencia en remoción de turbidez de los coagulantes a base de moringa y tuna, con respecto a la eficiencia de remoción del sulfato de aluminio

El valor máximo de eficiencia en remoción de turbidez la obtuvo el tratamiento T5, en el cual se aplicó una dosis de 30 mg/L del coagulante natural, constituido por 50 % de moringa y 50 % de tuna. La eficiencia representó un 86,52 %; mientras que los tratamientos control en los que se aplicó sulfato de aluminio a una concentración de 0,02 % obtuvieron un valor máximo de eficiencia del 95,69 %, siendo mayor en 8 puntos porcentuales con respecto al coagulante natural. Mientras que Olivero (2017) reportó una eficiencia del 99,7 % por parte del sulfato de aluminio a una concentración de 40 ppm y pH = 8,0.

Tumbaco y Acebo (2017) reportaron una eficiencia de 100 % en remoción de turbiedad de aguas superficiales con 66,7 mg/L de solución de moringa. Así también, Camacho *et al.* (2017) reportaron eficiencia de 85 % en remoción de turbiedades altas de aguas simuladas en laboratorio con 50 mg/L de solución de moringa, mientras que Palmero y Lías (2018) reportaron una eficiencia del 92 % en remoción de turbiedad alta de efluentes residuales generados en la agroindustria. Para el caso de la tuna, López (2018) reportó una eficiencia de 85 % en remoción de turbidez de agua con 500 UNT, empleando dosis de 90 mg/L a concentración de 2 % de coagulante de tuna.

La formulación del coagulante natural constituido por 50 % tanto de moringa y tuna obtuvo un alto valor de eficiencia en remoción de turbiedad del agua residual generada en el lavado de banano orgánico para exportación, siendo viable recircular el agua para un segundo uso en el proceso postcosecha.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

1. Las características físicas de los coagulantes naturales presentaron factores diferenciados por ser obtenidos de órganos vegetales distintos. Para el caso del coagulante de moringa provino de las semillas, mientras que el coagulante de tuna se obtuvo a partir del tallo. Esta variable fue predominante en los resultados del rendimiento, contenido de humedad y contenido de cenizas de cada coagulante.
2. Las proporciones de moringa y tuna que contuvieron las formulaciones de coagulantes, a las concentraciones que fueron añadidas y el ajuste del pH afectaron de manera significativa ($p \leq 0,05$) en los parámetros fisicoquímicos (turbiedad, pH, sólidos disueltos totales y conductividad) del agua residual, generada en el lavado de banano orgánico para exportación que fue analizada.
3. Se determinó que la concentración y dosis óptimas de las formulaciones de coagulantes naturales a base de moringa y tuna; así como el pH ajustado óptimo del efluente fue 0,3 %; 30 mg/L, pH = 8,0 respectivamente; a una proporción de 50 % para moringa y 50 % tuna. Logrando una eficiencia del 86,52 %.
4. El sulfato de aluminio aplicado a una concentración de 0,02 % fue más eficiente en la remoción de turbiedad con respecto a las formulaciones de coagulantes elaborados a partir de moringa y tuna.
5. La mayor eficiencia de remoción de turbiedad de las formulaciones de coagulantes naturales a base de moringa y tuna fue 86,52 %, mientras que la mayor eficiencia del sulfato de aluminio fue 95,69 %.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

1. Se recomienda evaluar las formulaciones de coagulantes propuestos en esta investigación a valores de pH en el rango de 7,0 a 10,0.
2. Para la obtención del coagulante natural a partir de la semilla de moringa se recomienda emplear un proceso de purificación usando cromatografía de exclusión molecular.
3. Considerar análisis microbiológicos al efluente tratado con coagulantes naturales de *M. oleifera* a y *Opuntia ficus-indica* para conocer su efecto en la carga microbiana final.
4. Para la extracción del aceite de los órganos vegetales se recomienda realizarla con solventes haciendo uso del hexano.
5. En investigaciones futuras, se recomienda evaluar otras propiedades fisicoquímicas del efluente tratado con el coagulante natural a base de moringa y tuna. Tal como estabilidad química, límite de exclusión molecular, eficiencia de sedimentación, entre otros.
6. Se recomienda realizar un análisis económico del uso de coagulante natural elaborado a partir de *M. oleifera* y *Opuntia ficus-indica*, en el tratamiento de las aguas generadas en el lavado de banano orgánico, para conocer su viabilidad en comparación con los coagulantes químicos.

