

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y

RECURSOS NATURALES



Tesis

Efecto del mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) en la clarificación del agua residual del sector de Illanya, distrito y provincia de Abancay –

Apurímac 2023

Asesor:

Dr. Nuñez Fernandez, Anderson

Autor:

Huaman Vilcas, Yuri Gabriel

Para Optar el Título Profesional: Ingeniero Ambiental

Abancay - Apurímac - Perú

2024



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°: 08

En la ciudad de **Abancay**, a los **17** días del mes de **Setiembre** del **2024**, siendo las 11:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0106-2024-UTEA-FI-EPIARN de la Escuela Profesional de la Escuela Profesional de Ingeniería **Ambiental Recursos Naturales**, Facultad de Ingeniería:



Presidente	: Mg. Calderón Aedo Kristhel Jalayne
Dictaminante	: Mg. Gonzalez Mamani Elena Elvira
Replicante	: Mg. Salas Peña Vanesa

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Efecto del mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) en la clarificación del agua residual del sector de Illanya, Distrito y Provincia de Abancay-Apurímac 2023

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br.: **HUAMAN VILCAS, Yuri Gabriel**
(Apellidos y Nombres)

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL
(Denominación del Título)

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) **APROBADO (S)**:

Por: **Unanimidad**
(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)	Firma
Br. HUAMAN VILCAS, Yuri Gabriel	13	

Siendo las **12:40** horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente : Mg. Calderón Aedo Kristhel Jalayne
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

(Firma)

Dictaminante : Mg. Gonzalez Mamani Elena Elvira
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

(Firma)

Replicante : Mg. Salas Peña Vanesa
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

(Firma)

(*): **Mayoría**: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; **Unanimidad**: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art.18 RGGAT.

(**): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

Efecto del mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) en la clarificación del agua residual del sector de Illanya, Distrito y Provincia de Abancay – Apurímac 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

22% INDICE DE SIMILITUD	22% FUENTES DE INTERNET	7% PUBLICACIONES	10% TRABAJOS DEL ESTUDIANTE
-----------------------------------	-----------------------------------	----------------------------	---------------------------------------

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
2	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	Submitted to Universidad Tecnológica de los Andes Trabajo del estudiante	1%
4	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	vsip.info Fuente de Internet	1%
6	repositorio.usil.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	dokumen.pub Fuente de Internet	1%
8	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	1%

Metadatos

Datos del Autor	
Apellidos y Nombres	: Huaman Vilcas, Yuri Gabriel
Tipo de Documento de identidad	: DNI
Número de Documento de identidad	: 73967532
URL ORCID	: https://orcid.org/0009-0008-7274-9834
Datos del Asesor	
Apellidos y Nombres	: Nuñez Fernandez, Anderson
Tipo de Documento de identidad	: DNI
Número de Documento de identidad	: 43478034
URL ORCID	: https://orcid.org/0000-0002-6565-0392
Datos de la investigación	
Facultad	: Ingeniería
Escuela Profesional	: Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales
Línea de Investigación	: Calidad Ambiental
Rango de años en que se realizó la investigación	: 2023 - 2024
Fuente de financiamiento	: Autofinanciando
Porcentaje de Similitud	: 22%
URL de OCDE	: https://purl.org/pe-repo/ocde/ford# 2.07.01

Dedicatoria

- ✓ A mi madre Marcelina y padre Gabriel por guiarme en todo momento, por su afecto, sus consejos, sus valores que me transmitieron el cual me ha permitido ser una persona independiente con valores morales y valerme por mi mismo.
- ✓ Mis hermanas Sonia, Maria, Miriam del cual aprendí a luchar, esforzarse y lograr todo aquello lo que uno se propone y a mi hermano Royer Gabriel quien me acompaño y viví toda mi infancia junto a él.

Yuri Gabriel Huaman Vilcas

Agradecimiento

- ✓ A Dios por guiarme por el buen camino, por la salud que es lo primordial para continuar día a día y lograr todo aquello que me propongo.
- ✓ A mi madre Marcelina Vilcas Aguilar y padre Gabriel Huaman Urquizo por guiarme en todo momento, por su afecto, sus consejos, sus valores que me transmitieron el cual me ha permitido ser una persona independiente con valores morales.
- ✓ Al Dr. Anderson Nuñez Fernández por su acompañamiento como asesor, por la instrucción y cooperación en el desarrollo hasta la culminación de mí investigación.
- ✓ Al Dr. Melquiades Barragán Condori por su asesoría, por la instrucción y cooperación en la formulación de la investigación efectuada.
- ✓ A la Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba por el gran apoyo de su Laboratorio de Química, asistencia técnica de los docentes de dicha casa de estudios en el cual me dieron el soporte en el desarrollo de mi trabajo de investigación.

Yuri Gabriel Huaman Vilcas

Resumen

El objetivo principal de la presente investigación fue determinar el efecto del mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) en la clarificación del agua residual del sector de Illanya 2023. Respecto a la configuración metodológica, es de tipo aplicada, alcance explicativo con diseño experimental. Para la muestra del estudio, se consideró 18 litros de agua residual destinados a los 6 tratamientos en análisis. Como resultado, se obtuvo que el análisis de turbiedad inicial fue de 458 NTU y con el tratamiento de mucílago de nopal se redujo a 165 NTU; estadísticamente el $p\text{ value} = 1.43E-10 < 0.05$ analizados bajo 95 % de confianza evidenció que es significativamente diferente en relación a la muestra inicial. Sin embargo, el indicador de conductividad presentó variaciones teniendo la caracterización inicial y con el tratamiento de mucílago nopal fue de 1187 $\mu\text{S/cm}$ reduciéndose a 1171 $\mu\text{S/cm}$, de la misma forma en sólidos totales disueltos de 589 mg/L se redujo a 574 mg/ L. Por otro lado, en la evaluación de las propiedades químicas, el potencial Hidrógeno se mantuvo en 7.3 el cual estadísticamente no influye significativamente, con 95% de confianza, los resultados son iguales; de la misma forma tuvo el mismo comportamiento oxígeno disuelto. Finalmente se determinó que el mucílago de nopal tiene efecto en la clarificación del agua residual logrando la remoción de turbiedad en un 64.04 %.

Palabras clave: mucílago de nopal, coagulante natural, tratamiento de aguas, clarificación.

Abstract

The main objective of this research was to determine the effect of cactus mucilage (*Opuntia ficus indica*) on the clarification of wastewater in the Illanya 2023 sector. Regarding the methodological configuration, it is of applied type, explanatory scope with experimental design. For the study sample, 18 liters of wastewater were considered for the 6 treatments under analysis. As a result, it was obtained that the initial turbidity analysis was 458 NTU and with the nopal mucilage treatment it was reduced to 165 NTU; statistically the p value = $1.43E-10 < 0.05$ analyzed under 95 % confidence evidenced that it is significantly different in relation to the initial sample. However, the conductivity indicator presented variations having the initial characterization and with the nopal mucilage treatment was 1187 $\mu\text{S}/\text{cm}$ reducing to 1171 $\mu\text{S}/\text{cm}$, in the same way in total dissolved solids from 589 mg/L was reduced to 574 mg/L. On the other hand, in the evaluation of the chemical properties, the hydrogen potential remained at 7.3 which statistically does not significantly influence, with 95% confidence, the results are the same; in the same way dissolved oxygen had the same behavior. Finally, it was determined that the nopal mucilage has an effect on the clarification of the wastewater, achieving a 64.04% turbidity removal.

Keywords: cactus mucilage, natural coagulant, water treatment, clarification.

Índice

Portada.....	i
Acta de sustentación	ii
Reporte de similitud	iii
Metadatos.....	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento.....	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
Índice.....	ix
Índice de tablas.....	xii
Índice de figuras	xiii
Índice de anexos.....	xiv
I. Introducción	15
II. Planteamiento del problema	16
2.1. Identificación y formulación de problemas	18
2.1.1 Problema General	18
2.1.1. Problemas específicos.....	18
2.2. Objetivos	18
2.2.1. Objetivo General.....	18
2.2.2. Objetivo específico	18
2.3. Justificación e importancia.....	19
2.4. Hipótesis.....	20
2.4.1 Hipótesis general	20
2.4.2 Hipótesis específicas	20
2.5. Variables	21
III. Marco Teórico.....	22
3.1. Antecedentes.....	22
3.1.1 A nivel internacional.....	22
3.1.2 A nivel nacional.....	26
3.1.3 A nivel regional y local	30
3.2. Bases teóricas	31
3.2.1 Origen del nopal (Opuntia spp)	31
3.2.2 Clasificación taxonómica	31
3.2.3 Descripción morfológica	32
3.2.4 Mucílago de nopal	34

3.2.5 Composición química del mucílago de nopal.....	34
3.2.6 Clarificación de aguas	35
3.2.7 Coagulación	36
3.2.8 Floculación	40
3.2.9 Sedimentación.....	41
3.2.10 Dosis de coagulante.....	41
3.2.11 El agua.....	42
3.2.12 Calidad del agua	42
3.2.13 Aguas residuales.....	42
3.2.14 Clasificación de aguas residuales	42
3.3 Definición de términos	43
IV. Metodología.....	46
4.1 Tipo y nivel de investigación	46
4.1.1 Tipo de investigación	46
4.1.2 Nivel de investigación	46
4.2. Ámbito temporal y espacial	47
4.2.1 Ámbito temporal.....	47
4.2.2 Ámbito espacial	47
4.3. Población y muestra	49
4.3.1 Población.....	49
4.3.2 Muestra.....	49
4.3.3 Muestreo.....	49
4.4. Instrumentos	49
4.5. Procedimientos	51
4.6 Análisis de datos.....	56
4.7. Consideraciones éticas	56
V. Resultados y Discusión	57
5.1 Resultados	57
5.1.1 Análisis de Turbiedad	57
5.1.1.1 Prueba de hipótesis para la diferencia de medias.....	59
5.1.1.2 Prueba de normalidad	59
5.1.2 Análisis de Conductividad.....	61
5.1.2.1 Prueba de hipótesis para la diferencia de medias.....	62
5.1.2.2 Prueba de normalidad	63
5.1.3 Análisis de sólidos totales disueltos.....	65
5.1.3.1 Prueba de hipótesis para la diferencia de medias.....	66
5.1.3.2 Prueba de normalidad:	67

5.1.4	Análisis de Potencial Hidrógeno	69
5.1.4.1	Prueba de hipótesis para la diferencia de medias.....	70
5.1.4.2	Prueba de normalidad:	71
5.1.5	Análisis del Oxígeno Disuelto	73
5.1.5.1	Prueba de hipótesis para la diferencia de medias.....	74
5.1.5.2	Prueba de normalidad:	75
5.2	Discusión de resultados	77
VI.	Conclusiones.....	79
VII.	Recomendaciones.....	80
VIII.	Referencias	81
IX.	Anexos	88

Índice de tablas

Tabla 1 Operacionalización de Variables	21
Tabla 2 Clasificación taxonómica del nopal	32
Tabla 3 Composición Química del nopal (Opuntia ficus indica).....	35
Tabla 4 Dosis de mucílago de nopal	55
Tabla 5 Programación de equipo de Jarras	55
Tabla 6 Análisis de Turbiedad.....	57
Tabla 7 Anova (Análisis de varianza).....	59
Tabla 8 Prueba de normalidad.....	59
Tabla 9 Prueba de Tukey.....	60
Tabla 10 Análisis de Conductividad	61
Tabla 11 Anova (Análisis de varianza).....	63
Tabla 12 Prueba de normalidad.....	63
Tabla 13 Prueba de Tukey.....	64
Tabla 14 Análisis de Sólidos Totales Disueltos.....	65
Tabla 15 Análisis de Varianza.....	67
Tabla 16 Prueba de normalidad.....	67
Tabla 17 Prueba de Tukey.....	68
Tabla 18 Análisis de Potencial Hidrógeno.....	69
Tabla 19 Anova (Análisis de varianza).....	71
Tabla 20 Prueba de Normalidad	71
Tabla 21 Prueba de Tukey.....	72
Tabla 22 Análisis de Oxígeno Disuelto	73
Tabla 23 Anova (Análisis de varianza).....	75
Tabla 24 Prueba de normalidad.....	75
Tabla 25 Prueba de Tukey.....	76

Índice de figuras

Figura 1 Esquema del nopal	33
Figura 2 Composición del mucílago de tuna	34
Figura 3 Procesos de coagulación y floculación en el tratamiento de aguas residuales..	36
Figura 4 Esquema del fenómeno de coagulación	37
Figura 5 Fases de la coagulación	38
Figura 6 Aglomeración de flóculos	41
Figura 7 Diseño experimental	47
Figura 8 Mapa de Ubicación del sector de Illanya del distrito de Abancay	48
Figura 9 Flujograma de la obtención del mucílago de nopal	53
Figura 10 Distribución de NTU según dosis de mucílago de nopal	58
Figura 11 Prueba Tukey para la Turbidez	60
Figura 12 Distribución de la conductividad según dosis de mucílago de nopal	62
Figura 13 Prueba Tukey para Conductividad	64
Figura 14 Distribución del STD (Sólidos totales disueltos) según dosis de mucílago de nopal.....	66
Figura 15 Prueba de Tukey para Sólidos Totales Disueltos	68
Figura 16 Distribución del pH (Potencial Hidrógeno) según dosis de mucílago de nopal	70
Figura 17 Prueba Tukey para el potencial Hidrógeno	72
Figura 18 Distribución del OD (Oxígeno Disuelto) según dosis de mucílago de nopal	74
Figura 19 Prueba Tukey para el Oxígeno Disuelto.....	76

Índice de anexos

Anexo 01 Matriz de consistencia	89
Anexo 02 Solicitud de realización de trabajo de investigación a la Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba	90
Anexo 03 Solicitud de realización de trabajo de investigación a la Universidad Tecnológica de los Andes	91
Anexo 04 Protocolo de monitoreo de la calidad de efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales - PTAR (R.M N.º 273 - 2013 Vivienda)...	92
Anexo 05 Ficha de campo para la ubicación del punto de muestreo.....	95
Anexo 06 Instrumento de la recolección de información	96
Anexo 07 Informe de Laboratorio.....	97
Anexo 08 Panel fotográfico	103

I. Introducción

El creciente interés por la protección del medio ambiente y la demanda de soluciones sostenibles y eficientes para el tratamiento de aguas residuales han fomentado la investigación de métodos naturales y biodegradables. Entre estos, el uso del mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) ha demostrado ser prometedor debido a sus propiedades coagulantes y floculantes.

El nopal, una planta cactácea ampliamente distribuida en América Latina, produce un mucílago que ha sido utilizado en diversas aplicaciones, desde la industria alimentaria hasta la medicina tradicional. Estudios recientes han indicado que el mucílago de nopal puede ser efectivo en la clarificación del agua, lo que podría tener importantes repercusiones en el tratamiento de aguas residuales.

El sector de Illanya, ubicado en el distrito de Abancay de la provincia de Abancay enfrenta desafíos en el tratamiento de sus aguas residuales debido al vertimiento de aguas residuales, así como sustancias contaminantes provenientes de hospitales, clínicas, restaurantes, lavanderías y el camal municipal de Abancay. En este estudio busca investigar el efecto del mucílago de nopal en la clarificación del agua residual en este sector.

El propósito fundamental de esta tesis es determinar el efecto del mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) en la clarificación del agua residual del sector de Illanya. Para lograr este objetivo, se realizó lo siguiente: Se caracterizó las propiedades físicas y químicas del agua residual como: la turbiedad, conductividad, sólidos totales disueltos, el pH y el oxígeno disuelto presente en el agua residual posteriormente se aplicaron tratamientos con el mucílago de nopal y finalmente después se volvió a caracterizar el agua residual los parámetros químicos y físicos e identificar la efectividad del coagulante en la clarificación de aguas residuales.

II. Planteamiento del problema

El acceso universal a agua potable y saneamiento representa una prioridad para los gobiernos en el contexto de alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos para el año 2030. Debido al aumento de la población Mundial y el desarrollo, el agua ha tenido un papel crucial en el desarrollo y éxito de diversas actividades económicas, sociales y culturales. (Del Valle, 2017).

Así mismo, a juicio de Coral y Rodríguez (2021) el Banco mundial en su informe del 2018, en la región de Latinoamérica, solamente se brinda un tratamiento adecuado al 30% del agua residual, mientras que el 70% restante fluye directamente hacia los ríos y, en última instancia, llega al mar.

En los últimos años, se han llevado a cabo diversas iniciativas para mejorar la calidad y disponibilidad de los recursos hídricos. Sin embargo, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha indicado que alrededor de 663 millones de personas a nivel global no tienen acceso a agua potable. Asimismo, la OMS reporta que cada año aproximadamente 842,000 personas mueren a causa de enfermedades diarreicas vinculadas al consumo de agua no segura. (Santamaría, 2020)

Perú, como país en vías de desarrollo, enfrenta desafíos en la gestión de sus recursos hídricos. Diariamente, se generan alrededor de 2,217,946 metros cúbicos de agua residual en el país, los cuales son descargados en los sistemas de alcantarillado. Sin embargo, solo el 32% de esta agua recibe tratamiento, lo que indica una brecha en el manejo adecuado de las aguas residuales. Además, en las áreas rurales, aproximadamente el 30.35% de la población carece del servicio de alcantarillado, lo que agrava la situación (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA], 2014).

Así mismo Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [SUNASS] (2022) en el análisis realizado en las plantas de aguas residuales (PTAR), se ha identificado que 96 localidades, en las compañías proveedoras de servicios, no se realiza el proceso de tratamiento de aguas residuales. Esto significa que estas aguas se descargan abiertamente en ríos, mares, canales, drenajes o se utilizan para riego clandestino. Estos

lugares ofrecen servicios de alcantarillado a alrededor de 2,1 millones de personas, representando el 12% de la población total que recibe atención de las empresas proveedoras de servicios. En el año 2020, estas localidades vertieron cerca de 267.29 millones de metros cúbicos de agua sin tratar a cuerpos de agua, lo cual representa el 22% de todo el volumen de agua residual descargada en el sistema de desagüe por las empresas prestadoras.

La contaminación del agua ha tenido un impacto significativo en la salud de la población, especialmente entre aquellos que viven en condiciones de pobreza, quienes son los más vulnerables. Este panorama representa un riesgo para el bienestar de las futuras generaciones. Es fundamental señalar que, en las regiones de Amazonas, Apurímac, Huancavelica, Huánuco, Loreto, Madre de Dios, Pasco, San Martín y Ucayali no se realiza el tratamiento de aguas residuales (SUNASS, 2022).

De la misma forma, Abancay no está excluido de esta situación, ya que el rápido crecimiento urbano, la contaminación de los ríos y el uso irresponsable del agua debido a prácticas inadecuadas, han aumentado la cantidad de aguas residuales. Esto ha sumado una enorme carga para el ambiente ocasionando que las aguas residuales se sigan vertiendo directamente al río de Pachachaca sin ningún tratamiento.

