

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela Profesional de Ingeniería Agrónoma



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**Efecto del mucilago de Tuna (*Opuntia ficus-indica*), como
floculante natural, en el tratamiento de agua para riego
tecnificado**

**Tesis para obtener el título profesional de
Ingeniero Agrónomo**

Autores:

Bach. Huiza Valdiviezo, Jean Carlos
Bach. Paredes Contreras, Ofelia Lucia

Asesor:

Ms. Herrera Cherres, Santos
DNI. N° 33260931
Código ORCID: 0000-0002-8880-063X

Nuevo Chimbote - Perú
2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÓNOMA



Tesis titulada: Efecto del Mucilago de Tuna (*Opuntia ficus-indica*), como floculante Natural, en el Tratamiento de Agua para Riego Tecnificado, para obtener el título profesional de Ingeniero Agrónomo, presentado por los Bachilleres: Huiza Valdiviezo, Jean Carlos y Paredes Contreras, Ofelia Lucia, ha sido elaborado de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, julio del 2025

Ms. Herrera Cherres, Santos
Asesor
DNI: 33260931
Código ORCID: 0000-0002-8880-063X

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÓNOMA



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

Tesis: Efecto del Mucilago de Tuna (*Opuntia ficus-indica*), como floculante Natural, en el Tratamiento de Agua para Riego Tecnificado, para obtener el título profesional de Ingeniero Agrónomo.

Revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador:

Ms. Aquino Minchán, Wilmer
Presidente
DNI. N° 26602902
Código ORCID: 0000-0002-2624-1174

Ms. Escalante Espinoza, Nelida Guillesi
Secretaria
DNI. N° 40559155
Código ORCID: 0009-0005-2115-7220

Ms. Herrera Cherras, Santos
Integrante
DNI. N° 33260931
Código ORCID: 0000-0002-8880-063X

Año de la Recuperación y consolidación de la Economía Peruana"

ACTA DE INSTALACIÓN PARA SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

A los 24 días del mes de julio del año dos mil veinticinco, siendo las 04.30:00 pm. en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrónoma-FI-UNS, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante T.Resolución N° 257-2025-UNS-CFI, integrado por los docentes: **Ms. Wilmer Aquino Minchán (Presidente)**, **Ms. Nelida Guillesi Escalante Espinoza (Secretario)** y **Ms. Santos Herrera Cherras (Integrante)**, para la sustentación de la Tesis titulada **"Efecto del Mucilago de Tuna (*Opuntia ficus- Indica*), como floculante natural, en el tratamiento de agua para riego tecnificado"**, perteneciente a las bachilleres: **HUIZA VALDIVIEZO JEAN CARLOS**, con código de matrícula N° 0201215020 y, **PAREDES CONTRERAS OFELIA LUCIA**, con código de matrícula n. 0201315006, asesorados por el docente: **Ms. Santos Herrera Cherras (R.D. N° 112-2022-UNS-FI)**.

Siendo las 5.00 p.m. del mismo día, se da por iniciado el acto de sustentación, firmando la presente Acta en señal de conformidad.



Ms. Wilmer Aquino Minchán
PRESIDENTE



Ms. Nelida Guillesi Escalante Espinoza
SECRETARIO



Ms. Santos Herrera Cherras
INTEGRANTE

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

A los 24 días del mes de julio del año dos mil veinticinco, siendo las 4.30 pm. en el auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrónoma-FI-UNS, campus II, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante Resolución.N° 257-2025-UNS-CFI, integrado por los docentes: **Ms. Wilmer Aquino Michaan (Presidente)**, **Ms. Nelida Guillesi Escalante Espinoza (Secretario)** y **Ms.Santos Herrera Cherres (Integrante)** y, de Expedito según, Resolución Decanal N° 446 -2025-UNS-FI, para la sustentación de la Tesis intitulada **“Efecto del Mucilago de Tuna (*Opuntia ficus-indica*), como floculante natural en el tratamiento de agua para riego tecnificado”**, perteneciente a los bachilleres: **HUIZA VALDIVIEZO JEAN CARLOS**, con código de matrícula N° 0201215020 y, **PAREDES CONTRERAS OFELIA LUCIA**, con código de matrícula n. 0201315006, asesorados por el docente: Ms. Santos Herrera Cherres (R.D. N° 112-2022-UNS-FI).

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General de Grados y Títulos, vigente, declaran aprobar:

| BACHILLER | PROMEDIO VIGESIMAL | PONDERACIÓN |
|--------------------------------|--------------------|-------------|
| HUIZA VALDIVIEZO JEAN CARLOS | 16 | Regular |
| PAREDES CONTRERAS OFELIA LUCIA | 16 | Regular |

Siendo las 6:10 pm del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 24 de julio de 2025



Ms. Wilmer Aquino Minchán
PRESIDENTE



Ms. Nelida Guillesi Escalante Espinoza
SECRETARIO



Ms. Santos Herrera Cherres
INTEGRANTE



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Ofelia Lucia Paredes Contreras
Título del ejercicio: "Efecto del Mucilago de Tuna (*Opuntia ficus-indica*), como floc...

Título de la entrega: Ultima Revision.pdf
Nombre del archivo: Ultima_Revision.pdf
Tamaño del archivo: 1.55M
Total páginas: 71
Total de palabras: 14,566
Total de caracteres: 81,083
Fecha de entrega: 26-may.-2025 12:15p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2685440612

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÓNOMA



"Efecto del Mucilago de Tuna (*Opuntia ficus-indica*), como floculante Natural, en el Tratamiento de Agua para Riego Tecnificado"

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGRÓNOMO

AUTORES:

Bach. Huiza Valdiviezo, Jean Carlos
Bach. Paredes Contreras, Ofelia Lucia

ASESOR:

Ms. Herrera Cheres Santos

NUEVO CHIMBOTE - PERÚ
2025

Ultima Revision.pdf

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|---|--|-----|
| 1 | hdl.handle.net Fuente de Internet | 4% |
| 2 | repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet | 2% |
| 3 | repositorio.unheval.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 4 | Submitted to Universidad Nacional del Santa Trabajo del estudiante | 1% |
| 5 | repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 6 | 1library.co Fuente de Internet | 1% |
| 7 | www.coursehero.com Fuente de Internet | <1% |
| 8 | documents.mx Fuente de Internet | <1% |
| 9 | Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante | <1% |

Dedicatoria

A mis padres, Ezequiel y Flor, por ser el pilar fundamental de mi vida, por su amor incondicional, sus sacrificios silenciosos y por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo, la humildad y la perseverancia.

A mis hermanos, por acompañarme en cada etapa, por sus palabras de ánimo, por las risas compartidas y por estar siempre presentes, incluso en la distancia.

A mi abuelo, Reymundo. cuyo cariño, sabiduría y consejos siguen guiando mis pasos. Gracias por enseñarme a valorar las cosas simples y por ser una fuente constante de inspiración.

Y a Jhannet, mi enamorada, por tu amor, tu paciencia y por creer en mí incluso cuando yo dudaba. Gracias por estar a mi lado en los momentos difíciles y por hacer más llevadero este camino con tu compañía y apoyo constante.

Este logro también es de ustedes. Con todo mi corazón.

Jean Carlos

Dedicatoria

A mis padres, Jesús y Domitila, por su amor incondicional y su apoyo constante en cada paso de mi camino, son mi motor y motivo para continuar y seguir luchando por cada uno de mis sueños. Por creer en mí siempre. Por cada sacrificio silencioso, por cada gesto de amor que me trajo hasta aquí.

A mi hermano Breinner, que también fue parte importante de este camino que con su ejemplo de superación siempre fue motivador en mi vida.

A mi esposo Augusto, que con su amor supo impulsarme para no rendirme por más oscuro y lejano que se veía este camino. Gracias por estar, por escuchar, por alentar y por hacer más liviano este camino.

Este trabajo es una pequeña muestra de todo lo que me han enseñado: que los sueños sí se alcanzan, si se camina con amor y en familia.

Ofelia Lucia

Agradecimiento

Agradezco, en primer lugar, a Dios por darme la fuerza, la salud y la perseverancia para llegar hasta aquí.

A mis padres, por ser el motor de mi vida. Gracias por su amor, su paciencia y su apoyo incondicional en cada etapa de este camino. Su ejemplo ha sido mi mayor guía.

A mis hermanos, por su compañía, sus palabras de aliento y por hacerme sentir que nunca estoy solo en esta travesía.

A mi asesor de tesis, por su orientación, exigencia académica y por compartir sus conocimientos con generosidad. Su apoyo fue clave para el desarrollo de este trabajo.

A mis amigos y compañeros, quienes con una palabra, una conversación o una sonrisa hicieron más llevadero este proceso.

A todas las personas que, de una u otra forma, contribuyeron a este logro: gracias por haber sido parte de este capítulo tan importante en mi vida.

Bach. Huiza Valdiviezo, Jean Carlos

Bach. Paredes Contreras, Ofelia Lucia

Índice

| | |
|---|-----------|
| Dedicatoria | I |
| Agradecimiento | III |
| Índice..... | IV |
| Índice de tablas..... | VI |
| Índice de figuras..... | VII |
| Resumen..... | VIII |
| Abstract..... | IX |
| I. Introducción..... | 1 |
| 1.1. Descripción y formulación del problema | 1 |
| 1.2. Objetivos de la investigación | 2 |
| 1.2.1. Objetivo general..... | 2 |
| 1.2.2. Objetivos específicos..... | 2 |
| 1.3. Formulación de hipótesis | 2 |
| 1.3.1. Hipótesis general..... | 2 |
| 1.3.2. Hipótesis específicas | 3 |
| 1.4. Justificación e importancia de la investigación | 3 |
| II. Marco teórico | 5 |
| 2.1. Antecedentes | 5 |
| 2.2. Marco conceptual | 9 |
| 2.2.1. Tuna (<i>Opuntia ficus indica</i>)..... | 9 |
| 2.2.2. Floculante | 14 |
| 2.2.3. El agua | 17 |
| III. Metodología | 23 |
| 3.1. Enfoque | 23 |
| 3.2. Ubicación del experimento | 23 |
| 3.3. Diseño de investigación | 24 |
| 3.4. Población y muestra..... | 25 |
| 3.4.1. Población del estudio..... | 25 |
| 3.4.2. Muestra de estudio | 25 |
| 3.5. Método..... | 26 |
| 3.5.1. Procedimiento | 26 |

| | |
|---|----|
| 3.5.2. Datos a registrar | 27 |
| 3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos | 27 |
| 3.6.1. Técnicas | 27 |
| 3.6.2. Instrumentos | 27 |
| 3.7. Técnicas de análisis de resultados..... | 28 |
| IV. Resultados y discusión..... | 29 |
| 4.1. Resultados | 29 |
| 4.1.1. Nivel de turbidez del agua | 29 |
| 4.1.2. Eficiencia en la eliminación de turbidez del agua..... | 36 |
| 4.2. Discusión | 42 |
| 4.2.1. Nivel de turbidez del agua | 42 |
| 4.2.2. Eficacia en la eliminación de turbidez del agua..... | 43 |
| V. Conclusiones y recomendaciones..... | 46 |
| 5.1. Conclusiones | 46 |
| 5.2. Recomendaciones | 47 |
| VI. Referencias bibliográficas..... | 49 |
| VII. Anexos | 58 |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| 1. Porcentaje de materia seca: Paleta de tuna en diferentes edades | 13 |
| 2. Niveles de Turbidez (NTU), según el tipo de agua..... | 22 |
| 3. Factores y tratamientos en estudio | 25 |
| 4. Esquema de Análisis de Varianza..... | 28 |
| 5. Base de datos para turbidez del agua (UNT - Unidades Nefelométricas de Turbidez) | 29 |
| 6. Estadísticos descriptivos respecto al nivel turbidez del agua | 29 |
| 7. ANVA para nivel de turbidez del agua según tratamiento | 30 |
| 8. Test de Tukey para nivel de turbidez del agua según interacción | 33 |
| 9. ANVA (T1 – T7) para el nivel de turbidez del agua. | 34 |
| 10. Porcentaje de la eficacia de los tratamientos | 36 |
| 11. ANVA para eficacia en la eliminación de turbidez del agua..... | 36 |
| 12. Test de Tukey para eficacia del agua según interacción..... | 39 |
| 13. ANVA para la eficacia de los tratamientos frente al testigo en la eliminación de turbidez del agua..... | 40 |
| 14. Test de Tukey para la eficacia de los tratamientos frente al testigo en la eliminación de turbidez del agua | 40 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1: Planta de <i>Opuntia ficus indica</i> | 10 |
| Figura 2: Lámina de las partes de la tuna | 12 |
| Figura 3: Vista satelital de las instalaciones de FLP S.A.C..... | 23 |
| Figura 4: Test de Tukey para nivel de turbidez del agua según floculante natural | 31 |
| Figura 5: Test de Tukey para nivel de turbidez del agua según dosis de mucílago..... | 32 |
| Figura 6: Test de Tukey general (T1 – T7) para el nivel de turbidez del agua..... | 35 |
| Figura 7: Test de Tukey para eficacia según floculante natural | 37 |
| Figura 8: Test de Tukey para eficacia según dosis de mucílago | 38 |
| Figura 9: Test de Tukey para el promedio de eficacia por tratamiento en la remoción de turbidez del agua. | 41 |

Resumen

El presente estudio evaluó la efectividad del mucílago de *Opuntia ficus-indica* (tuna) como floculante natural en el tratamiento de agua para riego tecnificado, con el objetivo de reducir la turbidez y cuantificar su eficacia. Se analizaron dos factores: tipo de floculante (extracto vs. rodajas de mucílago) y dosis aplicada (10, 50 y 100 g/0.02m³ de agua), mediante un diseño experimental completamente aleatorizado. Los resultados revelaron que los tratamientos T6 (rodajas con 100 g/0.02m³ de agua) y T2 (extracto con 50 g/0.02m³ de agua) fueron los más efectivos, logrando niveles mínimos de turbidez de 195 NTU y 200,67 NTU, respectivamente, y eficacias de remoción superiores al 88%. El análisis de varianza (ANVA) mostró efectos significativos tanto del tipo de floculante ($p = 0,013$) como de la dosis ($p = 0,004$), además de una interacción altamente significativa entre ambos factores ($p = 0,000$). Estos hallazgos indican que la eficacia del mucílago depende críticamente de la forma de aplicación y la dosis utilizada. En contraste, el tratamiento T5 (rodajas con 50 g/0.02m³ de agua) presentó el peor desempeño, con 376,67 NTU y una eficacia de 78,46%, subrayando la necesidad de ajustar las condiciones de aplicación. Este estudio valida el potencial del mucílago de tuna como alternativa sostenible a los coagulantes químicos tradicionales, destacando su capacidad para mejorar la calidad del agua en sistemas de riego tecnificado. Sin embargo, se recomienda estandarizar protocolos de aplicación y evaluar su viabilidad técnica y económica a mayor escala.