REFERENCIAS

- Agencia Agraria de Noticias (2022). Exportaciones de productos agrícolas orgánicos sumaron US\$ 636 millones en 2021, mostrando un crecimiento de 11 %. <https://agraria.pe/noticias/exportaciones-de-productos-agricolas-organicos-sumaron-us-63-28291>.
- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (2016). Indicators: Conductivity. Consultado 03 ene. 2019. <https://www.epa.gov/national-aquatic-resource-surveys/indicators-conductivity>
- Agronoticias (2019). Perú exportó banano orgánico por S/ 117 millones. <https://agronoticias.pe/noticias/peru-exporto-banano-organico-por-us-117-millones/>
- Ahmad, A. Narasimha, V. (2020). Chapter 16 - African perspective of chemical usage in agriculture and horticulture their impact on human health and environment, E(s): Ahmad, A. y Narasimha, V. Agrochemicals detection, treatment and remediation: Pesticides and chemical fertilizers. Elsevier. 401-436 <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-103017-2.00016-7>
- Aldana, A. E. (2012). *Uso del extracto de la semilla de Moringa oleifera como coagulante natural primario y ayudante de coagulación en el tratamiento de agua para consumo humano* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional UNI. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/3387>
- Álvarez, H. (2019). *Extracto de moringa (Moringa oleifera) para la remoción de turbidez de efluentes de la producción de néctar de maracuyá*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria la Molina]. Repositorio institucional UNALM. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3923>
- Andía, Y. (2000). Tratamiento de agua. Coagulación y floculación. SEDAPAL. http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_fileuuid=2792
- Asociación de exportadores, (2022). Reporte de tendencias, febrero de 2022: alimentos. Centro de Investigación de Economía y Negocios Globales. <https://www.cien.adexperu.org.pe/>
- Bravo, M.A. (2017). *Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales*. [Tesis de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas] repositorio institucional universidad distrital. <http://hdl.handle.net/11349/5609>

- Britannica y Editors of Encyclopaedia (2021). *Tyndall effect*. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/science/Tyndall-effect>
- Brunner, G. (2014). Chapter 2 - Properties of Pure Water. *Supercritical Fluid Science and Technology*, Elsevier, 5(1), 9-93, <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59413-6.00002-9>.
- Camacho, F. P., Sousa, V. S., Bergamasco, R. y Teixeira, M. (2017). The use of *Moringa oleifera* as a natural coagulant in surface water treatment [Uso de *Moringa oleifera* como coagulante natural en el tratamiento de aguas superficiales]. *Chemical Engineering Journal*, 313, 226-237. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.12.031>
- Canepa, L. (2004). Tratamiento de aguas para consumo humano: plantas de filtración rápida. Manual I: teoría. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). <https://www.virtualpro.co/biblioteca/tratamiento-de-aguas-para-consumo-humano>
- Cañari, A. y León K. (2022) *Reducción de turbidez mediante los coagulantes naturales (Moringa oleifera) y (Opuntia ficus – indica) en aguas superficiales de la quebrada Huaycoloro, 2022*. [Tesis de grado – Universidad Privada del Norte]. Repositorio institucional UPN. <https://hdl.handle.net/11537/33816>
- Castillo, J. G., y Silva, I. G. (2018). *Efecto del coagulante - floculante obtenido del cactus de nopal en la turbidez, DBO5 y sólidos totales del efluente de la empresa Casa Grande S.A.* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio institucional DSPACE – UNITRU. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/11441>
- Centro de Investigación y Promoción del Campesinado (2014). Manual de cosecha y postcosecha de banano orgánico. Asociación de Productores de Banano Orgánico Salitral (APBOS). <http://www.cipca.pe/wp-content/uploads/2022/06/BANANO-MANUAL-APBOS.pdf>
- Chanal, D.; Yousfi Steiner, D.; Petrone, R.; Chamagne, D. y Péra, M. (2022) Online Diagnosis of PEM Fuel Cell by Fuzzy C-Means Clustering. *Encyclopedia of Energy Storage*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819723-3.00099-8>.
- Choy, S. Y., Prasad, K. M. N., y Wu, T. Y., Raghunandan, M. E. y Ramanan, R. N. (2014). Utilization of plant-based natural coagulants as future alternatives towards sustainable water clarification [Utilización de coagulantes de origen vegetal como