El río Pachachaca se encuentra afectado por una contaminación significativa, ya que recibe vertidos de aguas residuales, así como sustancias contaminantes provenientes de hospitales, clínicas, restaurantes, lavanderías y el camal municipal de Abancay. Además, se han encontrado vertederos clandestinos a lo largo de las márgenes del río, donde se han detectado productos químicos agrícolas y residuos de construcción provenientes de la ciudad de Abancay. Por lo tanto, implica declarar una emergencia de la calidad del agua. No obstante, esta situación evidencia la insuficiente capacidad técnica y administrativa del gobierno local y regional.

2.1. Identificación y formulación de problemas

2.1.1 Problema General

¿En qué medida el mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) influye en la clarificación del agua residual del sector de Illanya, distrito y provincia de Abancay - Apurímac 2023?

2.1.1. Problemas específicos

- ¿De qué manera influye el mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) en las propiedades físicas del agua residual del sector de Illanya, distrito y provincia de Abancay - Apurímac 2023?
- ¿De qué manera influye el mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) en las propiedades químicas del agua residual del sector de Illanya, distrito y provincia de Abancay - Apurímac 2023?
- ¿Cómo influye la dosis del mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) en la clarificación del agua residual del sector de Illanya, distrito y provincia de Abancay - Apurímac 2023?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo General

Determinar el efecto del mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) en la clarificación del agua residual del sector de Illanya, distrito y provincia de Abancay - Apurímac 2023.

2.2.2. Objetivo específico

- Determinar la influencia del mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) en las propiedades físicas del agua residual del sector de Illanya, distrito y provincia de Abancay - Apurímac 2023.
- Determinar la influencia del mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) en las propiedades químicas del agua residual del sector de Illanya, distrito y provincia de Abancay - Apurímac 2023.

- Determinar la influencia de la dosis mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) en la clarificación del agua residual del sector de Illanya, distrito y provincia de Abancay - Apurímac 2023.

2.3. Justificación e importancia

El motivo principal del presente estudio se centra en aspectos tecnológicos. Se ha detectado un problema vinculado con la inadecuada gestión de las aguas residuales. Asimismo los resultados obtenidos de la tesis, permite que la población del sector de Illanya conozca el nivel de la contaminación que presenta el agua residual y como estrategia que tiene el mucílago de nopal en el proceso de clarificación, de la misma forma los datos obtenidos contribuirán de manera favorable para que los funcionarios del sector de Illanya y del distrito de Abancay puedan adoptar estrategias apropiadas con la finalidad de reducir los impactos negativos que genera las aguas residuales.

La contaminación del agua ha sido un problema durante décadas, por lo que este estudio ofrece una alternativa para el tratamiento de aguas residuales mediante el uso del coagulante orgánico del mucílago de nopal, que resulta más respetuoso con el medio ambiente.

La presente investigación identificó la problemática sobre las aguas residuales generadas en la zona de Abancay son vertidas directamente al río Pachachaca, cuya contaminación contiene partículas en suspensión y requiere depuración para garantizar su uso responsable. Por ello, se propone una opción diferente para resolver un problema utilizando el empleo del mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) en la clarificación de las aguas residuales, encontrando la cantidad adecuada de dosis como parte de un sistema de tratamiento para la región utilizando compuestos orgánicos derivados de vegetales.

2.4. Hipótesis

2.4.1 Hipótesis general

El mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) influye significativamente en la clarificación del agua residual del sector de Illanya, distrito y provincia de Abancay - Apurímac 2023.

2.4.2 Hipótesis específicas

- El mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) influye significativamente en las propiedades físicas del agua residual del sector de Illanya, distrito y provincia de Abancay - Apurímac 2023.
- El mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) influye significativamente en las propiedades químicas del agua residual del sector de Illanya, distrito y provincia de Abancay - Apurímac 2023.
- La dosis del mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) influye significativamente en la clarificación del agua residual del sector de Illanya, distrito y provincia de Abancay - Apurímac 2023.

2.5. Variables

Tabla 1

Operacionalización de Variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Índice
V.I Mucílago de nopal (<i>Opuntia ficus indica</i>)	El nopal es una planta con hojas carnosas llamadas cladodios que contienen mucílago, una sustancia gelatinosa que se disuelve en agua formando geles o disoluciones coloidales. También se le conoce como hidrocoloides o polisacáridos vegetales (Vargas et al., 2019).	Se aplicará el (<i>Opuntia ficus indica</i>) como coagulante orgánico	Dosis de mucílago de nopal	d1 = 50 d2= 70 d3= 100 d4= 150 d5= 200	mg/L mg/L mg/L mg/L mg/L
				Dónde: d1 = dosis	periodo de tiempo
V.D Clarificación del agua residual	La clarificación es una etapa inicial en el tratamiento del agua que tiene como objetivo la remoción de la turbiedad. Este proceso implica la adición de un coagulante que agrupa las partículas finas presentes en el agua, permitiendo que se formen flóculos. Posteriormente, estos flóculos se separan del agua mediante filtración (Contreras et al., 2015)	Para el tratamiento del agua, se considerarán los parámetros físicos y químicos presentes en ella.	Propiedades Físicas	Turbiedad Conductividad Sólidos Totales Disueltos Oxígeno Disuelto	NTU mg/L mg/L mg/L
				Propiedades Químicas	Potencial hidrógeno

III. Marco Teórico

3.1. Antecedentes

3.1.1 A nivel internacional

Otálora et al. (2023) realizó la investigación denominada “Evaluación del mucílago de cáscara de tuna en forma de gel como coagulante verde para el tratamiento terciario de aguas residuales domésticas”. El estudio evaluó el gel de mucílago de cáscara de fruta de tuna (PP) como un nuevo coagulante para la tercera etapa del tratamiento de aguas residuales domésticas. Se llevaron a cabo pruebas de jarra utilizando agua cruda residual en la entrada (afluente) y salida (efluente) del tratamiento terciario (humedal artificial) con una dosis de coagulante de 12 mg L^{-1} y un pH de 13. Se comparó la eficacia del mucílago (coagulante verde) con la de coagulantes químicos inorgánicos, como el FeCl_3 , en función de la turbidez y la eliminación del color. Los resultados mostraron que la turbidez y la eficiencia de remoción de color del mucílago en comparación con el FeCl_3 a la salida del tratamiento (efluente) fueron prácticamente iguales, alcanzando 94% de turbidez y 85-87% de eficiencia de remoción de color con ambos coagulantes, estadísticamente obtuvo el $P\text{value} < 0.05$ analizados al 95 % de confianza. La estructura y morfología de los flóculos generados por los coagulantes mostraron un mayor contenido de materia orgánica atrapada en los flóculos. Los mecanismos de formación de flóculos observados fueron la adsorción/puente en el caso del mucílago y la neutralización de carga para el FeCl_3 . En conclusión, este estudio evidenció que el coagulante verde de mucílago de (PP) puede emplearse para mejorar la calidad del tratamiento de aguas residuales domésticas de manera ecológica y biodegradable.

Otálora et al. (2022) realizaron el trabajo de investigación titulado “Evaluación de la turbidez y la eliminación del color en el tratamiento del agua: un estudio comparativo entre el mucílago de la cáscara de la fruta de *Opuntia ficus indica* y el FeCl_3 ”. Se llevó a cabo un estudio donde se evaluó el potencial del mucílago obtenido de la cáscara del fruto de

Opuntia ficus indica como un biocoagulante en el tratamiento de aguas turbias sintéticas. Este biocoagulante se comparó con un coagulante químico tradicional, el FeCl_3 . Se analizaron los efectos de la cantidad de coagulante y el pH en la reducción de la turbidez y el color del agua turbia sintética. Además, se realizaron análisis estructurales (FTIR y potencial zeta) y morfológicos (SEM) de los flóculos formados bajo condiciones óptimas para comprender el mecanismo de coagulación. Los hallazgos indicaron que la cantidad más efectiva para obtener la eliminación máxima de turbidez y color fue de 12 mg/L de coagulante con un pH de 13. Bajo estas condiciones, tanto el biocoagulante como el FeCl_3 mostraron una remoción significativa, con el biocoagulante alcanzando una remoción de turbidez del $82.7 \pm 3.28\%$ y una remoción de color del $71.82 \pm 2.72\%$, mientras que el FeCl_3 logró una remoción de turbidez del $94.63 \pm 0.98\%$ y una remoción de color del $79.94 \pm 1.77\%$. El análisis de la estructura y morfología de los flóculos reveló que el mecanismo de coagulación del mucílago fue principalmente mediante adsorción y puenteo, mientras que el mecanismo del FeCl_3 fue mediante la neutralización de carga. Estos hallazgos sugieren que el mucílago podría ser una alternativa viable como coagulante, en lugar del FeCl_3 , en el tratamiento de aguas turbias.

Nouj et al. (2021) en su trabajo titulado. “Un tratamiento combinado de lixiviados de vertederos de residuos sólidos municipales utilizando cactus (*Opuntia ficus indica*) como coagulante y arena titanífera como material de filtro” el objetivo principal de este estudio fue desarrollar un sistema de tratamiento de lixiviados que fuera simple, económico y eficiente. Para lograr resultados significativos, se combinaron dos técnicas utilizando materiales naturales locales: coagulación e infiltración-percolación. Se seleccionaron polvo de nopal y mucílago de nopal para llevar a cabo la coagulación de los lixiviados, y se utilizó arena titanífera como material filtrante en el proceso de infiltración-percolación. Los experimentos a escala de laboratorio arrojaron resultados muy prometedores. El mucílago de nopal demostró ser altamente efectivo para el tratamiento de los lixiviados, logrando una remoción significativa de turbidez (86,54%) y conductividad eléctrica (14,60%) a una

dosis de 20 mg/l y un pH de 11. Posteriormente, el efluente tratado con mucílago de nopal fue sometido a un tratamiento secundario, que resultó en una eliminación adicional de turbidez (97%) y conductividad eléctrica (39%) mediante el proceso de infiltración-percolación.

Arias et al. (2020) en la investigación que llevó a cabo, se examinó el efecto de combinar almidón de nopal y yuca para actuar como agentes clarificantes en el proceso de purificación del agua, con un enfoque particular en un caso de estudio situado en Colombia. El objetivo del estudio era analizar qué tan efectiva era la combinación de mucílago de nopal y almidón de yuca en la reducción de la turbidez durante el proceso de tratamiento del agua. Las muestras fueron evaluadas en términos de sus propiedades físicas, con la medición de variables tales como la turbidez y el pH, tanto antes como después de llevar a cabo el proceso de coagulación-floculación. Además, se realizaron evaluaciones en muestras recolectadas en dos momentos diferentes para el análisis. Uno de los elementos fue sometido a evaluación durante la temporada de lluvias, mientras que el otro fue evaluado en condiciones de sequía, es decir, sin precipitaciones, con niveles iniciales de turbidez de 316 NTU y 80 NTU, respectivamente. De acuerdo con los resultados obtenidos, se destacó que el sulfato de aluminio, empleado como coagulante de referencia, fue más efectivo en la disminución de la turbidez en comparación con el uso exclusivo del nopal (que logró una tasa de eliminación de hasta el 60.4%) y la combinación de nopal con almidón de yuca (que alcanzó una tasa de remoción de hasta el 67%). Los hallazgos revelaron una eficiencia de eliminación de la turbidez de hasta el 99% al utilizar sulfato de aluminio. Esto implica que al combinar estos agentes coagulantes naturales, su eficacia mejora en comparación con cuando se utilizan de manera independiente. Según los datos obtenidos en nuestro estudio, es recomendable tener en cuenta esta opción como una posible alternativa dentro de las opciones disponibles en el procedimiento de purificación del agua.

Choudhary et al. (2019) en su trabajo titulado. Exploración de cómo el nopal (*Opuntia ficus indica*) podría usarse como biocoagulante en el tratamiento preliminar de aguas contaminadas por residuos de arenas bituminosas. El propósito del estudio fue utilizar las características del nopal (*Opuntia ficus indica*) con el fin de emplearlo como un agente de coagulación natural durante el proceso de tratamiento preliminar de aguas contaminadas por la extracción de arenas bituminosas. Se realizaron experimentos de coagulación y floculación utilizando un agua que fue turbada artificialmente, así como muestras de oil sands process-affected water (OSPW), con el propósito de analizar cuán eficaz es el agente extraído en varios tipos de agua con niveles variables de turbidez. Se llevaron a cabo análisis exhaustivos de varios parámetros de funcionamiento, como por ejemplo, la claridad del líquido inicial, el nivel de acidez o alcalinidad, la presencia de distintas sales, el período de conservación y la cantidad de sustancias aplicadas. El agente de coagulación natural mostró un excelente desempeño al lograr reducir la turbidez en un 98% en aguas de petróleo de arenas oleaginosas (OSPW) con un pH inicial de entre 7 y 8. Esto se consiguió aplicando una concentración de 1500 mg/l durante un período de 60 minutos. Se llegó a la conclusión de que el mucílago proveniente de la planta OFI posee en su composición un agente coagulante efectivo, el cual está conformado por una mezcla de diferentes tipos de polisacáridos pécticos, polisacáridos no pécticos y electrolitos naturales, particularmente cationes divalentes como el calcio (Ca_2) y el magnesio (Mg_2). La presencia de agregados en forma de flóculos grandes y alargados sugiere que es probable que el proceso de coagulación del OFI dependa de la interacción química promovida por la unión a través de puentes entre las partículas. Además, se llevó a cabo un estudio comparativo para analizar las diferencias entre el agente de coagulación natural y el alumbre, y los resultados revelaron que el agente natural produjo un sedimento más denso y con un volumen reducido en contraste con el alumbre.

3.1.2 A nivel nacional

Licapa et al. (2023) Tesis que llevó a cabo el nombre "Coagulante Ecológico en el tratamiento de la Turbidez del agua proveniente del Río Mashcón". El objetivo principal del estudio fue analizar y evaluar la efectividad del extracto de *Opuntia ficus indica* como coagulante para reducir la turbidez del agua del río Mashcón, que inicialmente mostraba un nivel de 130 Unidades de Turbidez Nefelométrica (NTU). La investigación se basó en la recogida de datos numéricos para su análisis, y se eligió un diseño experimental para realizar el estudio. Se investiga de qué forma la duración de retención y la cantidad de coagulante influyen en los resultados obtenidos. Después de un lapso de 40 minutos de espera, se puede notar que la reducción de los elementos contaminantes experimentó cambios notables, oscilando entre un mínimo del 7,0% y un máximo del 89,7%, al aplicar concentraciones que iban desde 15 hasta 70 gramos por litro. No obstante, al aumentar la duración de retención a 80 minutos, se consiguió aumentar la eficacia de manera significativa, llegando a alcanzar un nivel más alto. Un estudio mostró que, después de 120 minutos, no se observaron beneficios notables, lo que sugiere que llegar a un límite de tiempo lleva a una disminución de la eficacia en la eliminación. Este estudio enfatiza cuán crucial es ajustar adecuadamente tanto la dosis de coagulante como el período de retención con el fin de obtener los resultados más eficaces en la reducción de la turbidez. En conclusión, para lograr la eliminación de la turbidez de manera eficaz, se recomienda mantener el agua en reposo por un periodo de 80 minutos y añadir una cantidad de 30 gramos de coagulante por cada litro de agua, lo cual constituye la combinación más efectiva en este proceso. Se resalta la eficacia del extracto de *Opuntia ficus-indica* como un agente coagulante altamente efectivo que puede ser utilizado para mejorar notablemente la calidad del agua.

Herrera et al. (2022) En su investigación titulada "Comparación de eficiencia en la remoción de turbidez en aguas superficiales del río Mashcón mediante la dosificación de almidón de *Solanum tuberosum*, mucílagos de *Salvia hispanica* y *Opuntia ficus indica* en

la provincia de Cajamarca en 2022". Este documento actual discute detalladamente la investigación que compara cómo se está tratando el agua de superficie del río Mashcón en la Provincia de Cajamarca durante el año 2022. Se analizan y comparan los efectos de tres tipos diferentes de biocoagulantes: almidón extraído de la *Solanum tuberosum*, mucílagos provenientes de la *Salvia hispanica* y *Opuntia ficus indica*. El propósito principal consistía en disminuir la cantidad de partículas suspendidas en el agua que afectan su claridad y transparencia. El método utilizado implicó realizar el procedimiento de prueba de jarra, que consistió en agitar a alta velocidad de 100 revoluciones por minuto durante 1 minuto, seguido de agitación a baja velocidad de 40 revoluciones por minuto durante 3 minutos. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: el almidón de *Solanum tuberosum* mostró un nivel de remoción del 97%, la *Salvia hispanica* logró una remoción también del 97%, y por último, la *Opuntia ficus indica* demostró una remoción del 98%, lo que resultó en una turbidez final de 4.9 NTU. De acuerdo con los hallazgos obtenidos en la investigación, se observó que los tres agentes biocoagulantes mostraron ser eficaces en la reducción de la turbidez, siendo la *Opuntia ficus indica* la que logró la eliminación más significativa. Esto sugiere que la utilización de este mucílago podría ser una opción viable a considerar en posibles tratamientos de agua en el futuro.

Vargas et al. (2022) En el trabajo que ha sido nombrado "Seguridad en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales y la Utilización de Coagulantes Naturales como Opción para Reducir la Turbidez". El propósito de la investigación consistía en analizar y comparar la eficacia del poder coagulante de *Opuntia ficus-indica* y goma *Caesalpinia spinosa* en comparación con el coagulante tradicional Sulfato de Aluminio para la eliminación de la turbidez en muestras de agua del efluente proveniente de la Unidad de Tratamiento Anaerobio de Flujo Ascendente (UASB) de la Fosa Séptica ubicada en el Centro de Investigaciones de Aguas Residuales (CITRAR) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). Los procedimientos de tratamiento fueron ejecutados utilizando el método de prueba de jarra para llevar a cabo los procesos de coagulación, floculación y sedimentación. Se

aplicaron seis dosis idénticas de coagulante en cada etapa del proceso. La eficacia en la eliminación de coagulantes fue del 59,42 % al emplear una concentración de 40 mg/L de *Opuntia ficus-indica*, del 55,78 % mediante 110 mg/L de *Caesalpinia spinosa*, y del 91,60 % con 70 mg/L de Aluminio. Sulfato. Según los resultados obtenidos, se pudo observar que la utilización de coagulantes naturales demostró ser eficaz al generar mejoras de notable importancia en el proceso de disminución de la turbidez en el tratamiento de las aguas residuales urbanas. Por esa razón, el cambio del sulfato de aluminio por coagulantes naturales no solo disminuye los efectos adversos, sino que también ayuda a evitar cualquier perjuicio a la salud, asegurando la protección de los trabajadores y del entorno ambiental.