Palabras clave: *Opuntia ficusindica*, floculante, turbidez, mucílago

Abstract

The present study evaluated the effectiveness of *Opuntia ficus-indica* (prickly pear) mucilage as a natural flocculant in the treatment of water for advanced irrigation, with the aim of reducing turbidity and quantifying its efficiency. Two factors were analyzed: type of flocculant (extract vs. mucilage slices) and applied dose (10, 50, and 100 g/0.02m³ of water), using a completely randomized experimental design. The results revealed that treatments T6 (slices with 100 g/0.02m³ of water) and T2 (extract with 50 g/0.02m³ of water) were the most effective, achieving minimum turbidity levels of 195 NTU and 200.67 NTU, respectively, with removal efficiencies exceeding 88%. The analysis of variance (ANOVA) showed significant effects of both the type of flocculant ($p = 0.013$) and the dosage ($p = 0.004$), in addition to a highly significant interaction between both factors ($p = 0.000$). These findings indicate that the effectiveness of the mucilage critically depends on the method of application and the dosage used. In contrast, the T5 treatment (slices with 50 g/0.02m³ of water) showed the worst performance, with 376.67 NTU and an efficiency of 78.46%, highlighting the need to adjust the application conditions. This study validates the potential of cactus mucilage as a sustainable alternative to traditional chemical coagulants, highlighting its ability to improve water quality in advanced irrigation systems. However, it is recommended to standardize application protocols and evaluate its technical and economic feasibility on a larger scale.

Key words: *Opuntia ficusindica*, flocculant, turbidity, mucilage

I. Introducción

1.1. Descripción y formulación del problema

En el Perú, los sistemas de riego agrícola dependen principalmente de dos fuentes hídricas: las aguas subterráneas y las provenientes de cuencas fluviales costeras. Sin embargo, durante la temporada de lluvias, estas últimas presentan un incremento significativo en la turbidez debido al arrastre de partículas de gran diámetro desde sus cuencas de origen. Este fenómeno genera serias preocupaciones entre agricultores y empresas agroindustriales, ya que el uso de agua con alta turbidez en sistemas de riego tecnificado; como microaspersión o goteo provoca obstrucciones recurrentes en filtros, goteros y otros componentes, afectando la eficiencia operativa y aumentando los costos de mantenimiento. Según INTAGRI (2018), las obstrucciones en sistemas de riego pueden atribuirse a factores físicos (partículas suspendidas, materia orgánica), químicos (precipitación de óxidos o silicatos) o biológicos (crecimiento de algas o biofilms), lo que subraya la necesidad de tratamientos eficaces para mitigar estos riesgos.

La coagulación-floculación es un proceso clave en el tratamiento de agua, que facilita la remoción de metales disueltos, turbidez y patógenos mediante la adición de agentes químicos (Marín-Velásquez y Arriojas-Tocuyo, 2020). Sin embargo, los coagulantes sintéticos convencionales; como sulfato de aluminio, sulfato férrico o policloruro de aluminio; presentan limitaciones significativas: elevados costos operativos, generación de lodos contaminantes y riesgos para la salud humana y ambiental (Arcila et al., 2024). Particularmente, estudios recientes han evidenciado la toxicidad del aluminio residual en agua y cultivos, asociándolo a efectos neurotóxicos lo que ha impulsado la búsqueda de alternativas más sostenibles (Figuerola et al., 2023).

Ante este escenario, el mucílago de la tuna (*Opuntia ficus indica*) emerge como una alternativa prometedora. Este biopolímero natural ha demostrado eficacia comparable

a los coagulantes químicos en la reducción de turbidez (Ortiz et al., 2024), con la ventaja de ser biodegradable, de bajo costo y ambientalmente seguro. No obstante, su adopción en el sector agrícola enfrenta desafíos relacionados con la estandarización de dosis, la logística de aplicación y la percepción de los agricultores sobre su eficacia en condiciones reales (Lung y Wahab 2020). En este contexto, surge la pregunta central de esta investigación: ¿Qué efecto tiene el mucílago de tuna (*Opuntia ficus indica*) como floculante natural en el tratamiento del agua destinada a riego tecnificado en el Fundo Los Paltos SAC?

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo general

Determinar el efecto del Mucílago de tuna (*Opuntia ficus indica*) como floculante natural en el tratamiento del agua a riego tecnificado.

1.2.2. Objetivos específicos

- Evaluar el nivel de turbidez que presenta el agua de riego haciendo uso de dos métodos diferentes de *Opuntia ficus - indica*.
- Evaluar el efecto de tres dosis de *Opuntia ficus-indica*, sobre el nivel de turbidez que presenta el agua de riego empleada.
- Analizar la eficacia del floculante natural respecto a los niveles de turbidez obtenidos de las muestras de agua de riego

1.3. Formulación de hipótesis

1.3.1. Hipótesis general

El mucílago de tuna (*Opuntia ficus indica*), utilizado como floculante natural, tiene efecto significativo en el tratamiento del agua utilizada para riego tecnificado.

1.3.2. Hipótesis específicas

- El mucílago de tuna (*Opuntia ficus indica*) como floculante natural influye significativamente en la reducción de la turbidez del agua destinada a riego tecnificado.
- El mucílago de tuna (*Opuntia ficus indica*) como floculante natural influye significativamente en la eficacia de eliminación de turbidez del agua utilizada para riego tecnificado.

1.4. Justificación e importancia de la investigación

Los altos niveles de turbidez en el agua de los ríos del Perú (teniendo alrededor de 2660 NTU), ocasiona un 70% de problemas en los sistemas de riego tecnificado. La Empresa Fondo Los Paltos SAC, emplea un promedio de 18000 m³/ha en donde el 40% del agua proviene de un pozo tubular y el 60% restante del canal de regadío del Proyecto Especial Chinescas. El segundo en mención, presenta un nivel de turbidez muy elevado, motivo el cual no puede emplearse como única fuente de agua y tampoco de manera directa, generando de esta forma un gasto adicional para la construcción de un pozo tubular y poder reducir de cierta forma los NTU del agua; también se debe usar tratamientos químicos ya que no es suficiente con usar un porcentaje de agua subterránea para disminuir los NTU, los tratamientos floculantes y coagulantes químicos que se emplean elevan el costo de producción inicial de tal forma que para tratar 1 m³ de agua se gasta 800 dólares.

La tendencia de Fondo Los Paltos SAC, es usar menor porcentaje de químicos en la producción de sus cultivos instalados y buscar alternativas orgánicas que nos reduzcan los costos de inversión, una de las mejores opciones es emplear el componente viscoso que se encuentra dentro de la hoja carnosa de la tuna ya que es un cultivo de fácil

adaptación en cualquier piso altitudinal del Perú y muy práctico de manejar, por ello y basándonos en resultados de investigaciones anteriores como la relación que existe entre el mucílago y el aclaramiento que causa en aguas turbias, es que esté presente proyecto de estudio tiene como finalidad brindar mayor información sobre el tratamiento de agua con floculantes orgánicos para riego tecnificado.

II. Marco teórico

2.1. Antecedentes

En el contexto internacional se tiene a; Figueroa et al. (2023) llevaron a cabo una investigación en Bolivia con el propósito de analizar la capacidad del mucílago extraído de *Opuntia ficus-indica* como agente coagulante-floculante en la reducción de la turbidez de cuerpos de agua superficiales y soluciones sintéticas. En este estudio, de enfoque cuantitativo y nivel experimental, el mucílago fue obtenido mediante extracción con etanol al 96 %, posteriormente se sometió a un proceso de secado y pulverización. Se trabajó con muestras de agua de río cuya turbidez oscilaba entre 117 y 120 NTU, así como con agua sintética con valores de turbidez comprendidos entre 50 y 683 NTU. Los hallazgos indicaron que la dosis óptima de aplicación para el agua de río fue de 35 mg/L, logrando una eficiencia de remoción de $80,40 \pm 1,16$ %, mientras que, para el agua sintética con características de turbidez similares, la dosis óptima fue de 20 mg/L, alcanzando una eficiencia de $82,9 \pm 1,68$ %. Los resultados sugieren que el mucílago presenta una mayor efectividad en aguas con niveles elevados de turbidez (>110 NTU) y que, en combinación con un proceso de filtración posterior, podría contribuir al cumplimiento de los estándares de calidad exigidos para el agua potable.

Por otro lado, Vargas (2018) desarrolló una investigación en Ecuador con el objetivo de evaluar la capacidad de la tuna (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural en el tratamiento de aguas residuales. Aplicando un enfoque cuantitativo de nivel experimental, el estudio se llevó a cabo en la industria láctea “Virgen del Cisne”. Los resultados obtenidos evidenciaron que, al inicio del proceso, el agua residual presentaba un valor de color de 3900 Co/Pt y una turbidez de 361 NTU, los cuales fueron reducidos tras el tratamiento a 1880 Co/Pt y 80 NTU, respectivamente. Esto se tradujo en una eficiencia de remoción del color del 51,79% y de la turbidez del 77,84%. En términos

generales, la eficiencia media del coagulante natural se estableció en 44,78%, lo que resalta su potencial para la mejora de la calidad del agua en la industria.

En el ámbito nacional se tienen los estudios de Mondragón y Tineo (2024) quienes desarrollaron una investigación en Cajamarca con el propósito de examinar cómo influye la dosificación del mucílago extraído de *Opuntia ficus-indica* L. en la modificación del pH y en la eliminación de turbidez en las aguas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Jaén. El estudio comparó la acción del mucílago como coagulante natural frente al sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$), un coagulante químico convencional, empleando tres niveles de concentración (100, 150 y 200 mg/L) con cuatro repeticiones, a través de ensayos en un Test de Jarras a 150 rpm. Los resultados evidenciaron que el mucílago, en una dosis de 100 mg/L, generó la menor variación del pH en condiciones alcalinas (0,77 %) y una remoción de turbidez superior en un 14,58 %. En contraste, el sulfato de aluminio presentó una reducción del pH del 4,47 % en condiciones ácidas a la misma concentración y alcanzó una remoción del 98,27 % de turbidez con una dosis de 200 mg/L. Se concluyó que el mucílago, en la menor dosis aplicada (100 mg/L), permitió alcanzar una mayor eficiencia en la reducción de turbidez sin alterar significativamente el pH del agua.

Por su parte, Arrascue y Figueroa (2023) realizaron un estudio en Lambayeque con el propósito de determinar la efectividad del mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) y la piedra de alumbre en la remoción de turbidez de las aguas del río Zaña. La investigación, de tipo aplicada y cuantitativa, se basó en un diseño experimental en el que se analizaron muestras de agua con niveles de turbidez superiores a 1000 NTU, valores que sobrepasan los estándares de calidad ambiental (ECA). Se aplicaron tratamientos con tres repeticiones utilizando diferentes dosis en un tiempo de 30 minutos y una velocidad de agitación de 200 rpm. Los resultados indicaron que una dosis de 1 g de mucílago de

nopal logró remover hasta el 94,4 % de la turbidez, mientras que la piedra de alumbre, en la misma cantidad, solo alcanzó un 33,5 % de remoción. No obstante, al combinar ambos coagulantes en una proporción de 0,5 g cada uno, se obtuvo una remoción óptima del 99,82 %.

En otro estudio desarrollado en Cajamarca, Rojas (2022) evaluó el efecto del coagulante natural extraído de *Opuntia ficus-indica* en la disminución de la turbidez del agua proveniente del río Grande. La investigación se llevó a cabo en el laboratorio INNODEVEL mediante un diseño multifactorial 2x4x2, en el cual se probaron 16 tratamientos con dos repeticiones por cada uno. Los hallazgos revelaron que la mayor eficiencia en la reducción de turbidez se alcanzó con una concentración del 3% del coagulante natural, aplicando una dosis de 1 ml en distintas velocidades de agitación. Las tasas de remoción obtenidas fueron del 53,08% a 30 rpm, 78,13% a 60 rpm, 74,49% a 120 rpm y 79,78% a 180 rpm, destacando que las agitaciones de 60 y 180 rpm fueron las más efectivas para mejorar la calidad del agua.

Nieto (2021) llevó a cabo una tesis en Huacho con el propósito de evaluar la eficacia del coagulante orgánico derivado de la tuna (*Opuntia ficus-indica*) en el tratamiento de aguas turbias. La obtención del coagulante se realizó a través de un proceso de extracción con alcohol etílico, bajo diferentes condiciones operativas en relación con la proporción de nopal/agua y la cantidad inicial de biomasa utilizada. Posteriormente, se llevaron a cabo pruebas para determinar la capacidad de remoción de turbidez en función de la concentración del coagulante aplicado. Se evaluaron tres niveles de dosificación: 10 mg, 20 mg y 30 mg por cada 500 ml de agua, obteniéndose eficiencias de remoción del 41,65%; 69,42 % y 86,54%, respectivamente. Con base en estos resultados, se concluyó que la capacidad de remoción de turbidez está directamente relacionada con la

concentración del coagulante, es decir, a mayor dosis aplicada, mayor será la reducción de turbidez en el agua tratada.

Tarrillo y Tenorio (2019) evaluaron los 3 parámetros (físico-químico y biológico) del agua transcurrida por el canal del río de Ferreñafe, demostrando altas concentraciones de turbidez y coliformes, sin embargo en base a las comparaciones realizadas con los Patrones de Eficacia Ambiental instituidas en el DS N°004 -2017-MINAM, señalan que si es posible potabilizar aguas superficiales de tipo 1, A2 siempre y cuando pase por un procedimiento obligado en donde debe tener 100NTU (unidad de turbidez nefelometría). También evaluaron medidas físicas- químicas y biológicas donde se utilizó 26gr de cáscara de la fruta de tuna, obteniendo muy poca eliminación de turbidez logrando como consecuencia 50NTU de turbidez y 1700 (NMP/ 100ml) de coliformes generales. En caso de emplearlo no como cáscara sino como gel (la misma cantidad de gramos), se logra 62% en reducir los NTU, y mezclando ambos tratamientos (13gr en gel, 13 gr en cáscara) obtenemos un descenso en los valores de NTU de un 63%. Siendo entonces este último tratamiento el más efectivo.