futuras alternativas para la depuración sostenible del agua]. *Journal of Environmental Sciences*, 26(11), 2178-2189. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2014.09.024>

De Paula, H. M., De Oliveira Ilha, M. S., Sarmiento, A. P. y Andrade, L. S. (2018). Dosage optimization of *Moringa oleifera* seed and traditional chemical coagulants solutions for concrete plant wastewater treatment [Optimización de la dosificación de soluciones de semillas de *Moringa oleifera* y coagulantes químicos tradicionales para el tratamiento de aguas residuales en plantas de hormigón]. *Journal of Cleaner Production*, 174, 123-132. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.311>

Decreto Supremo 004 de 2017 [Ministerio del Ambiente]. Por la cual se establecen los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias. 06 de junio de 2017 (Perú).

Decreto Supremo 044 de 2006 [Ministerio de Agricultura]. Reglamento Técnico para los Productos Orgánicos. 14 de julio del 2006. Diario Oficial El Peruano, D.O. N° 323611 https://www.ciaorganico.net/legislacion/862_DS_044-2006-AG.pdf

Díaz A. y Margarita E. (2019). *Efecto de la remoción del aceite de las semillas de Moringa oleifera en el tratamiento de aguas por coagulación-floculación*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio institucional UNALM <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3916>

Flowers, P.; Theopold, K.; Langley, R. y Robinson, W. (2022). *Chemistry (2 ed.)*. OpenStax. <https://openstax.org/books/chemistry-2e/pages/1-introduction>

Formentini D.M., Fagundes M.R., Veit M.T., Palácio S.M., Trigueros D.E. y Bergamasco R. (2018). Potential of the *Moringa oleifera* saline extract for the treatment of dairy wastewater: application of the response surface methodology [Potencial del extracto salino de *Moringa oleifera* para el tratamiento de aguas residuales lácteas: aplicación de la metodología superficie de respuesta]. *Environ Technol.*; 40(17), p. 2290-99. <https://doi.org/10.1080/09593330.2018.1440012>

Gabino R.L. (2018). *Opuntia ficus indica como coagulante para remoción de sólidos suspendidos totales del efluente de beneficio en avícola La Chacra*. [Tesis de grado, Universidad Continental]. Repositorio institucional continental. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/5029>

Gallo, J. E. (2018). El milagro del agro peruano. Paradojas y oportunidades. Escuela de Dirección. Universidad de Piura.