Ccahua y Solans. (2021) En su estudio titulado "Eliminación de turbidez mediante biocoagulantes *Echinopsis peruviana* y *Opuntia ficus indica*" en muestras que contienen suelo del río Tucuirí, Santo Tomás. El propósito principal de este estudio fue analizar la eficacia de los biocoagulantes *Echinopsis peruviana* y *Opuntia ficus indica* en la disminución de la turbidez en muestras de agua que contienen sedimentos del río Tucuirí en Santo Tomás. La investigación se llevó a cabo implementando una metodología aplicada, cuantitativa, explicativa y experimental. Se utilizó la técnica y los equipos correspondientes a la prueba de jarras en las instalaciones del Laboratorio de Ciencias Naturales Aguas, Suelos, Minerales y Medio Ambiente. La población objeto de estudio fue un caudal de 15 L/s durante la temporada de lluvias, y se seleccionó una muestra de 16 L mediante un método no probabilístico. Esta muestra de agua fue preparada en el laboratorio utilizando suelo recolectado cerca del río Tucuirí." Revisado: "La muestra de agua se generó en el laboratorio empleando muestras de suelo recolectadas en las cercanías del río Tucuirí. Se investigaron los efectos de la acidez, la cantidad de biocoagulantes aplicados y el período de sedimentación en relación con la reducción de la turbidez en una muestra inicial con una turbidez de 500 NTU. Los principales hallazgos demostraron que el biocoagulante *Echinopsis peruviana* logró una eficiencia del 85,7% en

la eliminación de turbidez, mientras que el biocoagulante *Opuntia ficus-indica* arrojó una eficacia del 83,8% en este sentido. Además, se observó una influencia notable de los tres factores en la eliminación de turbidez, como lo respaldan las pruebas de hipótesis y la prueba de Fisher con un nivel de confianza del 95%. En resumen, se ha establecido que la concentración óptima para incrementar la eficacia en la reducción de la turbidez fue de 90 mg/L, con un pH constante de 7.5 y un período de sedimentación de 30 minutos para ambas agentes bio-coagulantes. Esto resultó en una disminución de la turbidez de 500 a 71 NTU para *Echinopsis peruviana* y de 500 a 81 NTU para *Opuntia ficus indica*.

Razuri (2017) Llevó a cabo la investigación titulada "Reducción de los niveles de DBO5 y DQO a través del uso de coagulantes naturales (*Aloe Vera L.*). La presencia de *Opuntia ficus indica* las aguas del canal de riego E-8 Chuquitanta - San Martín de Porres. "Se indica la ocurrencia de *Opuntia ficus* en el canal de riego E-8 Chuquitanta - San Martín de Porres. El objetivo principal de este estudio fue conocer si los coagulantes naturales (*Aloe Vera L.* y *Opuntia ficus indica*) podrían potencialmente disminuir los niveles de demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y de demanda química de oxígeno (DQO) en el agua del canal de riego de Chuquitanta, San Martín de Porres, durante el período de estudio en 2017. El estudio se realizó empleando un diseño experimental para abordar el problema presente en estas aguas, que se caracterizan por su alto contenido de materia orgánica como lo indican los elevados niveles de DBO5 y DQO. Se llevaron a cabo tres ensayos empleando los agentes coagulantes de origen natural procedentes del *Aloe Vera L.* La *Opuntia ficus indica*, junto con una fusión de ambas especies. Se probaron en el laboratorio tres dosis diferentes de coagulante (600, 700 y 800 mg/L) para evaluar la reducción tanto de DBO5 como de DQO. Los hallazgos sugirieron que los coagulantes naturales dieron como resultado una disminución en los niveles de DBO5 y DQO tanto en los tratamientos aplicados como en diversas cantidades utilizadas, a diferencia de los niveles iniciales. Se llegó a la conclusión de que el uso de la combinación de *Aloe Vera L.* como tratamiento fue eficaz. El tratamiento con *Opuntia ficus indica* a una concentración

de 800 mg/l de coagulante natural se destacó por ser el más efectivo, logrando una disminución del 80.64% en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y del 90.11% en la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

3.1.3 A nivel regional y local

Choque et al (2020) Condujo el estudio titulado 'Mejora de la capacidad floculante de agentes coagulantes naturales en el proceso de tratamiento de aguas'. El objetivo del estudio fue mejorar la eficiencia de floculación de tres tipos de cactus: *Echinopsis pachanoi* (San Pedro), *Neoraimondia arequipenses* (Ulluquite) y *Opuntia ficus* (tuna), cuando se emplean en el tratamiento de aguas residuales artificiales. Experimentos fueron llevados a cabo empleando concentraciones de coagulante al 1%, 2% y 3% de las tres variedades de cactus obtenidas mediante extracción con etanol al 96%. La eficacia de la floculación y la eficiencia de remoción fueron analizadas, observándose un incremento estadísticamente significativo ($p < 0,05$) conforme se aumentaba la concentración del agente coagulante. Para optimizar el proceso se tomaron en consideración variables como el porcentaje de remoción de contaminantes, niveles de pH, dureza, alcalinidad y la DBO 5 del agua tratada. Los hallazgos indicaron que la variedad San Pedro alcanzó una eficiencia de remoción del 99.09% utilizando una dosis de coagulante de 0.207%, la variedad Ulluquite alcanzó una eficiencia de remoción de 92.42% con una dosis de coagulante de 0.246% y la variedad atún obtuvo una eficiencia de remoción de 98,98% utilizando una dosis de coagulante del 0,754%.

Choque et al., (2018) Se realizó el estudio de investigación titulado 'Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de aguas'. El objetivo del estudio fue investigar la capacidad de aglutinación de tres tipos de cactus: *Echinopsis pachanoi*, *Neoraimondia arequipensis* y *Opuntia ficus*, cuando se utilizan en el proceso de tratamiento de aguas residuales artificiales. Diferentes concentraciones de coagulante (1%, 2% y 3%), obtenido de las tres especies de cactáceas, fueron aplicadas utilizando tres solventes en

el agua residual simulada. Se observó un aumento notable (valor $p < 0,05$) en la capacidad de clarificación y eficiencia de eliminación a medida que se aumentó la cantidad de coagulante, siendo la variedad San Pedro la que mostró los resultados más destacados. En relación a los parámetros fisicoquímicos del agua tratada, se observó un ligero aumento del pH, de 6,61 en el agua no tratada a 7,58. Por otro lado, no se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) en dureza y alcalinidad, mientras que la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) del agua tratada con coagulante aumentó con el porcentaje de aplicación creciente.

3.2. Bases teóricas

3.2.1 Origen del nopal (*Opuntia spp*)

Los primeros vestigios de utilización de cactus descubiertos en Perú se remontan al Horizonte Preagrícola, hace aproximadamente 10,000 años. Estos hallazgos fueron encontrados en las proximidades del lago Junín, a una altitud de alrededor de 4,200 metros sobre el nivel del mar (msnm) (Valdivia, 2021).

Los nopales son originarios de las áreas tropicales y subtropicales de América. En la actualidad, se pueden encontrar en diversas condiciones climáticas y se cultivan tanto de forma controlada como en su estado natural en todo el continente americano (Sáenz, 2006).

3.2.2 Clasificación taxonómica

La tarea de categorizar las tunas resulta extremadamente difícil por diversas razones, siendo una de ellas la gran variedad en su aspecto físico, causada por las condiciones ambientales en las que se desarrollan. Además, es frecuente encontrar casos de tener un número de cromosomas superior al normal (poliploidía) debido a su capacidad de reproducirse tanto sexual como asexualmente. Además, existen numerosos cruces entre diferentes especies, lo que agrega aún más dificultad a su clasificación precisa (Sáenz, 2006). Ver tabla 2.

Tabla 2*Clasificación taxonómica del nopal*

Dominio	Eukarya
Reino	Vegetal
División:	Angioserma
Clase:	Dicotiledoneae
Orden:	Opuntiales
Familia:	Cactaceae
Tribu:	Opuntiae
Género:	Opuntia
Especie:	spp

Nota. Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal. Obtenido de Inglesse (2018).

3.2.3 Descripción morfológica

A juicio de Rafael et al. (2012) la clasificación morfológica posee los siguientes componentes principales:

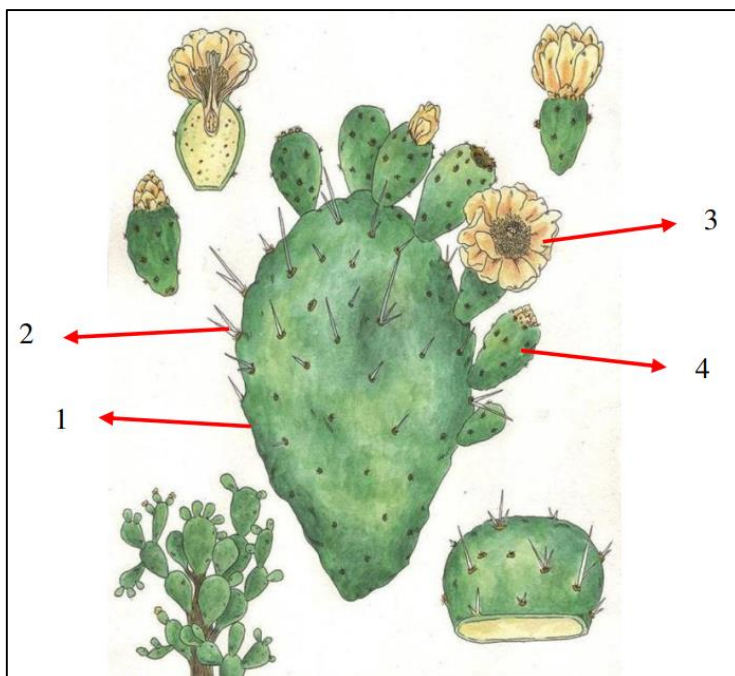
- a. **Raíz:** El componente de raíces de la tuna es amplio y se encuentra principalmente en la superficie del suelo, con una profundidad de aproximadamente 80 cm, pero se extiende horizontalmente a lo largo de varios metros. Se trata de un sistema de raíces altamente ramificado, con múltiples raíces delgadas especializadas en absorbentes de nutrientes, las cuales están ubicadas cerca de la superficie del suelo.
- b. **Tallo:** El nopal o tuna cuenta con múltiples tallos modificados conocidos como cladodios o pencas, los cuales llevan a cabo el proceso de fotosíntesis para transformar la luz en energía química. Estos cladodios están cubiertos por una capa lipídica en forma de cutícula, lo que significa que evitan la deshidratación causada por las altas temperaturas del entorno.
- c. **Los cladodios:** Los cladodios o pencas de la tuna están interconectados entre sí, creando múltiples prolongaciones que pueden crecer hasta 3 a 5 metros de altura.
- d. **Las flores:** Las tunas son plantas hermafroditas, lo que significa que poseen órganos sexuales masculinos y femeninos en la misma planta. Son solitarias, lo que implica que cada planta es individual y no forma colonias. Además, son sésiles, lo que significa que están fijas en su lugar de crecimiento y no tienen movilidad. Las flores de las tunas

tienen una longitud de aproximadamente 6 a 7 cm y tienden a desarrollarse principalmente en la parte superior y apical de los cladodios. Estas flores presentan un período de apertura diurno, es decir, están abiertas durante el día. En cada cladodio, puede haber hasta 25 flores.

- e. **El fruto:** Los frutos de la tuna tienen una gran diversidad de formas y dimensiones, que pueden ser ovoides, redondas, elípticas u oblongas, con extremidades planas, cóncavas o protuberantes. Aproximadamente, los frutos tienen una longitud de 7 a 9 cm, un diámetro de 5 a 6 cm y un peso de 8 a 14 gramos. Los frutos presentan una amplia gama de colores en sus cáscaras, que pueden ser rojas, anaranjadas, púrpuras, amarillas o verdes, mientras que las pulpas tienden a tener tonalidades similares. La superficie externa de los frutos presenta características similares a las del cladodio, con presencia de areolas, numerosos gloquidios y espinas. Ver figura 1.

Figura 1

Esquema del nopal



Nota. Obtenido de Silba (2017). Donde 1 = Cladodio, 2 = Espinas, 3 = Flor, 4 = Fruto.

3.2.4 Mucílago de nopal

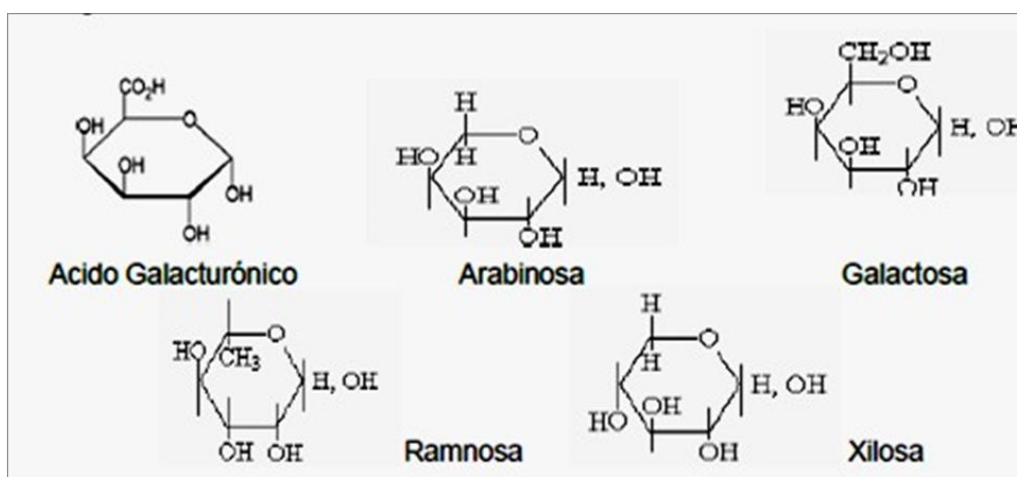
Los frutos y cladodios de la tuna son fuente de mucílago. Estos incluyen fibra, hidrocoloides (mucílago), pigmentos como los carotenoides y betalainas, minerales como el calcio y el potasio, y ciertas vitaminas, como la vitamina C, que es conocida por sus características antioxidantes. Messina et al. (2021)

El gel viscoso de la tuna es un tipo de polisacárido fibroso altamente ramificado, con un peso molecular aproximado de 13×10^6 g/mol. Está compuesto por arabinosa, galactosa y xilosa, cada una de las cuales representa aproximadamente el 35-40%, 20-25% y 20-25% respectivamente. Además, contiene alrededor del 7-8% de ramnosa y ácido galacturónico, ver figura 2. Messina et al. (2021)

El mucílago de la tuna tiene la habilidad de formar redes moleculares y de retener de manera eficaz grandes cantidades de agua. Además, puede alterar características como la elasticidad, textura, viscosidad y la capacidad de retención de agua. También funciona como un excelente gelificante, espesante y emulsionante (González, 2019).

Figura 2

Composición del mucílago de tuna



Nota. Obtenido de (Ornelas, 2011)

3.2.5 Composición química del mucílago de nopal

A juicio de Hernández et al. (2022) Los nopales poseen sustancias viscosas denominadas como mucílago o hidrocoloide, las cuales están compuestas por

carbohidratos de alto peso molecular. El contenido de agua del 88-95 % convierte a los cladodios en un alimento bajo en calorías con 27 kcal/100 gramos, la composición química del mucílago de nopal depende de diversos factores como, la región de cultivo, la calidad del agua, el suelo y las prácticas de cultivo, entre otros. Los elementos principales son calcio, hierro , y ácido ascórbico. Mientras tanto, la tiamina, riboflavina, niacina están presentes en pequeñas cantidades. A continuación, se detalla la composición química del nopal (*Opuntia ficus indica*) en una porción de 100 gramos, ver tabla 3.

Tabla 3

Composición Química del nopal (Opuntia ficus indica)

Concepto	Contenido
Proporción comestible	78.00%
Energía	27.00 Kcal
Proteínas	0.17 g
Grasas	0.30 g
Carbohidratos	5.60 g
Calcio	93.00 mg
Hierro	1.60 mg
Tiamina	0.03 mg
Riboflavina	0.06 mg
Niacina	0.03 mg
Ácido Ascórbico	8.0 g

Nota. Obtenido de Hernández et al. (2022)

3.2.6 Clarificación de aguas

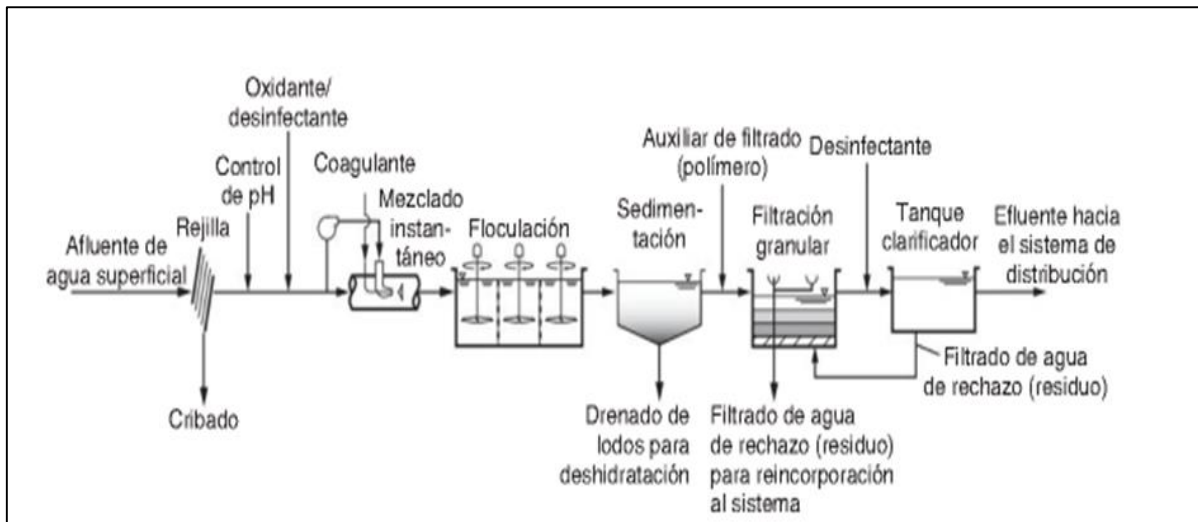
Se busca en la clarificación del agua la eliminación de las partículas sólidas en suspensión, los coloidales y los sólidos finamente separados, convirtiéndose en partículas más grandes que pueden ser eliminadas con mayor facilidad. Este procedimiento se emplea en sistemas de purificación de agua tanto en ámbitos municipales para producir agua potable segura para el consumo humano, como en entornos industriales donde se necesita tratar el agua proveniente de las redes municipales de suministro de acuerdo con su destino final (Villanueva, 2019).

La etapa de clarificación en el tratamiento del agua tiene como objetivo eliminar la turbidez y el color del líquido, eliminando las pequeñas partículas presentes. Este proceso

implica la utilización de un coagulante para unir las partículas en suspensión y formar flóculos, los cuales luego se separan mediante filtración (Contreras etl., 2015).