Lozano (2018) en su trabajo de tesis realizado en Cajamarca; evaluó la causa de la disminución de suciedad del agua empleando a la tuna como un floculante natural a través de diferentes métodos de extracción funcionando con una velocidad de 40 rpm y como velocidad de agitación una dosis de 0,50 ml es así que los flóculos que generaron se difundieron en un espacio más grande facilitando de esta forma la unión de partículas coloidales. Los resultados revelaron que el mucílago fresco del proceso de extracción reduce la turbidez en un 82% al tratar la turbidez inicial de 55 NTU a una turbidez final de 10 NTU. Los procesos de extracción y licuado resultaron ser menos eficaces en la reducción de la turbidez.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Tuna (*Opuntia ficus indica*)

a. Distribución y taxonomía

Granados y Castañeda (como se citó en Terán et al., 2015) explican que es una cactácea del género *Opuntia*, siendo su punto de origen América, donde México se considera como su centro de origen por albergar la mayor cantidad de géneros y especies (p.70). Para Paz (2016) la denominación científica es *O. ficus muestra* y forma parte de la misma casta que de los cactus. Su origen remonta hacia América del Sur, pero su uso tiene amplia tradición en México. Su primera aparición fue en España - Europa, gracias a Cristóbal Colón quien la habría llevado hacia allá (p. 1).

Por otro lado, Castro et al. (2009) definen que la tuna es un cultivo de gran trascendencia en los sistemas agro-pastoriles de la sierra, la cual se halla considerablemente esparcida en tierras peruanas, sin embargo, en las quebradas es donde ha encontrado un hábitat más amigable para un favorable desarrollo (p .5). García, acota que la tuna en la actualidad ha logrado obtener gran presencia y valor desde la perspectiva socioeconómica y agroecológica, a causa de las diferentes formas y ámbitos en las que se pueda emplear, y aprovechar de manera exhaustiva cada propiedad y componente en las industrias que se requiera como, por ejemplo; la medicina, cosmetología, conservación de suelos, industria alimenticia, entre otros (como se citó en Terán et al., 2015, p. 70).

Por otra parte, Paucara (2017) menciona que se han identificado en promedio de 300 variedades de clase *Opuntia*. No obstante, hasta el momento 10 o 12 especies han sido empleadas por la especie humana, ya sea para la producción de fruta entre las cuales tenemos: *Opuntia ficus-indica*, *O. amyclaea*, *O. xocconostle*, *O. megacantha* y *O. streptacantha*, y como especies silvestres a *Opuntia hyptiacantha*, *O. leucotricha* y *O.*

robusta. En donde la especie más ampliamente cultivada en diversas partes del mundo es *Opuntia ficus-indica* (p .8).



Figura 1: Planta de *Opuntia ficus indica*

Nota. Tomado de Blanco (2019).

Blanco (2019) clasifica taxonómicamente a la tuna de la siguiente manera: Reino: Plantae, División: Magnoliophyta, Clase: Magnoliopsida, Orden: Caryophyllales, Familia: Cactaceae, Subfamilia: Opuntioideae, Género: *Opuntia*, Especie: *ficus-indica*.

b. Descripción botánica

Según Castro et al. (2009) describen algunas de las características botánicas de la siguiente manera:

El tallo: La tuna es una planta con una altura de 3-5 m, un tronco leñoso y un diámetro de 20-50 cm. La variedad más cultivada en el país crece a una altura promedio de 1,5 a 2,00 m, a diferencia de otros cactus, se dice que consiste en un tronco y ramas aplanadas.

Cladodios: También conocidas como pencas, miden de 30 a 60 cm, 20 a 40cm y de 2 a 3cm de largo, ancho y grosor, respectivamente. Estas estructuras son las encargadas de convertir la luz en energía química mediante el transcurso de fotosíntesis, y están a su

vez revestidas por una película similar a la grasa que se corta por la presencia de estomas, los cuales habitan cerrados por la mañana. La piel protege la carencia de líquido estimulada por los profundos grados y su absorción natural es de hasta un 95% de agua en peso (pp. 8-9).

Hojas: De acuerdo a la definición de CEZA (citado en Paucara, 2017) indica que las hojas caducas solo se logran observar sobre tallos tiernos al mismo tiempo que se está produciendo la evolución de pencas, en cuyas axilas encontramos las aerolas de las cuales brotan las espinas con una longitud promedio de 4 a 5 mm. Las hojas desaparecen cuando las pencas han alcanzado su mayor grado de desarrollo y son reemplazadas por las espinas (p. 16).

Flores: Castro et al. (2009) Representa flores individuales y juveniles en la parte superior de la pluma, de 6-7 cm de largo. Cada halo suele producir una flor, pero no al mismo tiempo. Las flores no se cubren después de 35-40 días desde el comienzo de la brotación. Los pétalos tienen colores brillantes como: amarillo, naranja, rojo y rosa. Tiene muchos sépalos, que van desde el amarillo pálido hasta el rojo o el blanco (p. 9)

Fruto: Esta es una baya multimembrana, esférica, cuando joven es verde, y cuando madura puede cambiar de color; La pulpa es viscosa y, a su vez, contiene muchas semillas que difieren en tamaño y color según la especie; Tienen espinas de unos 2-3 mm. (Castro et al., 2009, p.10). Por otro lado, Sáenz (como se citó en Paucara, 2017) añade que los frutos de la variedad Cardona son más chicos, sabor ácido, el color exteriormente es verde- púrpura e interiormente rosado, a diferencia de *O. Streptacantha* que son de color púrpura, dulces y jugosos, siendo la preferida para las empresas que se dedican a producir bebidas fermentadas (pp. 8-9).

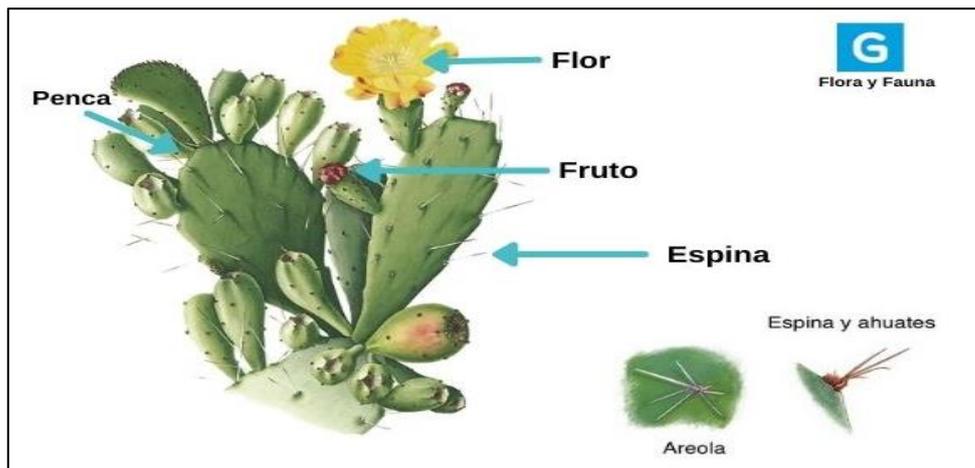


Figura 2: Lámina de las partes de la tuna

c. Composición general de la tuna

Ruales y Zumba (como se citó en Abanto, 2019) Recuerda que la tuna ha suscitado gran interés en la industria comercial, siendo aprovechados sus brotes nuevos para producir frutos, pero cuando empiezan a licuarse se utilizan para hacer harina y otros productos. El nopal es muy demandado por su agudo incluido en resistencia y gran reserva de agua (alrededor del 90%) (p. 13).

Para Saéñz (como se citó en Paucara, 2017) las pencas tienen gran contenido de algunas sales minerales como el calcio, fósforo y hierro, siendo a su vez ricas en contenido de agua. La vitamina predominante en su composición es la vitamina C. Esta fruta contiene alrededor de un 15% de azúcares, es por ello que se dice que posee grandes propiedades antioxidantes y son atribuibles a los derivados fenólicos. El porcentaje más alto de los elementos de los cladodios son polímeros hidrocarbonados, especialmente la pectina y mucílago (pp. 20-21).

Granados explica que no todas las especies presentan la misma composición química, incluso varían entre ellas mismas; bajo esa premisa se adjudica un contenido de cenizas en base húmeda para *O. ficus* – indica de 2,1% y para *Opuntia spp* blanca II de 4,3%; de igual manera se reportaron valores de 0,22% de calcio, hierro 0,027%, indicios

de cobalto, cobre, fósforo, magnesio y sílice; proteínas de 1,07% en base húmeda (como se citó en Guzmán y Chávez, 2007, p. 42).

Tabla 1

Porcentaje de materia seca: Paleta de tuna en diferentes edades

| Edad (años) | Proteína | Grasa | Ceniza | Fibra cruda | Extracto no nitrogenado |
|--------------------|-----------------|--------------|---------------|--------------------|--------------------------------|
| 0.5 | 9.4 | 1.00 | 21.0 | 8.0 | 60.6 |
| 1 | 5.4 | 1.29 | 18.2 | 12.0 | 63.1 |
| 2 | 4.2 | 1.40 | 13.2 | 14.5 | 66.7 |
| 3 | 3.7 | 1.33 | 14.2 | 17.0 | 63.7 |
| 4 | 2.5 | 1.67 | 14.4 | 17.5 | 63.9 |

Nota. Tomado de López; Citado por Abanto (2019, p. 14).

d. Mucílago de tuna

El mucílago que deriva del *Opuntia* se considera un hidrocoloide natural. En el cactus es la que se encarga de acumular grandes volúmenes de agua por tener una consistencia gomosa y espesa. Al tener acercamiento con el elemento hídrico (agua) este se comienza a hinchar, generando propiedades tensioactivas con gran similitud de diversas gomas naturales, brindándole a la sustancia gomosa un gran talento de arrebatar partículas e iones de medios acuosas (Jiménez, 2014, p.11).

El CIAD (2021) un artículo acerca del *Opuntia ficus* señala que el mucilago tiene capacidad de retener agua, interacción con sustancias grasas y cierto poder emulsificante; estas propiedades aún están en investigación para su aplicación en tecnología de alimentos, médicas, cosméticas o de remediación ambiental, entre otras.

Además, para Gutiérrez et al. (como se citó en Morejón, 2017) El contenido de miosina de la tuna es un agregado muy complicado debido a su poder para crear redes moleculares. Asimismo, se encontró que es un agente formador de biopelículas que contiene un polisacárido similar a la pectina que encapsula y separa los sólidos disueltos del agua (p. 10).

Sepúlveda y Graham (como se citó en Morejón, 2017) han realizado estudios con respecto a la estructura y composición del mucílago de tuna hallando apariencia de compuestos como L-arabinosa, ácido D-galacturónico, D-galactosa, D-xilosa, L-ramnosa, que al ser polisacáridos aglomeran los cuerpos que se encuentran presentes en el agua (p. 10).

2.2.2. Floculante

El floculante, clarificante o coagulante, es un producto que vuelve al agua pegajosa, es decir que hace que las partículas sólidas que hay en el agua se peguen entre sí, se usa para volver el agua más transparente y eliminar la turbidez, lo que se conoce como clarificación (Nieto, 2020). Theme Horse (2015) nos dice que un floculante o coadyuvante de la coagulación al momento de mezclarse aumenta su concentración de flóculos y vuelve más rápida la sedimentación; a su vez les brinda mayor tenacidad a los flóculos evitando que se rompan durante el proceso.

Son polímeros formadores de bloques que actúan como semipuentes para atraer partículas suspendidas. Hay tres tipos diferentes de coagulantes: aniónicos, catiónicos y no iónicos. El primero se utiliza para la deposición de partículas minerales, el segundo para las de origen natural y el tercero para la deposición de ambos tipos de partículas, es decir, partículas de origen orgánico e inorgánico (Rivas, 2016).

a. Tipos de floculante

Murillo et al. (2020), clasifican a los coagulantes / floculantes de la siguiente manera:

Coagulante y floculantes inorgánicos: Los investigadores citan a Guzmán et al. (2013) quienes afirman que los coagulantes más estudiados y utilizados para el progreso de aguas contaminadas son los de origen mineral como; Sulfato de aluminio, S. férrico, S.

ferroso, Aluminato de sodio y Cloruro férrico (p. 16). A continuación, detallamos cada uno de ellos:

- Sulfato de aluminio: Son cristales blancos, utilizados para el tratamiento del agua, ya que sus propiedades químicas le permiten actuar como coagulante ligando las impurezas del agua provocando su precipitación y facilitando así la separación de los sólidos presentes en el agua (POCHTECA, 2019).
- Sulfato férrico: Su composición depende del hierro, azufre y oxígeno. Es una sal sólida amarilla que es fácil de disolver en agua a temperatura ambiente. Es muy efectivo en el tratamiento de aguas industriales y residuales, actuando como coagulante, precipitando partículas coloidales en el agua (Murillo et al. 2020, p. 16).

Por su parte Olivero incluye también a;

- Cloruro férrico: Se utiliza como decantador de sólidos en aguas turbias, en aguas poco alcalinas reacciona con el ion hidróxido, su principal inconveniente es que es un agente corrosivo, cambiando cualidades y coloración.
- Aluminato de sodio: Sólido cristalino blanco, utilizado como depurador para el tratamiento de aguas turbias. Eliminación de sílice y fosfato (Murillo et al. 2020, p. 16).

Sin embargo, para García y Rojas (2006) indican que los floculantes inorgánicos (también llamado electrolíticos) fueron los primeros en usarse, haciendo que baje la magnitud de la fuerza de rechazo que se genera entre las partículas como resultado de la disminución de la doble capa y su potencial electrocinético. Indica también que los electrolíticos más comunes son: sales de aluminio (sulfatos, cloruros, alumbre, etc.), sales de hierro (sulfatos, cloruros ferroso y férrico), sales de magnesio y de cinc, ácido sulfúrico y fosfatos (p. 42).

Coagulante y floculante de polímeros orgánicos sintéticos: Guzmán, Villabona, Tejada y García explican que dependen de muchos electrolitos y pertenecen a sustancias de la naturaleza, cuyas principales propiedades son las cargas eléctricas netas y el alto peso molecular. Siendo así que los de este tipo solo actúan como coadyuvantes de coagulación metálica (Murillo et al. 2020, p. 17).

Coagulante y floculantes naturales: Dentro de los floculantes naturales encontramos de 2 tipos, los provenientes de animales y los que son oriundos de las plantas. Para Murillo (2020) los de origen animal, como su nombre lo indica provienen de animales; por ejemplo, el quitosán se origina del exoesqueleto de caracoles y cangrejos, y ha sido colocado como condensadores y floculantes (p. 17). Ramírez y Jaramillo (2015) demostraron que la tasa de remoción de turbidez del quitosano es efectiva al 98%, y este resultado se basa en condiciones de laboratorio y baja concentración de turbidez (<90 UNT) (como se citó en Murillo et al. 2020, p. 17).