- Gandiwa, B.I.; Moyo, L.B.; Ncube, S.; Mamvura, T.A.; Mguni, L.L. y Hlabangana, N. (2020). Optimisation of using a blend of plant based natural and synthetic coagulants for water treatment: *Moringa Oleifera* - *Cactus Opuntia* - alum blend [Optimización del uso de una mezcla de coagulantes naturales y sintéticos de origen vegetal para el tratamiento del agua: *Moringa Oleifera* - *Cactus Opuntia ficus* - mezcla de alumbre]. *South African Journal of Chemical Engineering*, 34(1), 158-164. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2020.07.005>.
- Gensdarmes F. (2015). Chapter 1.3 - Methods of Detection and Characterization. En Doles (Ed.) *Nanoengineering: Global Approaches to Health and Safety Issues*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-62747-6.00003-8>
- Gomez, M. y Salazar, G. (2016). Evaluación de la eficiencia de semillas de moringa oleífera Lam. Como coagulante natural en la ciudad de Pasto - Colombia. *Vitae Sulp Supplement.23* (1). 709 – 712. <https://search.proquest.com/openview =1806352>
- Gonzales, J. K. y Fandiño, M. C. (2018), *Evaluación de la semilla de moringa como coagulante en aguas residuales de curtiembre* [Tesis de grado, Universidad de La Salle]. Repositorio institucional ULASALLE. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/737
- Gonzales, M. y Rivera N. (2021). *Efecto de la dosis y tiempo de floculación en la remoción de partículas coloidales utilizando el coagulante opuntia ficus-indica como ayudante en el proceso de potabilización de agua huancavelica-2019* [Trabajo de grado, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio institucional UNH. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/4171>
- Gopalakrishnan, L.; Doriya, K. y Kumar, D. (2016). *Moringa oleifera*: A review on nutritive importance and its medicinal application [*Moringa oleifera*: revisión de su importancia nutritiva y su aplicación medicinal]. *Food Science and Human Wellness*, 5(2), 49-56. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2016.04.001>.
- Henao T.A., Buitrago G.W. y Cristina Z.I. (2015). Tratamiento de aguas residuales y potabilización de aguas. <https://www.academia.edu/16885444>
- Hernández, R.; Fernández, C. y Baptista, M. P. (2010). Metodología de la investigación. 5ta ed., México: McGrawHill.
- Huanca, J.J. (2017). *Evaluar los parámetros durante el tratamiento térmico para obtención de mucílago de la penca de tuna (Opuntia ficus indica)*. [Tesis de grado, Universidad

- Intagri S.C. (4 de octubre de 2018). El aluminio y el desarrollo radical de los cultivos [académica]. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/el-aluminio-y-el-desarrollo-radical-de-los-cultivos>
- Kumar, V.; Othman N. y Asharuddin S. (2017). Applications of natural coagulants to treat wastewater – a review. MATEC Web of conferences 103(1). <http://dx.doi.org/10.1051/mateconf/201710306016>
- Lakshmiddevamma T.N.; Ugalat, J.; Apoorva, K.; Gautham Suresh, S.; Doddamani, M.; Kadam, S.; Nayana, R.; Jagadeesha, R. y Fakrudin, B. (2021) Genetic Diversity of Moringa (*Moringa oleifera* Lam.). In: Boopathi N.M., Raveendran M., Kole C. (eds) The moringa genome. *Compendium of Plant Genomes*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-80956-0_7
- Lee, E. (2019) Chapter 1 - Electrophoresis of a Single Rigid Particle, E(s): Lee, E. Theory of electrophoresis and diffusio-phoresis of highly charged colloidal particle. *Interface Science and Technology*. 26(1), 3-45. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100865-2.00001-1>.
- Lima, P.; Almeida V. y Vicentini V.E. (2020). Os diferentes tipos de coagulantes naturais para o tratamento de agua: uma revisão [Los diferentes tipos de coagulantes naturales para el tratamiento de agua: una revisión]. *Evidencia Biociencia, Saude e Inovacao*, 20(1), 9-22. <https://doi.org/10.18593/eba.24807>
- López, P. M. (2018). *Evaluación del uso de la cactácea Opuntia ficus-indica como coagulante natural para el tratamiento de aguas* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio institucional UNALM. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3541>
- Martínez, A. M. (2017). *Método alternativo para tratar lixiviados maduros mediante el proceso de coagulación-floculación con mucílago de Opuntia ficus-indica* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio institucional UNAM. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/63744>
- Matusiak J. y Grzadka E. (2017). Stability of colloidal systems – a review of the stability measurements methods [Estabilidad de los sistemas coloidales - revisión de los métodos de medición de la estabilidad]. *Universitatis Mariae Curie-Skłodowska*. 72(1), 33-45 <https://core.ac.uk/download/pdf/235271468.pdf>