Figura 3

Procesos de coagulación y floculación en el tratamiento de aguas residuales



Nota. Obtenido de Howe et al. (2016)

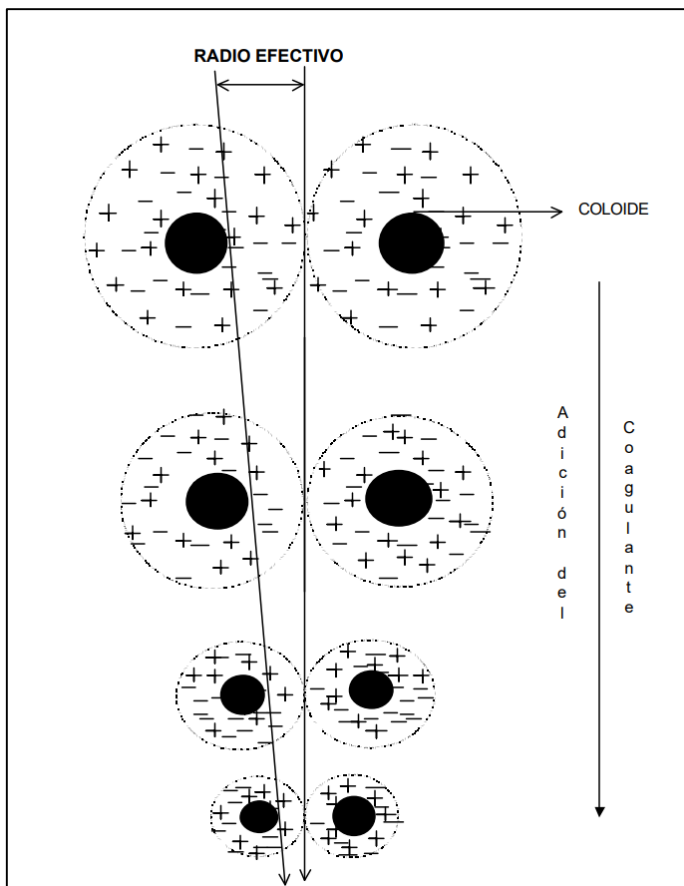
3.2.7 Coagulación

Para generar partículas gelatinosas de tamaño reducido, se lleva a cabo un proceso que implica añadir un agente coagulante al agua y aplicar energía de mezclado. Esto provoca la desestabilización de las partículas en suspensión al neutralizar las cargas de los coloides que se encuentran cargados negativamente. La formación de estas partículas comienza inmediatamente después de agregar el coagulante y tiene una duración de solo fracciones de segundo (Aguilar, 2002).

Después de introducir coagulantes en la mezcla rápida, se generan ionizaciones que resultan en la presencia de partículas cargadas negativamente. Esto da lugar a la formación de cadenas poliméricas en las cuales el coagulante desestabiliza el campo magnético. Al añadir un coagulante, las cargas se neutralizan, lo que provoca un colapso de la "nube de iones" que rodea a los coloides, permitiendo que se aglomeren tal como se muestra en la figura 4.

Figura 4

Esquema del fenómeno de coagulación



Nota. Esquema del fenómeno de coagulación obtenido de Andía (2000)

Fases de la coagulación

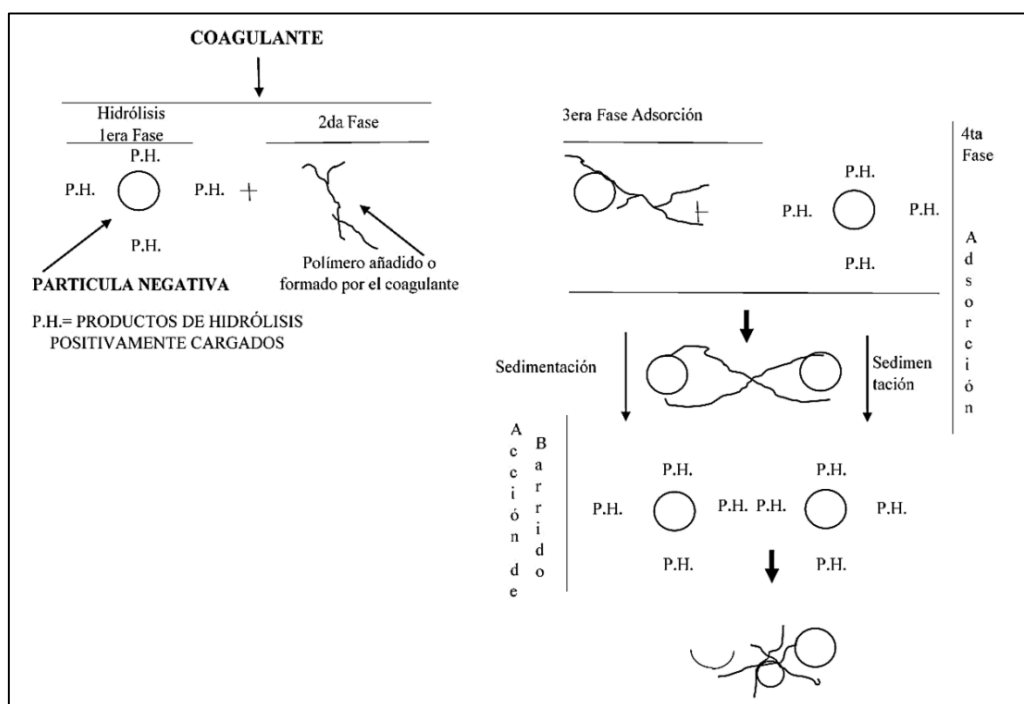
Según Villanueva (2020), se identifican 5 fases durante el proceso de coagulación, como se ilustra en la figura 5. Por lo tanto, sostiene que la coagulación ocurre en un período de tiempo muy breve, el cual se detalla a continuación:

- a. Primera Fase.** Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas suspendidas.
- b. Segunda Fase.** Alineación de Compuestos químicos poliméricos.
- c. Tercera Fase.** Adhesión de las cadenas poliméricos de coloides.
- d. Cuarta Fase.** Afección recíproca de partículas coloidales.
- e. Quinta Fase.** Acción de barrido

Este procedimiento tiene una duración breve y se compone de cinco etapas de coagulación que se llevan a cabo de forma secuencial y simultánea, tal como se indica en el siguiente desglose:

Figura 5

Fases de la coagulación



Nota. Obtenido de Villanueva (2020)

Principales factores que influyen en la coagulación

A juicio de Andía (2000). Existen 6 factores descriptas durante el proceso de coagulación las cuales se describen a continuación:

- Influencia del pH.** En el proceso de coagulación, es esencial considerar el pH, ya que cada tipo de agua tiene un rango de pH óptimo que varía según los iones y la alcalinidad presentes en ella. El rango de pH adecuado varía según el coagulante utilizado y las características del agua a tratar. Si la coagulación ocurre fuera del intervalo de pH ideal (6-8), será necesaria una mayor cantidad de coagulante, lo que resultará en una dosis más alta.

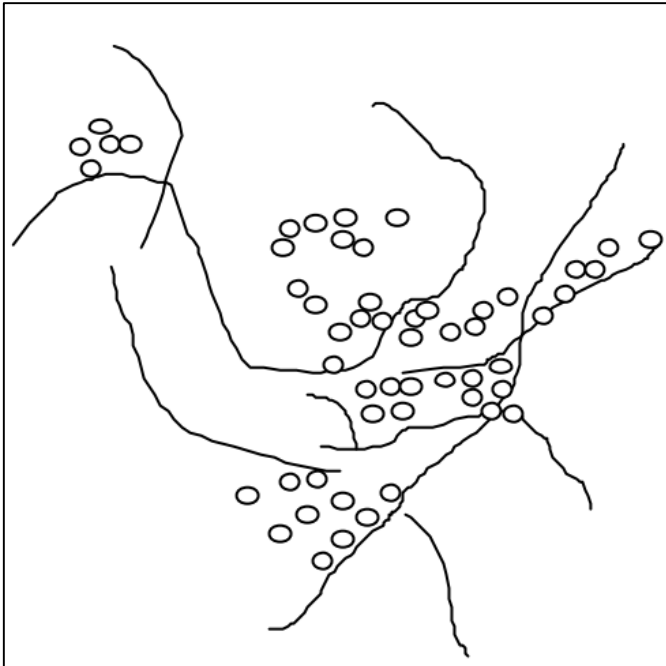
- b. Influencia de la temperatura del agua.** Una diferencia de temperatura de 1 grado Celsius en el agua provoca la creación de corrientes de densidad que resultan en diversos niveles de cambio en la densidad del agua, esto afecta la energía cinética de las partículas suspendidas y ralentiza el proceso de coagulación. Cuando el agua alcanza temperaturas cercanas a los 0 °C, la clarificación se vuelve más desafiante, y temperaturas alrededor de los 40 °C también afectan negativamente el proceso de coagulación.
- c. Influencia de la dosis de coagulante.** El nivel de coagulante utilizado tiene un impacto directo en la eficacia de la coagulación. Si se emplea una cantidad insuficiente de coagulante, la carga de las partículas no se neutraliza por completo y la formación de microflóculos es limitada, lo que ocasiona una alta turbidez residual. En cambio, si se emplea una cantidad excesiva de coagulante, se altera la carga de las partículas, lo que conduce a la creación de múltiples microflóculos pequeños con tasas de sedimentación más lentas. Esto también se traduce en una elevada turbidez residual. Seleccionar el coagulante adecuado y determinar la cantidad óptima se realiza mediante pruebas y experimentos en jarras.
- d. Influencia de la mezcla.** La intensidad de la agitación durante la adición del coagulante es crucial para lograr una coagulación completa. Las turbulencias desiguales pueden resultar en una concentración desigual de coagulante en diferentes partes del agua, con algunas regiones con una mayor concentración y otras con poca o ninguna concentración. La uniformidad y la intensidad de la agitación son esenciales para asegurar una mezcla efectiva entre el agua y el coagulante, lo que facilita la reacción química de neutralización de cargas. Durante dos fases distintas del proceso de coagulación y floculación, se combinan las sustancias químicas. La primera fase comprende la mezcla rápida, que consiste en una agitación vigorosa de corta duración, con un máximo de 60 segundos. El objetivo de esta etapa es lograr una dispersión completa del coagulante en el volumen de agua a tratar. A continuación, se inicia la segunda etapa, denominada

mezcla lenta, durante la cual se forman microfloculos para sostener el proceso de sedimentación.

- e. Influencia de la Turbiedad.** Se puede determinar la concentración de partículas suspendidas en un líquido de forma indirecta utilizando la técnica de dispersión de luz. Esta metodología analiza cómo las partículas dispersan la luz al pasar a través del líquido, y esta dispersión está vinculada con las características como la cantidad, dimensión y configuración de dichas partículas.
- f. Influencia de las sales disueltas.** Las sales contenidas en el agua afectan de manera significativa los procesos de coagulación y floculación. Estas sales disueltas pueden modificar el rango de pH ideal, el tiempo necesario para lograr la floculación y la cantidad de coagulante necesaria. Además, las sales también pueden influir en la cantidad de coagulante residual presente en la solución a tratar.

3.2.8 Floculación

Según Cogollo (2011) La floculación consiste en el proceso en el cual partículas que han sido previamente desequilibradas o coaguladas se unen entre sí, por lo que generan conglomerados de mayor tamaño conocidos como flóculos, tal como se puede observar en la representación gráfica de la figura número 6. Este procedimiento se realiza al generar conexiones químicas o vínculos físicos entre las partículas, lo que da lugar a la creación de puentes que facilitan el proceso. Centrándonos en la parte práctica del proceso, se destaca que la floculación implica llevar a cabo una cuidadosa y extensa mezcla que logra convertir las partículas previamente coaguladas, las cuales son minúsculas a nivel submicroscópico, en partículas más grandes y fácilmente observables, las cuales se mantienen suspendidas en el líquido, pero mantienen cierta separación entre ellas.

Figura 6*Aglomeración de flóculos*

Nota. Obtenido de Andía (2000)

3.2.9 Sedimentación

La sedimentación consiste en la eliminación de partículas que son más densas que el agua, utilizando la fuerza de gravedad. En esta etapa, los materiales en suspensión se mantienen durante un período de tiempo adecuado. Estas partículas sólidas están compuestas principalmente de arenas, limos y coloides que se agrupan inicialmente a través de las etapas de coagulación y floculación (Cogollo, 2011).

3.2.10 Dosis de coagulante

A juicio de Jara (2018) Los coagulantes varían en sus características físicas y químicas, lo que da lugar a diferentes tipos de coagulantes. Se debe llevar a cabo un proceso de prueba en laboratorio para seleccionar el coagulante, permitiendo una comparación precisa entre distintos tipos de coagulantes que se están considerando para su uso, utilizando una muestra del agua que será sometida a tratamiento.

3.2.11 El agua

El agua es una sustancia compuesta por dos átomos de hidrógeno (H) y un átomo de oxígeno (O), formando así la molécula H₂O. Podría decirse que es un líquido que no tiene color, olor ni sabor cuando se encuentra en condiciones estándar de temperatura y presión. El agua es esencial para la existencia en la Tierra y se presenta en diversas formas, como océanos, ríos, lagos, glaciares, vapor en la atmósfera y en el interior de los seres vivos. Es un solvente universal, lo que significa que puede disolver muchas sustancias, y desempeña un papel vital en numerosos procesos biológicos, industriales y ambientales (Arellano, 2011).

3.2.12 Calidad del agua

La calidad del agua se define por las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua, y su evaluación varía según el propósito para el cual se destina. Es fundamental entender la pureza del agua, ya sea para beber o para usos como la agricultura, la industria, la producción de fármacos, el control ambiental, el análisis de laboratorio y el funcionamiento de plantas de tratamiento de agua (Auccahuasi, 2015).

3.2.13 Aguas residuales

Se trata de aguas cuyos atributos naturales han sido alterados por la acción humana, lo que impacta su calidad; estas deben ser tratadas antes de ser reutilizadas, liberadas en cuerpos de agua naturales o desechadas en el sistema de drenaje (Moses, 2014).

3.2.14 Clasificación de aguas residuales

A juicio de OEFA, (2014) las aguas residuales posee una clasificación, las cuales se describen:

- a. Aguas Residuales Domésticas.** Se trata de las aguas producidas en zonas habitacionales y comerciales que contienen una variedad de desechos, como desechos corporales, generados por las actividades humanas, y requieren una gestión adecuada antes de su eliminación definitiva.

- b. Residuos líquidos.** Estas aguas provienen de lugares como casas, apartamentos, negocios y comunidades donde las personas viven o trabajan, es decir, proceden de entornos domésticos. Estas aguas se caracterizan por tener entre sus componentes detergentes, sustancias biodegradables y microorganismos nocivos.
- c. Aguas Residuales industriales.** Estas aguas surgen como consecuencia de diversas actividades productivas como la minería, la agricultura, la producción de energía, las prácticas agroindustriales y otras industrias. Esta definición hace referencia a los desechos en estado líquido que son producidos como resultado de las actividades industriales.
- d. Aguas Residuales Municipales.** Es una referencia a las aguas residuales que provienen de las viviendas, las cuales pueden incluir una combinación de aguas de lluvia y aguas residuales industriales que han sido procesadas previamente. Estas aguas son adecuadas para ser utilizadas en sistemas de alcantarillado que combinan tanto aguas pluviales como residuales.

3.3 Definición de términos

a. Aguas Residuales

Estamos hablando de cuerpos de agua que se han visto afectados por modificaciones en sus características naturales debido a la actividad del ser humano. Debido a su condición, es necesario procesarlos primero antes de poder reutilizarlos, descargarlos en fuentes naturales de agua o canalizarlos (Moses, 2014).

b. Estándares de calidad ambiental

El Estándar de Calidad Ambiental (ECA) viene a ser un instrumento de control ambiental que se emplea para analizar y evaluar la condición de la calidad del entorno natural en todas las regiones del país (Ministerio Nacional del Ambiente [MINAM], 2019).

c. Efluente

Desperdicios en forma líquida o gaseosa, provenientes de actividades humanas, que pueden estar sujetos a tratamiento o ser liberados directamente en cuerpos de agua receptores (Villena, 2017).

d. Límites máximos permisibles

Los Límites Máximos Permisibles (LMP) son la concentración máxima aceptable de sustancias, elementos o características físicas, biológicas y químicas que pueden estar presentes en un efluente, en contraposición a esto (MINAM, 2019).

e. Muestreo de agua

Es un método de supervisión cuyo propósito principal es una muestra representativa de un cuerpo de agua para analizar y evaluar sus características y condiciones actuales (OEFA, 2015).

f. Protocolo

Se trata de un escrito que brinda directrices detalladas, indicaciones claras y pasos específicos que han sido previamente establecidos con el fin de llevar a cabo una tarea particular de manera precisa y consistente (OEFA, 2015).

g. Plan de muestreo

El muestreo es el proceso que engloba todas las etapas y técnicas necesarias para obtener una muestra que sea representativa y mantenga las características del cuerpo de agua original.

h. Polímeros naturales

Se trata de sustancias naturales, conocidas como polímeros o biocoagulantes/coagulantes, que se obtienen de plantas. Estos artículos son respetuosos con el medio ambiente y no representan riesgos tóxicos si se emplean de manera correcta (Caso y Laureano, 2018).

i. Turbidez

La turbidez de un líquido se debe principalmente a la presencia de partículas finas en suspensión, como arcilla, limo, materia orgánica y microorganismos, lo cual dificulta que la luz pase a través de él de manera clara (Chacón, 2017)

j. Tratamiento del agua

Se trata de un conjunto de procesos individuales de naturaleza física, química y biológica que tienen como objetivo reducir de manera parcial o completa los componentes físicos, biológicos y químicos dañinos presentes en el agua (Manahan, 2006)

k. *Opuntia ficus indica*

Esta planta es resistente a la sequía y se encuentra en la familia Cactaceae. Se cultiva en áreas áridas y semiáridas en todo el mundo. Sus frutos y hojas son nutritivos y se emplean en la industria alimentaria y farmacéutica (Messina et al., 2021)

l. Mucílago de nopal

Los frutos y cladodios de la planta *Opuntia ficus indica* poseen mucílago, un hidrocoloide que tiene una gran capacidad para retener agua. Esta propiedad permite que la planta se desarrolle adecuadamente en ambientes semiáridos y áridos (Messina et al., 2021).

IV. Metodología

4.1 Tipo y nivel de investigación

4.1.1 Tipo de investigación

El objetivo principal es abordar la situación problemática mediante la ejecución de acciones específicas en función de los resultados obtenidos. En consecuencia, el tipo de investigación realizada fue de índole aplicada. Según el objetivo principal, se enfocó en el empleo de conocimientos derivados de la información acerca de cómo los mucílago se utilizan en el tratamiento del agua, junto con la aplicación práctica de los saberes científicos. (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018).