A diferencia de los que provienen de animales, los de origen vegetal no han presentado niveles tan altos de efectividad, sin embargo, las más estudiadas y usadas son el nopal, piñón mexicano, la campanita (*Ipomoea incarnata*), la moringa (*Moringa oleífera*), entre otras. Olivero et al. (2014) *Opuntia ficus-indica*; Como se mencionó anteriormente, el cactus también ha sido estudiado como filtro para aguas contaminadas, actuando como coagulante. Su eficiencia es del 83%, inferior a la del sulfato de aluminio obtenido (93%) (pp. 70-75). Sin embargo, para Gallardo (2015), una de las principales plantas estudiadas es la Moringa oleífera, específicamente su semilla, debido a su alto nivel de proteínas catiónicas que presenta y que son de diferentes pesos moleculares, a su vez también posee capacidad antimicrobiana lo cual lo hace más rica en materia de investigación (p. 17).

b. Mecanismos de floculación

Abanto (2019) cita a Arboleda e indica que; existen 3 mecanismos de transporte para el proceso de floculación:

Floculación browniana: El corriente natural de las moléculas del agua generan una energía térmica del fluido.

Gradiente de velocidad: Este proceso, a diferencia de F. browniana, el cambio de las moléculas de agua es provocado por energía mecánica o hidráulica. después de que el agua se condensa, es importante formar una acumulación de microorganismos; Primero debe ocurrir F. Browniana y luego el gradiente de velocidad.

Sedimentación diferencial: Al precipitarse, las partículas grandes y pequeñas se colisionan y van cayendo despacio hasta aglomerarse (p. 21).

Por su parte, Cabrera et al. (2009) citan la teoría de la doble capa eléctrica y la política de Schultz-Hardy como uno de sus mecanismos de floculación. Dentro de sus más importantes variables que forman parte del proceso son el coagulante, su dosis, el pH del ambiente y cuanto dura la agitación empleada en la combinación de coagulante y agua residual (p. 65).

2.2.3. El agua

Jorge (2020) explica que está compuesta por 2 átomos de hidrógeno y 1 de oxígeno (H₂O), es una sustancia que puede ser encontrada en 3 diferentes estados; líquido, sólido y gaseoso. Por las propiedades químicas y físicas que presenta, se considera de vital importancia para la persistencia de los ecosistemas.

En temas agrícolas, genera un debate al referirnos a seguridad alimentaria y recursos hídricos, ya que se considera que existe una sobre explotación en los cultivos, especialmente los que aún manejan un riego por gravedad. El 70% de este recurso hídrico

presente en el planeta es ocupado por la agricultura, representando una proporción mayor debido a la evapotranspiración de los cultivos (BANCO MUNDIAL - BIRF AIF, 2022). En el Perú, Torre jefe de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) mencionó en una entrevista para la revista Agraria.pe que; el 80% del agua que se mercantiliza en el país es para la agricultura, siendo usada de manera correcta solo el 30% de esa proporción ya que no se cuenta con una cultura de aprovechamiento de este recurso y menos de infraestructura, es por ello que considera que existe un gran desperdicio de agua (Redacción Agrodato, 2023).

El agua agrícola; debido a la gran demanda de este recurso hídrico y la poca oferta que proporciona el suministro de la red pública, estas provienen de ríos y arroyos, ya sea por medio del uso de pozos y/o a través de la extracción superficial, cubriendo así las exigencias máximas de los cultivos (Pérez,2021).

a. Calidad del agua

Malleville (2020), el atributo del agua va depender de la presencia y la cantidad de contaminantes que tenga. Existen factores fisicoquímicos que forman parte de ello como los sólidos totales, turbiedad, pH, conductividad, entre otros (p. 27).

La Autoridad Nacional del Agua (ANA), realizó un diagnóstico de las más resaltantes fuentes de contaminación y su procedencia, considerando una de las ellas al vertimiento de aguas residuales no autorizadas, residuos sólidos principalmente los de actividad minera y condiciones naturales (Aquino, 2017, pp.29-30).

b. Río Santa

El río Santa es una de las importantes fuentes de extracción, de acuerdo con el PROYECTO ESPECIAL CHAVIMOCHIC (PECH) (2018) se considera como el río más importante por ser la principal fuente de abastecimiento para el proyecto anteriormente

mencionado, que llega hasta el departamento de La Libertad. Existen 152 fuentes contaminantes, 100 de ellas provienen de vertimientos de aguas residuales domésticas, las de origen minero, vertimientos de canales, retorno de riego agrícola corresponden al 10%, 3% y 2% respectivamente, otras fuentes son los vertimientos de origen de aguas termales, pasivos ambientales mineros y los botaderos de residuos sólidos que suman el 19% (p. 41).

Ministerio de Energía y Mina (s.f.) indica que los campos de cultivo en su totalidad se localizan en la franja del valle costero, expandidos a lo largo del Río Santa siendo su mayor fuente de agua las que provienen de las quebradas y en menor grado de los manantiales. A causa de la gran actividad agrícola y la poca conciencia ambiental, los residuos del uso indiscriminado de fertilizantes y pesticidas son vertidos directa e indirectamente a los canales del río, afectando así un total de 47,807 ha que emplean un promedio de 617.15 millones de m³/ha anualmente, en donde el 6,516 ha ubicadas en el valle costero usan 338.98 millones de m³ y el 41,291ha, ubicadas a lo largo del Callejón de Huaylas utilizan 278.17 millones m³ (pp. 4-5).

c. Tratamiento de agua para riego tecnificado

Un completo sistema de depuración de aguas contaminadas ayuda a mejorar la disponibilidad de recurso hídrico, ya que cuando las aguas residuales se utilizan para el aprovechamiento de cultivos y espacios verdes, una gran cantidad de agua potable queda para consumo humano (ANA , 2016, p.23). Jorge (2020) clasifica de la siguiente manera los tratamientos de agua:

Tratamiento físico: Se aplica una disgregación física, generalmente de sólidos, los cuáles van a estibar de las pertenencias físicas de los residuos como su densidad, volumen de partículas, etc. Parte de este tipo de tratamiento son el tamizado, separación y filtración de sólidos.

Tratamiento químico: Dependen de las propiedades químicas del contaminante o de la sustancia añadida al agua. Se puede mencionar a los procesos electroquímicos, oxidación, eliminación de fosfatos y nitratos, entre otros.

Tratamiento biológico: Se refiere al uso de microorganismos que transforman la elemento en cesación a compactos sedimentables. Existen dos tipos de procesos los aeróbicos o los anaeróbicos (lodos activos, filtros percoladores, biodigestión anaerobia o las lagunas aireadas).

Para BELZONA INC. (2010) algunos de los principales productos del procesamiento de las aguas contaminadas son: restos filtrados de cribas y rastrillos; partículas sólidas del proceso de eliminación de particulados: biosólidos (lodos) recogidos por aireadores, clarificadores y tanques de sedimentación; elementos flotantes de la superficie recogidos por aireadores, clarificadores y tanques de sedimentación, y el gas metano proveniente de los digestores (p. 23).

Por su parte, Oakley expresa que el objetivo primordial del manejo de aguas contaminadas lo conforman: Agregar técnicas originarias para cerrar los ciclos de agua, carbono, nitrógeno, potasio, etc. Emplear tratamientos naturales para la remoción de gérmenes, evitando de esta forma procesos químicos y/o artificiales. Evaluar los nutrimentos de las aguas residuales, que ayudan a brindar mayor fertilidad de los suelos y aporta los nutrientes necesarios para los cultivos. Valorizar la capacidad energética de la materia orgánica (incluyendo lodos) para generar y utilizar biocombustibles como el metano (como se citó en ANA, 2016, p.73).

d. Turbidez

Hach (2021) la turbidez ha sido considerada como un indicador básico y simple de la calidad del agua. Por otro lado, para Toro (2011) la turbidez es un indicador de las

partículas que se encuentran suspendidas en el agua, mide de esta forma que tan claro se encuentre el agua; es decir, mientras más contaminado esta mayor cantidad de partículas en suspensión tendrá y por ende arrojará un alto grado de valor de turbidez (p. 2).

La turbidez del agua se refiere al esparcimiento de luz que se muestre dentro de un líquido, lo cual depende también de los sólidos suspendidos que se encuentren dentro del líquido. A mayor turbidez, mayor dispersión de luz dentro de este (EMAYA, 2016, p. 4). Alcaraz confirma que la turbidez del agua tratada es un indicador de la pureza a causa de la presencia de materia en suspensión. A mayores sólidos en suspensión, más impurezas y mayor valor de turbidez. Los sólidos en suspensión son a su vez parte del total de sólidos en la muestra de agua (Díaz Rizo & Díaz González).

La Autoridad Nacional del Agua (ANA) participa en la vigilancia de la calidad del agua superficial en el territorio peruano, incluyendo cuencas como la del Amazonas mediante protocolos y estándares ambientales, los valores de turbidez aplicables al agua para consumo humano son establecidos oficialmente por DIGESA (MINSa) y supervisados por SUNASS, fijando un límite máximo permisible de 5 NTU; adicionalmente, se recomienda que el agua tratada tenga una turbidez idealmente inferior a 1 NTU, y en sistemas de filtración convencionales $\leq 0,6$ NTU en al menos el 95 % de las muestras, conforme a las recomendaciones de la OMS (MINAM,2008).

Tabla 2

Niveles de Turbidez (NTU), según el tipo de agua

| Según tipo de Agua | NTU |
|---------------------------|------------|
| Agrícola | 10 - 50 |
| Potable | 1 |
| Filtrada | < 0.6 |
| Superficiales | < 5 |

Nota. MINAM (2008).

La relación entre NTU y sólidos en suspensión es la siguiente: 1mg/l (ppm) equivale a 3NTU, por ejemplo, SS de 300mg/l(ppm) son 900 NTU.

e. Test de jarras

Para Abramovich et al. (como se citó en Lozano, 2018) el test de jarras incluyen la determinación de las condiciones apropiadas para el método de elementos excedentes. Admite cambiar el pH, dosificación del coagulante o polímero, para acelerar la mezcla, obteniendo así reducción y/o remoción del coloide en su suspensión y M.O. (p. 29). Acosta señala que se utiliza un mecanismo de prueba de 6 paletas para retirar o reemplazar seis (preferiblemente) contenedores de dos litros o de 1 litro. Uno de estos contenedores actúa como control, a diferencia de los otros 5. El mecanismo también tiene un contador de ciclos, que admite un examen exacto de la rapidez de mezcla (como se citó en Lozano, 2018, p. 29).

III. Metodología

3.1. Enfoque

El estudio se desarrolló mediante el enfoque cuantitativo, empleando el análisis estadístico para investigar las hipótesis planteadas. Basadas en Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) este enfoque implica diversas etapas, desde la definición clara del concepto hasta la formulación de preguntas de investigación y objetivos. Tras revisar la literatura, se establece un marco teórico que fundamenta la generación de hipótesis y la definición de variables.

3.2. Ubicación del experimento

El proyecto de investigación se realizó en la compañía Fundo los Paltos S.A.C que se ubica en el Distrito de Nepeña, Provincia de Santa, Departamento de Ancash, cuyas coordenadas son 9°10'19.7" S 78°21'53.9" O.



Figura 3: Vista satelital de las instalaciones de FLP S.A.C.

Nota. Tomado de Google Maps (2021)

3.3. Diseño de investigación

La presente investigación se desarrolló con un diseño experimental, en su forma Completamente al Azar (DCA), con arreglo factorial, sustentado en Fernández et al. (2010) quienes refieren que “se utilizan cuando se estudia de forma simultánea los efectos de varios factores sobre una respuesta, en los que todos los niveles de un factor se combinan con todos los niveles de cualquier otro factor para formar los tratamientos” (p. 121). En el estudio se utilizó un arreglo factorial de 2 x 3, con 3 repeticiones, que hacen un total de 18 unidades experimentales, más un testigo absoluto. Basados en Fernández et al. (2010), el modelo aditivo lineal está representado mediante la siguiente ecuación.

$$Y_{ijr} - \mu = \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijr}$$

Estableciendo que la desviación de una observación (Y_{ijr}) respecto a la media global (μ), está formado por cinco componentes: las desviaciones causadas por el efecto de los factores principales (α_i y β_j), por la interacción entre ellos $(\alpha\beta)_{ij}$ y por el error (ε_{ijr}).

Factor A: Floculante natural

F1: Extracto de mucílago de tuna

F2: Rodajas de mucílago de tuna

Factor B: Dosis de mucílago

D1: 10 g de mucílago de tuna /0.02m³

D2: 50 g de mucílago de tuna /0.02m³

D3: 100 gde mucílago de tuna/0.02m³

Tabla 3*Factores y tratamientos en estudio*

| Factores en estudio | | Tratamientos (Clave) |
|---|--|---------------------------------|
| Factor A | Factor B | |
| Extracto de mucilago de tuna (F1) | 10 g de mucilago de tuna /0.02m ³ (D1) | T1 (F1D1) |
| | 50 g de mucilago de tuna /0.02m ³ (D2) | T2 (F1D2) |
| | 100 g de mucilago de tuna /0.02m ³ (D3) | T3 (F1D3) |
| Rodajas de mucilago de tuna (F2) | 10 g de mucilago de tuna/0.02m ³ (D1) | T4 (F2D1) |
| | 50 g de mucilago de tuna/0.02m ³ (D2) | T5 (F2D2) |
| | 100 g de mucilago de tuna/0.02m ³ (D3) | T6 (F2D3) |
| Testigo absoluto | ----- | T7 (Sin aplicación) |

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población del estudio

Según Fuentes-Doria et al. (2020) la población “corresponde al grupo de individuos, elementos que tienen o comparten características comunes de un estudio” (p. 63). En este contexto, la población estuvo compuesta por el agua de riego que se tiene en el reservorio de Fundo Los Paltos S.A.C. con una capacidad de 26000 m³ que es proveniente del río Santa, captada del canal de Chinecas.

3.4.2. Muestra de estudio

De acuerdo con Salazar y Del Castillo (2018) la muestra “es un conjunto de elementos seleccionados de una población de acuerdo a un plan de acción previamente establecido (muestreo), para obtener conclusiones que pueden ser extensivas hacia toda la población” (p. 13). Por consiguiente, la muestra en la investigación estuvo conformado por 21 baldes de 20 Litros con agua de riego proveniente del río Santa haciendo un total de 0.42 m³.

3.5. Método

3.5.1. Procedimiento

El ensayo de esta investigación se realizó bajo condiciones de campo, sobre el agua de riego, en la localidad del valle de Nepeña, distrito de Nepeña, provincia del Santa, Ancash. Se utilizó los volúmenes de agua del reservorio captada del canal Chinecas, también se siguió los procedimientos que a continuación se detallan:

Selección de muestras de agua. Se recolectaron 21 muestras representativas de agua de riego, utilizando recipientes estandarizados de 0.02m³. La toma de muestras se efectuó siguiendo un muestreo aleatorio estratificado en el Fundo Los Paltos SAC, con el fin de garantizar la representatividad de las condiciones de riego en toda el área de estudio.