- Mekonin W., y Ebba M. (2021), Wastewater treatment using a natural coagulant (*Moringa oleifera* seeds): optimization through response surface methodology [Tratamiento de aguas residuales con un coagulante natural (semillas de *Moringa oleifera*): optimización mediante la metodología superficie de respuesta]. *Heliyon* 7(11), <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08451>
- Meza, M., Riaños, K., Mercado, I., Olivero, R. y Jurado, M. (2018). Evaluation of the coagulant power of aluminum sulfate and *Moringa oleifera* seeds in the clarification process of water in the swamp of Malambo-Atlántico [Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y de las semillas de *Moringa oleifera* en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico]. *Revista UIS ingenierías*, 17(2), 95-104. <https://doi.org/10.18273/revuin.v17n2-2018009>
- Milla, P.; Peñalver, R. y Nieto, G. (2021). Health benefits of bases and applications of *Moringa oleifera* in bakery products [Beneficios para la salud desde las bases y aplicaciones de la *Moringa oleifera* en productos de panadería]. *Plants*, 10(2), 318-325. <https://doi.org/10.3390/plants10020318>
- Muthuraman, G. y Sasikala, S. (2014). Removal of turbidity from drinking water using natural coagulants [Eliminación de la turbidez del agua potable mediante coagulantes naturales]. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(4), 1727-1731. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.08.023>
- New Jersey Department of Health (2017). Hoja informativa sobre sustancias peligrosas: Sulfato de aluminio. <https://www.nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/0068sp.pdf>
- Nieto, M.S. (2021), *Utilización de tuna (Opuntia ficus indica) como coagulante orgánico en el tratamiento de aguas turbias*, [Tesis de grado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión], Repositorio institucional UNJFSC <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/UNJFSC/5132>
- Palmero, J. y Lías, J. (2018). Efecto de la semilla de *Moringa (Moringa oleifera)* Lam como coagulante natural, en un agua residual de origen agroindustrial. *Revista Ambientellania*, 1(1), 87-97.
- Olivero, R., Florez, A., Vega, L. y Villegas, G. (2017), Evaluación de una mezcla para coagulantes naturales, *Opuntia ficus* y *Moringa oleifera* en clarificación de aguas. *Producción + Limpia*, 12(1), 71-79, <https://doi.org/10.22507/pmL.v12n1a6>

- Quiroz, C. O. (2019). *Competitividad del banano orgánico (Musa paradisiaca) en la región Piura*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio institucional UNALM. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3991>
- Ramírez, H. y Jaramillo, J. (2016). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 11(2), 136-153, <https://doi.org/10.18359/rfcb.1303>
- Ramírez, M., Sáenz, M. V. y Vargas, A. (2011). Efecto de la inmersión en agua caliente sobre la secreción de látex por la corona de gajos recién conformados de frutos de banano. *Agronomía Costarricense*. 35(1), 1-14. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/ac/v35n1/a01v35n1.pdf>
- Redagrícola (18 de noviembre de 2018). Perú ya no corre en la producción de banano orgánico. <https://www.redagricola.com.pe/peru-ya-no-corre-solo-en-la-produccion-de-banano-organico/>
- Ruiz, M.C. y Amaya, J.M. (2021), *Evaluación del biocoagulante extraído de la semilla de moringa (Moringa oleifera) como coadyuvante en el proceso de coagulación para el tratamiento de aguas superficiales en la cuenca Río Molino (Popayán - Cauca)*, [Tesis de grado, Universidad Autónoma del Cauca] Repositorio institucional UAC, <http://repositorio.uniautonomo.edu.co:8080/xmLui/handle/123456789/608>
- Sáenz, W. S. (2015). *Utilización de la semilla natural Moringa Oleifera como ayudante de la coagulación en la planta potabilizadora de agua de la ciudad de Caraz provincia de Huaylas Ancash* [Tesis de grado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz – Ancash]. Repositorio institucional UNASAM. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/1692>
- Safaa, K.R.; Salah S.; Loubna, E. F.; Anas, D.; Ilham, N.; Chaymae, H. y Mohamed, H. (2022), Optimization of coagulation process for treatment of olive oil mill wastewater using *Moringa oleifera* as a natural coagulant, CCD combined with RSM for treatment optimization [Optimización del proceso de coagulación para el tratamiento de aguas residuales de almazara utilizando Moringa oleifera como coagulante natural, diseño compuesto central (CCD) combinado con metodología superficie respuesta (RSM) para la optimización del tratamiento]. *Process Safety and Environmental Protection*, 162(1), 406-418, <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.04.010>
- Saleem, M. y Bachmann, R. T. (2018). A contemporary review on plant-based coagulants for applications in water treatment [Revisión contemporánea de los coagulantes vegetales para su aplicación en el tratamiento de aguas]. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2018.12.029>