4.1.2 Nivel de investigación

En cuanto al nivel de investigación, de acuerdo con las características de estudio es explicativa, a juicio de Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) su fundamento radica en la comprensión y la explicación de las razones subyacentes que provocan una variedad de sucesos y fenómenos. Su propósito radica en obtener una comprensión detallada sobre las causas de los fenómenos y bajo qué circunstancias se manifiestan, además de identificar y analizar las conexiones existentes entre diversas variables. Por lo tanto, el estudio realizado se sitúa en un nivel explicativo dentro del marco de la investigación.

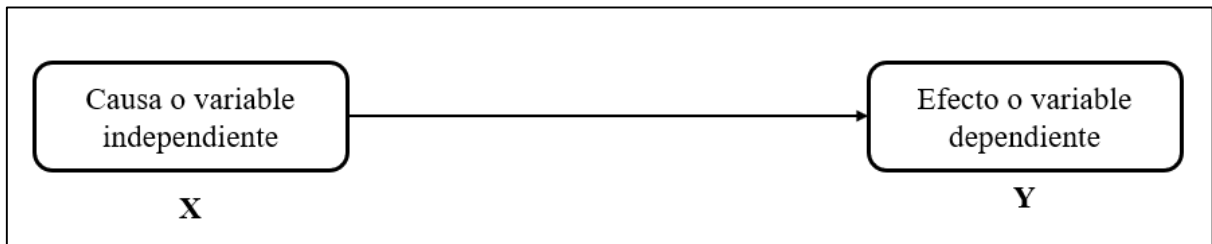
Diseño de la investigación

El enfoque para la recopilación de datos se basa en el diseño experimental, ya que implica hacer modificaciones deliberadas en una o más variables independientes, las cuales se consideran como las causas iniciales. Esto se realiza con el objetivo de analizar las repercusiones que estas modificaciones producen en una o más variables dependientes, que se entienden como los efectos que resultan. Todo el proceso se desarrolla en un ambiente controlado por el investigador (Privitera, 2017; Fleiss, 2013 y O'Brien, 2009, citado en Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018). A juicio de Palella y Martins (2012) el investigador induce el fenómeno al manipular de manera intencionada una variable experimental bajo control, al mismo tiempo que maneja una muestra de control

que no está expuesta a dicha variable especial. Esto se realiza con el fin de examinar los efectos del experimento y verificar su impacto. A continuación, se presenta el diseño bajo el cual se recolectará los datos:

Figura 7

Diseño experimental



Nota. Donde X = Mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*), Y = Clarificación de las aguas residuales y \rightarrow = Influencia. Adaptado de Hernández-Sampieri y Mendoza (2018)

4.2. Ámbito temporal y espacial

4.2.1 Ámbito temporal

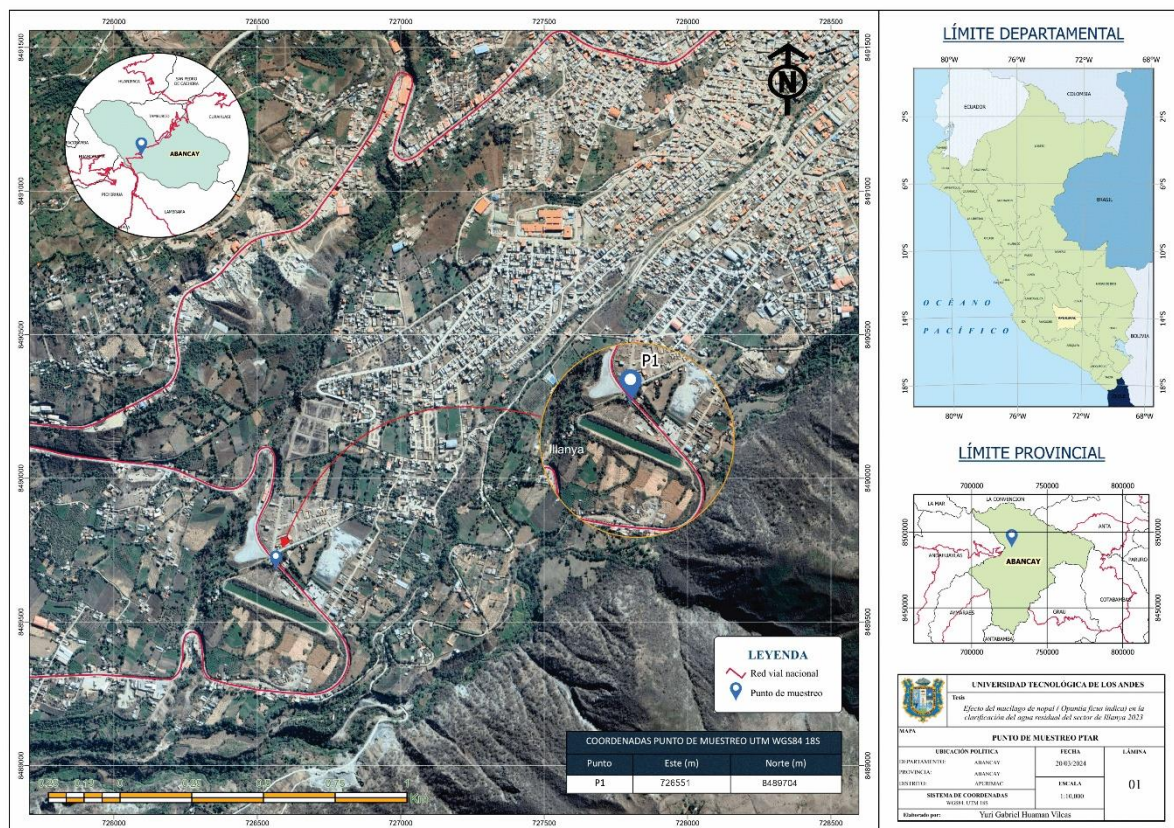
El presente estudio se inició en el mes de febrero del 2023 hasta marzo del año 2024, periodo que ha permitido desarrollar todas las etapas del presente trabajo de investigación de manera adecuada.

4.2.2 Ámbito espacial

El estudio fue realizado en la región de Apurímac, en la zona de Illanya, que forma parte del distrito y provincia de Abancay.

Figura 8

Mapa de Ubicación del sector de Illanya del distrito de Abancay



Nota. Mapa de ubicación del distrito de Abancay a nivel provincial y departamental.

4.3. Población y muestra

4.3.1 Población

El conjunto completo de elementos o unidades de análisis que pertenecen al área en la que se realiza la investigación se denomina población (Carrasco, 2005). La población de estudio en la presente investigación constituyó el agua residual con un caudal de 150 L/s del efluente del agua residual del sector de Illanya en el distrito de Abancay, provincia de Abancay, región de Apurímac.

4.3.2 Muestra

La muestra se define como una porción representativa del total que comparte características comunes, de la cual se obtienen datos para alcanzar los objetivos de la investigación. En este contexto, la muestra consiste en 18 litros de agua residual destinados a los 6 tratamientos en análisis, los cuales serán examinados en laboratorio de acuerdo con el protocolo de monitoreo de calidad establecido por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), según lo dispuesto en la Resolución Ministerial N°273-2013 – VIVIENDA.

4.3.3 Muestreo

El muestreo no probabilístico por conveniencia: También denominado muestreo intencional se realiza cuando el investigador hace la selección sobre los elementos o unidades de la población que él considera son representativas para su estudio (Sánchez et al, 2015). Para la presente investigación se ha determinado el periodo de tiempo, el volumen de la muestra, la mezcla homogénea del agua residual estudiada, la facilidad de acceso al punto de muestreo y las muestras tomadas pudieron representar con precisión la muestra.

4.4. Instrumentos

A juicio de Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) un instrumento de recolección de datos es una herramienta utilizada para adquirir información o datos relacionados con

las variables que se están considerando. Por lo tanto, el instrumento que se emplearon en el presente estudio es:

a) Instrumento documental

- Hoja de ficha de datos
- Ficha de observación
- Cuaderno de campo
- Ficha de Recolección de muestra

b) Instrumentos mecánicos

- Estufa
- Agitador magnético
- Licuadora Oster
- Balanza analítica
- Potenciómetro
- Multiparámetro
- Turbidímetro
- Conductímetro
- Equipo de prueba de jarras
- Cámara digital

4.5. Procedimientos

Procedimiento experimental de la Obtención del mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) consistió en lo siguiente:

La extracción del mucílago de nopal se realizó utilizando una metodología reportada por Otálora et al. (2022) con ajustes derivados de varios ensayos anteriores, se ha modificado el proceso para extraer el mucílago del nopal. Se desarrolló en Laboratorio de análisis de suelo, agua y aire de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales de la Universidad Tecnológica de los Andes, a continuación, se describen los pasos que se siguieron:

Primera etapa: El procedimiento experimental de la extracción del mucílago de nopal consistió en el acopio de la penca de nopal y procesarla para obtener el mucílago de nopal a continuación describe el procedimiento:

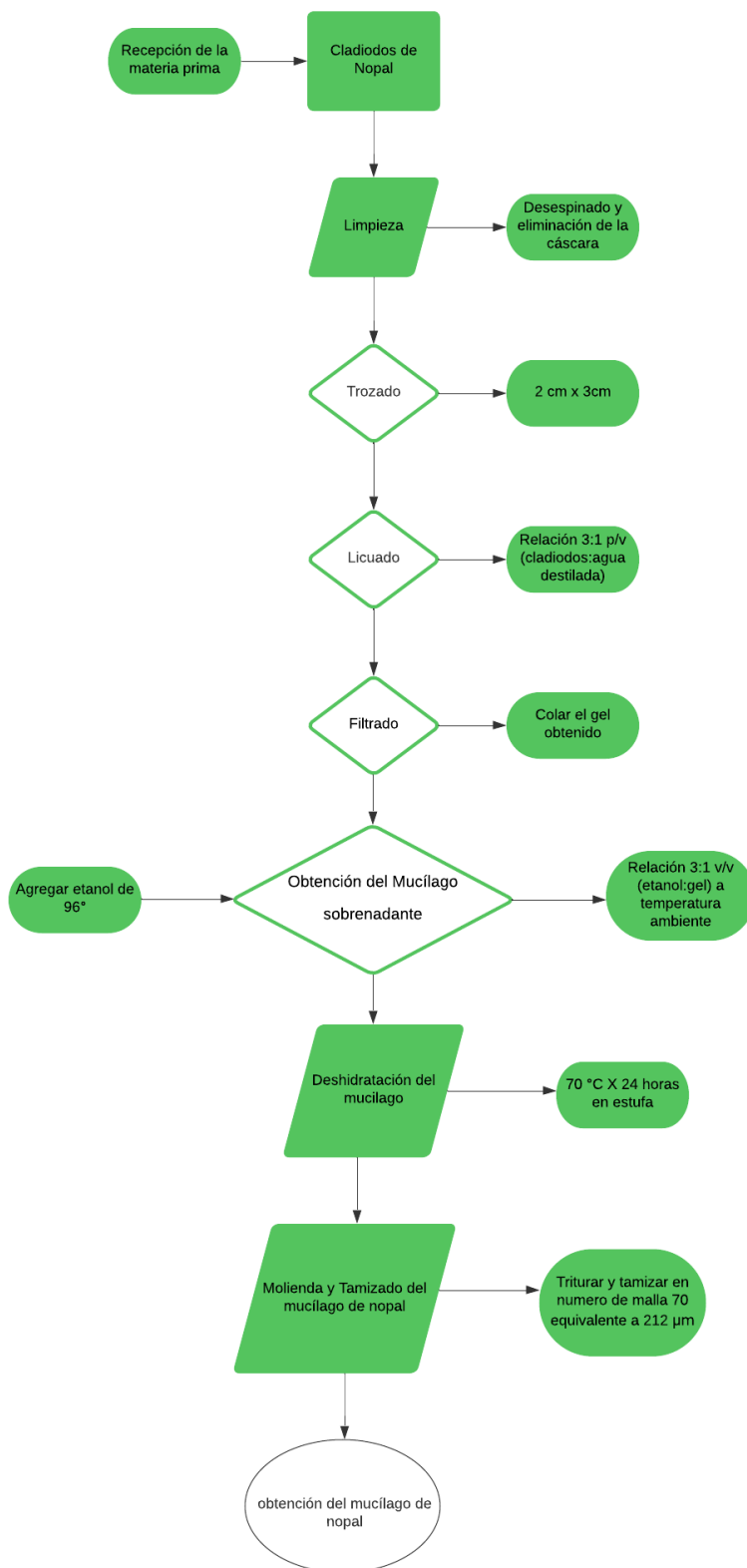
- a. **Recolección:** Los nopales se recolectaron en la localidad de Paltaypata, distrito y provincia de Abancay, región de Apurímac. Se recolectaron los nopales aquellos que se encontraban es estados idóneos de los cuales fueron colocadas en cajas y llevarlos de inmediato al Laboratorio de análisis de Suelo, Agua y Aire de la Universidad tecnológica de los Andes.
- b. **Limpieza:** Los cladodios se sometieron a ser limpiados a chorro de agua potable. Así mismo, se eliminaron las espinas y se procedió a remover la piel.
- c. **Trozado:** Se redujo el tamaño de los cladiodos sin cáscara y sin espinas utilizando un cuchillo con el cual se cortó en trozos de 2 a 3 cm.
- d. **Licuada:** Durante este proceso, se colocaron en el vaso de la licuadora los trozos cortados de nopal en una proporción de 3:1 p/v. (nopal: agua destilada) a temperatura ambiente.
- e. **Filtrado:** Se atravesó a través de un filtro de colador malla y separar la fibra y obtener el gel de nopal.
- f. **Obtención del mucílago sobrenadante:** En este proceso se adiciono alcohol etílico al 96 % en una proporción de 3:1 v/v (etanol: gel) sin agitación a

temperatura ambiente respectivamente y dejar reposar por 15 minutos hasta la formación de un sobrenadante blanco de color blanco lechoso correspondiente al mucílago precipitado en su totalidad.

- g.* Deshidratación del mucílago: El precipitado se llevó a secar en una estufa a temperatura de 70 °C por 24 horas.
- h.* Trituración: En esta operación se procedió a reducir el tamaño del mucílago ya deshidratado y se colocó en un vaso de licuadora pulverizadora para proceder a reducir el tamaño hasta obtener el mucílago en polvo.
- i.* Tamizado: Se realizó el tamizado a través de un tamiz malla número 70 equivalente a 212 μm (micras) de granulometría.

Figura 9

Flujograma de la obtención del mucílago de nopal



Nota. Obtenido de Otálora et al. (2022)

Segunda etapa: Esta fase comienza con la recolección de la muestra siguiendo el protocolo de monitoreo de calidad, según lo dispuesto en la Resolución Ministerial N°273-2013 -VIVIENDA y luego se procedió con la toma de muestras del agua residual de la zona de Illanya 2023. Se llevaron a cabo los análisis tomando muestras en seis grupos separados, cada uno contenido en recipientes de un litro, y se repitió cada tratamiento tres veces, dando como resultado la obtención de un total de dieciocho muestras. De esta manera, las muestras recolectadas en el campo fueron transportadas al Laboratorio de Química de la Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba.

La tercera etapa: Consistió en realizar el tratamiento experimental en la prueba de jarras de los 6 grupos obtenidos. Se procedió aplicar diferentes dosis de mucílago de nopal a las muestras de agua residual a escala de un litro. El objetivo es determinar qué dosis de mucílago de nopal produce los mejores resultados en términos de niveles de turbidez, conductividad, sólidos totales disueltos, potencial hidrógeno y oxígeno disuelto. Así mismo la caracterización fisicoquímica se realizó en Laboratorio de Química en la Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba a continuación, se describen los pasos que se siguieron:

- a)** Caracterización de la muestra: La caracterización consistió en medir los niveles de turbiedad, conductividad, sólidos totales disueltos, potencial hidrógeno y oxígeno disuelto.
- b)** Dosis de mucílago de nopal: La concentración inicial del floculante se fijó en 2g/100 ml de agua destilada.
- c)** Aplicación de las dosis: Se agregó el coagulante con las 5 dosis diferentes de 50,70,100,150,200 (mg/L) y una muestra testigo correspondiendo una dosis diferente en cada vaso precipitado que contiene la prueba de jarras (ver tabla 4), siguiendo con la fase de agitación rápida de 100 RPM por 1 minuto seguido de una agitación lenta durante 20 minutos a 70 RPM.
- d)** Fase de sedimentación: Se dejará sedimentar durante 30 minutos

- e) Caracterización del agua clarificada: Se procedió a caracterizar el sobrenadante 1 cm bajo la superficie cuando la sedimentación es suficiente y medir los parámetros de turbiedad, conductividad, sólidos totales disueltos, potencial Hidrógeno y el oxígeno disuelto.
- f) Porcentaje de remoción: La determinación del porcentaje de remoción de la turbidez del agua residual se calculó a través de la siguiente ecuación propuesta por lhaddaden et al. (2022)

Porcentaje de remoción:

$$\%R = \frac{C_{inicial} - C_{final}}{C_{inicial}} \times 100$$

Dónde:

%R = representa el porcentaje de remoción.

C_{inicial} = concentración inicial antes del tratamiento.

C_{final} = concentración final después del tratamiento.

- g) Programación del equipo de prueba de jarras. Ver tabla 5

Tabla 4

Dosis de mucílago de nopal

Dosis	Prueba testigo	50 mg	70 mg	100 mg	150 mg	200 mg
Volumen del agua residual	1 L	1 L	1 L	1 L	1 L	1 L

Tabla 5

Programación de equipo de Jarras

Etapa	Secuencia	Velocidad RPM (revoluciones por minuto)	Tiempo
Homogenización	1	100	1 minuto
Mezcla rápida	2	70	20 minutos
Sedimentación	3	-	30 minutos

Nota. Obtenido de Otálora et al. (2023)

4.6 Análisis de datos

Una vez concluido con el acopio de los datos se procedió a codificar, transferir a una matriz de datos para su posterior los análisis. Se estructuró la matriz de datos en el Microsoft Excel y el procesamiento de datos se hizo en R versión 4.3.2. Luego se efectuó la exploración de datos, tanto descriptiva e inferencial. El análisis descriptivo se utiliza para definir y representar las variables y sus aspectos mediante tablas y gráficos, mientras que el análisis inferencial se emplea para evaluar y contrastar las hipótesis (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018).

4.7. Consideraciones éticas

Uno de los aspectos a tener muy en cuenta durante el desarrollo de la investigación es la ética, que según Gagñay et al (2020) se deben practicar los siguientes principios éticos el respeto hacia las personas implica beneficencia, es decir, buscar su bienestar, y justicia, lo cual implica tratar a los sujetos de investigación de manera equitativa tanto a nivel individual como colectivo en la selección. En virtud a ello, en la presente investigación se ha respetado las pautas antes mencionadas, a los autores citados, sin confundir su información ni atentar contra sus derechos; que nos han proporcionado la guía necesaria para estructurar dicha investigación; estas citas textuales fueron referenciadas según la Guía de las Normas APA 7ma edición.