Preparación de los mucílagos. Se realizó la recolección de paletas de tuna provenientes de distintos campos, asegurando la diversidad y representatividad del material vegetal. Las paletas se cortaron longitudinalmente a la mitad y se procedió a raspar la superficie interna para extraer el mucílago. Adicionalmente, se prepararon rodajas del mismo material para evaluar las diferencias en la efectividad del floculante. Todo el material se manipuló bajo condiciones controladas para preservar la integridad de los compuestos activos.

Mezcla del mucílago con los volúmenes de agua de riego. En cada uno de los recipientes con agua de riego se incorporaron las dosis de mucílago de tuna (10, 50 y 100 g/0.02m³ de agua) de acuerdo con el método asignado a cada tratamiento. Posteriormente, se sometió la mezcla a agitación mecánica durante 1 minuto, lo que facilitó el contacto entre el coagulante y las partículas suspendidas. Finalizada la agitación, se permitió un período de sedimentación para que las partículas de arcilla, limo y arena se depositaran, permitiendo así evaluar la reducción de la turbidez.

3.5.2. Datos a registrar

Nivel de turbidez. Se evaluó el efecto de los tratamientos utilizando una muestra de agua del reservorio, captada del canal Chinecas, siguiendo el método de jarras conforme a la normativa ASTM D2035. Se realizaron mediciones de turbidez en unidades nefelométricas (NTU) luego de haber dejado reposar la muestra durante una hora, utilizando un turbidímetro para obtener todas las lecturas.

Eficacia. Se aplicó la ecuación propuesta por Marín-Velásquez y Arriojas-Tocuyo (2020) para determinar la reducción de la turbidez del agua. La eficacia se calculó utilizando la fórmula:

$$\text{Eficiencia (\%)} = \frac{T_i - T_f}{T_f} \times 100$$

Dónde:

T_i: Turbidez del agua (UNT) del testigo

T_f: Turbidez final del agua (UNT) según los tratamientos

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas

En el marco de esta investigación se implementó la técnica de observación directa para registrar los datos asociados a la variable dependiente. Conforme a lo planteado por Arias (2020), dicha técnica “implica la captura sistemática y objetiva de información mediante el registro de fenómenos, eventos o comportamientos en su contexto real” (p. 27). Lo que permitió analizar los cambios en los niveles de turbidez del agua.

3.6.2. Instrumentos

Se emplearon como instrumento principal hojas de registro estructuradas (fichas de observación), diseñadas para documentar de manera estandarizada los indicadores evaluados, tales como los niveles de turbidez. Además, se utilizó una libreta de campo

para anotar observaciones complementarias no previstas en las fichas, por ejemplo, condiciones ambientales anómalas. Este instrumento, respaldado por Arias (2020), proporcionó la flexibilidad necesaria para recopilar datos cualitativos y contextuales que enriquecieron el análisis.

3.7. Técnicas de análisis de resultados

Se empleó el análisis inferencial para procesar y analizar los datos, utilizando el software estadístico Infostat. Según Ñaupas et al. (2018), el análisis inferencial se define “como un proceso que permite interpretar y extrapolar las características observadas en una muestra hacia la población total, mediante el uso de modelos numéricos que facilitan la realización de contrastes estadísticos” (p. 430).

Para evaluar las hipótesis planteadas, se realizó un análisis de varianza (ANDEVA), previa verificación del cumplimiento de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Una vez confirmada la significancia estadística, se aplicó la prueba de Tukey con un nivel de significancia de 0,05 para realizar comparaciones múltiples entre las medias de los diferentes tratamientos evaluados en el ensayo.

Tabla 4

Esquema de Análisis de Varianza (DBCA)

| Fuente de Variación | Suma de cuadros | Grados de libertad | Cuadrados medios | Estadístico F |
|---------------------|-----------------|--------------------|---------------------------|---------------|
| Efecto A | SSA | a-1 | $CMA=SSA/(a-1)$ | CMA/CME |
| Efecto B | SSB | b-1 | $CMB=SSB/(b-1)$ | CMB/CME |
| Efecto AB | SSAB | (a-1) (b-1) | $CMAB=SSAB/((a-1) (b-1))$ | $CMAB/CME$ |
| Error | SSError | ab(n-1) | $CME=SSE/(ab(n-1))$ | |
| Total | SSTotal | abn-1 | | |

Nota. Elaborado en base a Fernández et al. (2010)

IV. Resultados y discusión

4.1. Resultados

4.1.1. Nivel de turbidez del agua

Tabla 5

Base de datos para turbidez del agua (NTU - Unidades Nefelométricas de Turbidez)

| TRATAMIENTO | REPETICIONES (NTU) | | | SUMA | MEDIA |
|-----------------|--------------------|---------------|---------------|----------------|----------------|
| | I | II | III | (NTU) TRAT. | (NTU) TRAT. |
| T1 | 290.73 | 258.28 | 263.97 | 812,98 | 270,99 |
| T2 | 204.99 | 192.99 | 204.04 | 602,02 | 200,67 |
| T3 | 274.93 | 276.85 | 288.21 | 839,99 | 280,00 |
| T4 | 306.02 | 220.43 | 273.56 | 800,01 | 266,67 |
| T5 | 373.38 | 363.25 | 393.37 | 1130,00 | 376,67 |
| T6 | 190.18 | 209.97 | 184.85 | 585,00 | 195,00 |
| T7 | 1795.87 | 1735.83 | 1714.32 | 5246,02 | 1748,67 |
| PROMEDIO | 490,87 | 465,37 | 474,62 | 1430,86 | 476,95 |

Tabla 6

Estadísticos descriptivos respecto al nivel turbidez del agua

| Tratamiento | Media (NTU) | D.E. | CV % | Mínimo | Máximo |
|---------------------|-------------|-------|-------|--------|--------|
| T1 (F1D1) | 271,00 | 17,35 | 6,40 | 256 | 290 |
| T2 (F1D2) | 200,67 | 6,66 | 3,32 | 195 | 208 |
| T3 (F1D3) | 280,00 | 7,21 | 2,58 | 274 | 288 |
| T4 (F2D1) | 266,67 | 43,25 | 16,22 | 217 | 296 |
| T5 (F2D2) | 376,67 | 15,28 | 4,06 | 360 | 390 |
| T6 (F2D3) | 195,00 | 13,23 | 6,78 | 185 | 210 |
| T7 (Sin aplicación) | 1748,67 | 42,25 | 2,42 | 1700 | 1776 |

Nota. D.E: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación; T7: Testigo

Basado en la Tabla 5; los tratamientos con mucílago de tuna (T1 a T6) mostraron niveles de turbidez significativamente menores en comparación con el testigo absoluto (T7). El tratamiento T6 (rodajas de mucílago de tuna con dosis de 100 g/0.02m³ de agua) presentó la menor turbidez media con 195,00 NTU, seguido por el T2 (extracto de mucílago de tuna con dosis de 50 g/0.02m³ de agua) con 200,67 NTU. En contraste, el testigo absoluto (T7) exhibió una turbidez extremadamente alta de 1748,67 NTU. Mientras que T5 (rodajas de mucílago con dosis de 50 g/0.02m³ de agua) presentó el valor más alto entre los tratamientos experimentales con 376,67 NTU. La variabilidad de los datos fue relativamente baja en la mayoría de los tratamientos, con coeficientes de variación entre 2,42% y 6,78%, excepto para T4 que mostró mayor variabilidad (16,22%). Estos resultados sugieren que el mucílago de *Opuntia ficus*, tanto en forma de extracto como de rodajas, posee propiedades floculantes efectivas para reducir la turbidez del agua destinada a riego tecnificado.

Tabla 7

ANVA para nivel de turbidez del agua según tratamiento

| Fuente de Variación | SC | gl | CM | F | p-valor |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------------------------|----------|----------------|
| Floculante natural (A) | 3755,56 | 1 | 3755,56 | 8,42 | 0,013 |
| Dosis de mucílago (B) | 7986,33 | 2 | 3993,17 | 8,95 | 0,004 |
| Floculante (A)* Dosis (B) | 53574,11 | 2 | 26787,06 | 60,06 | 0,000 |
| Error | 5352,00 | 12 | 446,00 | | |
| Total | 70668,00 | 17 | | | |
| CV= 7,97 % | | | R² = 0,92 | | |

La Tabla 7 presenta el Análisis de Varianza (ANVA) para el nivel de turbidez del agua según los tratamientos aplicados, mostrando resultados estadísticamente significativos para todos los factores evaluados. El análisis revela que tanto el tipo de

floculante natural (Factor A) como la dosis de mucílago (Factor B) influyen significativamente en la turbidez del agua, con valores p de 0,013 y 0,004 respectivamente. Sin embargo, el efecto más notable se observa en la interacción entre ambos factores (Floculante*Dosis), que presenta un p-valor de 0,000, indicando que la combinación específica de tipo de floculante y dosis es determinante para la efectividad del tratamiento. El modelo estadístico explica el 92% de la variabilidad total ($R^2 = 0,92$), con un coeficiente de variación aceptable de 7,97%, lo que sugiere una buena precisión experimental y confiabilidad en los resultados obtenidos.

La Figura 4 muestra los resultados del Test de Tukey para el nivel de turbidez del agua según el tipo de floculante natural utilizado, donde las rodajas de mucílago de tuna presentaron una turbidez media mayor (279,44 NTU) en comparación con el extracto de mucílago de tuna (250,56 NTU) diferenciando estadísticamente; confirmando que el extracto de mucílago de tuna resultó más efectivo como floculante natural para reducir la turbidez del agua destinada a riego tecnificado.

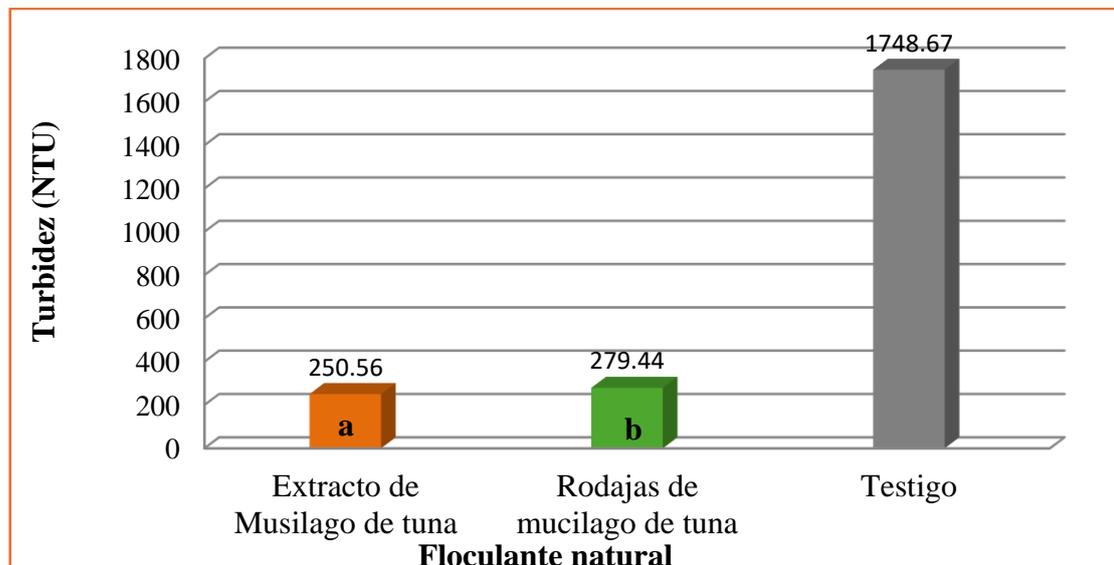


Figura 4: Test de Tukey para nivel de turbidez del agua según floculante natural

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Según la Figura 5; los resultados del Test de Tukey para el nivel de turbidez del agua según la dosis de mucílago aplicada; muestra que la dosis de 100 g/0.02m³ de agua de mucílago de tuna produjo la menor turbidez media (237,50 NTU), siendo estadísticamente diferente a la dosis de 50 g/0.02m³ de agua que generó la mayor turbidez (288,67 NTU). La dosis intermedia de 10 g/0.02m³ de agua resultó en una turbidez de 268,83 NTU, que no difiere significativamente de las otras dosis. Este comportamiento no lineal en la respuesta a las diferentes dosis sugiere que existe una relación compleja entre la cantidad de mucílago aplicado y su efectividad como floculante, donde no necesariamente una mayor dosis resulta en mayor eficacia.

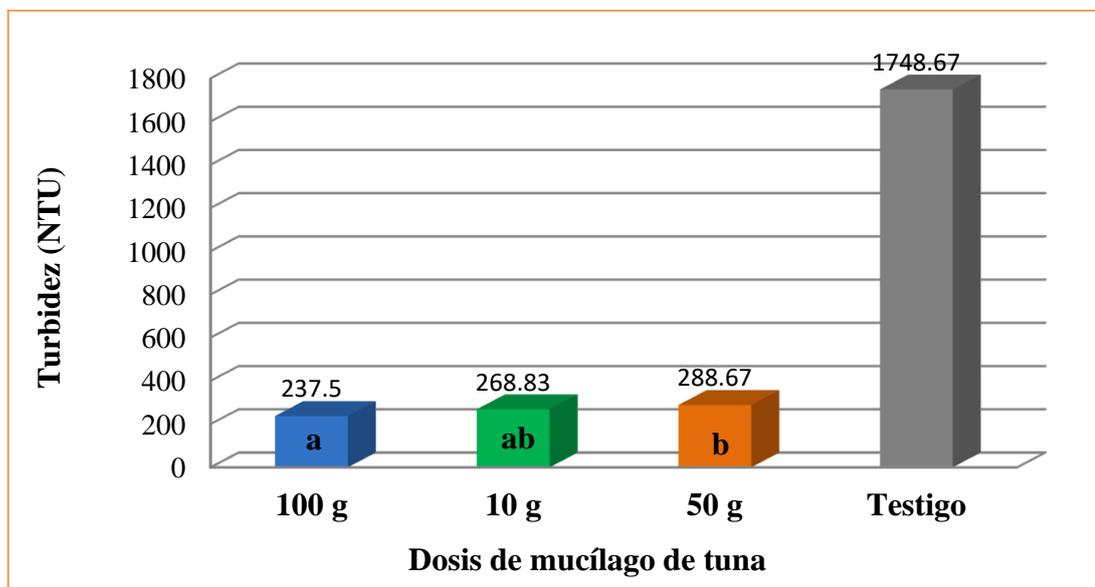


Figura 5: Test de Tukey para nivel de turbidez del agua según dosis de mucílago

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

La Tabla 7 presenta el Test de Tukey para el nivel de turbidez del agua considerando la interacción entre el tipo de floculante natural y la dosis de mucílago aplicada. Los resultados revelan que los tratamientos T6 (rodaja de tuna con 100 g/0.02m³ de agua) y T2 (extracto de tuna con 50 g/0.02m³ de agua) fueron estadísticamente superiores al resto, logrando los menores niveles de turbidez con 195,00 NTU y 200,67 NTU respectivamente, sin diferencias significativas entre ellos. Un segundo grupo

estadístico identificado incluye a los tratamientos T4 (rodaja de tuna con 10 g/0.02m³ de agua), T1 (extracto de tuna con 10 g/0.02m³ de agua) y T3 (extracto de tuna con 100 g/0.02m³ de agua), con valores de turbidez intermedios que oscilan entre 266,67 y 280,00 NTU. Finalmente, el tratamiento T5 (rodaja de tuna con 50 g/0.02m³ de agua) mostró el peor desempeño entre los tratamientos aplicados, con una turbidez significativamente mayor (376,67 NTU).

Tabla 8

Test de Tukey para nivel de turbidez del agua según interacción

| Tratamiento | Floculante natural | Dosis de mucílago (g) | Media (NTU) | Significación |
|--------------------|---------------------------|------------------------------|--------------------|----------------------|
| T6 | Rodaja de tuna | 100 | 195,00 | a |
| T2 | Extracto de tuna | 50 | 200,67 | a |
| T4 | Rodaja de tuna | 10 | 266,67 | b |
| T1 | Extracto de tuna | 10 | 271,00 | b |
| T3 | Extracto de tuna | 100 | 280,00 | b |
| T5 | Rodaja de tuna | 50 | 376,67 | c |
| T7 | Testigo | - | 1748,67 | d |

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

A fin de evaluar de forma integral el efecto del mucílago de *Opuntia ficus-indica* sobre la turbidez del agua, se realizó un análisis de varianza considerando los siete tratamientos aplicados, incluyendo el tratamiento testigo (T7), que no recibió ninguna aplicación.

En este caso, se adoptó un Diseño Completamente al Azar (DCA), tratando a cada tratamiento como una unidad experimental independiente. Este enfoque permite comparar directamente el impacto de cada combinación de tipo y dosis de mucílago con

respecto al testigo, y establecer diferencias significativas en la eficacia del tratamiento aplicado.

A continuación, se presenta la tabla correspondiente al análisis estadístico general para el nivel de turbidez del agua:

Tabla 9

ANVA (T1 – T7) para el nivel de turbidez del agua.

| Fuente de Variación | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---------------------|-----------|----|---------|---------|---------|
| Tratamiento (T1–T7) | 5,725,764 | 6 | 954,294 | 1497.88 | <0.0001 |
| Error | 8,919 | 14 | | 637.10 | |
| Total | 5,734,683 | 20 | | | |

En la tabla 9 Se observaron diferencias estadísticamente muy significativas entre los tratamientos evaluados, incluido el tratamiento testigo (T7), lo cual se evidencia en un valor de F elevado (1497.88) y un p-valor menor a 0.0001. Estos resultados indican que al menos uno de los tratamientos difiere de manera significativa con respecto a los demás.

La inclusión del testigo permitió resaltar de forma clara la eficacia de los tratamientos con mucílago, ya que el tratamiento T7 (sin aplicación) presentó un nivel de turbidez considerablemente superior al resto. Esto sugiere que la aplicación de mucílago de *Opuntia ficus-indica*, en sus diferentes formas y dosis, tiene un efecto real y altamente significativo en la reducción de la turbidez del agua.

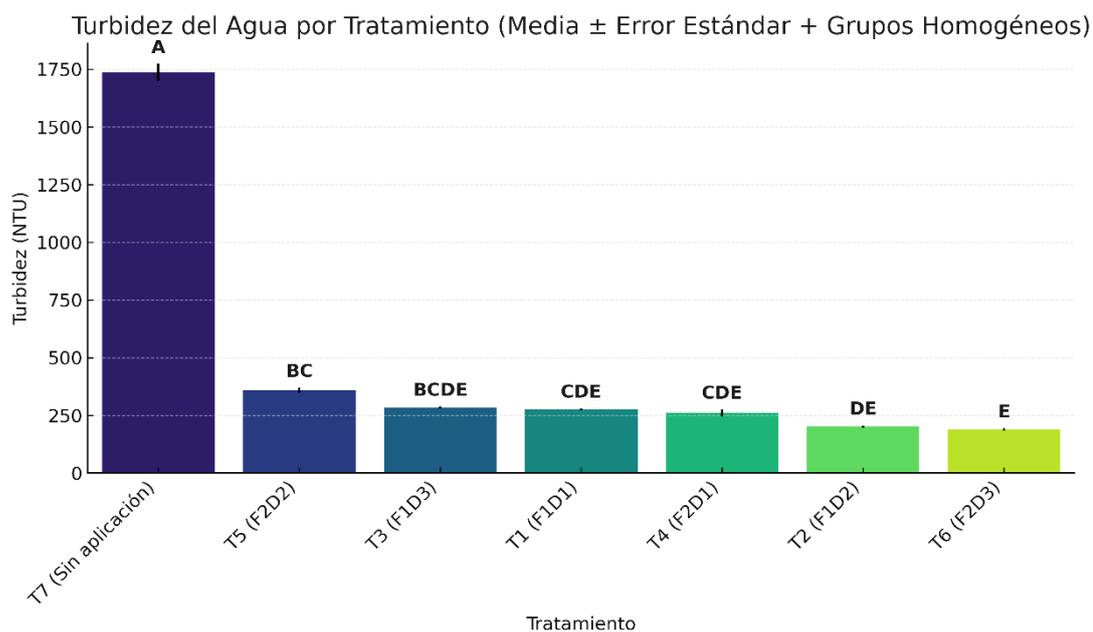


Figura 6: Test de Tukey general (T1 – T7) para el nivel de turbidez del agua.

El gráfico presenta la turbidez promedio del agua (medida en NTU) para siete tratamientos diferentes, incluyendo un tratamiento testigo (T7, sin aplicación) el cual pertenece al grupo A, lo que indica que su nivel de turbidez es significativamente mayor que el de todos los demás tratamientos. Esto refleja la efectividad de los tratamientos aplicados para reducir la turbidez.

El T6 (F2D3), T2 (F1D2) y T4 (F2D1) aparecen en los grupos con las letras E y D, lo que indica que son los tratamientos más eficaces, presentando las turbideces más bajas y sin diferencias estadísticas significativas entre ellos.

Los tratamientos T5 (F2D2), T3 (F1D3) y T1 (F1D1) tienen niveles intermedios de turbidez y comparten algunas letras (como B, C y D), lo que sugiere que tienen diferencias menores entre sí y en algunos casos no son significativamente diferentes.

4.1.2. Eficiencia en la eliminación de turbidez del agua

Tabla 10

Porcentaje de la eficacia de los tratamientos

| TRATAMIENTO | REPETICIONES (NTU) | | | SUMA (NTU) | MEDIA (NTU) |
|-----------------|-----------------------|--------------|--------------|---------------|----------------|
| | I | II | III | TRAT. | TRAT. |
| T1 | 85,59 | 83,67 | 84,97 | 254,22 | 84,74 |
| T2 | 89,02 | 88,29 | 88,80 | 266,10 | 88,70 |
| T3 | 83,78 | 84,35 | 84,57 | 252,70 | 84,23 |
| T4 | 83,33 | 87,78 | 83,84 | 254,95 | 84,98 |
| T5 | 78,60 | 78,04 | 79,73 | 236,37 | 78,79 |
| T6 | 89,30 | 89,58 | 88,18 | 267,06 | 89,02 |
| T7 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| PROMEDIO | 84,94 | 85,29 | 85,01 | | 85,08 |

Tabla 11

ANVA para eficacia en la eliminación de turbidez del agua

| Fuente de Variación | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---------------------------|--------|----|-----------------------------|-------|---------|
| Floculante natural (A) | 12,38 | 1 | 12,38 | 7,96 | 0,015 |
| Dosis de mucílago (B) | 25,97 | 2 | 12,98 | 8,35 | 0,005 |
| Floculante (A)* Dosis (B) | 174,68 | 2 | 87,34 | 56,16 | 0,000 |
| Error | 18,66 | 12 | 1,56 | | |
| Total | 231,70 | 17 | | | |
| CV= 2,47 % | | | R² = 0,92 | | |

La Tabla 10 presenta el Análisis de Varianza (ANVA) para la eficiencia en la eliminación de turbidez del agua según los tratamientos aplicados. Los resultados muestran efectos estadísticamente significativos para todos los factores evaluados, con un nivel de confianza superior al 95%. El tipo de floculante natural (Factor A) muestra

un efecto significativo sobre la eficacia ($F=7,96$; $p=0,015$), así como la dosis de mucílago aplicada (Factor B) con valores $F=8,35$ y $p=0,005$. Sin embargo, el efecto más pronunciado se observa en la interacción entre ambos factores (Floculante*Dosis), que presenta un valor F notablemente alto ($56,16$) y un p-valor extremadamente significativo ($p=0,000$). El modelo estadístico explica el 92% de la variabilidad observada ($R^2=0,92$), con un coeficiente de variación muy bajo ($2,47\%$), lo que refleja una excelente precisión experimental y alta confiabilidad en los resultados.

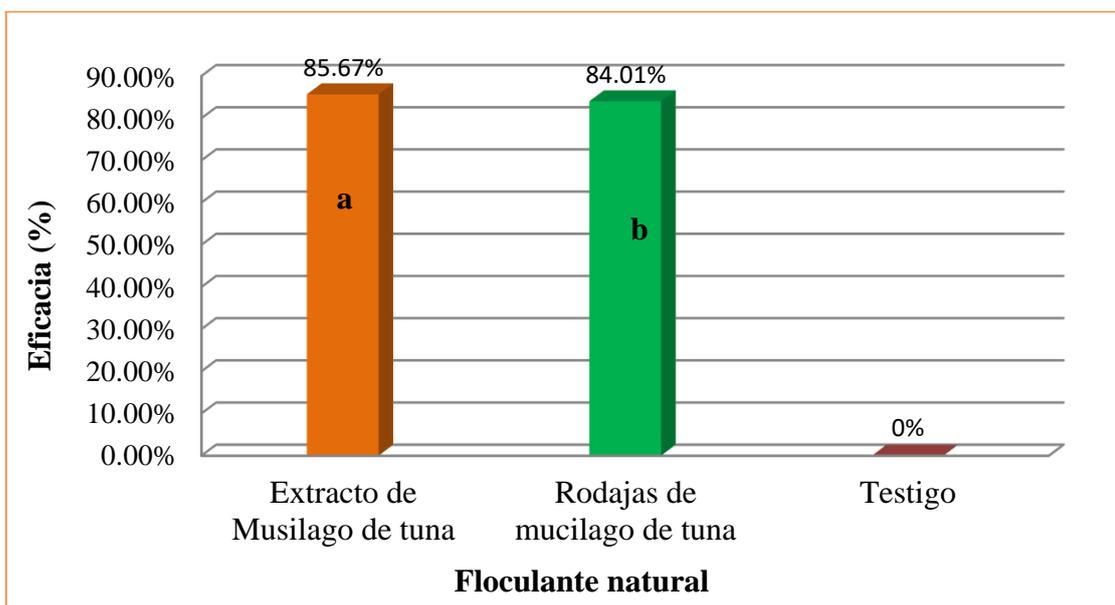


Figura 7: Test de Tukey para eficacia según floculante natural

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0,05$)

La Figura 7 ilustra los resultados del Test de Tukey para la eficacia en la eliminación de turbidez según el tipo de floculante natural utilizado. Se observa una diferencia estadísticamente significativa entre ambos tipos de floculantes, donde el extracto de mucílago de tuna presentó una eficacia media superior (85,67%) en comparación con las rodajas de mucílago de tuna (84,01%). Esta diferencia, aunque pequeña en términos porcentuales, es estadísticamente significativa.

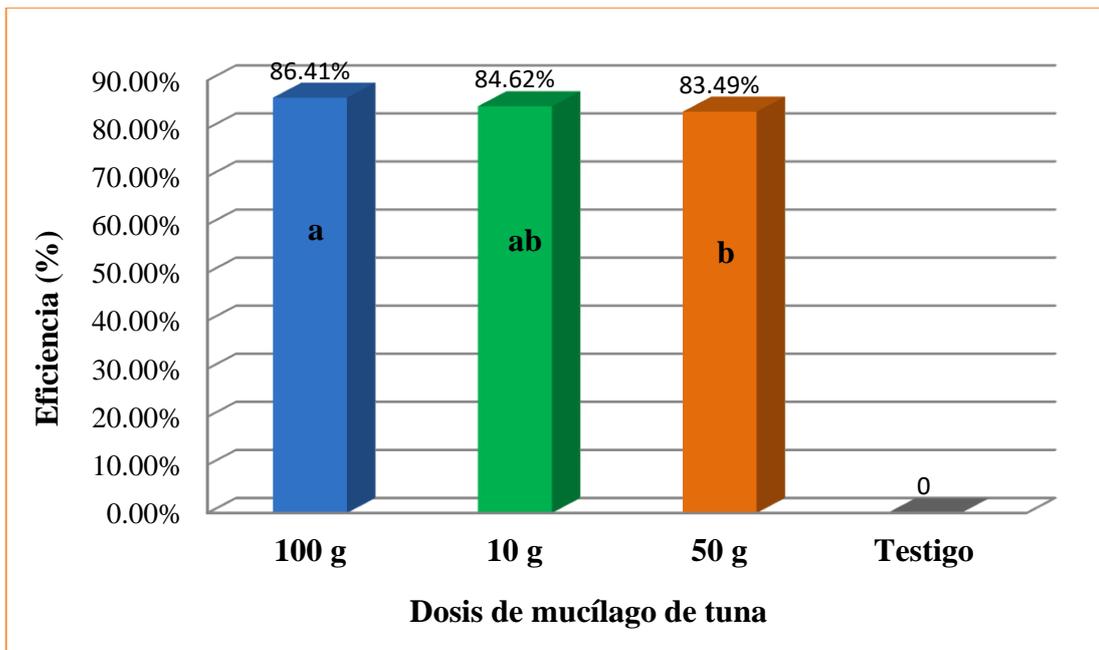


Figura 8: Test de Tukey para eficacia según dosis de mucílago

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

La Figura 8 presenta los resultados del Test de Tukey para la eficacia en la eliminación de turbidez según la dosis de mucílago aplicada. El análisis que la mayor dosis (100 g/0.02m³ de agua) logró la eficacia más alta con 86,41%, significativamente superior a la dosis de 50 g/0.02m³ de agua que alcanzó la menor eficacia (83,49%). La dosis intermedia de 10 g/0.02m³ de agua resultó en una eficacia de 84,62%, situándose en una posición intermedia que no difiere significativamente de las otras dosis. Este comportamiento sugiere que existe una relación no lineal entre la cantidad de mucílago aplicado y su eficacia como floculante, donde la dosis óptima podría depender de factores como la concentración inicial de partículas suspendidas y el tipo de floculante utilizado.

Tabla 12*Test de Tukey para eficacia del agua según interacción*

| Tratamiento | Floculante natural | Dosis de mucílago (g g/0.02m³ de agua) | Media (%) | Significación |
|--------------------|---------------------------|--|------------------|----------------------|
| T6 | Rodaja de tuna | 100 | 88,83% | a |
| T2 | Extracto de tuna | 50 | 88,52% | a |
| T4 | Rodaja de tuna | 10 | 84,73% | b |
| T1 | Extracto de tuna | 10 | 84,50% | b |
| T3 | Extracto de tuna | 100 | 83,98% | b |
| T5 | Rodaja de tuna | 50 | 78,46% | c |
| T7 | Testigo | 0 | 0 | d |

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

La Tabla 12 muestra los resultados del Test de Tukey para la eficacia en la eliminación de turbidez del agua considerando la interacción entre el tipo de floculante natural y la dosis de mucílago aplicada. Los resultados revelan que los tratamientos T6 (rodaja de tuna con 100 g/0.02m³ de agua) y T2 (extracto de tuna con 50 g/0.02m³ de agua) fueron estadísticamente superiores al resto, alcanzando las mayores eficacias con 88,83% y 88,52% respectivamente, sin diferencias significativas entre ellos. Un segundo grupo estadístico incluye a los tratamientos T4 (rodaja de tuna con 10 g/0.02m³ de agua), T1 (extracto de tuna con 10 g/0.02m³ de agua) y T3 (extracto de tuna con 100 g/0.02m³ de agua), con valores de eficacia intermedios que oscilan entre 84,73% y 83,98%. Finalmente, el tratamiento T5 (rodaja de tuna con 50 g/0.02m³ de agua) mostró el peor desempeño entre los tratamientos aplicados, con una eficacia significativamente menor (78,46%).

Asimismo, con el fin de evaluar el efecto del mucílago de *Opuntia ficus-indica* sobre la turbidez del agua, se realizó un análisis de varianza (ANVA) considerando los siete tratamientos aplicados, incluyendo el tratamiento testigo (T0), el cual no recibió ningún tipo de aplicación. Este enfoque permitió comparar de manera objetiva la eficacia de los tratamientos con y sin intervención, bajo condiciones experimentales controladas.

Tabla 13

ANVA para la eficacia de los tratamientos frente al testigo en la eliminación de turbidez del agua

| Fuente de variación | SC | gl | CM | F | p-valor |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|
| Tratamientos | 42073.72 | 6 | 7012.29 | 1423.54 | < 0.0001 |
| Error | 98.78 | 14 | 7.06 | | |
| Total | 42172.50 | 20 | | | |

En la tabla 13 los resultados muestran que el efecto del tratamiento es altamente significativo ($F = 1423.54$, $p < 0.0001$), lo cual indica que existen diferencias estadísticas claras entre al menos dos de los tratamientos evaluados. El bajo error experimental (CM Error = 7.06) respalda la confiabilidad del modelo.

Tabla 14

Test de Tukey para la eficacia de los tratamientos frente al testigo en la eliminación de turbidez del agua

| Tratamiento | Promedio de eficacia (%) | Grupo |
|--------------------|---------------------------------|--------------|
| T5 | 78.79 | b |
| T3 | 84.23 | c |
| T1 | 84.74 | c |
| T4 | 84.98 | c |
| T2 | 88.70 | d |
| T6 | 89.02 | d |
| T7 | 0.00 | a |

El testigo (T0) tuvo una eficacia significativamente menor en comparación con todos los tratamientos aplicados. Los tratamientos T6 y T2 mostraron la mayor eficacia y pertenecen al grupo d, significativamente superior al resto. Por otro lado, T5 tuvo la menor eficacia entre los tratamientos con aplicación y forma un grupo separado (b).

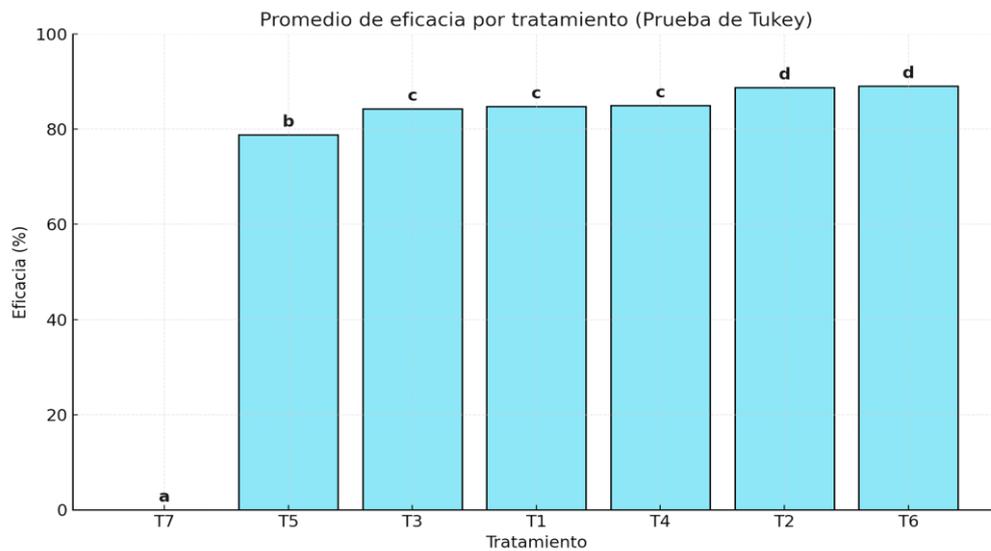


Figura 9: Test de Tukey para el promedio de eficacia por tratamiento en la remoción de turbidez del agua.

En la figura 9 se observa que el tratamiento testigo (T0), al no recibir ninguna aplicación, obtuvo una eficacia de 0%, formando un grupo estadísticamente diferente (grupo a) en comparación con los demás tratamientos. Por otro lado, los tratamientos T6 y T2 mostraron las mayores eficacias (por encima del 88%), agrupándose en el grupo d, lo que indica que ambos son significativamente superiores a los tratamientos de menor eficacia, especialmente T5 (grupo b).

Los tratamientos T1, T3 y T4 presentan eficacias intermedias (~84%) y comparten una misma letra (grupo c), indicando que no presentan diferencias significativas entre ellos, pero sí respecto a los grupos extremos (a y d). En conjunto, los resultados permiten

afirmar que la aplicación del mucílago genera una mejora significativa en la remoción de turbidez, destacando el rendimiento superior de T6 y T2.

4.2. Discusión

4.2.1. Nivel de turbidez del agua

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que el uso de mucílago de *Opuntia ficus indica* como floculante natural es efectivo para reducir la turbidez del agua destinada a riego tecnificado, aunque su eficacia varía significativamente según la forma de aplicación (extracto vs. rodajas) y la dosis utilizada. Los tratamientos T6 (rodajas de tuna con 100 g/0.02m³ de agua) y T2 (extracto de tuna con 50 g/0.02m³ de agua) destacaron al lograr los menores niveles de turbidez (195,00 NTU y 200,67 NTU, respectivamente), sin diferencias estadísticas entre ellos. Estos hallazgos sugieren que tanto el uso de rodajas a dosis elevadas como el extracto a dosis moderadas son estrategias viables para optimizar la clarificación del agua. La similitud en su desempeño podría atribuirse a la capacidad del mucílago en ambas formas para promover la agregación de partículas coloidales, tal como lo describe Lozano (2018), quien observó que el mucílago fresco reduce la turbidez de 55 NTU a 10 NTU mediante la formación de flóculos estables que facilitan su sedimentación.

Por otro lado, el grupo intermedio integrado por T4 (rodajas con 10 g/0.02m³ de agua), T1 (extracto con 10 g/0.02m³ de agua) y T3 (extracto con 100 g/0.02m³ de agua); mostró valores de turbidez entre 266,67 y 280,00 NTU. Estos resultados indican que dosis bajas (10 g/0.02m³ de agua) en rodajas y dosis altas (100 g/0.02m³ de agua) en extracto tienen un efecto limitado, posiblemente debido a que la dosis insuficiente en rodajas no logra saturar las partículas suspendidas, mientras que, en el extracto, dosis elevadas podrían generar repulsión electrostática entre los flóculos, reduciendo su eficacia (Figuerola et al., 2023). El peor desempeño correspondió al tratamiento T5 (rodajas con

50 g/0.02m³ de agua), con 376,67 NTU. Este resultado inesperado podría deberse a una dosis subóptima para la forma física empleada (rodajas), ya que, a diferencia del extracto, las rodajas liberan el mucílago de manera gradual y menos concentrada, lo que a dosis intermedias (50 g/0.02m³ de agua) podría no generar suficiente fuerza de coagulación-floculación.

Comparando estos resultados con estudios previos, se concuerdan con lo reportado por Vargas (2018), quien en su investigación en Ecuador; logró reducir la turbidez de 361 NTU a 80 NTU en aguas residuales usando mucílago de tuna. De igual manera; Figueroa et al. (2023) en su estudio en Bolivia; encontraron que 35 mg/L de mucílago pulverizado redujeron la turbidez del agua de río en un 80,40%. El valor superior al alcanzado en este estudio (78,46% en T5 y 88,83% en T6), las diferencias en la metodología como la extracción con etanol y el secado del mucílago; podrían explicar la mayor eficacia reportada, ya que el procesamiento del floculante influye en su capacidad de interacción con las partículas (Ortiz et al., 2024).

4.2.2. Eficacia en la eliminación de turbidez del agua

Los resultados obtenidos en este estudio evidencian que los tratamientos T6 (rodajas de tuna con 100 g/0.02m³ de agua) y T2 (extracto de tuna con 50 g/0.02m³ de agua) presentaron las mayores eficacias en la eliminación de turbidez, alcanzando valores de 88,83% y 88,52%, respectivamente, sin diferencias estadísticas significativas entre ellos. Estos hallazgos destacan que tanto el uso de rodajas a dosis elevadas como el extracto a dosis moderadas son estrategias efectivas para maximizar la clarificación del agua. Este comportamiento puede atribuirse a la capacidad del mucílago en ambas formas para actuar como un agente coagulante-floculante natural, promoviendo la agregación de partículas coloidales y facilitando su sedimentación, tal como lo reporta Lozano (2018), quien encontró que el mucílago fresco reduce la turbidez en un 82% mediante

mecanismos similares. Sin embargo, es importante notar que las eficacias alcanzadas en este estudio (88,83%) son ligeramente superiores, lo que podría deberse a diferencias en las características fisicoquímicas del agua utilizada o en las condiciones experimentales empleadas.

Un segundo grupo estadístico incluye a los tratamientos T4 (rodajas con 10 g/0.02m³ de agua), T1 (extracto con 10 g/0.02m³ de agua) y T3 (extracto con 100 g/0.02m³ de agua), con eficacias intermedias que oscilan entre 84,73% y 83,98%. Estos resultados sugieren que dosis bajas (10 g/0.02m³ de agua) en rodajas y dosis altas (100 g/0.02m³ de agua) en extracto tienen un efecto limitado en comparación con las combinaciones óptimas identificadas. Esto podría explicarse por la relación directa entre la concentración del coagulante y su capacidad de remoción de turbidez, tal como lo describe Nieto (2021), quien observó que a mayor dosis de mucílago aplicada (10 mg, 20 mg y 30 mg), mayor es la eficacia de remoción (41,65%, 69,42% y 86,54%, respectivamente). El peor desempeño correspondió al tratamiento T5 (rodajas con 50 g/0.02m³ de agua), con una eficacia significativamente menor (78,46%).

Comparando estos resultados con estudios previos, Arrascue y Figueroa (2023) encontraron que una dosis de 1 g de mucílago de nopal logró remover hasta el 94,4% de la turbidez en aguas del río Zaña, un valor superior al alcanzado en este estudio. Sin embargo, es importante destacar que los autores también evaluaron la combinación de mucílago con piedra de alumbre, logrando una remoción óptima del 99,82%, lo que sugiere que las eficacias del mucílago podrían mejorarse mediante su uso en combinación con otros coagulantes. Rojas (2022) en su estudio en Cajamarca; reportó eficacias de remoción de hasta 79,78% utilizando una concentración del 3% de coagulante natural bajo diferentes velocidades de agitación. Asimismo, Mondragón y Tineo (2024) demostraron que el mucílago de *Opuntia ficus-indica* en una dosis de 100 mg/L logra una

remoción superior de turbidez (14,58%) en comparación con el sulfato de aluminio, lo que resalta la importancia de ajustar la dosis según las condiciones específicas del agua a tratar.

En conjunto, estos resultados validan el potencial del mucílago de *Opuntia ficus-indica* como alternativa sostenible a los coagulantes químicos tradicionales, especialmente en sistemas de riego tecnificado donde la reducción de turbidez es crítica para evitar obstrucciones y prolongar la vida útil de los equipos. No obstante, se requiere estandarizar protocolos de dosificación y aplicación, así como evaluar el impacto de factores como la agitación mecánica y la calidad del agua inicial, para maximizar su eficacia y garantizar su viabilidad técnica y económica en contextos agrícolas.

V. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

- *Opuntia ficus-indica* demostró ser un floculante natural efectivo, logrando reducir significativamente la turbidez del agua de riego, con el tratamiento T6 (100 g/0.02m³ de rodajas) alcanzando 195 NTU como nivel más bajo.
- Las rodajas de tuna (100 g/0.02m³) y el extracto de mucílago (50 g/0.02m³) fueron los más eficientes, reduciendo la turbidez a 195 y 200,67 NTU, respectivamente.
- Se alcanzaron eficacias de reducción de turbidez de hasta 88,83% y 88,52% en los tratamientos más efectivos, posicionando al mucílago de tuna como una alternativa viable a coagulantes químicos, resaltando la importancia de la dosis adecuada.

5.2. Recomendaciones

- Utilizar el mucílago de *Opuntia ficus-indica* en las siguientes combinaciones óptimas identificadas en este estudio: Rodajas de tuna con 100 g/0.02 m³ de agua, que lograron reducir la turbidez a 195 NTU y una eficiencia de remoción del 88,83%. Extracto de mucílago con 50 g/0.02 m³ de agua, que alcanzó niveles de turbidez de 200,67 NTU y una eficiencia del 88,52%. Estas combinaciones son las más efectivas para maximizar la clarificación del agua destinada a riego tecnificado.
- Dado que el análisis de varianza reveló una interacción significativa entre el tipo de floculante natural y la dosis aplicada; se sugiere realizar estudios adicionales para explorar cómo otros factores, como la agitación mecánica, el pH del agua o la temperatura, pueden influir en la eficiencia del mucílago. Esto permitirá optimizar aún más su desempeño bajo diferentes condiciones ambientales y operativas.
- Implementar el uso del mucílago de tuna como alternativa sostenible a los coagulantes químicos tradicionales en sistemas de riego tecnificado, especialmente en áreas donde la alta turbidez del agua compromete la eficiencia operativa y la vida útil de los equipos. Para ello, es necesario desarrollar protocolos estandarizados de aplicación que consideren las dosis óptimas identificadas en este estudio, así como evaluar su viabilidad técnica y económica a mayor escala.
- Continuar investigando alternativas orgánicas como Moringa oleifera, harina de garbanzo (*Cicer arietinum*) y goma de tara (*Caesalpinia spinosa*) como coagulantes/floculantes naturales para el tratamiento de aguas turbias, dado que la moringa ha demostrado remociones de turbidez entre 70 % y 99 % según estudios en Perú y Latinoamérica, mientras que aunque existen menos datos formales sobre la harina de garbanzo y la goma de tara, la primera tiene potencial como coagulante

natural por su contenido proteico y la segunda contiene taninos y polisacáridos con capacidad floculante que la hacen muy prometedora para contextos andinos.

- Se recomienda evaluar el uso de rodajas de tuna (mucílago de *Opuntia ficus-indica*) aplicando 100 g por cada 20 L de agua (equivalente a 5 kg/m³), ya que en pruebas se logró reducir la turbidez a 195 NTU. Aunque este procedimiento implicaría un costo de 0,05 US\$/m³, comparado con el precio del alumbre que requiere 50 mg/L (0,05 kg/m³) y tiene un costo de 0,0075–0,025 US\$/m³, resulta claramente menos económico. A pesar de que diversas fuentes muestran que extractos comerciales de cactus (*Opuntia*) se venden entre US 8 y 28 US\$/kg lo que sigue dejando el costo del mucílago muy por encima del del alumbre cuando se requiere dosis altas, la eficiencia en la eliminación de turbidez del alumbre es superior y su rendimiento por dosis mucho mayor. Por tanto, en las condiciones y dosis mencionadas, el mucílago de tuna no resulta viable desde la perspectiva económica frente al uso de alumbre, especialmente cuando se prioriza eficacia por volumen de agua tratado.

VI. Referencias bibliográficas

- Abanto, J. (2019). *Efecto de tres concentraciones de mucílago de tuna (Opuntia ficus-indica (L.) Miller) y de San Pedro (Echinopsis pachanoi (Britton & Rose) Friedrich & G.D. Rowley) en la clarificación del agua* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca].
<http://hdl.handle.net/20.500.14074/3474>
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2016). *Manual de buenas prácticas para el uso seguro y productivo de las aguas residuales domésticas*.
<https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/207>
- Lung, W. y Wahab, W. (2020). State of the art and sustainability of natural coagulants in water and wastewater treatment. *Journal of Cleaner Production*, 262, 121267.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121267>
- Aquino, P. (2017). *Calidad del agua en el Perú: Retos y aportes para una gestión sostenible en aguas residuales*. Derecho, Ambiente y Recursos Naturales (DAR).
<http://repositorio.dar.org.pe/handle/20.500.13095/63>
- Arcila, C., Correa, G., y Arango, Á. (2024). *Remoción de turbiedad en el proceso de potabilización del agua utilizando Moringa oleífera y Opuntia ficus-indica*. *Producción + Limpia*, 19(1), 41-52.
<https://doi.org/10.22507/pml.v19n1a4>
- Arias, J. (2020). *Guía para la elaboración de un proyecto de tesis*. Academia.edu.
<https://www.biblioteca.unach.edu.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=3041>

- Arrascue, M. y Figueroa, D. (2023). *Remoción de turbidez de las aguas del Río Zaña usando mucílago de nopal “Opuntia ficus-indica” y piedra de alumbre* [Tesis de grado, Universidad César Vallejo].
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/138625>
- BANCO MUNDIAL - BIRF AIF. (2022). *El Agua En La Agricultura*. Banco Mundial
<https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture#1>
- BELZONA INC. (2010). *Tratamiento De Aguas Residuales*. Mapa de la Plata.
https://www.belzona.com/es/solution_maps/wastewater/money_map.pdf
- Blanco, L. (2019). *Lifeder. Tuna: Características, Hábitat, Reproducción, Usos*. Lifeder
<https://www.lifeder.com/tuna/>
- Cabrera, X., Fleites, M., y Contreras, A. (2009). *Estudio del proceso de coagulación-floculación de aguas residuales de la empresa textil Desembarco del Granma a escala de laboratorio. Tecnología Química, 29(3), 64-73.*
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543760009>
- Castro, J., Paredes, C. y Muñoz, D. (2009). *Cultivo De Tuna (Opuntia ficus indica)*. Trujillo.
<http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/MANUAL%20TECNICO%20DE%20TUNA.pdf>
- Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD). (2021). *Centro de investigación en alimentación y desarrollo. los beneficios de la baba de del nopal.*
<https://www.ciad.mx/notas/item/2488-los-beneficios-de-la-baba-del-nopal>
- Díaz J., y Díaz, A. (2004). *La contaminación del agua y su impacto en la salud. Higiene y Sanidad Ambiental, 4(72-82), 72-82.*
[https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc510156890491c_Hig.Sanid_.Ambient.4.72-82\(2004\).pdf](https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc510156890491c_Hig.Sanid_.Ambient.4.72-82(2004).pdf)

- Empresa Municipal de Aguas y Alcantarillado (EMAYA). (2016). *Determinación de la Turbidez*. Emaya.
<https://www.emaya.es/media/7741/5-oe-po-029-determinaci%C3%B3n-de-la-turbidez-v5-explotaci%C3%B3n-etap-040719.pdf>
- Fernández, R., Trapero, A., y Domínguez, J. (2010). *Experimentación en agricultura*. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca.
<https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160941EXPERIMENTACION.pdf>
- Figueroa, I., Leigue, M., y Angulo, M. (2023). *Evaluación de la eficiencia como coagulante-floculante del mucílago obtenido a partir de la tuna (Opuntia ficus-indica)*. *Universidad Católica Boliviana San Pablo*, 4(40), 1306-1317.
<https://doi.org/10.61547/3445>
- Fuentes, D., Toscano, A., Malvaceda, E., Díaz, J. y Díaz, L. (2020). *Metodología de la investigación: Conceptos, herramientas y ejercicios prácticos en las ciencias administrativas y contables*. Universidad Pontificia Bolivariana.
<https://doi.org/10.18566/978-958-764-879-9>
- Gallardo, 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].
<http://hdl.handle.net/11349/5609>
- García, A., y Rojas, A. (2006). *Comparación De Los Floculantes Chemadd A-41, 42 Y 43 De La Firma Chematek*. *Tecnología Química*, 3.
<https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543751006.pdf>

- Guzmán, D., y Chávez, J. (2007). *Estudio bromatológico del cladodio del nopal (Opuntia ficus-indica) para el consumo humano. Revista de la Sociedad Química del Perú*, 73(1), 41-45.
<http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v73n1/a05v73n1.pdf>
- Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., y García, R. (2013). *Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1), 253-262.
<http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v16n1/v16n1a29.pdf>
- Hach, C. (2021). *Turbidez: Una Visión Clara En La Calidad Del Agua*.
https://latam.hach.com/industries/drinkingwater/turbidity?_
- Hernández, R., y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas: cuantitativa, cualitativa y mixta*. Mc Graw Hill Education.
<https://repositorio.uasb.edu.bo/handle/54000/1292>
- INTAGRI. (2018). *Clasificación De Aguas Para Riego Agrícola*. Intagri, 5.
<https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/clasificacion-de-aguas-para-riego-agricola>
- Jiménez, E. E. (2014). *Obtención del mucílago de la cáscara de la tuna (Opuntia ficus-indica) a partir de diferentes métodos de extracción* [Tesis de grado, Universidad de Chile].
<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/130028>
- Jorge, L. (2020). *El proceso de tratamiento de aguas residuales y eliminación de contaminantes emergentes*. Iagua
<https://www.iagua.es/blogs/lander-rodriguez-jorge/proceso-tratamiento-aguas-residuales-y-eliminacion-contaminantes>

- Lozano, L. (2018). *Efecto en la disminución de la turbidez en el agua por floculantes de Opuntia ficus-indica (Tuna) con diferentes procesos de extracción en el río Chonta de Cajamarca, 2018* [Tesis de grado, Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo].
<http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/721>
- Malleville, M. (2020). *Producción de palto (Persea americana Mill.) en la Argentina: Situación actual y perspectivas* [Informe técnico]. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).
https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/142626/CONICET_Digital_Nro.5bc763c6-6de6-4e8b-b35e-6c6692f7cca1_A.pdf?sequence=2
- Marín, T. y Arriojas, D. (2020). *Remoción de turbidez de agua mediante filtración utilizando cáscara de coco (Cocos nucifera) a nivel de laboratorio. Revista ION*, 33(2), 99-110.
<https://doi.org/10.18273/revion.v33n2-2020008>
- Mondragón, L y Tineo, R. (2024). *Efecto de la dosificación del mucílago extraído de la tuna (Opuntia ficus-indica (L.) Mill.) en la variación del pH y la remoción de la turbidez en aguas de la PTAR Cajamarca: Perú* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Jaén].
<http://repositorio.unj.edu.pe/jspui/handle/UNJ/738>
- Morejón, B. J. (2017). *Utilización del mucílago de tuna (opuntia ficus-indica) en el mejoramiento de la calidad del agua de consumo humano, en la comunidad de Pusir Grande, provincia del Carchi, Ecuador*. [Tesis de maestría, Universidad Técnica del Norte].
<https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/6621>

- Murillo, S., Matilde, G. y Pacheco, S. (2020). *Manual técnico para la elaboración de coagulantes/floculantes a partir de productos naturales*. Servicio Nacional de Aprendizaje.
<https://repositorio.sena.edu.co/handle/11404/6813>
- Nieto, E. (2020). *Floculante o clarificante*. Cloracionsalina.
<https://cloracionsalina.org/mantenimiento/floculante/>
- Ñaupas, H., Valdivia, M., Palacio, J. y Romero, H. (2018). *Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis*. Ediciones de la U.
http://www.biblioteca.cij.gob.mx/archivos/materiales_de_consulta/drogas_de_abuso/articulos/metodologiainvestigacionnaupas.pdf
- Paz, K. (2016). *El cultivo de la tuna en Italia*. Milan.
<https://es.scribd.com/document/327268417/Estudio-Producto-Tuna>
- Olivero, R., Aguas, Y., Mercado, I., Casas, D. y Montes, L. (2014). *Utilización de Tuna (opuntia ficus-indica) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas*. *Avances: Investigación en Ingeniería*, 11(1), 70-75.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6684755>
- Ortiz, S., Díaz, A., y Zubieta, A. (2024). *Aplicación de mucílago y carbón activado, obtenido de la penca de la tuna (Opuntia ficus-indica) para la remoción de turbidez y metales del agua del Río Pativilca (Lima-Perú)*. *I+D Internacional Revista Científica y Académica*, 3(1), 44-69.
<https://revistaid.org/index.php/intenacional/article/view/18>
- Paucara, C. (2017). *Caracterización física y química de la tuna (Opuntia ficus indica) en el municipio de Luribay provincia Loayza del departamento de la Paz* [Tesis de pregrado, Universidad Mayor de San Andrés].
<https://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/13345>

- Pérez, R. (2021). *El Agua En La Agricultura: Importancia y Manejo*. Iagua.
<https://www.iagua.es/blogs/ricardo-perez/agua-agricultura-importancia-y-manejo>
- Grupo POCHTECA. (2019). *Sulfato De Aluminio*. México.
<https://mexico.pochteca.net/sulfato-de-aluminio>
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2008). Disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua.
https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/estandares-de-calidad-Ambiental/agua/?utm_source
- Proyecto Especial Chavimochic (PECH). (2018). *Diagnóstico Hídrico Rápido De La Cuenca Del Río Santa Como Fuente De Agua Y Servicios Ecosistémicos Hídricos Para La Eps Sedalib S.A*. La Libertad.
<https://sedalib.com.pe/sistemacms/app-pdi/uploads/22bcfab6e19ce0f26ca67b798c34ce77.pdf>
- Redacción Agrodata. (2023). *El 80% del agua disponible en el Perú es utilizada para la agricultura*. Agraria.pe.
<https://agraria.pe/noticias/el-80-del-agua-disponible-en-el-peru-es-utilizada-para-la-ag-32906>
- Rivas, I. y Rómuo, I. (2016). *Tratamiento por coagulación-floculación a efluente de la Empresa del Níquel Comandante Ernesto Che Guevara*. *Tecnología Química*, 2(1), 195-205.
https://web.archive.org/web/20180419151734id_/https://revistas.uo.edu.cu/index.php/tq/article/viewFile/2366/2200

- Rojas, F. (2022). *Efecto del coagulante natural de opuntia ficus-indica en la disminución de turbiedad en el agua del río grande, Cajamarca 2021* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Cajamarca].
<http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/5176>
- Salazar, C., y Del Castillo, S. (2018). *Fundamentos básicos de estadística*. Del Castillo Galarza, Raúl Santiago.
<https://es.scribd.com/document/660763846/Manual-Estadistica-Aplicada-Con-Spss-Smith-Zamora-Eirl-2021-1-1>
- Tarrillo, H. y Tenorio, M. (2019). *Eficiencia Del Coagulante - Flocculante Tuna (Opuntia Ficus) Para La Clarificación De Las Aguas De La Acequia El Pueblo De Ferreñafe - 2019*. [Tesis de pregrado, Universidad de Lambayeque].
<https://repositorio.udl.edu.pe/handle/UDL/331>
- Terán, Y., Navas, D., Petit, D., Garrido, E. y D'Aubeterre, R. (2015). *Análisis de las características físico-químicas del fruto de Opuntia ficus-indica (L.) Miller, cosechados en Lara, Venezuela. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 16(1), 69-74*.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81339864010>
- Theme Horse. (2015). *Tratamiento del Agua*.
<https://www.tratamientodelagua.com.mx/floculantes-o-ayudantes-de-coagulacion/>
- Toro, C. (2011). *Monitoreo de la calidad del agua: La turbidez*. Servicio de Extensión Agrícola, Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez.
<https://www.extensionistas.org/agua/turbidez>
- Vargas, J. (2018). *Evaluación de la eficiencia de la tuna (Opuntia ficus indica) como coagulante natural para el tratamiento de aguas residuales* [Tesis de grado,

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio ESPOCH.

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/8660>

VII. Anexos

Anexo 01. Panel fotográfico



Figura 1. Vista de las muestras de agua



Figura 2. Pesado del extracto de tuna



Figura 3. Pesado de las rodajas de tuna



Figura 4. Aplicación del mucílago de tuna al agua



Figura 5. Agitación de las muestras de agua



Figura 6. Preparación de muestras para su análisis



Figura 7. Análisis de las muestras en el laboratorio