- Singh D., Gesare J. y Kaur H. (2013). Bioprospecting of Moringa (Moringaceae): Microbiological Perspective [Bioprospección de Moringa (Moringaceae): Perspectiva microbiológica]. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 1(6), 193-215 <https://www.phytojournal.com/archives/2013.v1.i6.86/bioprospecting-of-moringa-moringaceae-microbiological-perspective>
- Singh L. (2020). Properties of Colloids. Department of Chemistry R.R.S. College PPUP. <http://www.ppup.ac.in/download/econtent/pdf/Properties%20of%20Colloids%20F.pdf>
- Silva, M.N. (2017). *Extracción del mucílago de la penca de tuna y su aplicación en el proceso de coagulación-floculación de aguas turbias*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio institucional CYBERTESIS – UNMSM. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/7155>
- Sillanpää, M., Ncibi, MC, Matilainen, A. y Vepsäläinen, M. (2018). Removal of natural organic matter in drinking water treatment by coagulation: A comprehensive review [Eliminación de la materia orgánica natural en el tratamiento del agua potable por coagulación: Una revisión exhaustiva]. *Chemosphere*, 190, 54–71. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.09.113>
- Tumbaco, D. M. y Acebo, K. M. (2017). *Eficiencia de biocoagulante a base de semilla de Moringa oleifera para aplicación de tratamiento de agua usando como captación el río Guayas* [Tesis de grado, Universidad de Guayaquil]. Repositorio institucional UG. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/27909/1/moringa.pdf>
- Universidad de Piura (1998). Estudio preliminar de los pozos ubicados en el valle del río Piura entre las localidades de Tambogrande y Chulucanas: Memoria descriptiva. Repositorio digital del Autoridad Nacional del Agua – ANA. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/3328>
- Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM] (2008). Fundamentos y técnicas de análisis de los alimentos. Laboratorio de alimentos I. Repositorio institucional UNAM: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/fundamentosytecnicasdeanalisisdealimentos_12286.pdf
- Urquía, K. (2017). *Eficiencia de la Opuntia ficus indica frente a la Moringa Oleífera, en el tratamiento de aguas del Río Huaycoloro, SJL-2017* [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio institucional UCV. <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/10877>

- Valeriano, J. y Matos, R. A. (2013). Polielectrolitos Orgánicos Naturales en el Tratamiento de Agua para Consumo Humano. *Revista de Investigación Universitaria*, 2(2). <https://doi.org/10.17162/riu.v2i2.34>
- Vegas, U. (2012). Asistencia técnica dirigida en cosecha y post cosecha de banano orgánico. AGROBANCO. https://www.agrobanco.com.pe/wp-content/uploads/2017/07/009-b-banano_ORGANICO.pdf
- Vigneshwaran S., Karthikeyan, P., Sirajudheen, P. y Meenakshi, S. (2020). Optimization of sustainable chitosan/*Moringa oleifera* as coagulant aid for the treatment of synthetic turbid water – a systemic study [Optimización de quitosano/*Moringa oleifera* sostenible como coagulante para el tratamiento de aguas turbias sintéticas - un estudio sistémico]. *Environ. Chem. Ecotoxicol.*, 2(1), 132-140. <https://doi.org/10.1016/j.enceco.2020.08.002>
- Walter J. y Weber (2003). Control de la calidad del agua procesos fisicoquímicos. Bogotá, Buenos Aires. Editorial Reverté, S.A.
- World Health Organization (2016). Total dissolved solids in drinking water. Guidelines for drinking water quality. http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/en/tds.pdf
- Sigler, A. y Bauder, J. (2012). Alcalinidad, pH y sólidos disueltos totales. Universidad Estatal de Montana. <https://studylib.es/doc/5287902/alcalinidad--ph--y-s%C3%B3lidos-disueltos-totales>

TERMINOLOGÍA

- **Agricultura orgánica:** Es un sistema de producción sostenible y respetuoso con el medio ambiente que consiste en producción de cultivos y cría de animales sin el uso de insumos agrícolas sintéticos, como fertilizantes y pesticidas, sino mediante el uso de insumos tradicionales como abono verde, estiércol de abono, rotación de cultivos y otras prácticas culturales para eliminar plagas y controlar enfermedades (Ahmad y Narasimha, 2020).
- **Alcalinidad:** Es la capacidad del agua de neutralizar o regular cambios en acidez. Elevada alcalinidad no plantea un riesgo directo en la salud, pero puede provocar obstrucción en las tuberías y calentadores de agua (Sigler y Bauder, 2012).
- **Análisis de varianza:** El análisis de varianza (ANOVA) es una forma conceptualmente simple, poderosa y popular de realizar pruebas estadísticas en experimentos que involucran a dos o más grupos (Chanal *et al.*, 2022).
- **Clúster:** Se denomina a un racimo de bananos acondicionados generalmente para el empaque en cajas de cartón y su respectivo transporte (Quiroz, 2019).
- **Conductividad eléctrica:** Es la medida de la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica y está influida por la temperatura, donde a mayor temperatura del agua, mayor será su conductividad (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2016).
- **Coloide:** Es una mezcla heterogénea en la que las partículas dispersas tienen un tamaño intermedio entre las de una solución y una suspensión. Las partículas se distribuyen uniformemente por todo el medio de dispersión, que puede ser un sólido, un líquido o un gas (Lee, 2019).
- **Partículas en suspensión:** Son materiales tales como el arena, materia vegetal y limos. Estos varían en tamaño desde partículas muy grandes hasta partículas con

una dimensión típica de 10 μm . Los coloides son partículas muy finas, típicamente entre 10 nm y 10 μm (Flowers *et al.*, 2022).

- **Potencial de hidrógeno (pH):** Es la medida de la concentración de iones de hidrógeno o la acidez del agua; clasificado como un contaminante secundario por la USEPA con un rango sugerido de 6,5 a 8,5 (Sigler y Bauder, 2012).
- **Producto restringido:** Es aquel que se encuentra controlado o fiscalizado por los sectores correspondientes y requiere de una autorización previa emitida por la autoridad competente antes de ser usado, o que el programa de certificación establezca las condiciones y procedimientos para su uso (Ministerio de Comercio Exterior y Turismo [MINCETUR], 2009).
- **Sedimentación:** Es una técnica de separación tradicional y se basa de dos procesos, la coagulación y floculación, en la que se logra producir flóculos con buenas propiedades de sedimentación, los cuales por gravedad son arrastrados al fondo del cuerpo de agua (Gensdarmes, 2015).
- **Sólidos disueltos totales (TDS):** Es un indicador de la calidad del agua el cual mide la concentración de minerales, metales y sales disueltas en el agua, los cuales no pueden ser removidos por un filtro tradicional y funciona con una medida de la materia en una muestra de agua más pequeñas de 2 micrones (Sigler y Bauder, 2012).
- **Turbiedad:** Es una característica del agua debida a la presencia de partículas suspendidas cuyo tamaño es inferior a 3,5 μm , La presencia de esas partículas provoca la dispersión y absorción de la luz, dando una apariencia turbia, estéticamente indeseable y potencialmente peligrosa (Silva, 2017).

APÉNDICES

Apéndice 1

Tallo de Opuntia ficus-indica



Apéndice 2

Frutos de M. oleifera



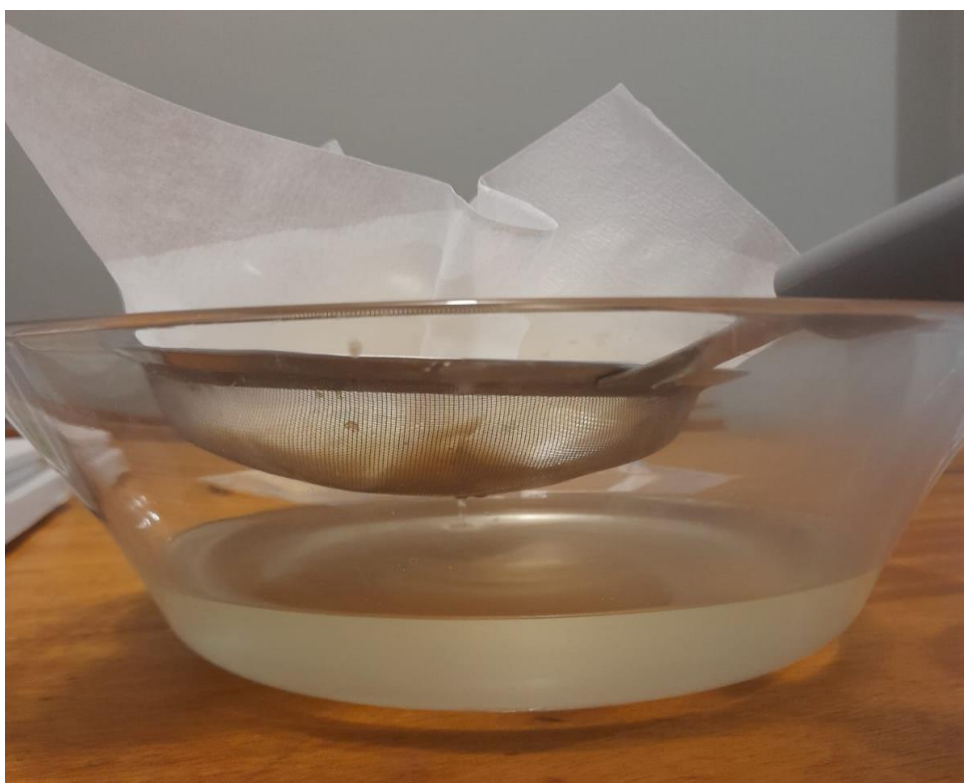
Apéndice 3

Acondicionamiento de la Opuntia ficus-indica



Apéndice 4

Extracción del aceite de M. oleifera con alcohol al 96 %.



Apéndice 5

Filtración de la torta de la M. oleífera



Apéndice 6

Medida de parámetros iniciales del agua residual en el laboratorio de la UCSS- filial Morropón



Apéndice 7

Uso de la prueba de jarras para homogenizar los coagulantes agregados en diferentes proporciones.



Apéndice 8

Colocación de muestras de agua residual tratada con los coagulantes naturales para ser medido en el turbidímetro.

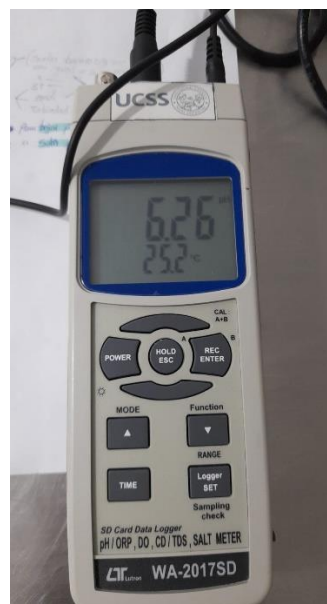


Apéndice 9

Turbidímetro y multiparámetro usados para la ejecución de tesis



Turbidímetro



Multiparámetro

Apéndice 10

Obtención de la penca de Opuntia ficus-indica.



Apéndice 11

Secado de la pulpa de los cladodios de la Opuntia ficus-indica a 60 °C x 3 horas



Apéndice 12

Selección de los mejores granos de semilla de M. oleifera