V. Resultados y Discusión

5.1 Resultados

5.1.1 Análisis de Turbiedad

El efecto del mucílago de nopal en el análisis de la Turbiedad del agua residual recolectadas del sector de Illanya se resume en la Tabla 6.

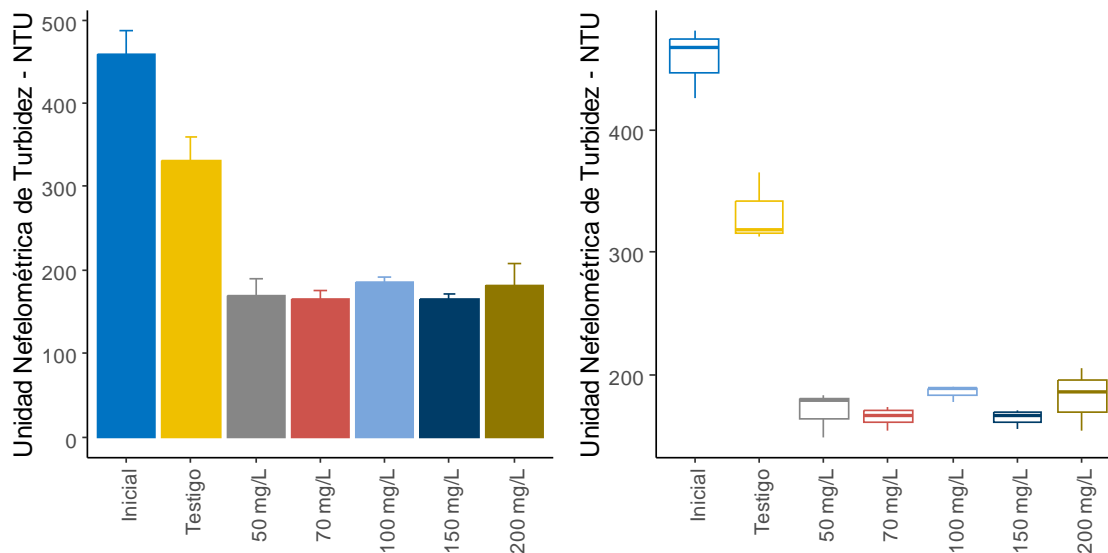
Tabla 6

Análisis de Turbiedad

Muestras de aguas residuales	Caracterización inicial de la Turbidez (NTU)	Caracterización final de la Turbidez después del tratamiento
Tratamiento 1	535	149
utilizando dosis de 50 mg/L	440	183
	430	179
Tratamiento 2	409	167
utilizando dosis de 70 mg/L	535	154
	412	174
Tratamiento 3	457	188
utilizando dosis de 100 mg/L	470	177
	399	190
Tratamiento 4	488	167
utilizando dosis de 150 mg/L	429	171
	480	156
Tratamiento 5	505	154
utilizando dosis de 200 mg/L	454	186
	421	205
Tratamiento 6	498	365
Testigo	479	313
	419	318

Figura 10

Distribución de NTU según dosis de mucílago de nopal



La Tabla 6 muestra el efecto de la dosificación de mucílago de nopal que utilizó las concentraciones de 50mg/L, 70mg/L, 100mg/L, 150mg/L, 200mg/L, y un tratamiento de testigo del agua residual del sector de Illanya.

En la Figura 10 se evidencia el diagnóstico de los principales estadísticos, donde se muestra la diferencia entre el NTU al aplicar las diferentes dosis de mucílago de nopal, siendo la menor reducción la que se obtiene con las dosis de 70 mg/L. Los resultados revelan que la máxima remoción de turbidez fue de 165 NTU equivalente al porcentaje de 64.04 % logrando utilizar 70 mg/L y 150 mg/L como dosis óptima para tal efecto del agua residual del sector de Illanya.

5.1.1.1 Prueba de hipótesis para la diferencia de medias

H_0 : $\mu_1=\mu_2=\mu_3=\mu_4=\mu_5=\mu_6=\mu_7$ (El efecto de las dosis de mucílago de nopal sobre el NTU es el mismo)

H_a : Al menos un μ_i es diferente (El efecto de las dosis de mucílago de nopal sobre el NTU no es el mismo)

Tabla 7

Anova (Análisis de varianza)

FV	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tratamientos	6	236657	39443	96.342	1.43E-10
Residuals	14	5732	409		

La Tabla 7 nos muestra como el Pvalue = $1.43E-10 < 0.05$ resultado que indica rechazar la H_0 , a un nivel de significancia del 0.05, el efecto de la reducción de NTU es altamente significativo, es decir existe diferencias significativas entre variables.

5.1.1.2 Prueba de normalidad

H_0 : El error se distribuye normalmente

H_a : El error no se distribuye normalmente

Tabla 8

Prueba de normalidad

Prueba de Shapiro test para la normalidad	
W=0.92939	Pvalue = 0.1895

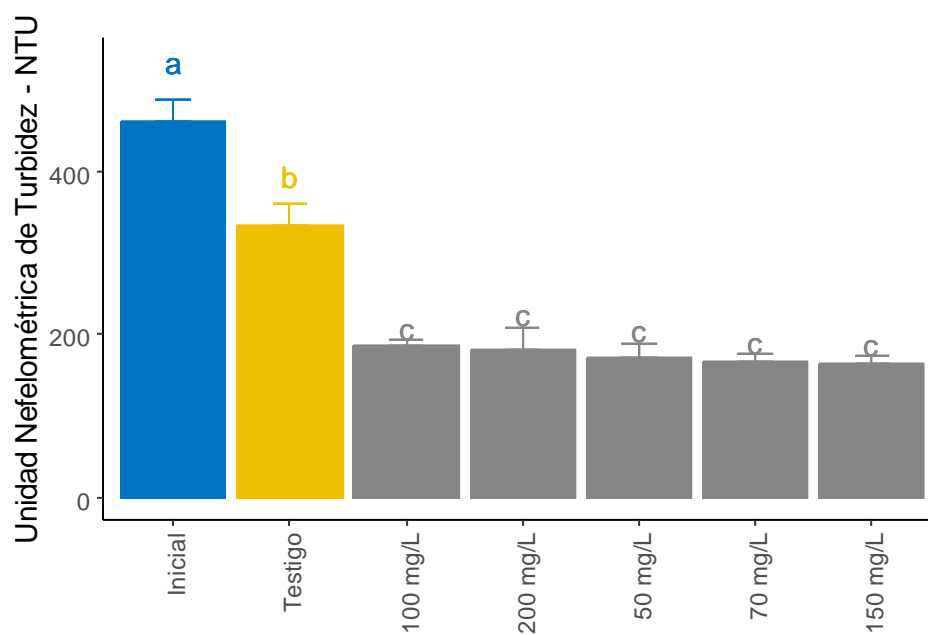
La Tabla 8 describe como el Pvalue = $0.1895 > 0.05$ no se rechaza H_0 , a un nivel de significancia del 0.05, los errores se distribuyen normalmente.

Tabla 9*Prueba de Tukey*

Grupos	NTU	grupos
Inicial	458.89	a
Testigo	332.00	b
100 mg/L	185.00	c
200 mg/L	181.67	c
50 mg/L	170.33	c
70 mg/L	165.00	c
150 mg/L	164.67	c

Figura 11

Prueba Tukey para la Turbidez



Como se muestra en la Tabla 9 y la Figura 11 que según los resultados de la prueba de Tukey para la turbidez existe diferencia entre los tratamientos, las diferentes dosis dan resultados similares, con una gran reducción en relación a la medida inicial.

5.1.2 Análisis de Conductividad

La influencia del mucílago de nopal en la medición de la conductividad del agua residual obtenida en la zona de Illanya se presenta de forma resumida en la Tabla 10.

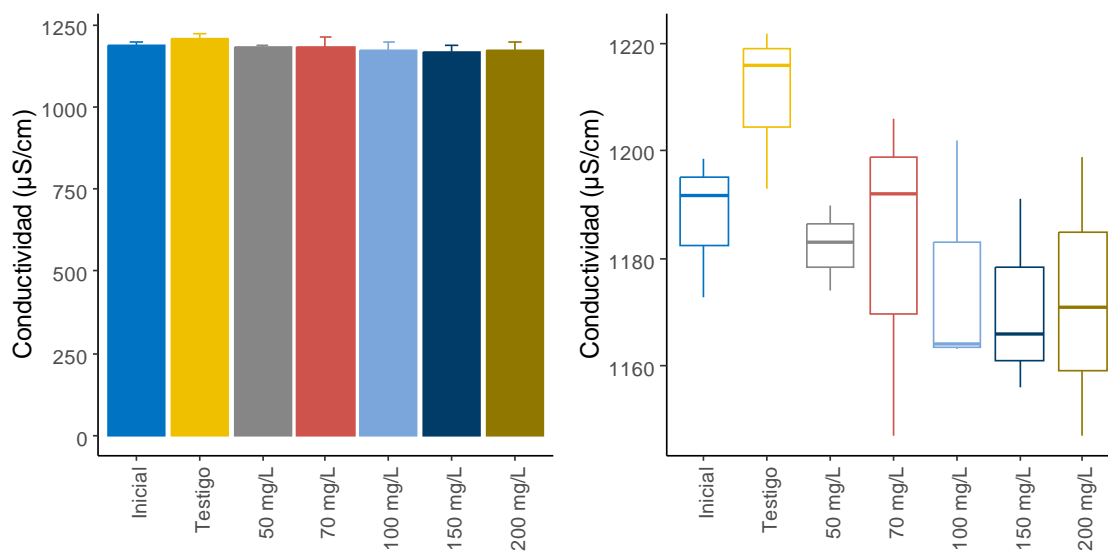
Tabla 10

Análisis de Conductividad

Muestras de aguas residuales	Caracterización inicial de Conductividad (mS/cm)	Caracterización final de conductividad (mS/cm) después del tratamiento
Tratamiento 1	1215	1174
utilizando dosis de 50 mg/L	1118	1183
	1152	1190
Tratamiento 2	1222	1206
utilizando dosis de 70 mg/L	1118	1192
	1152	1147
Tratamiento 3	1164	1163
utilizando dosis de 100 mg/L	1215	1164
	1163	1202
Tratamiento 4	1210	1191
utilizando dosis de 150 mg/L	1176	1156
	1212	1166
Tratamiento 5	1147	1147
utilizando dosis de 200 mg/L	1203	1199
	1191	1171
Tratamiento 6	1233	1222
Testigo	1206	1193
	1191	1216

Figura 12

Distribución de la conductividad según dosis de mucílago de nopal



La Tabla 10 muestra la caracterización inicial y final de los análisis de la conductividad y los tratamientos que se realizó en la dosificación de mucílago de nopal estuvo establecido utilizando concentraciones de 50mg/L, 70mg/L, 100mg/L, 150mg/L, 200mg/L, y un tratamiento testigo de agua residual del sector de Illanya.

En la figura 12 se visualiza que en las medias no existe diferencia significativa al aplicar las diferentes dosis, sin embargo, en las medianas (gráfico de cajas) al parecer existe cierta diferencia en la conductividad al aplicar las diferentes dosis.

5.1.2.1 Prueba de hipótesis para la diferencia de medias

H_0 : $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_7$ (El efecto de las dosis de mucílago de nopal sobre la conductividad es el mismo)

H_a : Al menos un μ_i es diferente (El efecto de las dosis de mucílago de nopal sobre la conductividad no es el mismo)

Tabla 11*Anova (Análisis de varianza)*

FV	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tratamientos	6	3219.8	536.63	1.284	0.3258
Residuals	14	5851.1	417.93		

La Tabla 11 nos muestra como el $Pvalue=0.3258 > 0.05$ no se rechaza la H_0 , a un nivel de significancia del 0.05, el efecto de la reducción de la conductividad es el mismo con las 5 dosis del mucílago de nopal.

5.1.2.2 Prueba de normalidad

H_0 : El error se distribuye normalmente

H_a : El error no se distribuye normalmente

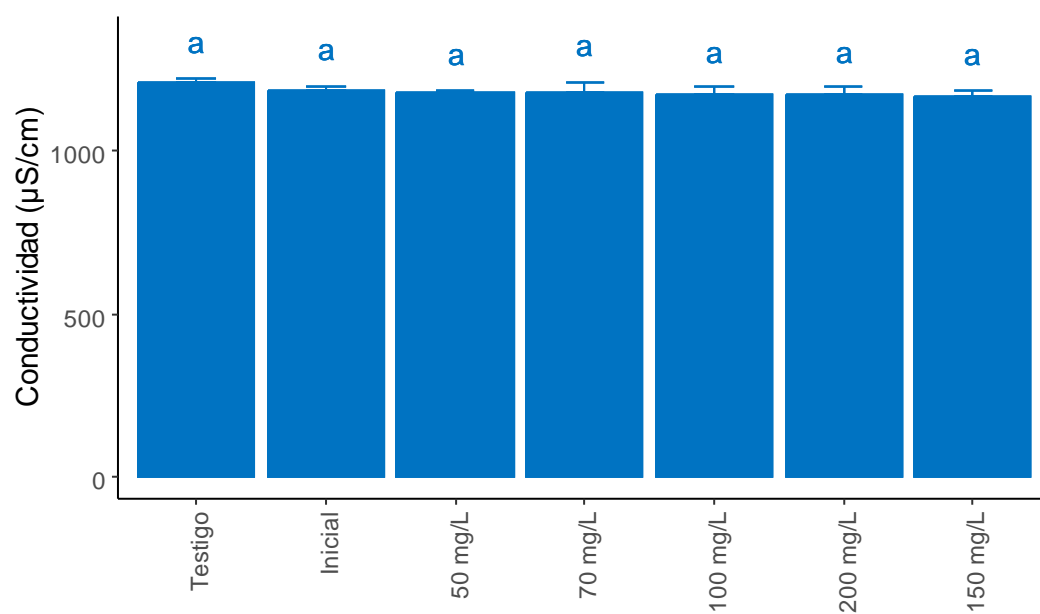
Tabla 12*Prueba de normalidad*

Prueba de Shapiro test para la normalidad	
W= 0.21214	Pvalue = 0.8286

La Tabla 12 nos muestra como el $Pvalue = 0.8286 > 0.05$ no se rechaza H_0 . A un nivel de significancia del 0.05, los errores se distribuyen normalmente.

Tabla 13*Prueba de Tukey*

Grupos	Conductividad	grupos
Testigo	1210.33	a
Inicial	1187.67	a
50 mg/L	1182.33	a
70 mg/L	1181.67	a
100 mg/L	1176.33	a
200 mg/L	1172.33	a
150 mg/L	1171.00	a

Figura 13*Prueba Tukey para Conductividad*

Los resultados de la prueba de Tukey en la Tabla 13 indican que no hay diferencias significativas entre los tratamientos. Estadísticamente, se observa que la conductividad más baja se obtiene al aplicar cualquiera de las dos dosis, como se muestra en la Figura 13.

5.1.3 Análisis de sólidos totales disueltos

La influencia del mucílago de nopal en la medición de los sólidos totales disueltos en el agua residual recopilada del área de Illanya se presenta de manera resumida en la Tabla 14.

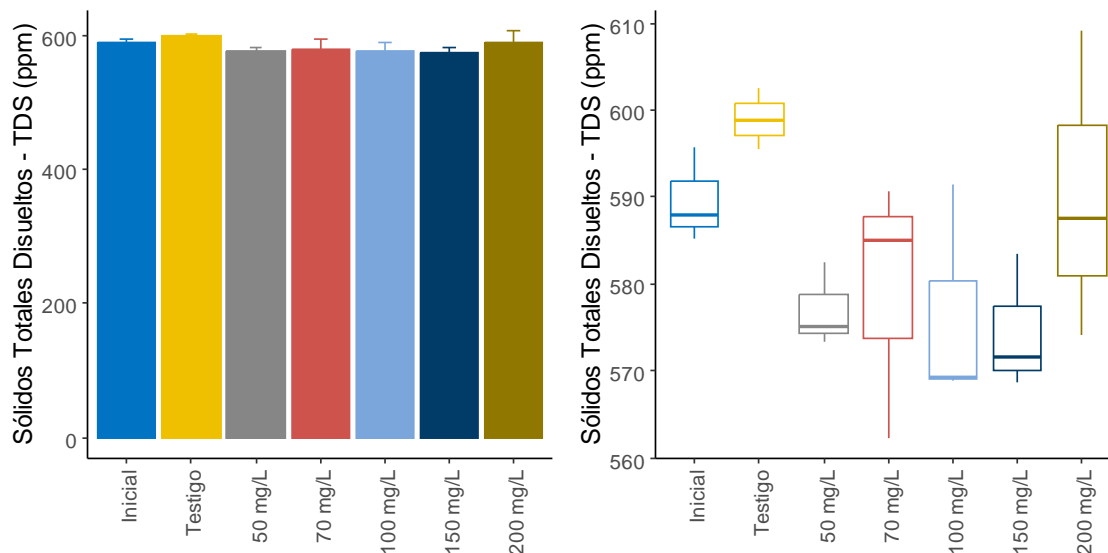
Tabla 14

Análisis de Sólidos Totales Disueltos

Muestras de aguas residuales	Caracterización inicial de los Sólidos Totales Disueltos (ppm)	Caracterización final de los Sólidos Totales Disueltos (ppm) después del tratamiento
Tratamiento 1	595.6	575.1
utilizando dosis de 50 mg/L	576.7	573.4
	609.2	582.5
Tratamiento 2	596.5	590.6
utilizando dosis de 70 mg/L	582.5	585.0
	565.2	562.3
Tratamiento 3	572.8	569.2
utilizando dosis de 100 mg/L	593.9	591.5
	568.6	568.9
Tratamiento 4	592.6	583.5
utilizando dosis de 150 mg/L	576.3	568.6
	594.2	571.5
Tratamiento 5	609.2	609.2
utilizando dosis de 200 mg/L	590.0	587.5
	583.2	574.2
Tratamiento 6	607.2	602.6
Testigo	592.0	598.8
	607.5	595.5

Figura 14

Distribución del STD (Sólidos totales disueltos) según dosis de mucílago de nopal



La Tabla 14 muestra la caracterización inicial y final de los sólidos totales disueltos y los tratamientos que se realizó en la dosificación de mucílago de nopal estuvo establecido utilizando concentraciones de 50mg/L, 70mg/L, 100mg/L, 150mg/L, 200mg/L, y un tratamiento testigo de agua residual del sector de Illanya.

En la figura 14 se visualiza que en las medias no existe diferencia significativa al aplicar las diferentes dosis, sin embargo, en las medianas (gráfico de cajas) al parecer existe cierta diferencia en el STD.

5.1.3.1 Prueba de hipótesis para la diferencia de medias

H_0 : $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_7$ (El efecto de las dosis de mucílago de nopal sobre los sólidos totales disueltos es el mismo)

H_a : Al menos un μ_i es diferente (El efecto de las dosis de mucílago de nopal sobre los sólidos totales disueltos no es el mismo)

Tabla 15*Análisis de Varianza*

FV	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tratamientos	6	1534	255.66	2.1502	0.1116
Residuals	14	1664.6	118.9		

La Tabla 15 nos muestra como el $Pvalue=0.1116 > 0.05$ no se rechaza la H_0 , a un nivel de significancia del 0.05, el efecto STD es el mismo con las 5 dosis del mucílago de nopal.

5.1.3.2 Prueba de normalidad:

H_0 : El error se distribuye normalmente

H_a : El error no se distribuye normalmente

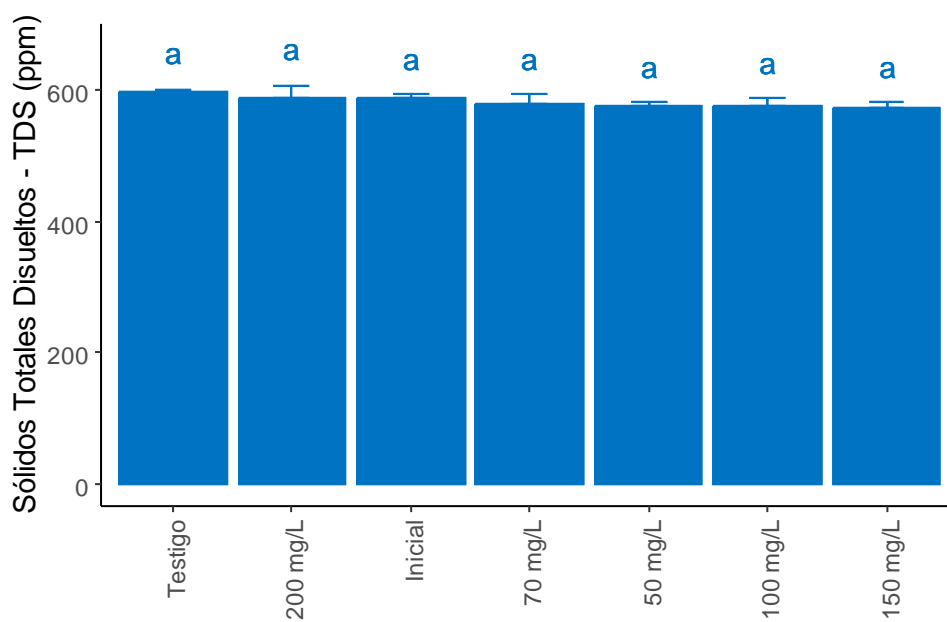
Tabla 16*Prueba de normalidad*

Prueba de Shapiro test para la normalidad	
W= 0.96321	Pvalue = 0.6647

La Tabla 16 nos muestra como el $Pvalue = 0.6647 > 0.05$ no se rechaza H_0 , a un nivel de significancia del 0.05, los errores se distribuyen normalmente.

Tabla 17*Prueba de Tukey*

Grupos	STD	grupos
Testigo	598.97	a
200 mg/L	590.30	a
Inicial	589.62	a
70 mg/L	579.30	a
50 mg/L	577.00	a
100 mg/L	576.53	a
150 mg/L	574.53	a

Figura 15*Prueba de Tukey para Sólidos Totales Disueltos*

La Tabla 17 muestra los resultados de la prueba de Tukey, que indican que no hay diferencias significativas entre los tratamientos. Estadísticamente, el efecto de los sólidos totales disueltos es similar para las cinco dosis de mucílago de nopal, como se observa en la Figura 15.

5.1.4 Análisis de Potencial Hidrógeno

El efecto del mucílago de nopal en el análisis de pH del agua residual recolectadas del sector de Illanya se resume en la Tabla 18.

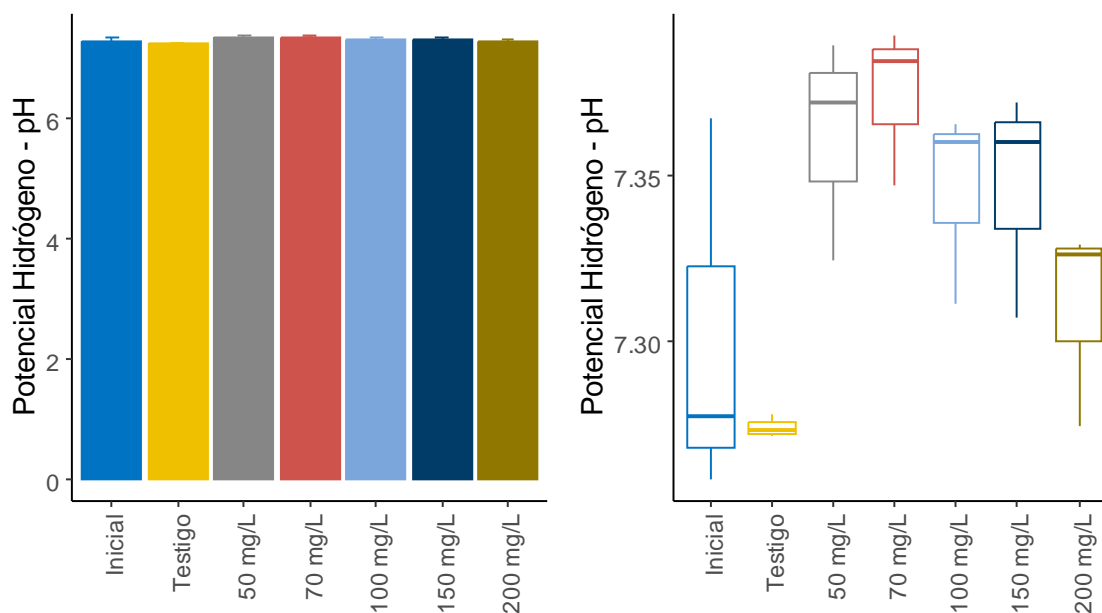
Tabla 18

Análisis de Potencial Hidrógeno

Muestras de aguas residuales	Caracterización inicial de Potencial Hidrógeno	Caracterización final de Potencial Hidrógeno después del tratamiento
Tratamiento 1	7.305	7.372
utilizando dosis de 50 mg/L	7.201	7.324
	7.406	7.389
Tratamiento 2	7.340	7.392
utilizando dosis de 70 mg/L	7.360	7.347
	7.246	7.384
Tratamiento 3	7.390	7.365
utilizando dosis de 100 mg/L	7.267	7.360
	7.263	7.311
Tratamiento 4	7.4	7.372
utilizando dosis de 150 mg/L	7.253	7.360
	7.101	7.307
Tratamiento 5	7.326	7.326
utilizando dosis de 200 mg/L	7.267	7.274
	7.276	7.329
	7.440	7.278
Tratamiento 6		
Testigo	7.317	7.271
	7.259	7.273

Figura 16

Distribución del pH (Potencial Hidrógeno) según dosis de mucílago de nopal



La Tabla 18 muestra la caracterización inicial y final de los análisis del pH y los tratamientos que se realizó en la dosificación de mucílago de nopal estuvo establecido utilizando concentraciones de 50mg/L, 70mg/L, 100mg/L, 150mg/L, 200mg/L, y un tratamiento testigo de agua residual del sector de Illanya.

En la figura 16 se puede visualizar donde las medias no existen diferencia significativa al aplicar las diferentes dosis, sin embargo, en las medianas (gráfico de cajas) al parecer existe cierta diferencia en el pH.

5.1.4.1 Prueba de hipótesis para la diferencia de medias

H_0 : $\mu_1=\mu_2=\mu_3=\mu_4=\mu_5= \mu_6=\mu_7$ (El efecto de las dosis de mucílago de nopal sobre el pH es el mismo)

H_a : Al menos un μ_i es diferente (El efecto de las dosis de mucílago de nopal sobre el pH no es el mismo)

Tabla 19*Anova (Análisis de varianza)*

FV	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tratamientos	6	0.023589	0.0039315	3.3914	0.0280
Residuals	14	0.01623	0.0011593		

La Tabla 19 nos muestra como el $Pvalue=0.0280 < 0.05$ se rechaza la H_0 , a un nivel de significancia del 0.05, el efecto de la reducción del pH no es el mismo con las dosis de tratamientos.

5.1.4.2 Prueba de normalidad:

H_0 : El error se distribuye normalmente

H_a : El error no se distribuye normalmente

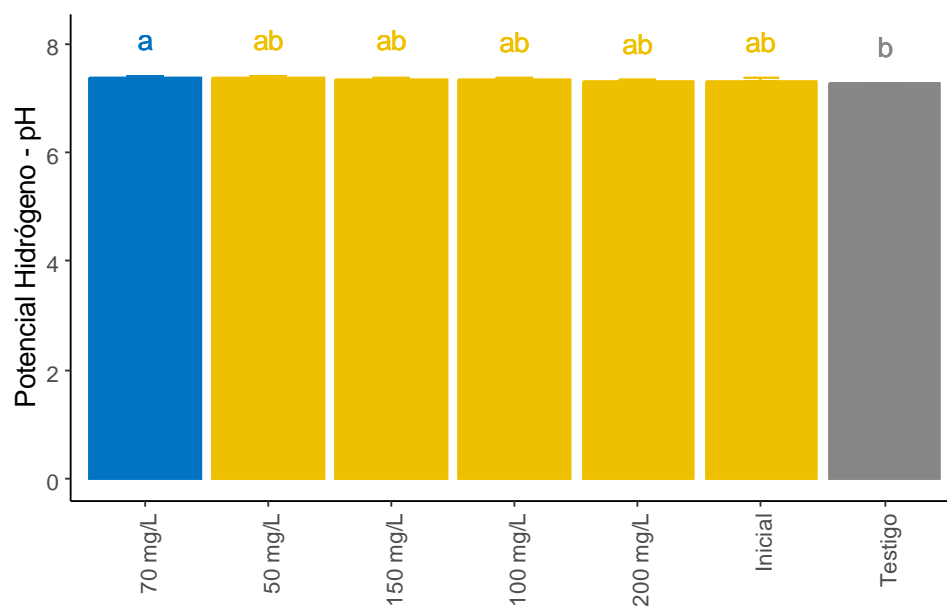
Tabla 20*Prueba de Normalidad*

Prueba de Shapiro test para la normalidad	
W= 0.88174	Pvalue = 0.2793

La Tabla 20 nos muestra como el $Pvalue = 0.2793 > 0.05$ no se rechaza H_0 , a un nivel de significancia del 0.05, los errores se distribuyen normalmente.

Tabla 21*Prueba de Tukey*

Grupos	pH	grupos
70 mg/L	7.37	a
50 mg/L	7.36	ab
150 mg/L	7.35	ab
100 mg/L	7.35	ab
200 mg/L	7.31	ab
Inicial	7.30	ab
Testigo	7.27	b

Figura 17*Prueba Tukey para el potencial Hidrógeno*

La Tabla 21, indica los resultados de la prueba de Tukey para el pH, se evidencia claramente la formación de tres grupos, donde las dosis de 50 mg/L, 150 mg/L, 100 mg/L, 200 mg/L y la dosis inicial representa al mismo grupo estadístico (ab), es decir que los resultados son estadísticamente iguales analizados al 95% de confianza. Además, se muestra que la dosis 70 mg/L desarrollado con pH de 7.37 representa al grupo (a) tal como se evidencia en la figura 17.

5.1.5 Análisis del Oxígeno Disuelto

El efecto del mucílago de nopal en el análisis del Oxígeno disuelto del agua residual recolectadas del sector de Illanya se resume en la Tabla 22.

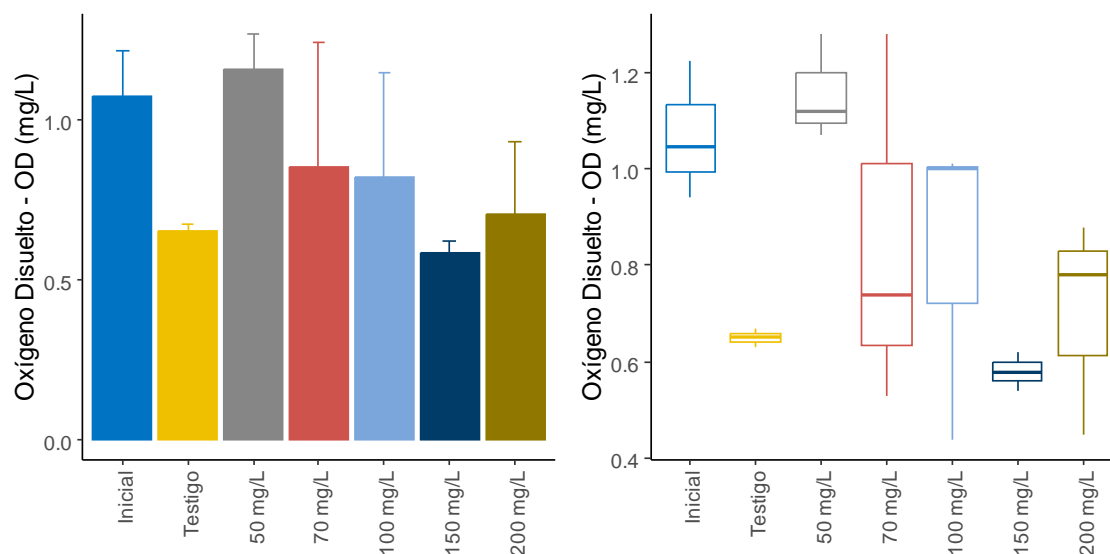
Tabla 22

Análisis de Oxígeno Disuelto

Muestras de aguas residuales	Caracterización inicial del Oxígeno Disuelto (ppm)	Caracterización final del Oxígeno disuelto (ppm) después del tratamiento
Tratamiento 1	0.70	1.07
utilizando dosis de 50 mg/L	0.84	1.12
	0.86	1.28
Tratamiento 2	1.57	0.53
utilizando dosis de 70 mg/L	1.09	1.28
	2.36	0.74
Tratamiento 3	1.28	0.44
utilizando dosis de 100 mg/L	0.74	1.01
	2.01	1.00
Tratamiento 4	0.74	0.58
utilizando dosis de 150 mg/L	1.83	0.54
	0.30	0.62
Tratamiento 5	0.64	0.45
utilizando dosis de 200 mg/L	1.04	0.78
	1.04	0.88
Tratamiento 6	0.72	0.67
Testigo	0.73	0.63
	0.77	0.65

Figura 18

Distribución del OD (Oxígeno Disuelto) según dosis de mucílago de nopal



La Tabla 22 muestra la caracterización inicial y final de los análisis del oxígeno disuelto y los tratamientos que se realizó en la dosificación de mucílago de nopal estuvo establecido utilizando concentraciones de 50mg/L, 70mg/L, 100mg/L, 150mg/L, 200mg/L, y un tratamiento testigo de agua residual del sector de Illanya.

En la figura 18 se visualiza que en las medias si existe diferencia significativa al aplicar las diferentes dosis, sin embargo, de igual forma en la gráfica de cajas también se observa diferencia entre las medianas.

5.1.5.1 Prueba de hipótesis para la diferencia de medias

H_0 : $\mu_1=\mu_2=\mu_3=\mu_4=\mu_5= \mu_6=\mu_7$ (El efecto de las dosis de mucílago de nopal sobre el OD es el mismo)

H_a : Al menos un μ_i es diferente (El efecto de las dosis de mucílago de nopal sobre el OD no es el mismo)

Tabla 23*Anova (Análisis de varianza)*

FV	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tratamientos	6	0.82738	0.137897	2.8299	0.0510
Residuals	14	0.68221	0.048729		

La Tabla 23 nos muestra como el $Pvalue=0.0510 > 0.05$ no se rechaza la H_0 , a un nivel de significancia del 0.05, el efecto de la reducción del oxígeno disuelto es el mismo con las dosis de tratamientos.

5.1.5.2 Prueba de normalidad:

H_0 : El error se distribuye normalmente

H_a : El error no se distribuye normalmente

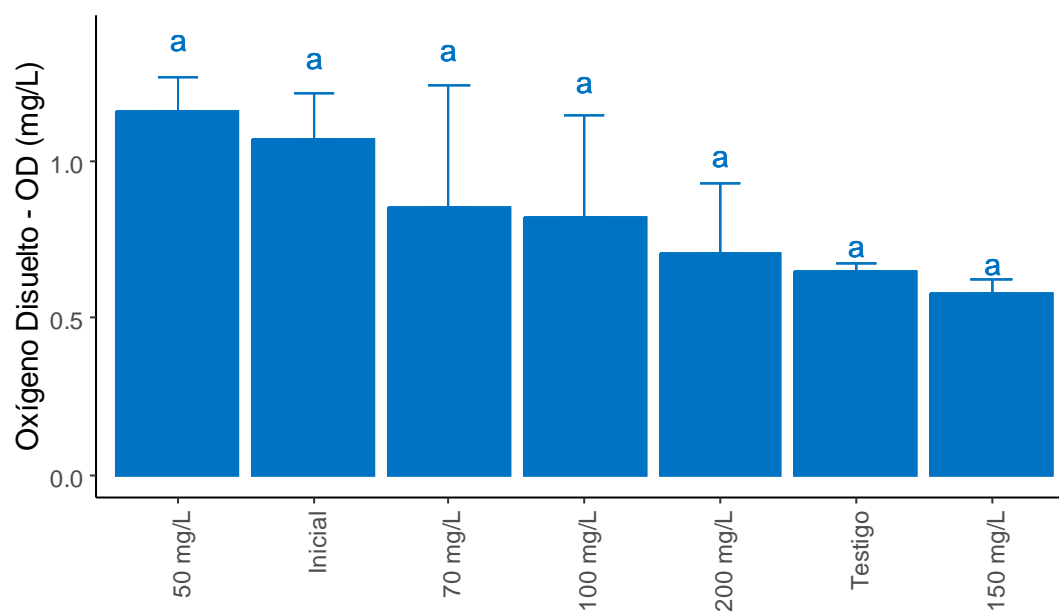
Tabla 24*Prueba de normalidad*

Prueba de Shapiro test para la normalidad	
W= 0.9754	Pvalue = 0.8908

La Tabla 24 nos muestra como el $Pvalue = 0.8908 > 0.05$ no se rechaza H_0 , a un nivel de significancia del 0.05, los errores se distribuyen normalmente.

Tabla 25*Prueba de Tukey*

Grupos	OD	grupos
50 mg/L	1.16	a
Inicial	1.07	a
70 mg/L	0.85	a
100 mg/L	0.82	a
200 mg/L	0.70	a
Testigo	0.65	a
150 mg/L	0.58	a

Figura 19*Prueba Tukey para el Oxígeno Disuelto*

La Tabla 25 que según los resultados de la prueba de Tukey para el oxígeno disuelto no existe diferencia entre los tratamientos, estadísticamente el menor oxígeno disuelto se obtiene con cualquiera de las dosis tal como se evidencia en la figura 19.

5.2 Discusión de resultados

Los resultados revelan que la dosis óptima del mucílago fue de 70 mg/L a un pH de 7.3 en el agua residual estudiada. Se obtuvo que en el análisis de turbiedad el Pvalue $1.43E-10 < 0.05$ estadísticamente ha sido significativamente diferente en relación a la muestra inicial lo que representa un 64.04 % de remoción de turbiedad. Asimismo, en el análisis para la conductividad inicial fue de 1210 $\mu\text{S/cm}$ luego del proceso de coagulación y floculación se observó que disminuyó 1171 $\mu\text{S/cm}$. Por otro lado, en la evaluación de las propiedades químicas el pH se mantuvo a 7.3 cuyos valores concuerdan con lo reportado por Otárola et al., (2023) que en su trabajo titulado “Evaluación del mucílago de cáscara de tuna en forma de gel como coagulante verde para el tratamiento terciario de aguas residuales domésticas”. Afirma, que en el análisis de turbiedad obtuvo el Pvalue < 0.05 por lo que se afirma que los resultados son estadísticamente iguales a un 95 % de confianza presentado un 94 % de eliminación de turbiedad. Asimismo, en el análisis de la conductividad inicial registra valores de 1397 $\mu\text{S/cm}$ respectivamente, seguido a la adición del coagulante fue de 1558 $\mu\text{S/cm}$. Finalmente en el análisis de pH inicial reporto valores de 7.32 y con el tratamiento de mucílago de nopal fue 7.35 los cuales son similares a los valores reportados.

Por otro lado, Nouj et al. (2021) demostró ser altamente efectivo para el tratamiento de los lixiviados, logrando una remoción significativa de turbidez (86,54%), y conductividad eléctrica (14.6 %) a una dosis de 20 mg/l y un pH de 11. Los valores registrados se aproximan a los de nuestro estudio. Sin embargo los métodos utilizados para extraer el mucílago de nopal fueron diferentes a nuestro estudio incidiendo significativamente en el resultado final en cuanto a la efectividad del coagulante.

Así mismo, Arias et al. (2020) demostró que en el análisis de turbiedad el almidón de nopal tiene un porcentaje de remoción de 60.4%. Por otro lado, en el análisis del pH registró valores de 6.4 y 6.8 estos resultados se aproximan a los de nuestro estudio.

Sin embargo, Choudhary et al. (2019) para tal efecto demostró un rendimiento sobresaliente, logrando una eliminación de turbidez del 98% con un pH inicial de 7 y 8,

utilizando una dosis de 1500 mg/l durante 60 minutos. Si embargo estos hallazgos son diferentes a los de nuestro estudio puesto que los métodos de extracción del mucílago de nopal fueron distintos incidiendo significativamente en el resultado final en cuanto a la efectividad del coagulante. En contraste del investigador Choque et al (2020). En su trabajo titulado "Optimización de la capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de aguas". Para tal efecto la variedad de *Opuntia ficus* (Tuna) obtuvo un %R del 98,98% de Turbidez. Por otro lado en la evaluación de las propiedades químicas el pH registro valores de 6.6. Asimismo utilizó una dosis de coagulante del 0,754%, valor que se encuentra dentro del rango de dosis de mucílago de nopal planteado en el presente estudio.

VI. Conclusiones

- ✓ De acuerdo al propósito principal se logró determinar el efecto del mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) en la clarificación del agua residual del sector de Illanya 2023, teniendo como indicadores la turbiedad estadísticamente ha sido significativamente diferente en relación a la muestra inicial.
- ✓ Se ha logrado determinar la influencia del mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) en las propiedades físicas del agua residual del sector de Illanya 2023, teniendo en consideración que las propiedades físicas como conductividad, sólidos totales disueltos, no mostraron diferencia significativa es decir estadísticamente los resultados son equivalentes, sin embargo, la turbiedad mostro una diferencia significativa entre sus resultados.
- ✓ Se logró determinar la influencia del mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) en las propiedades Químicas del agua residual del sector de Illanya 2023, teniendo como resultado que el pH no influye significativamente en los tratamientos de la misma forma tuvo el mismo comportamiento oxígeno disuelto.
- ✓ El valor de las dosis optima fue de 70 mg/L a pH 7.3. En estas condiciones óptimas el efecto de la remoción de turbidez fue de 64.04 % logrando determinar la influencia de la dosis mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) en la purificación del agua residual del sector de Illanya 2023.

VII. Recomendaciones

- ✓ Se recomienda continuar investigando el uso del mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) como un método alternativo y sostenible para la clarificación del agua residual. Asimismo, sería beneficioso realizar pruebas adicionales bajo diferentes condiciones operativas y en distintos sectores, con el fin de optimizar su aplicación y evaluar su viabilidad a mayor escala.
- ✓ Enfocar futuras investigaciones en optimizar el uso del mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) para mejorar la eficiencia en la reducción de la turbidez del agua residual, dado su impacto significativo en este parámetro. Además, sería pertinente explorar modificaciones en el proceso de aplicación del mucílago o combinarlo con otros métodos de tratamientos que permitan influir en propiedades físicas como la conductividad y los sólidos totales disueltos, para lograr una mejora integral en la calidad del agua.
- ✓ Realizar investigaciones adicionales sobre el uso del mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) en el tratamiento del agua residual, centrándose en identificar las condiciones bajo las cuales podría influir en parámetros químicos como el pH y el oxígeno disuelto. Asimismo, sería valioso complementar el análisis evaluando otros indicadores químicos como la demanda química de oxígeno (DQO) y la alcalinidad.
- ✓ Se sugiere utilizar mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) en una dosis óptima de 70 mg/L y con un pH de 7.3, como parte de los tratamientos para reducir la turbidez en aguas residuales.

VIII. Referencias

- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [SUNASS]. (2022). *Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en el ámbito de las empresas prestadoras*. Obtenido de https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2022/06/Informe-de-diagnostico-de-las-Plantas-de-Tratamiento-de-Aguas-Residuales-PTAR_VdigitalConcomentario.pdf
- Aguilar, M. I. (2002). Tratamiento físico-químico de aguas residuales: coagulación-floculación.
- Andía, Y. (2000). *Tratamiento de agua: coagulación y floculación*.
- Arellano, J. &. (2011). *Ingeniería ambiental*. Alpha.
- Arias, J. L., Elkyn Lugo Arias, David Ovallos-Gazabón, Juan Arango, Mario De La Puente, & Jesús Silva. (2020). Efectividad de la mezcla de almidón de nopal y yuca como sustancias clarificantes en la potabilización del agua: un estudio de caso en Colombia. *Heliyon*, 6(6). doi:<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04296>
- Auccahuasi Almidón, W. (2015). *Calidad de Agua y sedimento en el rio Madre de Dios departamento Madre de Dios, Perú 2015 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios]*. Repositorio institucional, Madre de Dios. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14070/116>
- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2016). *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales*.
- Carrasco Díaz, S. (2005). *Metodología de la investigación científica* (1 ed.). San Marcos.
- Caso Rupay, G. F., & Laureano Estrella, L. L. (2018). *La goma de tara como agente floculante en la optimización del proceso de remoción de arsénico con FeCl3 presente en agua de Mina [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Callao]*. Repositorio institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12952/3337>
- Ccahua Ocon, S. T. (2021). *Remoción de turbidez usando biocoagulantes "Echinopsis peruviana y opuntia ficus indica" en muestras con suelo del río Tucuirí, Santo Tomás*. Universidad San Ignacio de Loyola.

- Chacón Chaquea, M. Y. (2017). *Análisis físico y químico de la calidad del agua*. Ediciones USTA.
- Choque Quispe, D., Choque Quispe, Y, Solano Reynoso, A. M, & Ramos Pacheco, B. S. (2018). Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua. *Tecnología Química*, 38(2), 346-360. doi:doi.org/10.1590/2224-6185.2018.2.%x
- Choque Quispe, D., Ligarda Samanez, C., Ramos Pacheco, B., Solano Reynoso, A., Choque Quispe, Y., Peralta Guevara, D., & Quispe Quispe, Y. (2020). Optimization of the flocculating capacity of natural coagulants in water treatment [Optimización de la capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de aguas]. *DYNA (Colombia)*, 87(212), 90-95. doi:10.15446/dina.v87n212.80467
- Choudhary, M., Ray, MB, & Neogi, S. (2019). Evaluación de la aplicación potencial del nopal (*Opuntia ficus-indica*) como biocoagulante para el pretratamiento de aguas afectadas por procesos de arenas bituminosas. *Tecnología de separación y purificación*, 209, 714-724. doi:doi.org/10.1016/j.seppur.2018.09.033
- Cogollo Florez, J. M. (2011). Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: Caso del hidroxiclورو de aluminio. *DYNA*, 78(165), 18-27. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25636/26091>
- Contreras Lozano, K. P., Aguas Mendoza, J. Y., Salcedo Mendoza, G., Olivero Verbel, R. E., & Mendoza Ortega, G. P. (2015). El Nopal (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural complementario en la clarificación de agua. *Producción+Limpia*, 10(1), 40-50. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5746911>
- Coral Carrillo, K., & Rodríguez Linares, M. S. (2021). *Análisis de la eficiencia y propuesta de alternativas en el mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales del camal municipal del Cantón San Pedro de Pelileo, Provincia de Tungurahua [Tesis de maestría, Universidad Internacional SEK]*. Repositorio digital. Obtenido de <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/4456>

- Cueva Clemente, H. J. (2014). *Diseño de experimentos en la remoción de metales pesados en aguas residuales de la industria minera por procesos de coagulación con sulfato ferroso*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Donato Calderón, F. (2016). Diccionario del agua. *Biocenosis*, 20(1-2). Obtenido de <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/biocenosis/article/view/1310>
- Gagñay, L. K., Chicaiza, S. L. T., & Aguirre, J. L. (2020). Ética en la investigación científica. *Revista Imaginario Social*, 3(1). doi:<https://doi.org/10.31876/is.v3i1.10>
- González Sandoval, D. C. (2019). *Calidad y vida poscosecha de productos agrícolas cultivados bajo condiciones de hidroponía y cubierta a base de polisacáridos de Opuntia ficus-indica [Tesis de Posgrado, Universidad Autónoma de Nuevo León]*. Repositorio institucional. <https://eprints.uanl.mx/17001/1/1080240069.pdf>
- Hernández Becerra, E., Aguilera-Barreiro, M. d., Contreras-Padilla, M., Pérez-Torrero, E., & Rodríguez-García, M. E. (2022). Cladodios de nopal (Opuntia Ficus Indica): Propiedades nutricionales y potencial funcional. *Revista de alimentos funcionales*, 95. doi:doi.org/10.1016/j.jff.2022.105183.
- Hernandez Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la Investigación las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGRAW - Hill.
- Herrera Bustamante, J., Sanchez-Trujillo, G, Díaz Ruiz, J, & Calderón Celis, M. (2022). Comparación de eficiencia en la remoción de turbiedad en aguas superficiales del río Mashcón mediante la dosificación de almidón de Solanum tuberosum, Salvia hispanica mucílagos y Opuntia ficus-indica en la provincia de Cajamarca, 2022 de Cajamarca, 2022]. *Actas de la Multiconferencia Internacional LACCEI de Ingeniería, Educación y Tecnología*. Scopus. doi:[10.18687/LEIRD2022.1.1.197](https://doi.org/10.18687/LEIRD2022.1.1.197)
- Howe, K. J., David W. Hand, John C. Crittenden, R. Rhodes Trusell, & George Tchobanoglous. (2016). Principios del tratamiento del agua .
- Ihaddaden, S., Dihia Aberkane, Abdelhamid Boukerroui, & Didier Robert. (2022). Removal of methylene blue (basic dye) by coagulation-flocculation with biomaterials

- (bentonite and *Opuntia ficus indica*). *Journal of Water Process Engineering*, 49. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.102952>
- Inglese, P. (2018). *Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal*. Obtenido de https://agroavances.com/img/publicacion_documentos/l7628ES.pdf
- Jara Vasquez, S. M. (2018). *Uso del coagulante natural extraído de la semilla de tamarindo "Tamarindus indica L." para reducir solidos coloidales en laboratorio de las aguas del río Lurín, Lima-2018 [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]*. Repositorio institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/19288>
- Licapa-Redolfo, G. S., Paulo C. Poma, Rolando Licapa-Redolfo, Gary Christiam Farfán Chilicaus, & Maryuri Vega- Eras. (2023). Coagulante Ecológico en el tratamiento de la. "*Encendiendo la chispa de la innovación: tendencias emergentes, tecnologías disruptivas y modelos innovadores para el éxito empresarial*"(176). doi:10.18687/LEIRD2023.1.1.176
- Manahan, S. E. (2006). *Introducción a la química ambiental*. Editorial Reverté.
- María Carolina Otálora, Andrea Wilches Torres, Carlos Rafael Lara, Gabriel Ricardo Cifuentes, & Jovanny A. Gómez Castaño. (2022). Uso de la cáscara de fruta de *Opuntia ficus-indica* como nueva fuente de mucílago con características fisicoquímicas/moleculares de coagulante. *Polymers*, 14(18), 3832. doi:<https://doi.org/10.3390/polym14183832>
- Messina, C. M., Rosaria Arena, Maria Morghese, Andrea Santulli, Giorgia Liguori, & Paolo Inglese. (2021). Caracterización estacional de las propiedades nutricionales y antioxidantes del mucílago de *Opuntia ficus-indica* [(L.) Mill.]. *Hidrocoloides alimentarios*, 111. doi:doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106398.
- MINAM, M. d. (2017). Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. *Sistema Nacional de Información Ambiental*.
- Ministerio Nacional del Ambiente [MINAM]. (2019). *Estándar de Calidad Ambiental*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/308391-estandar-de-calidad-ambiental>

- Moses Chávez, Ú. R. (2014). *Fiscalización ambiental vinculada a las aguas residuales*. OEFA. Obtenido de:
<https://repositorio.oefa.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12788/290/Fiscalizaci%C3%B3n-ambiental-vinculada-a-las-aguas-residuales.pdf?sequence=1>
- Nouj, N., Heddadi, N., Azougarh, Y, Hafid, N, & El Alem, N. (2021). Un tratamiento combinado de lixiviados de vertederos de residuos sólidos municipales utilizando cactus *Opuntia ficus-indica* como coagulante y arena titanífera como material de filtro. *Nanotecnología para Ingeniería Ambiental volumen, 6*, 1-14. doi:10.1007/s41204-021-00105-4
- OEFA. (2014). *FISCALIZACIÓN AMBIENTAL EN AGUAS RESIDUALES*.
https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA]. (2014). *Aguas residuales*. Obtenido de https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, O. (2015). *Instrumentos básicos para la fiscalización Ambiental*.
- Ornelas, J. (2011). Mejoramiento del método de extracción del mucilago de nopal *Opuntia ficus indica* y evaluación de sus propiedades de viscosidad. *Tesis de Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*. . Morelia Michoacan México.
- Otálora, M. C., Andrea Wilches Torres, Carlos Rafael Lara, Jaime Díaz Gómez, Jovanny A. Gómez Castaño, & Gabriel Ricardo Cifuentes. (2023). Evaluación del mucílago de cáscara de tuna en forma de gel como coagulante verde para el tratamiento terciario de aguas residuales domésticas. *Polymers, 9*(9), 723. doi:<https://doi.org/10.3390/gels9090723>
- Otálora, M. C., Wilches-Torres, Andrea, Lara, Carlos Rafael, Gómez Castaño, Jovanny A., & Cifuentes, Gabriel Ricardo. (2022). Evaluación de la turbidez y la eliminación del color en el tratamiento del agua: un estudio comparativo entre el mucílago de la cáscara de la fruta de *Opuntia ficus-indica* y el FeCl_3 . *Polymers - Materiales a base*

- de polímeros para la purificación de agua y el tratamiento de aguas residuales*, 15(1), 217. doi:doi.org/10.3390/polym15010217
- Parella Stracuzzi, S., & Martins Pestana, F. (2012). *Metodología de la investigación cuantitativa*. FEDUPEL.
- Rachdi, R., Srarfi, F., & Slim Shimi, N. (2017). Cactus *Opuntia* como floculante natural para el tratamiento de aguas residuales urbanas. *Water Science and Technology*, 76(7), 1875-1883. doi:doi.org/10.2166/wst.2017.370
- Rafael Ramírez, H., Espino Rodríguez, E. P., & Tingal Infante, I. (2012). *Morfología de tuna (Opuntia ficus indica Mill.) [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]*. Repositorio digital. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14074/2853>
- Razuri Malqui, K. E. (2017). *Disminución del contenido de la DBO5 y la DQO mediante coagulantes naturales (Aloe Vera L. y Opuntia ficus indica) en las aguas del canal de regadío E-8 Chuquitanta–San Martín de Porres*. Universidad Cesar Vallejo.
- Sáenz, C. (2006). *Utilización agroindustrial del nopal*. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120301/Utilizacion-agroindustrial-del-nopal.pdf?sequence=1>
- Sánchez, E. A., Cazares, S. I., & Antuna, R. Á. (2015). *Probabilidad y estadística 1*. Grupo Editorial Patria.
- Santamaría, J. C. (2020). Análisis de la carga de la prueba de la pérdida de oportunidad en la responsabilidad civil médica en Colombia. *Derecho y salud: Debates contemporáneos*, 121.
- Silva Hernández, F., Martínez Prats, G., Guzmán Fernández, C., & Mapén Franco, F. d. (2021). Agua. Enfoque sistemático. *Catálogo Editorial*, 1(701), 47-88. doi:10.15765/poli.v1i701.2202
- Useche, M. C., Artigas, W., Queipo, B., & Perozo, E. (2019). *Técnicas e instrumentos de recolección de datos cuali-cuantitativos*. Universidad de la Guajira. doi:repositoryinst.uniguajira.edu.co/handle/uniguajira/467

- Valdivia Macedo, D. (2021). *Tuna y Cochinilla del Carmín*. UNSA. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/357313821_TIF_TUNA_Y_COCHINILLA_UNSA_2021
- Vargas, M., Armas, AS, Valencia, ZL, & Benites-Alfaro, E. (2022). Seguridad en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales y Uso de Coagulantes Naturales como Alternativa a la Turbidez. *Transacciones de ingeniería química*, 91, 301-306. doi:<https://doi.org/10.3303/CET2291051>
- Villanueva 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 & GD Rowley) en la clarificación del agua [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]*. Repositorio institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14074/3474>
- Villanueva Puma, S. J. (2020). *Evaluación del Mucilago del Nopal (opuntia ficus indica) como agente estabilizante en la elaboración de néctar de aguaymanto (physalis peruviana) [Tesis de pregrado, Universidad Le Cordon Bleu]*. Repositorio institucional. Obtenido de <http://repositorio.ulcb.edu.pe/handle/ULCB/1176>
- Villena Medina, H. C. (2017). *Evaluación de la contaminación del agua del Río Chicama por metales de los Lixiviados del botadero del distrito de Casa Grande*. UAP.

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes