

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS PARA OBTENER
EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERA AMBIENTAL**

**COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA EN LA
REDUCCIÓN DE TURBIDEZ DEL AGUA USANDO LA
PENCA SÁBILA (*Aloe vera*) RESPECTO AL NOPAL
(*Opuntia ficus-indica*) EN EL DISTRITO DE CUMBA,
UTCUBAMBA – AMAZONAS, 2022**

Autora: Bach. Iris Thalia Mestanza Inga.

Asesor : M.Sc. Anthony Smith Guevara Flores

Registro:.....

CHACHAPOYAS - PERÚ

2023

AURORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM



ANEXO 3-H

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM

1. Datos de autor 1

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): Mestanza Inga Iris Thalia
DNI N°: 74456574
Correo electrónico: thalimestanza@gmail.com
Facultad: Ingeniería Civil y Ambiental
Escuela Profesional: Ingeniería Ambiental

Datos de autor 2

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): _____
DNI N°: _____
Correo electrónico: _____
Facultad: _____
Escuela Profesional: _____

2. Título de la tesis para obtener el Título Profesional

Comparación de la eficiencia en la reducción de turbidez del agua usando la penca sábila (Aloe vera) respecto al Nopal (Opuntia Ficus-indica) en el distrito de Cumbá, Utcubamba, Amazonas, 2022

3. Datos de asesor 1

Apellidos y nombres: M. Sc. Guevara Flores Anthony Smith
DNI, Pasaporte, C.E N°: 72376196
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>) <https://orcid.org/0000-0003-0269-1370>

Datos de asesor 2

Apellidos y nombres: _____
DNI, Pasaporte, C.E N°: _____
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>) _____

4. Campo del conocimiento según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos- OCDE (ejemplo: Ciencias médicas, Ciencias de la Salud-Medicina básica-Immunología)

https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html
2.07.00. Ingeniería ambiental, 2.07.01. Ingeniería ambiental y geológica

5. Originalidad del Trabajo

Con la presentación de esta ficha, el(la) autor(a) o autores(as) señalan expresamente que la obra es original, ya que sus contenidos son producto de su directa contribución intelectual. Se reconoce también que todos los datos y las referencias a materiales ya publicados están debidamente identificados con su respectivo crédito e incluidos en las notas bibliográficas y en las citas que se destacan como tal.

6. Autorización de publicación

El(los) titular(es) de los derechos de autor otorga a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), la autorización para la publicación del documento indicado en el punto 2, bajo la *Licencia creative commons* de tipo BY-NC: Licencia que permite distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial por lo que la Universidad deberá publicar la obra poniéndola en acceso libre en el repositorio institucional de la UNTRM y a su vez en el Registro Nacional de Trabajos de Investigación-RENATI, dejando constancia que el archivo digital que se está entregando, contiene la versión final del documento sustentado y aprobado por el Jurado Evaluador.

Chachapoyas, 27 de diciembre de 2023


Firma del autor 1

Firma del autor 2


Firma del Asesor 1

Firma del Asesor 2

DEDICATORIA

Se la dedico en primer lugar a Dios, nuestro creador por darme la vida, la sabiduría y la salud, por todas las bendiciones que a diario me brinda, al mismo tiempo por cuidarme y fortalecerme en mis momentos de debilidad y ponerme como ejemplo en mi familia y así poder servir a los demás cuando los requieran.

A mis queridos padres que son mi mayor tesorero que Dios me ha dado y por ese gran apoyo incondicional que me brindan a diario, desde el momento que ingrese a la Universidad sus consejos me permitieron tomar más impulso para poder lograr mi objetivo, es por ello que en recompensa a todo lo que me brindaron se los dedico este logro lleno de amor y alegría.

A todos mis familiares y amigos que estuvieron conmigo en cada etapa de mi vida, la cual me permitieron compartir filosofías y aprendizajes de vida, por lo me siento muy contenta de poder dedicar este logro.

AGRADECIMIENTO

Plasmo en esta investigación mi agradecimiento a:

A Dios por brindarme la vida, sabiduría, paciencia y la salud, por iluminar mi camino y guiarme por las sendas de luz, la cual me permitió culminar este trabajo de investigación; y así poder cumplir una de mis metas propuestas en la vida.

A mí Alma Mater “La Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza – Amazonas”, la cual es un centro de estudio que impulsa a los jóvenes a la investigación y a ser mejores cada día en su ámbito profesional, es por ello que busca el desarrollo en cada estudiante.

A mi Asesor por su apoyo en el asesoramiento de la tesis, donde me permitió compartir grandes experiencias académicas e investigativas; por sus consejos que me brindaba e impulsaba a seguir adelante.

**AUTORIDADES DE LA UNIVERCIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ
DE MENDOZA DE AMAZONAS**

Ph.D. JORGE LUIS MAICELO QUINTANA

Rector

DR. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES

Vicerrector Académico

DRA. MARÍA NELLY LUJÁN ESPINOZA

Vicerrectora de Investigación

Ph.D RICARDO EDMUNDO CAMPOS RAMOS

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-L

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM ()/Profesional externo (★), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada Comparación de la eficiencia en la reducción de turbidez del agua usando la planta sábila (Aloe vera) respecto al nepal (Opuntia ficus-indica) en el distrito de Cumba, Utcubamba - Amagurus, 2022; del egresado Iris Thalía Mestanza Inga de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de esta Casa Superior de Estudios.

El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.



Chachapoyas, 30 de octubre de 2023

Firma y nombre completo del Asesor
M.Sc. Anthony Smith Guevara Flores

JURADO EVALUADOR



M.Sc. Jefferson F. REYES FARJE

Presidente



M.Sc. Gino A. VERGARA MEDINA

Secretario



Ing. Damaris LEIVA TAFUR

Vocal

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS



ANEXO 3-Q

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

Comparación de la eficiencia en la reducción de turbidez del agua usando la penca sábila (Aloe vera) respecto al nopal (opuntia ficus-indica) en el distrito de Cumba, Utcubamba, Amazonas, 2022

presentada por el estudiante ()/egresado (x) Iris Thalia Mestanza Inga

de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

con correo electrónico institucional thaliamestanza@gmail.com

después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

- a) La citada Tesis tiene 10 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor (x) / igual () al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- b) La citada Tesis tiene _____ % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.



Chachapoyas, 11 de diciembre del 2023

[Signature]
SECRETARIO

[Signature]
PRESIDENTE

[Signature]
VOCAL

OBSERVACIONES:

.....
.....

ACTA DE SUSTENTACION DE LA TESIS



ANEXO 3-5

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 19 de diciembre del año 2023, siendo las 11:00 horas, el aspirante: Mestanza Inga Iris Thalía, asesorado por M.Sc. Anthony Smith Guevara Flores defiende en sesión pública presencial () / a distancia () la Tesis titulada: Comparación de la eficiencia en la reducción de turbidez del agua usando la penca sabilal (aloe vera) respecto al nopal (opuntia ficus-indica) en el distrito de Cumbá, Utcubamba, Amazonas, 2022, para obtener el Título Profesional de Ingeniera Ambiental, a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: M.Sc. Jefferson Fitzgerald Reyes Farje

Secretario: M.Sc. Gino Alfredo Vergara Medina

Vocal: Mg. Damaris Leiva Tafur

Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y métodos, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

Aprobado () por Unanimidad () / Mayoría () Desaprobado ()

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 12:15 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.


SECRETARIO


VOCAL


PRESIDENTE

OBSERVACIONES:
.....

ÍNDICE

AURORIZACIÓN DE PUBLICAION DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
AUTORIDADES DE LA UNIVERCIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS	v
VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS	vi
JURADO EVALUADOR	vii
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS	viii
ACTA DE SUSTENTACION DE LA TESIS	ix
ÍNDICE	x
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
I. INTRODUCCIÓN	16
II. MATERIALES Y MÉTODOS	19
2.1. Lugar o ámbito de estudio.....	19
2.2. Materiales.....	20
2.3. Metodología de la Investigación	22
2.4. Materiales, técnicas e instrumentos para la recolección de datos.	26
III.RESULTADOS	32
3.1. Resultados de los análisis establecidos fisicoquímico pH y Turbidez.	32
3.2. Determinación de la dosificación ideal de los coagulantes naturales.	48
3.3. Comparación de ambos coagulantes naturales (Nopal y Penca de Sábila) para determinar cuál es el más eficiente.	54
IV.DISCUSIONES:	58
V. CONCLUSIONES	61
VI.RECOMENDACIONES	62
VII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
ANEXOS	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Factores de control de jarras	25
Tabla 2: Análisis de pH con coagulante de Nopal con pH de 8	32
Tabla 3: Análisis de turbidez con coagulante de Nopal con pH de 8	33
Tabla 4: Análisis de pH con coagulante de Nopal con pH de 9	34
Tabla 5: Análisis de turbidez con coagulante de Nopal con pH de 9	35
Tabla 6: Análisis de pH con coagulante de Nopal con pH de 2	36
Tabla 7: Análisis de turbidez con coagulante de Nopal con pH de 2	37
Tabla 8: Análisis de pH con coagulante de Nopal con pH de 3	38
Tabla 9: Análisis de turbidez con coagulante de Nopal con pH de 3	39
Tabla 10: Análisis de pH con coagulante de penca sábila con pH de 8	40
Tabla 11: Análisis de turbidez con coagulante de penca sábila con pH de 8	41
Tabla 12: Análisis de pH con coagulante de penca sábila con pH de 9	42
Tabla 13: Análisis de turbidez con coagulante de penca sábila con pH de 9	43
Tabla 14: Análisis de pH con coagulante de penca sábila con pH de 2	44
Tabla 15: Análisis de turbidez con coagulante de penca sábila con pH de 2	45
Tabla 16: Análisis de pH con coagulante de penca sábila con pH de 3	46
Tabla 17: Análisis de turbidez con coagulante de penca sábila con pH de 3	47
Tabla 18: Análisis de variabilidad del pH con el coagulante de Nopal.....	48
Tabla 19: Análisis de variabilidad del turbidez con el coagulante de Nopal.....	49
Tabla 20: Análisis de variabilidad del pH con el coagulante de penca sábila.....	50
Tabla 21: Análisis de variabilidad del turbidez con el coagulante de penca sábila.....	51
Tabla 22: Comparativa del análisis del pH según el tipo de coagulante	52
Tabla 23: Comparativa del análisis de la turbidez según el tipo de coagulante	53
Tabla 24: Análisis de varianza respecto a la reducción de la turbidez con el nopal.....	54
Tabla 25: Prueba de Turkey en relacion a las dosis con el nopal	55
Tabla 26: Análisis de varianza respecto a la reducción de la turbidez con la penca sábila	55
Tabla 27: Prueba de Turkey en relacion a las dosis con la penca sábila	56
Tabla 28: Prueba de homogeneidad en los grupos	57

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1: Ubicación geográfica de la quebrada Piatana	19
Figura 2: Remoción de la cutícula:.....	23
Figura 3: Coagulante natural cortado	23
Figura 4: Coagulante natural liofilizado:.....	24
Figura 5: Coagulante natural molido:.....	24
Figura 6: Modelo de etiqueta de muestra de agua	26
Figura 7: Identificación de muestras de la quebrada Piatana	27
Figura 8: Recolección de las muestras de la quebrada Piatana	27
Figura 9: Cerrado de manera hermética las muestras.....	28
Figura 10: Determinación del pH de la muestra.....	29
Figura 11: Medición de la turbidez de la muestra	29
Figura 12: Pesaje de la dosificación del coagulante	31
Figura 13: Comparativa de los análisis de pH con coagulante de nopal	32
Figura 14: Comparativa de los análisis de turbidez con coagulante de nopal.....	33
Figura 15: Comparativa de los análisis de pH con coagulante de nopal	34
Figura 16: Comparativa de los análisis de turbidez con coagulante de nopal.....	35
Figura 17: Comparativa de los análisis de pH con coagulante de nopal	36
Figura 18: Comparativa de los análisis de turbidez con coagulante de nopal.....	37
Figura 19: Comparativa de los análisis de pH con coagulante de nopal	38
Figura 20: Comparativa de los análisis de turbidez con coagulante de nopal.....	39
Figura 21: Comparativa de los análisis de pH con coagulante de penca sábila	40
Figura 22: Comparativa de los análisis de turbidez con coagulante de penca sábila ..	41
Figura 23: Comparativa de los análisis de pH con coagulante de penca sábila	42
Figura 24: Comparativa de los análisis de turbidez con coagulante de penca sábila ..	43
Figura 25: Comparativa de los análisis de pH con coagulante de penca sábila	44
Figura 26: Comparativa de los análisis de turbidez con coagulante de penca sábila ..	45
Figura 27: Comparativa de los análisis de pH con coagulante de penca sábila	46
Figura 28: Comparativa de los análisis de turbidez con coagulante de penca sábila ..	47
Figura 29: Comparativa de variabilidad del pH con coagulante de nopal	48
Figura 30: Comparativa de variabilidad de la turbidez con coagulante de nopal	49
Figura 31: Comparativa de variabilidad del pH con coagulante de penca sábila.....	50

Figura 32: Comparativa de variabilidad de la turbidez con coagulante de penca sábila	51
Figura 33: Comparativa del análisis del pH según el tipo de coagulante.....	52
Figura 34: Comparativa del análisis de turbidez según el tipo de coagulante.....	53

RESUMEN

En el distrito de Cumba, provincia de Utcubamba, la quebrada Piatana es la principal fuente de agua para consumo humano, se enfrenta a una turbidez inicial de 115 NTU. Este estudio buscó comparar la eficiencia de coagulantes naturales, específicamente la penca de sábila (*Aloe vera*) y el nopal (*Opuntia ficus-indica*), frente a la necesidad de utilizar coagulantes químicos convencionales. Las muestras fueron tomadas en el mes de junio y el análisis inicial reveló la elevada turbidez. Se empleó el Test de la prueba de jarras para determinar las mejores dosis de los coagulantes naturales, destacando que el nopal alcanzó una remoción del 90.5% con 350 mg/L y pH alcalino, mientras que la penca de sábila logró una remoción del 95.5% con 300 mg/L a pH ácido. La evaluación estadística mediante la prueba t-Student confirmó la superioridad de la penca de sábila en condiciones ácidas para la remoción de turbidez. Estos resultados sugieren que la penca de sábila podría ser una alternativa eficaz y económica para mejorar la calidad del agua en la región.

Palabras clave: *Floculante natural, minimización de turbidez, coagulantes naturales.*

ABSTRACT

In the district of Cumba, Utcubamba province, where the Piatana stream is the main water source for human consumption, it faces an initial turbidity of 115 NTU. This study sought to compare the effectiveness of natural coagulants, specifically aloe vera (*Aloe vera*) and prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica*), against the need for conventional chemical coagulants. The samples were taken in the month of June and the initial analysis revealed high turbidity. The Jar Test was employed to determine the optimal doses of natural coagulants, highlighting that prickly pear cactus achieved a removal rate of 90.5% at 350 mg/L and an alkaline pH, while aloe vera achieved a removal rate of 95.5% at 300 mg/L and an acidic pH. Statistical evaluation using the T-Student test confirmed the superiority of aloe vera under acidic conditions for turbidity removal. These results suggest that aloe vera could be an effective and cost-efficient alternative to improve water quality in the region.

Keywords: *Natural flocculant, turbidity minimization, natural coagulants.*

I. INTRODUCCIÓN

La investigación tiene como problemática la escasez del agua ya que cada vez cobra más importancia debido a temporadas de estiaje más frecuentes, ocasionadas por el incremento de los gases de efecto invernadero. Asimismo, se reporta que 763 millones de personas usan aguas no tratadas, es decir, aguas superficiales (quebradas, riachuelos, pozos subterráneos y ríos), (OMS, 2015). Ante lo mencionado los cuerpos hídricos deberían someterse a procesos de potabilización con la finalidad de que sean aptas para el consumo humano; para ello, se debe primeramente clarificar el agua es decir bajar los niveles de turbidez, aplicando coagulantes químicos como: Aluminio de sodio $NaAlO_2$, cloruro férrico $FeCl_3$, sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y sulfato de hierro $FeSO_4$; se ha observado que la mayoría de plantas de tratamiento de agua potable usan el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ (Sánchez Martín, Beltrán Heredia, y Solera Hernández, 2010). Debido a que tiene una mayor remoción que los demás coagulantes inorgánicos (químicos). Sin embargo, los coagulantes antes mencionados presentan desventajas por que generan grandes cantidades de aluminio residual y lodos no biodegradables, todo ello puede provocar problemas de salud al ser humano (Villabona Ortiz A. , Paz Astudillo y García Martínez, 2013).

A nivel internacional, varios autores han aportado con investigaciones muy relevantes en esta área del conocimiento, de los cuales podemos hablar de Castellanos *et al.*, (2012) donde pudieron evaluar la eficiencia de remoción del coagulante natural (Nopal) sobre los sólidos suspendidos (turbidez) en Colombia, la cual se determinó ser muy efectivo en un 67,00 % de remoción de la turbidez a una dosis de 30 ppm. Asimismo, Olivero *et al.*, (2013), determinaron la eficiencia del mucílago de nopal en la remoción de la turbidez del río Magdalena en Gambote, Departamento de Bolívar, Colombia, la cual se aplicó la metodología de test de jarras, donde utilizaron dos concentraciones de 35 y 40 mg/L. Dando como resultado de remoción de la turbidez en un 93,25%.

Según Martínez y Gonzales, 2012, evaluaron el coagulante natural de tuna (*Opuntia ficus-indica*) para determinar los niveles de remoción de turbidez en aguas crudas en Cartagena, el experimento fue realizado mediante el test de jarras, donde se utilizó una dosis de 50 mg/L con una velocidad de agitación de 40 rpm, la cual se pudo concluir que el coagulante alcanzo una eficiencia de remoción de turbidez en un porcentaje de 85,4%. Asimismo. Ramírez y Jaramillo (2015), realizaron un estudio basado en la Floculación

Macromolecular de la Penca Sábila (*Aloe vera*), la cual se pudo demostrar que el coagulante natural tiene un amplio rango de pH, donde se demostró que la eliminación de la turbidez puede llegar hasta en un 92% cuando el pH de la muestra recolectada de agua está en un rango de 3 y 11. De igual manera Amruta G., (2017), realizó una investigación sobre la coagulación y floculación del *Aloe vera* en aguas de alta y baja turbiedad, aplicando el método de pruebas de jarras, con una velocidad de agitación rápida de 200 y 300 rpm por 2 minutos y con una velocidad de agitación lenta de 30 y 40 rpm por 15 minutos. Donde se pudo concluir que la mezcla de alumbre en una dosis de 10 mg/L y *Aloe vera* con una dosis de 40 mg/L, llega a ser muy efectivo en la remoción de la turbidez con un porcentaje de 75 - 81%.

A nivel nacional, existen diversos autores que han contribuido con investigaciones relacionado a tratamiento de aguas usando coagulantes naturales, de la cual citamos a Merolose *et al.*, (2015), donde evaluaron la capacidad floculante del nopal en las aguas del río Chili - Arequipa, permitiendo la reducción de la turbidez del agua hasta en un 18.34 NTU, aplicando una dosis de 100 mg/L con un pH de 7,11. Asimismo Tejada (2015), realizó un estudio sobre el coagulante natural de nopal (*Opuntia ficus-indica*) en el centro poblado San Antonio, para ello utilizó un diseño experimental aleatorio, donde comparan los tratamientos, con 3 réplicas es decir 15 lecturas en total, en el proceso estas fueron dispuestas al azar y con dosis de 1; 0,70; 0,50; 0,15 y 0,10 mg/L. donde se concluyó que el uso del coagulante natural de nopal (*Opuntia ficus indica*), tuvo un efecto positivo en la remoción de la turbidez del agua.

En el distrito de Cumba, provincia de Utcubamba, la población tiene como fuente principal a la quebrada Piatana, que presenta un alto índice de turbidez; dicha fuente de agua puede no ser apta para el consumo humano; la cual para potabilizarlo se deberían utilizar sales inorgánicas (coagulantes químicos) en forma sólida, y así poder reducir la turbidez.

El aumento excesivo de los gases de efecto invernadero ha dado origen al cambio climático, por lo que ha generado que los pobladores del distrito de Cumba pongan más énfasis e interés al desarrollo de nuevas tecnologías que sean sustentables con el tiempo y con el medio ambiente. Es ahí donde cobra más relevancia el presente trabajo de investigación, por motivos que se fundamenta en un sistema más eco amigable con el medio ambiente, llegando a proponer el uso de coagulantes naturales tales como: nopal (*Opuntia ficus-indica*) y penca sábila (*Aloe vera*) para la remoción de la turbidez.

Es por ello que como una alternativa sustentable y ecológica se debe realizar el tratamiento de las aguas utilizando coagulantes naturales tales como el nopal (*Opuntia ficus-indica*) y penca sábila (*Aloe vera*). Donde la presente investigación tuvo como objetivo general comparar la eficiencia en la reducción de turbidez del agua usando la penca sábila (*Aloe vera*) respecto al nopal (*Opuntia ficus-indica*) en el distrito de Cumba, Utcubamba – Amazonas, 2022. Es de vital importancia aquellas investigaciones que permiten cuidar el medio ambiente en que vivimos, para poder así tener cada día una mejor calidad de vida, es por ello que se deben sustituir los coagulantes inorgánicos por los naturales, para que de esta forma no impacte el medio ambiente. La investigación tuvo como objetivos específicos: Analizar el parámetro establecido de las muestras recolectadas de agua en la quebrada Piatana, Establecer la dosificación ideal de los coagulantes para clarificar el agua y comparar los resultados obtenidos de ambos coagulantes naturales para determinar cuál es más eficiente.

II. MATERIAS Y MÉTODOS

2.1. Lugar o ámbito de estudio

La quebrada Piatana se localiza a la margen derecha del río Marañón aguas abajo, que pertenece al centro poblado Trapichillo, del distrito de Cumba, provincia de Utcubamba, departamento de Amazonas, nace en el Cerro el Punto a una altitud de 525 ms.s.n.m. La quebrada Piatana es la principal fuente de suministro de recurso hídrico para la población de Cumba y para las prácticas agrícolas.

Las muestras de agua que se utilizó para la presente investigación se obtuvieron de las siguientes coordenadas UTM 7589323.39 Este y 9344274.89 Norte.

Figura 1:

Ubicación geográfica de la quebrada Piatana



Nota: Imagen tomada de Google Earth (2023)

2.2. Materiales

➤ Materiales y equipos para la recolección de las muestras

Para la recolección de las muestras se aplicó el protocolo de monitoreo de la calidad sanitaria de los recursos hídricos superficiales a través de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) con R.D N°2254/2007/DIGESA/SA, donde se utilizó lo siguiente:

a) Materiales

- Libreta de campo
- Tablero
- Plumón indeleble
- Cinta masking
- Etiqueta para identificación de muestras
- Frasco de vidrio de un litro
- Guardapolvo
- Guantes quirúrgico
- Cooler

b) Equipos:

- Sistema de Posicionamiento Global (GPS)
- Cámara fotográfica

➤ **Materiales, equipos y reactivos para los análisis de las muestras**

a) Materiales

- Una luna de reloj
- Una cucharilla
- Seis vasos de precipitación (1 L, 100 mL, 200 mL)
- Tres pizetas de agua destilada
- Mortero de pilón
- Pipetas (1ml y 5ml)
- Guantes látex

b) Equipos

- Una balanza analítica
- Multiparámetro – HANNA HI9813-6
- Turbidímetro - HACH 2100Q
- Test de jarras - PHIPPS&BIRD

c) Reactivos

- Ácido sulfúrico 0.1 N
- Hidróxido de sodio 0.1 N

2.3. Metodología de la Investigación

El agua utilizada en las distintas pruebas de jarras fue recolectada de la quebrada Piatana, los dos tipos de coagulantes naturales, penca sábila (*Aloe vera*) y nopal (*Opuntia ficus-indica*) fueron obtenidas del centro poblado Casual de la provincia de Bagua, departamento de Amazonas, ubicado una altitud de 393 msnm.

2.3.1. Obtención de coagulante en polvo:

Para obtener el coagulante natural en polvo, se siguió un procedimiento similar al llevado a cabo por Padilla & Sopla (2019). Este proceso comprende cinco etapas, las cuales se detallan a continuación:

- A. Remoción de la cutícula
- B. Corte
- C. Secado
- D. Molienda
- E. Tamizado

Remoción de la cutícula:

Opuntia Ficus Indica: Para obtener 3 kg, se emplearon 8 cladodios de aproximadamente 23 cm de longitud, 14 cm de ancho y 2.5 cm de espesor. Estos fueron sometidos a un proceso de lavado y pelado para eliminar la capa exterior, es decir, la cutícula.

Aloe Vera L.: Para obtener 3 kg, se emplearon 14 hojas de aproximadamente 34 cm de longitud, 5 cm de ancho y 2.4 cm de espesor. Estas fueron sometidas a un proceso de lavado, donde también se eliminó las espinas. Luego se colocó en agua durante 24 horas.

Figura 2:

Remoción de la cutícula



Corte:

Después de separar la cutícula de la pulpa, se procedió a cortar la *Opuntia ficus indica* en pequeños cubos y el *Aloe vera* en tiras rectangulares. Cabe mencionar que el *Aloe vera* se colocó en agua durante 24 horas antes de realizar este procedimiento.

Figura 3:

Coagulante natural cortado



Opuntia ficus indica



Aloe vera

Secado:

Los coagulantes naturales (*Aloe vera* y *Opuntia ficus indica*), fueron sometidos a un proceso de secado. El *Aloe vera* fue secado durante 48 horas a una temperatura de 60° C. y el *Opuntia ficus indica* durante 4 horas a una temperatura de 60°C. Luego, los productos fueron almacenados en bolsas herméticas de polietileno para evitar su contaminación.

Figura 4:

Coagulante natural secado:



Opuntia ficus indica



Aloe vera

Molienda:

El material sólido proveniente del *Aloe vera*. y de la *Opuntia ficus indica*, obtenido en el proceso anterior, fue introducido en un mortero con el objetivo de reducir su tamaño de partícula de los coagulantes naturales.

Figura 5:

Coagulante natural molido:



Opuntia ficus indica



Aloe vera

2.3.2. Método de toma de muestras del agua

Para la recolección y análisis de las muestras de agua se aplicó el protocolo de monitoreo de la calidad sanitaria de los recursos hídricos superficiales a través de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) con R.D N°2254/2007/DIGESA/SA, donde establece criterios fundamentales para el desarrollo de monitoreo de la calidad de los recursos hídricos, así como procedimientos de toma de muestras, preservación, conservación, envío de muestras y documentos necesarios.

Método de prueba de jarras.

Para determinación y evaluación de la dosis más efectiva de dichos coagulantes naturales, se aplicó la metodología de test de jarras establecido por Aguirre & Piraneque, (2018)

Tabla 1:

Factores de control de jarras

Parámetros	Valores
pH	8-9 y 3-2
Temperatura	ambiente
Velocidad de agitación	100 rpm
Tiempo	3 min.
Tiempo de sedimentación	30 min.

2.4. Materiales, técnicas e instrumentos para la recolección de datos.

2.4.1. Análisis del parámetro establecido de las muestras (pH y Turbidez).

La investigación se realizó según el protocolo de monitoreo de la calidad sanitaria de los recursos hídricos superficiales a través de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), lo cual se detallarán líneas a bajo los procedimientos realizados.

Ubicación del punto de la muestra

Se identificó el punto de muestreo con las siguientes coordenadas UTM

- 7589323 Este
- 9344274 Norte

Identificación de las muestras de agua

Al momento de realizar el muestreo los envases fueron identificados mediante una etiqueta con la siguiente información:

- Número de muestra
- Código de identificación
- Origen de la muestra
- Fecha y hora de la toma de la muestra
- Tipo de análisis

Figura 6:

Modelo de etiqueta de muestra de agua

PERÚ Ministerio del Ambiente Dirección General de Salud Ambiental	
Localidad:	Código de Muestra:
Distrito:	Punto de Muestreo:
Provincia:	
Departamento: Huancavelica	Fecha de Muestreo: Hora de Muestreo:
Muestreador:	/ / 20..... : :
Origen de la Fuente: - Subterránea <input type="checkbox"/> - Superficial <input type="checkbox"/> - De Consumo <input type="checkbox"/>	Análisis Requerido: - Físico - Químico <input type="checkbox"/> - Bacteriológico <input type="checkbox"/> - Parasitológico <input type="checkbox"/>

Figura 7:

Identificación de muestras de la quebrada Piatana



Recolección de las muestras de agua

- Se buscó un lugar donde no presente mucha turbulencia, además de ello se tuvo en cuenta la profundidad y la distancia de separación que debe tener entre ambas orillas.
- Se utilizó frascos de boca ancha que tenga cierre hermético, con una capacidad de 1 litro, seguidamente el envase se sumergió a una profundidad de 20 cm en contra corriente del flujo hídrico.

Figura 8:

Recolección de las muestras de la quebrada Piatana



- Una vez que se recolectaron las muestras se procedió al cerrado de manera herméticamente y para mayor seguridad se encinto la tapa para evitar cualquier derrame del líquido.

Figura 9:

Cerrado de manera hermética las muestras



Conservación y traslado de las muestras de agua

- Una vez tomadas las muestras de agua, se procedieron a colocarlo en un cooler a una Temperatura de -4°C .
- Las muestras obtenidas se llevaron al laboratorio de EMAPAB –Bagua, en un tiempo de menos de las 24 horas.

Evaluación del pH

En la Evaluación del pH, se va a determinar la concentración de los iones H^+ presentes de las muestras recolectadas. Para ello, se procedió a colocar el electrodo del potenciómetro al interior del vaso conteniendo el agua muestreada; previo a eso se calibro el equipo mediante una solución buffer de pH 2 y 10, para poder tener mediciones más concretas. El resultado obtenido de la muestra inicial del agua tuvo un pH de 7.19.

Figura 10:

Determinación del pH de la muestra

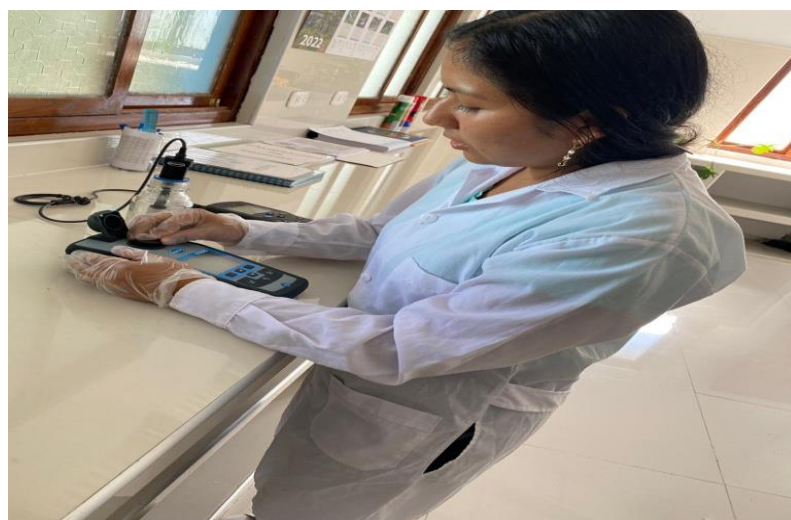


Evaluación de la turbidez

Se procedieron analizar las muestras recolectadas para determinar su turbidez inicial de la cual fue de 115 NTU. Dicho resultado nos permitió saber los niveles de turbidez que presenta.

Figura 11:

Medición de la turbidez de la muestra



2.4.2. Procedimiento para establecer la dosificación ideal de los coagulantes.

Para determinar la dosis ideal se aplicó la metodología test de jarras, también conocido como prueba de jarras en el laboratorio, a continuación, se describirá el proceso realizado:

Procedimiento del coagulante Penca Sábila:

- Se preparó las muestras de agua cruda con los pH correspondientes (8;9;2;3) utilizando los siguientes reactivos: Hidróxido de sodio 0.1 N y ácido sulfúrico 0.1N. Luego se colocó cada 1 litro de las muestras en cada vaso, la cual serian un total de 6 jarras.
- Se añadió el coagulante natural (Penca Sábila) en cada vaso con las siguientes dosis 100, 150, 200, 250, 300 y 350 mg/L. luego se configuró el equipo de test de jarras a una velocidad de agitación de 100 rpm por un periodo de tiempo aproximadamente 3 minutos.
- Transcurrido el tiempo agitación se dejó sedimentar por unos 30 min, luego de ello se procedió a tomar muestras para obtener nuevos resultados de niveles de turbidez.
- Se replicó por tres veces el ensayo con el coagulante natural (penca sábila) para tener mejores resultados.

Procedimiento del coagulante Nopal:

- Se preparó las muestras de agua cruda con los pH correspondientes (8;9;2;3) utilizando los siguientes reactivos: Hidróxido de sodio 0.1 N y ácido sulfúrico 0.1N. Luego se colocó cada 1 litro de las muestras en cada vaso, la cual serian un total de 6 jarras.
- Se añadió el coagulante natural (nopal) en cada vaso con las siguientes dosis 100, 150, 200, 250, 300 y 350 mg/L. Luego se configuró el equipo de test de jarras a una velocidad de agitación de 100 rpm por un periodo de tiempo aproximadamente 3 minutos.

- Transcurrido el tiempo agitación se dejó sedimentar por unos 30 min, luego de ello se procedió a tomar muestras para obtener nuevos resultados de niveles de turbidez.
- Se replicó por tres veces el ensayo con el natural (nopál) para tener mejores resultados.

Figura 12:

Pesaje de la dosificación del coagulante



2.4.3. Comparación de ambos coagulantes naturales para determinar cuál es el más eficiente.

Para determinar cuál coagulante ha tenido mayor efecto en la remoción de la turbidez se aplicó las pruebas estadísticas de ANOVA (análisis de varianza) para así poder comparar si ambos tratamientos son iguales o no; asimismo se evaluó la importancia de uno o más factores, al comparar las medias de la variable de respuesta en los diferentes niveles. Donde la hipótesis nula establece que todas las medias de la población son iguales, mientras que la hipótesis alternativa establece que al menos una es diferente.

III. RESULTADOS

3.1. Resultados de los análisis establecidos fisicoquímico pH y Turbidez.

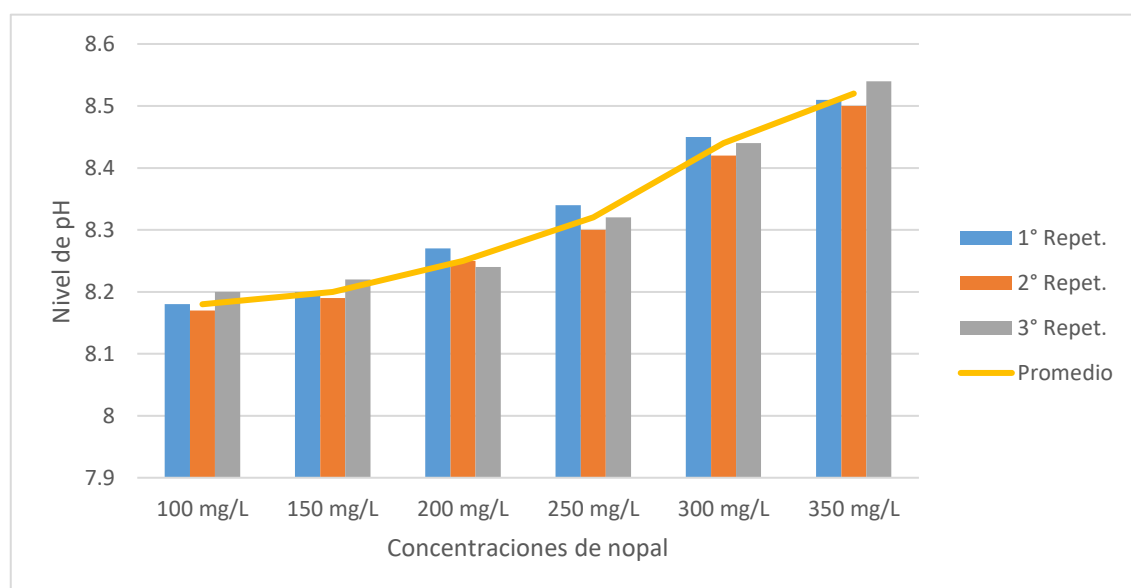
Tabla 2:

Análisis de pH con coagulante de nopal con pH de 8

	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
1° Repet.	8,18	8,20	8,27	8,34	8,45	8,51
2° Repet.	8,17	8,19	8,25	8,30	8,42	8,50
3° Repet.	8,20	8,22	8,24	8,32	8,44	8,54
Promedio	8,18	8,20	8,25	8,32	8,44	8,52
Máximo	8,20	8,22	8,27	8,34	8,45	8,54
Mínimo	8,17	8,19	8,24	8,30	8,42	8,50

Figura 13:

Comparativa de los análisis de pH con coagulante de nopal



La tabla y figura indican que el análisis del pH, aplicando coagulante de nopal con un nivel base de 8 (considerado alcalino), revela que a concentraciones más bajas, como en la repetición 2 con 100 mg/L, el pH tiende a acercarse a niveles más neutrales, esto evidencia una influencia significativa de la concentración de coagulante de nopal en la alcalinidad de la muestra, reflejando una variación en la respuesta del pH en función de la concentración utilizada.

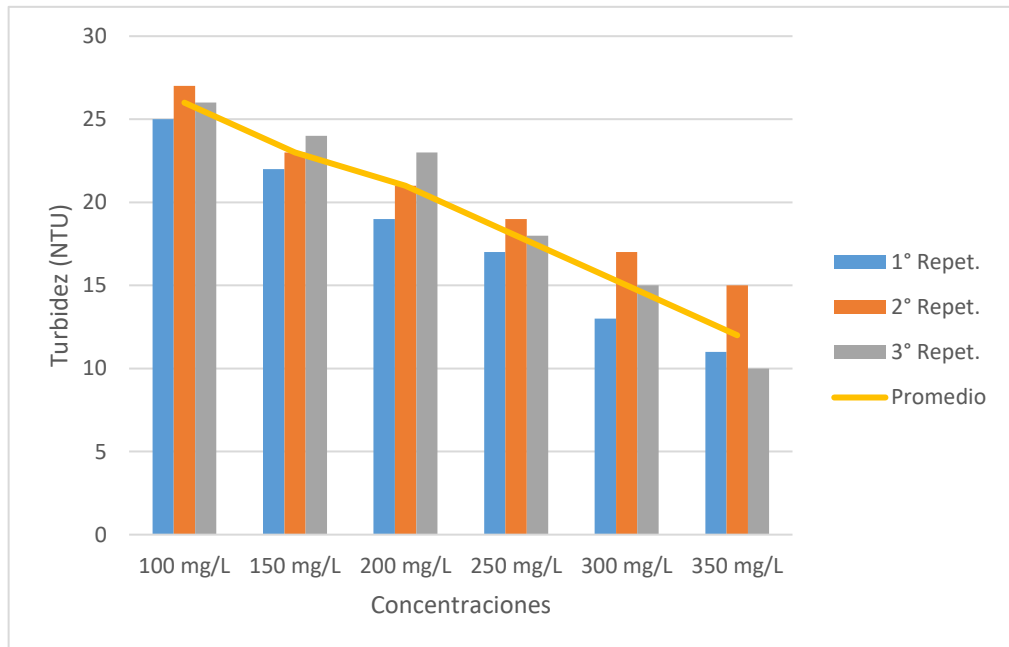
Tabla 3:

Análisis de turbidez con coagulante de nopal con pH de 8

	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
1° Repet.	25,00	22,00	19,00	17,00	13,00	11,00
2° Repet.	27,00	23,00	21,00	19,00	17,00	15,00
3° Repet.	26,00	24,00	23,00	18,00	15,00	10,00
Promedio	26,00	23,00	21,00	18,00	15,00	12,00
Máximo	27,00	24,00	23,00	19,00	17,00	15,00
Mínimo	25,00	22,00	19,00	17,00	13,00	10,00

Figura 14:

Comparativa de los análisis de turbidez con coagulante de nopal



La tabla y figura indican que el análisis de turbidez, aplicando coagulante de nopal con un nivel base de 8 (considerado alcalino), revela que la concentración más alta de 350 mg/L en la repetición 3 tiene una mayor capacidad de remoción de la turbidez con un valor de 10 NTU, esto evidencia una influencia significativa de la concentración de coagulante respecto a la variación en la respuesta de la turbidez en función de la concentración utilizada.

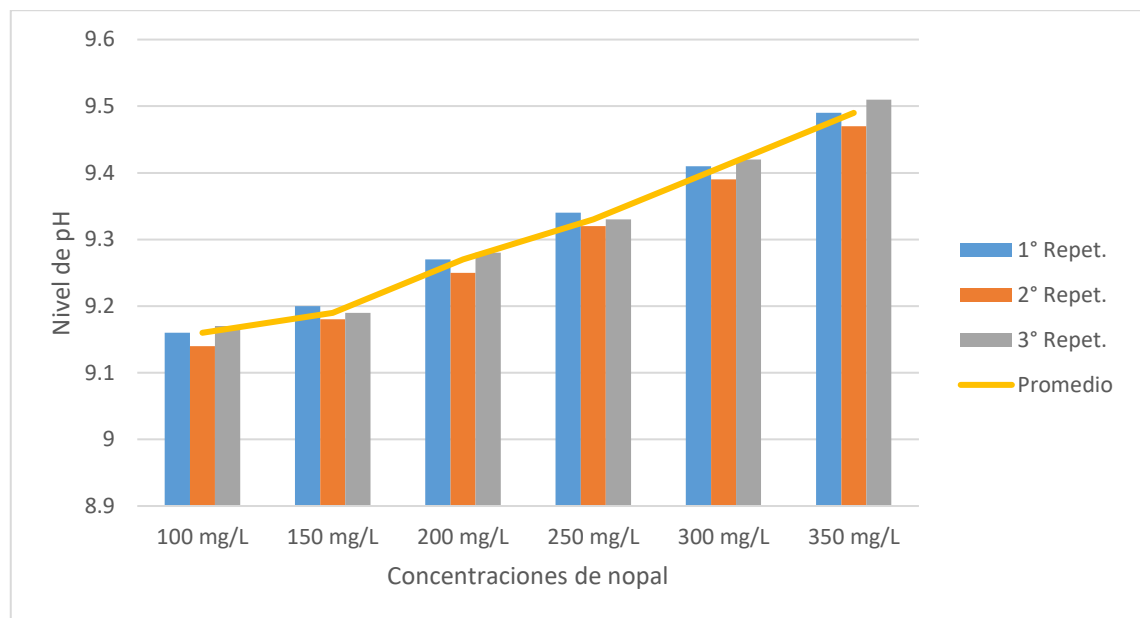
Tabla 4:

Análisis de pH con coagulante de nopal con pH de 9

	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
1° Repet.	9,16	9,20	9,27	9,34	9,41	9,49
2° Repet.	9,14	9,18	9,25	9,32	9,39	9,47
3° Repet.	9,17	9,19	9,28	9,33	9,42	9,51
Promedio	9,16	9,19	9,27	9,33	9,41	9,49
Máximo	9,17	9,20	9,28	9,34	9,42	9,51
Mínimo	9,14	9,18	9,25	9,32	9,39	9,47

Figura 15:

Comparativa de los análisis de pH con coagulante de nopal



La tabla y figura indican que el análisis del pH, aplicando coagulante de nopal con un nivel base de 9 (considerado alcalino), revela que a concentraciones más bajas, como en la repetición 2 con 100 mg/L, el pH tiende a acercarse a niveles más neutrales, esto evidencia una influencia significativa de la concentración de coagulante de nopal en la alcalinidad de la muestra, reflejando una variación en la respuesta del pH en función de la concentración utilizada.

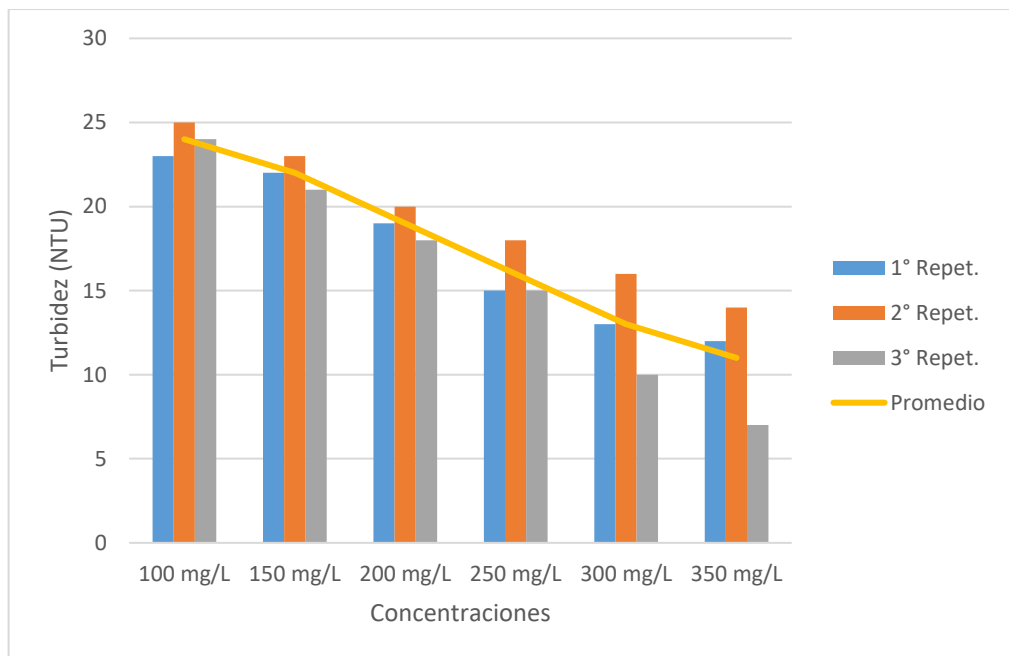
Tabla 5:

Análisis de turbidez con coagulante de nopal con pH de 9

	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
1° Repet.	23,00	22,00	19,00	15,00	13,00	12,00
2° Repet.	25,00	23,00	20,00	18,00	16,00	14,00
3° Repet.	24,00	21,00	18,00	15,00	10,00	7,00
Promedio	24,00	22,00	19,00	16,00	13,00	11,00
Máximo	25,00	23,00	20,00	18,00	16,00	14,00
Mínimo	23,00	21,00	18,00	15,00	10,00	7,00

Figura 16:

Comparativa de los análisis de turbidez con coagulante de nopal



La tabla y figura indican que el análisis de turbidez, aplicando coagulante de nopal con un nivel base de 9 (considerado alcalino), revela que la concentración más alta de 350 mg/L en la repetición 3 tiene una mayor capacidad de remoción de la turbidez con un valor de 7 NTU, esto evidencia una influencia significativa de la concentración de coagulante respecto a la variación en la respuesta de la turbidez en función de la concentración utilizada.

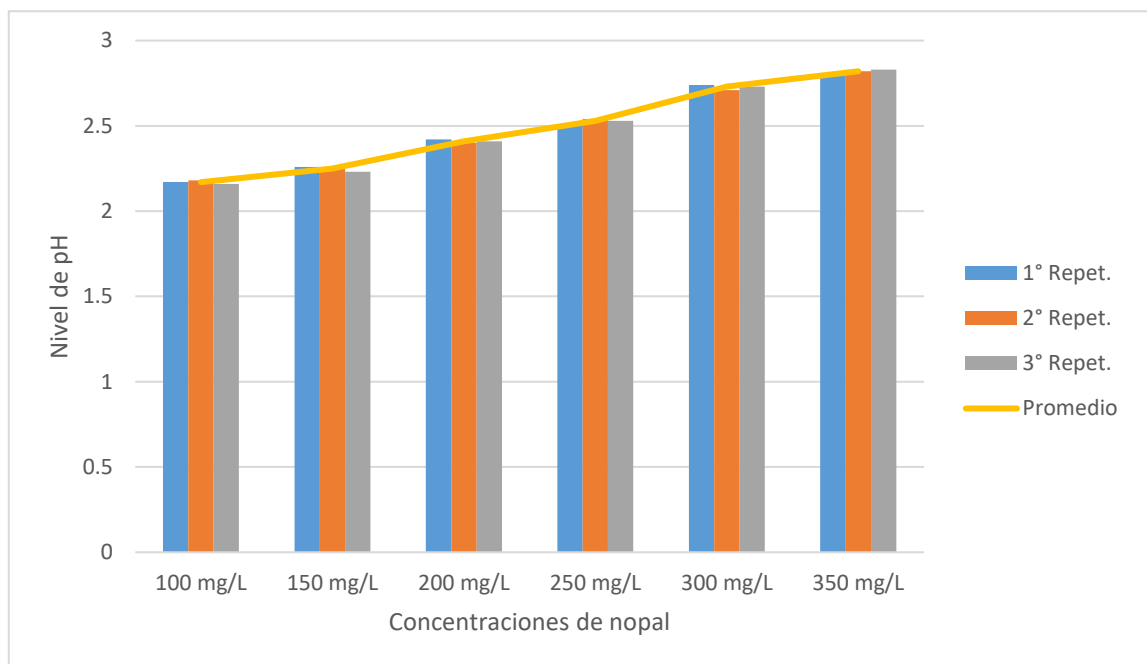
Tabla 6:

Análisis de pH con coagulante de nopal con pH de 2

	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
1° Repet.	2,17	2,26	2,42	2,51	2,74	2,80
2° Repet.	2,18	2,25	2,40	2,54	2,71	2,82
3° Repet.	2,16	2,23	2,41	2,53	2,73	2,83
Promedio	2,17	2,25	2,41	2,53	2,73	2,82
Máximo	2,18	2,26	2,42	2,54	2,74	2,83
Mínimo	2,16	2,23	2,40	2,51	2,71	2,80

Figura 17:

Comparativa de los análisis de pH con coagulante de nopal



La tabla y figura indican que el análisis del pH, aplicando coagulante de nopal con un nivel base de 2 (considerado ácido), revela que a concentraciones más altas, como en la repetición 3 con 350 mg/L, el pH tiende a acercarse a niveles más neutrales, esto evidencia una influencia significativa de la concentración de coagulante de nopal en la acidez de la muestra, reflejando una variación en la respuesta del pH en función de la concentración utilizada.

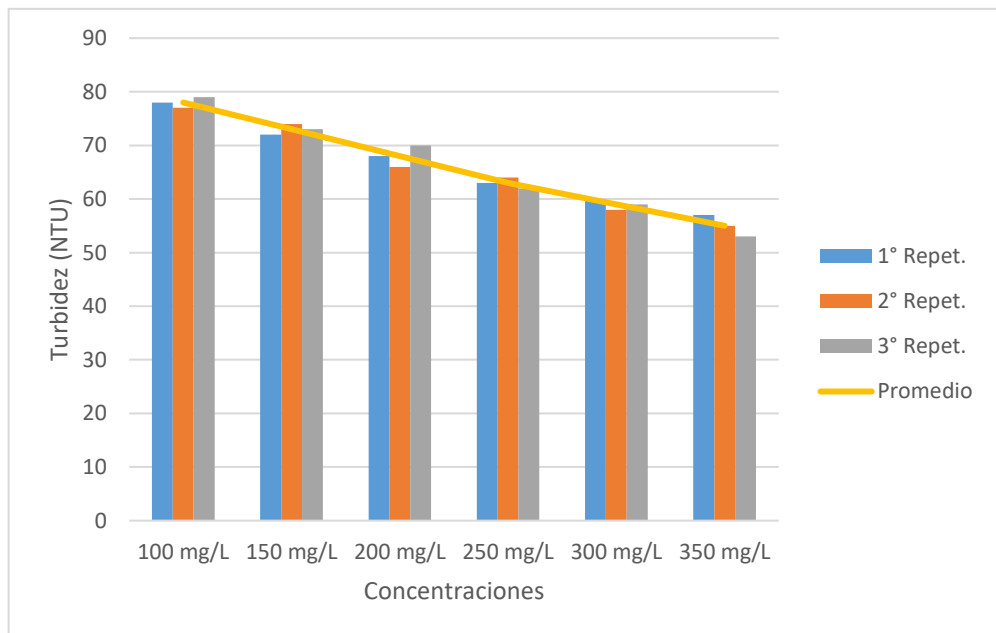
Tabla 7:

Análisis de turbidez con coagulante de nopal con pH de 2

	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
1° Repet.	78,00	72,00	68,00	63,00	60,00	57,00
2° Repet.	77,00	74,00	66,00	64,00	58,00	55,00
3° Repet.	79,00	73,00	70,00	62,00	59,00	53,00
Promedio	78,00	73,00	68,00	63,00	59,00	55,00
Máximo	79,00	74,00	70,00	64,00	60,00	57,00
Mínimo	77,00	72,00	66,00	62,00	58,00	53,00

Figura 18:

Comparativa de los análisis de turbidez con coagulante de nopal



La tabla y figura indican que el análisis de turbidez, aplicando coagulante de nopal con un nivel base de 2 (considerado ácido), revela que la concentración más alta de 350 mg/L en la repetición 3 tiene una mayor capacidad de remoción de la turbidez con un valor de 53 NTU, esto evidencia una influencia significativa de la concentración de coagulante respecto a la variación en la respuesta de la turbidez en función de la concentración utilizada.

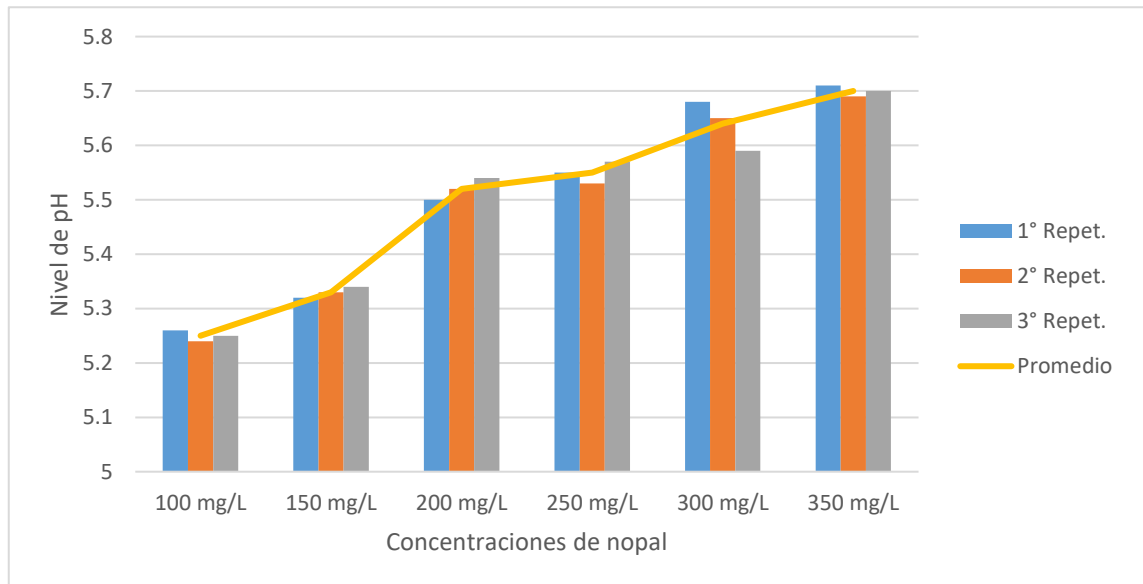
Tabla 8:

Análisis de pH con coagulante de nopal con pH de 3

	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
1° Repet.	5,26	5,32	5,50	5,55	5,68	5,71
2° Repet.	5,24	5,33	5,52	5,53	5,65	5,69
3° Repet.	5,25	5,34	5,54	5,57	5,59	5,70
Promedio	5,25	5,33	5,52	5,55	5,64	5,70
Máximo	5,26	5,34	5,54	5,57	5,68	5,71
Mínimo	5,24	5,32	5,50	5,53	5,59	5,69

Figura 19:

Comparativa de los análisis de pH con coagulante de nopal



La tabla y figura indican que el análisis del pH, aplicando coagulante de nopal con un nivel base de 3 (considerado ácido), revela que a concentraciones más bajas, como en la repetición 1 con 350 mg/L, el pH tiende a acercarse a niveles más neutrales, esto evidencia una influencia significativa de la concentración de coagulante de nopal en la acidez de la muestra, reflejando una variación en la respuesta del pH en función de la concentración utilizada.

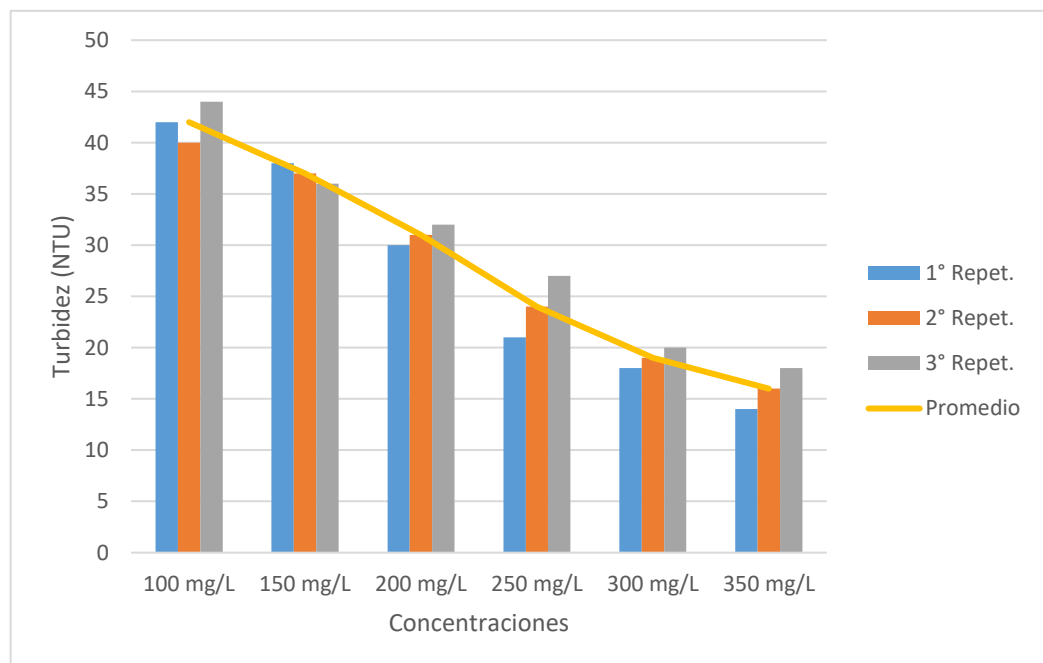
Tabla 9:

Análisis de turbidez con coagulante de nopal con pH de 3

	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
1° Repet.	42,00	38,00	30,00	21,00	18,00	14,00
2° Repet.	40,00	37,00	31,00	24,00	19,00	16,00
3° Repet.	44,00	36,00	32,00	27,00	20,00	18,00
Promedio	42,00	37,00	31,00	24,00	19,00	16,00
Máximo	44,00	38,00	32,00	27,00	20,00	18,00
Mínimo	40,00	36,00	30,00	21,00	18,00	14,00

Figura 20:

Comparativa de los análisis de turbidez con coagulante de nopal



La tabla y figura indican que el análisis de turbidez, aplicando coagulante de nopal con un nivel base de 3 (considerado ácido), revela que la concentración más alta de 350 mg/L en la repetición 1 tiene una mayor capacidad de remoción de la turbidez con un valor de 14 NTU, esto evidencia una influencia significativa de la concentración de coagulante respecto a la variación en la respuesta de la turbidez en función de la concentración utilizada.

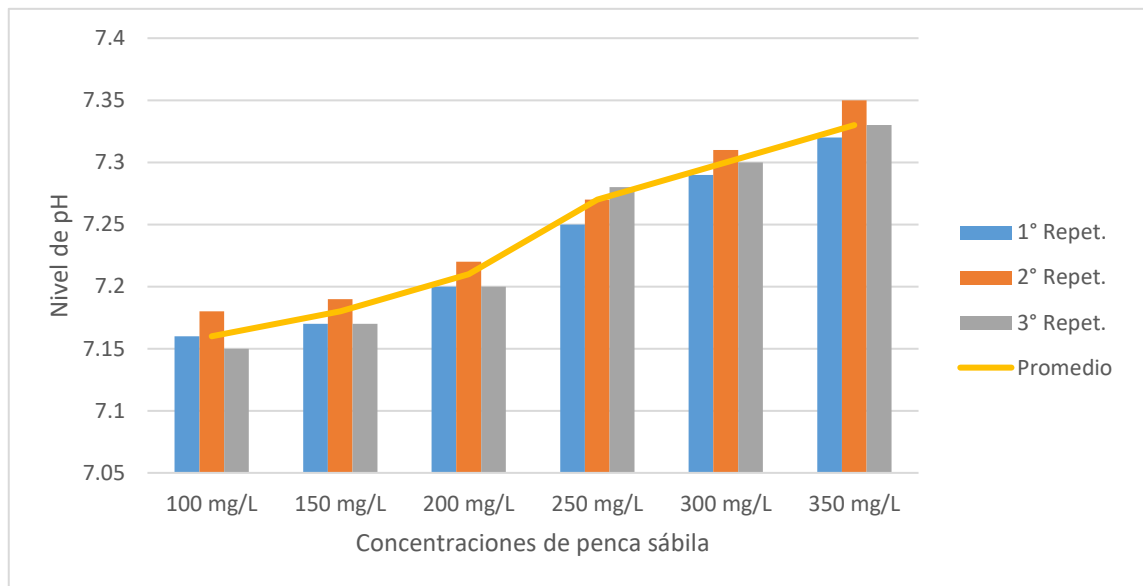
Tabla 10:

Análisis de pH con coagulante de penca sábila con pH de 8

	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
1° Repet.	7,16	7,17	7,20	7,25	7,29	7,32
2° Repet.	7,18	7,19	7,22	7,27	7,31	7,35
3° Repet.	7,15	7,17	7,20	7,28	7,30	7,33
Promedio	7,16	7,18	7,21	7,27	7,30	7,33
Máximo	7,18	7,19	7,22	7,28	7,31	7,35
Mínimo	7,15	7,17	7,20	7,25	7,29	7,32

Figura 21:

Comparativa de los análisis de pH con coagulante de penca sábila



La tabla y figura indican que el análisis del pH, aplicando coagulante de penca sábila con un nivel base de 8 (considerado alcalino), revela que a concentraciones más bajas, como en la repetición 3 con 100 mg/L, el pH tiende a acercarse a niveles más neutrales, esto evidencia una influencia significativa de la concentración de coagulante de penca sábila en la alcalinidad de la muestra, reflejando una variación en la respuesta del pH en función de la concentración utilizada.

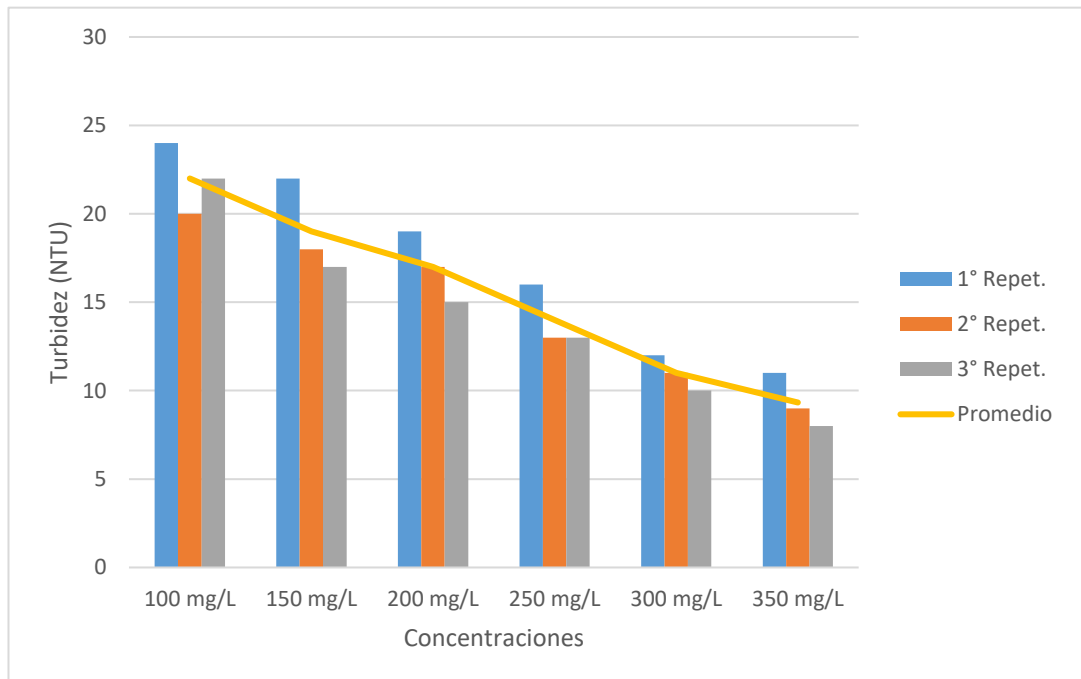
Tabla 11:

Análisis de turbidez con coagulante de penca sábila con pH de 8

	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
1° Repet.	24,00	22,00	19,00	16,00	12,00	11,00
2° Repet.	20,00	18,00	17,00	13,00	11,00	9,00
3° Repet.	22,00	17,00	15,00	13,00	10,00	8,00
Promedio	22,00	19,00	17,00	14,00	11,00	9,33
Máximo	24,00	22,00	19,00	16,00	12,00	11,00
Mínimo	20,00	17,00	15,00	13,00	10,00	8,00

Figura 22:

Comparativa de los análisis de turbidez con coagulante de penca sábila



La tabla y figura indican que el análisis de turbidez, aplicando coagulante penca sábila con un nivel base de 8 (considerado alcalino), revela que la concentración más alta de 350 mg/L en la repetición 3 tiene una mayor capacidad de remoción de la turbidez con un valor de 8 NTU, esto evidencia una influencia significativa de la concentración de coagulante respecto a la variación en la respuesta de la turbidez en función de la concentración utilizada.

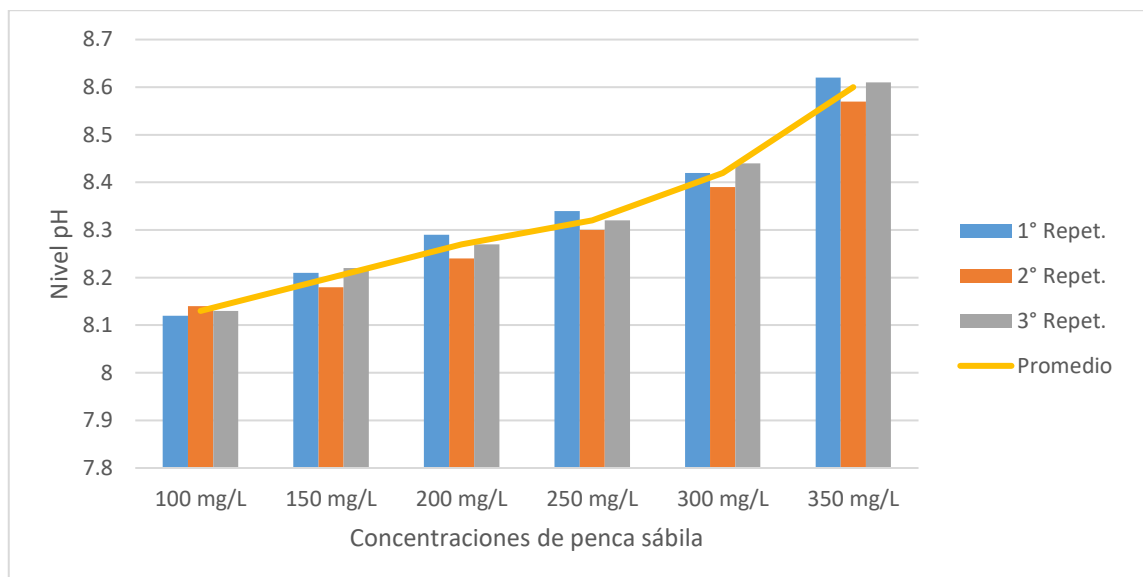
Tabla 12:

Análisis de pH con coagulante de penca sábila con pH de 9

	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
1° Repet.	8,12	8,21	8,29	8,34	8,42	8,62
2° Repet.	8,14	8,18	8,24	8,30	8,39	8,57
3° Repet.	8,13	8,22	8,27	8,32	8,44	8,61
Promedio	8,13	8,20	8,27	8,32	8,42	8,60
Máximo	8,14	8,22	8,29	8,34	8,44	8,62
Mínimo	8,12	8,18	8,24	8,30	8,39	8,57

Figura 23:

Comparativa de los análisis de pH con coagulante de penca sábila



La tabla y figura indican que el análisis del pH, aplicando coagulante de penca sábila con un nivel base de 9 (considerado alcalino), revela que a concentraciones más bajas, como en la repetición 1 con 100 mg/L, el pH tiende a acercarse a niveles más neutrales, esto evidencia una influencia significativa de la concentración de coagulante de penca sábila en la alcalinidad de la muestra, reflejando una variación en la respuesta del pH en función de la concentración utilizada.

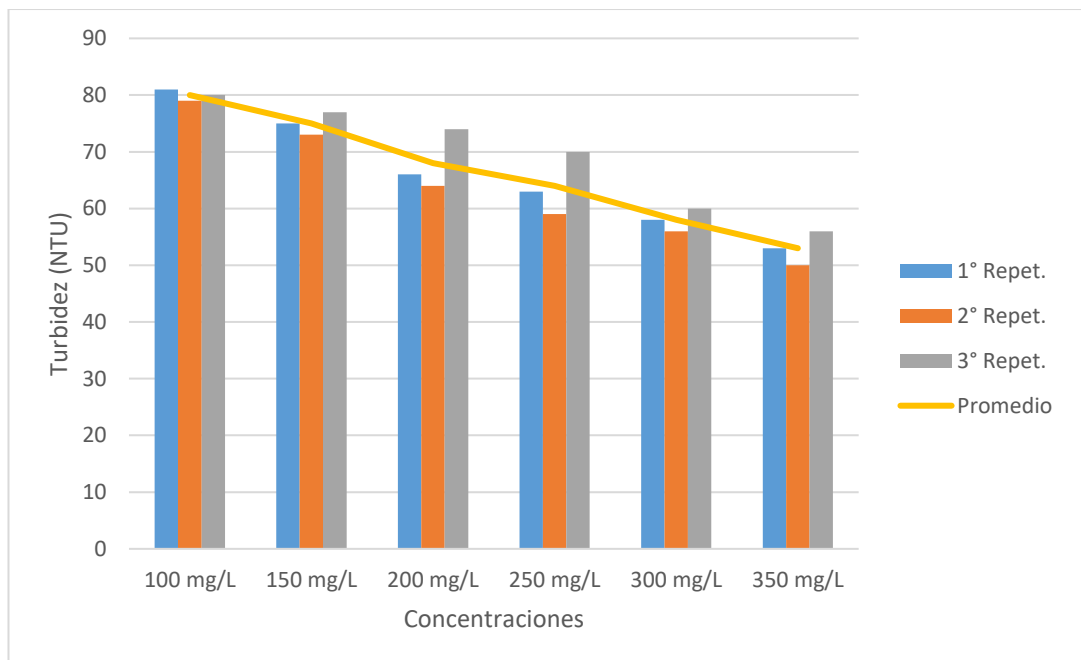
Tabla 13:

Análisis de turbidez con coagulante de penca sábila con pH de 9

	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
1° Repet.	81,00	75,00	66,00	63,00	58,00	53,00
2° Repet.	79,00	73,00	64,00	59,00	56,00	50,00
3° Repet.	80,00	77,00	74,00	70,00	60,00	56,00
Promedio	80,00	75,00	68,00	64,00	58,00	53,00
Máximo	81,00	77,00	74,00	70,00	60,00	56,00
Mínimo	79,00	73,00	64,00	59,00	56,00	50,00

Figura 24:

Comparativa de los análisis de turbidez con coagulante de penca sábila



La tabla y figura indican que el análisis de turbidez, aplicando coagulante penca sábila con un nivel base de 9 (considerado alcalino), revela que la concentración más alta de 350 mg/L en la repetición 2 tiene una mayor capacidad de remoción de la turbidez con un valor de 50 NTU, esto evidencia una influencia significativa de la concentración de coagulante respecto a la variación en la respuesta de la turbidez en función de la concentración utilizada.

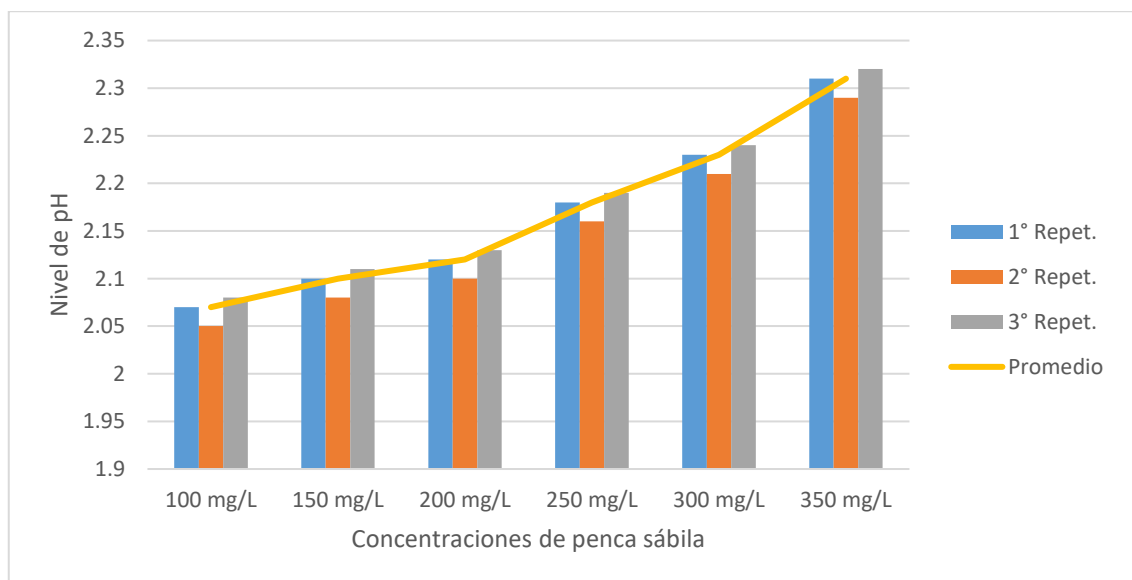
Tabla 14:

Análisis de pH con coagulante de penca sábila con pH de 2

	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
1° Repet.	2,07	2,10	2,12	2,18	2,23	2,31
2° Repet.	2,05	2,08	2,10	2,16	2,21	2,29
3° Repet.	2,08	2,11	2,13	2,19	2,24	2,32
Promedio	2,07	2,10	2,12	2,18	2,23	2,31
Máximo	2,08	2,11	2,13	2,19	2,24	2,32
Mínimo	2,05	2,08	2,10	2,16	2,21	2,29

Figura 25:

Comparativa de los análisis de pH con coagulante de penca sábila



La tabla y figura indican que el análisis del pH, aplicando coagulante de penca sábila con un nivel base de 2 (considerado ácido), revela que a concentraciones más bajas, como en la repetición 2 con 100 mg/L, el pH tiende a acercarse a niveles más neutrales, esto evidencia una influencia significativa de la concentración de coagulante de penca sábila en la acidez de la muestra, reflejando una variación en la respuesta del pH en función de la concentración utilizada.

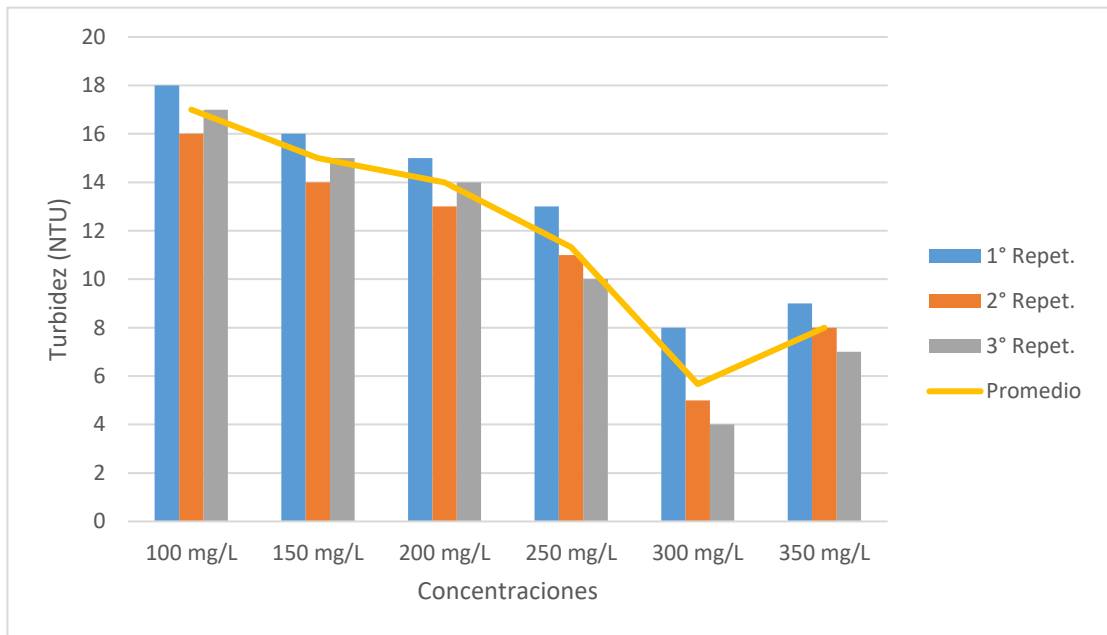
Tabla 15:

Análisis de turbidez con coagulante de penca sábila con pH de 2

	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
1° Repet.	18,00	16,00	15,00	13,00	8,00	9,00
2° Repet.	16,00	14,00	13,00	11,00	5,00	8,00
3° Repet.	17,00	15,00	14,00	10,00	4,00	7,00
Promedio	17,00	15,00	14,00	11,33	5,67	8,00
Máximo	18,00	16,00	15,00	13,00	8,00	9,00
Mínimo	16,00	14,00	13,00	10,00	4,00	7,00

Figura 26:

Comparativa de los análisis de turbidez con coagulante de penca sábila



La tabla y figura indican que el análisis de turbidez, aplicando coagulante penca sábila con un nivel base de 2 (considerándose ácido), revela que la concentración más alta de 350 mg/L en la repetición 3 tiene una mayor capacidad de remoción de la turbidez con un valor de 7 NTU, esto evidencia una influencia significativa de la concentración de coagulante respecto a la variación en la respuesta de la turbidez en función de la concentración utilizada.

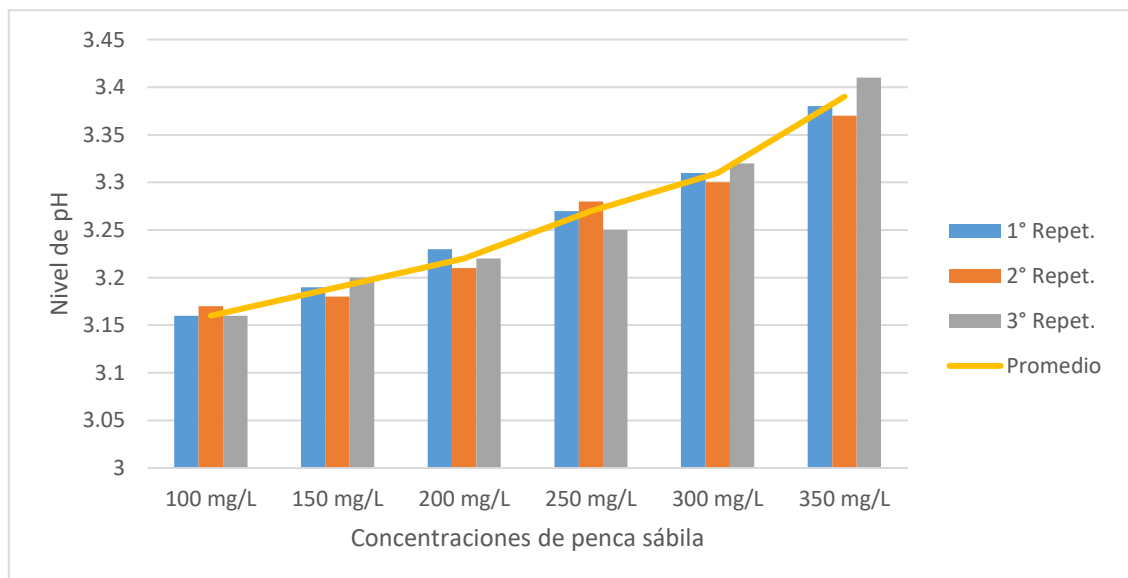
Tabla 16:

Análisis de pH con coagulante de penca sábila con pH de 3

	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
1° Repet.	3,16	3,19	3,23	3,27	3,31	3,38
2° Repet.	3,17	3,18	3,21	3,28	3,30	3,37
3° Repet.	3,16	3,20	3,22	3,25	3,32	3,41
Promedio	3,16	3,19	3,22	3,27	3,31	3,39
Máximo	3,17	3,20	3,23	3,28	3,32	3,41
Mínimo	3,16	3,18	3,21	3,25	3,30	3,37

Figura 27:

Comparativa de los análisis de pH con coagulante de penca sábila



La tabla y figura indican que el análisis del pH, aplicando coagulante de nopal con un nivel base de 3 (considerándose ácido), revela que a concentraciones más bajas, como en la repetición 1 con 100 mg/L, el pH tiende a acercarse a niveles más neutrales, esto evidencia una influencia significativa de la concentración de coagulante de penca sábila en la acidez de la muestra, reflejando una variación en la respuesta del pH en función de la concentración utilizada.

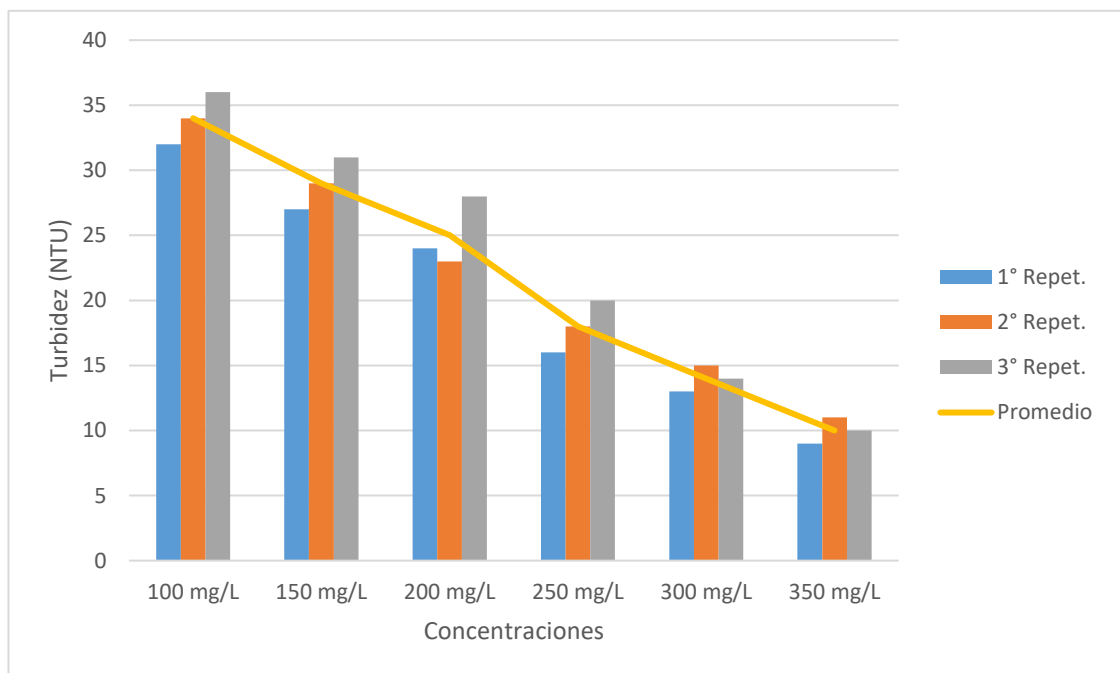
Tabla 17:

Análisis de turbidez con coagulante de penca sábila con pH de 3

	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
1° Repet.	32,00	27,00	24,00	16,00	13,00	9,00
2° Repet.	34,00	29,00	23,00	18,00	15,00	11,00
3° Repet.	36,00	31,00	28,00	20,00	14,00	10,00
Promedio	34,00	29,00	25,00	18,00	14,00	10,00
Máximo	36,00	31,00	28,00	20,00	15,00	11,00
Mínimo	32,00	27,00	23,00	16,00	13,00	9,00

Figura 28:

Comparativa de los análisis de turbidez con coagulante de penca sábila



La tabla y figura indican que el análisis de turbidez, aplicando coagulante penca sábila con un nivel base de 3 (considerándose ácido), revela que la concentración más alta de 350 mg/L en la repetición 1 tiene una mayor capacidad de remoción de la turbidez con un valor de 9 NTU, esto evidencia una influencia significativa de la concentración de coagulante respecto a la variación en la respuesta de la turbidez en función de la concentración utilizada.

3.2. Determinación de la dosificación ideal de los coagulantes naturales.

Para determinar la dosificación ideal se calculó los promedios de los resultados obtenidos de ambos coagulantes naturales (nopal y penca sábila) con diferentes pH (alcalino y ácido):

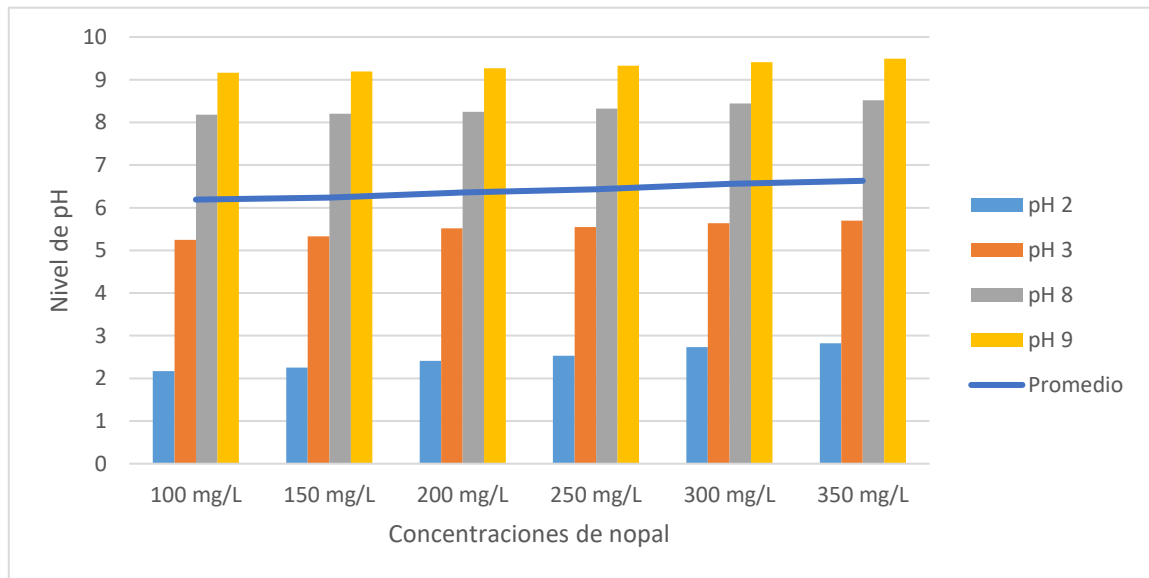
Tabla 18:

Análisis de variabilidad del pH con el coagulante de Nopal

	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
pH 2	2,17	2,25	2,41	2,53	2,73	2,82
pH 3	5,25	5,33	5,52	5,55	5,64	5,70
pH 8	8,18	8,20	8,25	8,32	8,44	8,52
pH 9	9,16	9,19	9,27	9,33	9,41	9,49
Promedio	6,19	6,24	6,36	6,43	6,56	6,63
Máximo	9,16	9,19	9,27	9,33	9,41	9,49
Mínimo	2,17	2,25	2,41	2,53	2,73	2,82

Figura 29:

Comparativa de variabilidad del pH con coagulante de nopal



La tabla y figura indican que el análisis del pH, aplicando coagulante de nopal con un nivel base de 8, revela que a concentraciones más bajas, como en la repetición 100 mg/L, el pH tiende a acercarse a niveles más neutrales, en contraste con las diferentes concentraciones.

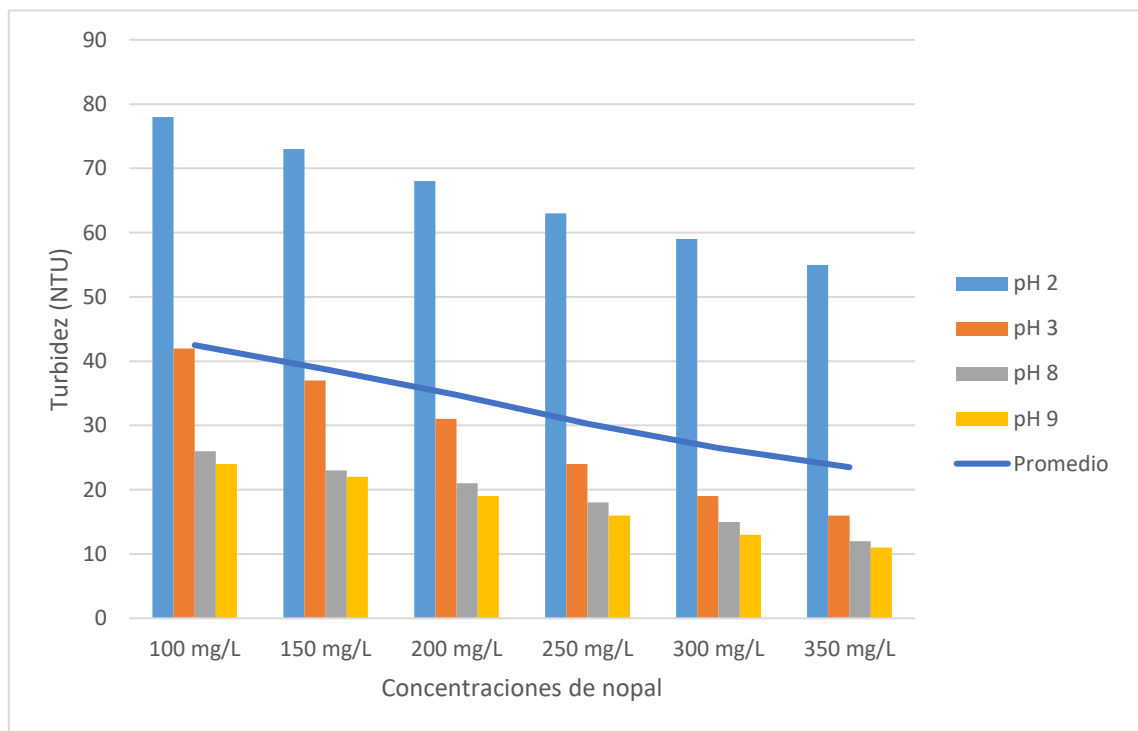
Tabla 19:

Análisis de variabilidad de la turbidez con el coagulante de nopal

	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
pH 2	78,00	73,00	68,00	63,00	59,00	55,00
pH 3	42,00	37,00	31,00	24,00	19,00	16,00
pH 8	26,00	23,00	21,00	18,00	15,00	12,00
pH 9	24,00	22,00	19,00	16,00	13,00	11,00
Promedio	42,50	38,75	34,75	30,25	26,50	23,50
Máximo	78,00	73,00	68,00	63,00	59,00	55,00
Mínimo	24,00	22,00	19,00	16,00	13,00	11,00

Figura 30:

Comparativa de variabilidad de la turbidez con coagulante de nopal



La tabla y figura indican que el análisis de turbidez, aplicando coagulante nopal con un nivel base de 9, revela que la concentración más alta de 350 mg/L tiene una mayor capacidad de remoción de la turbidez con un valor de 11 NTU, esto evidencia una influencia significativa de la concentración de coagulante respecto a la variación en la respuesta de la turbidez en función de la concentración utilizada.

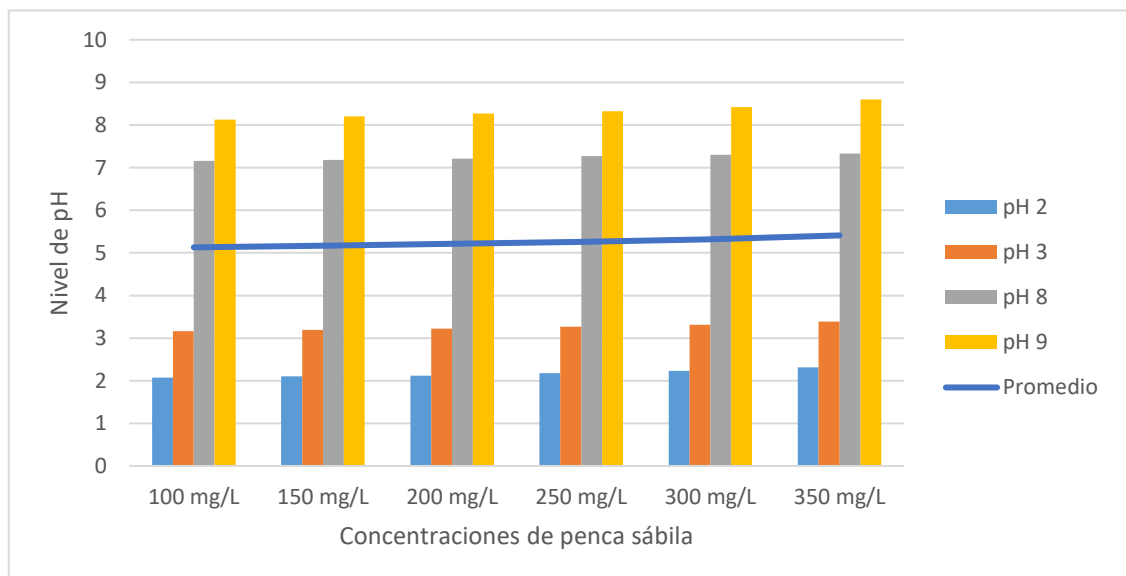
Tabla 20:

Análisis de variabilidad del pH con el coagulante de penca sábila

	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
pH 2	2,07	2,10	2,12	2,18	2,23	2,31
pH 3	3,16	3,19	3,22	3,27	3,31	3,39
pH 8	7,16	7,18	7,21	7,27	7,30	7,33
pH 9	8,13	8,20	8,27	8,32	8,42	8,60
Promedio	5,13	5,17	5,21	5,26	5,32	5,41
Máximo	8,13	8,20	8,27	8,32	8,42	8,60
Mínimo	2,07	2,10	2,12	2,18	2,23	2,31

Figura 31:

Comparativa de variabilidad del pH con coagulante de penca sábila



La tabla y figura indican que el análisis del pH, aplicando coagulante de penca sábila con un nivel base de 8, revela que a concentraciones más bajas, como en la repetición 100 mg/L, el pH tiende a acercarse a niveles más neutrales, en contraste con las diferentes concentraciones.

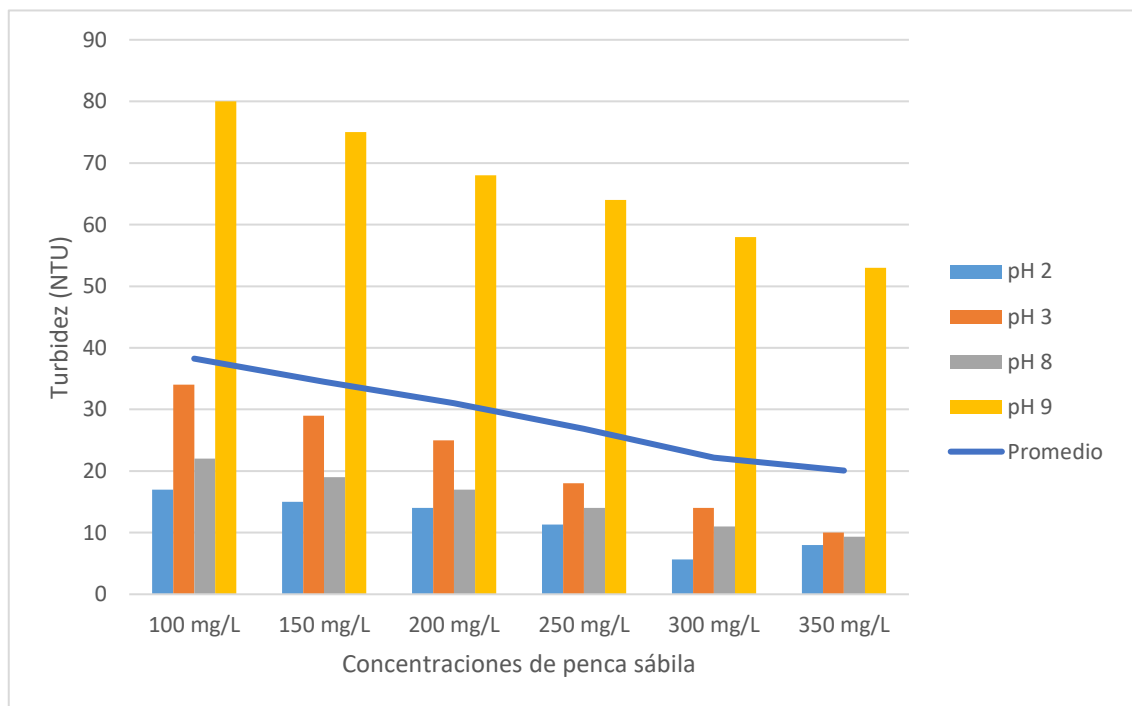
Tabla 21:

Análisis de variabilidad de la turbidez con el coagulante de penca sábila

	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
pH 2	17,00	15,00	14,00	11,33	5,67	8,00
pH 3	34,00	29,00	25,00	18,00	14,00	10,00
pH 8	22,00	19,00	17,00	14,00	11,00	9,33
pH 9	80,00	75,00	68,00	64,00	58,00	53,00
Promedio	38,25	34,50	31,00	26,83	22,17	20,08
Máximo	80,00	75,00	68,00	64,00	58,00	53,00
Mínimo	17,00	15,00	14,00	11,33	5,67	8,00

Figura 32:

Comparativa de variabilidad de la turbidez con coagulante de penca sábila



La tabla y figura indican que el análisis de turbidez, aplicando coagulante penca sábila con un nivel base de 2, revela que la concentración más alta de 350 mg/L tiene una mayor capacidad de remoción de la turbidez con un valor de 8 NTU, esto evidencia una influencia significativa de la concentración de coagulante respecto a la variación en la respuesta de la turbidez en función de la concentración utilizada.

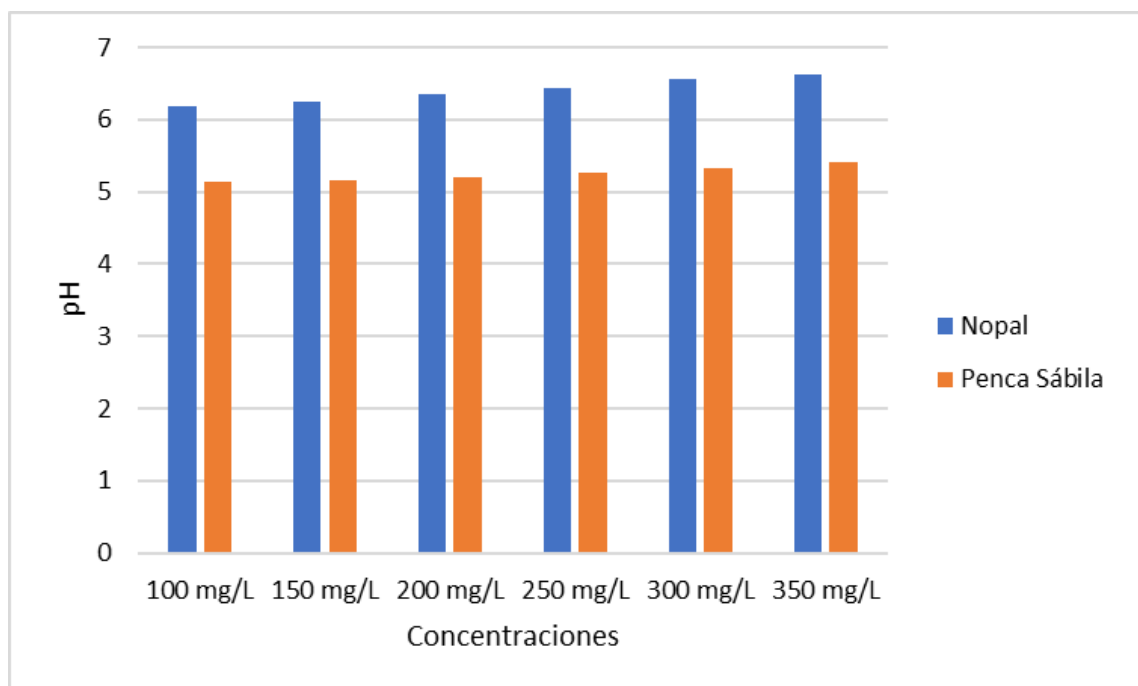
Tabla 22:

Comparativa del análisis del pH según el tipo de coagulante

	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
Nopal	6,19	6,24	6,36	6,43	6,56	6,63
Penca Sábila	5,13	5,17	5,21	5,26	5,32	5,41

Figura 33:

Comparativa del análisis del pH según el tipo de coagulante



La tabla y figura indican que el análisis del pH, aplicando coagulante de nopal en las concentraciones más alta como en la de 350 mg/L, el pH tiende a acercarse a niveles más neutrales, en contraste con las diferentes concentraciones.

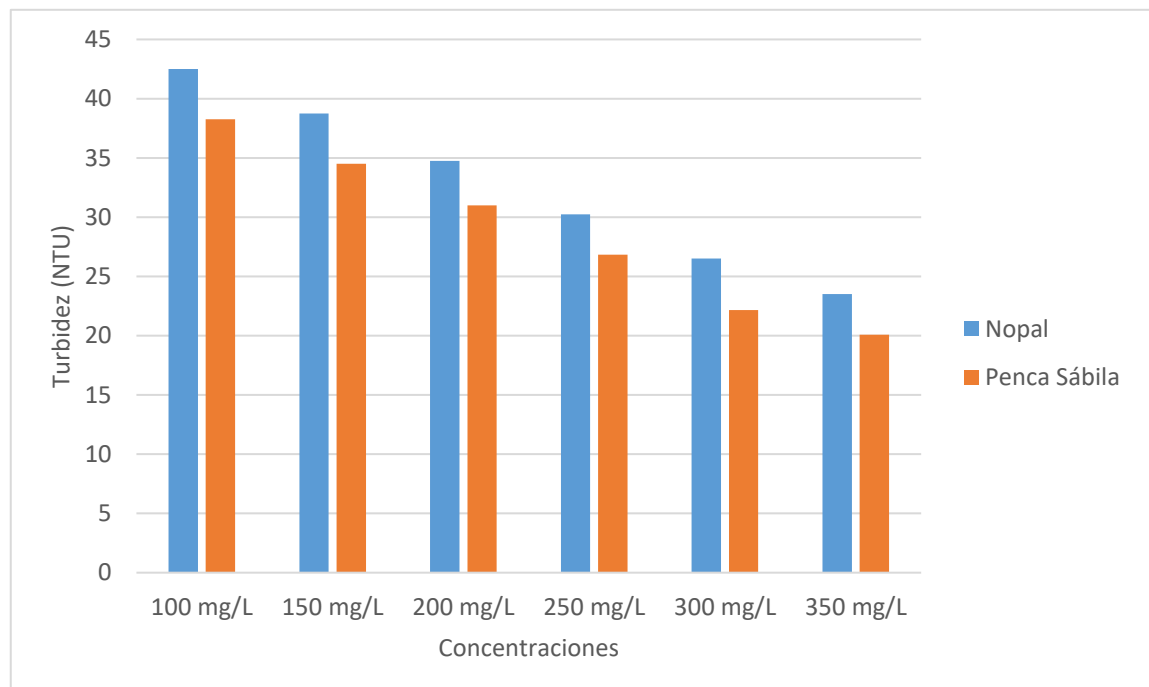
Tabla 23:

Comparativa del análisis de la turbidez según el tipo de coagulante

	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
Nopal	42,5	38,75	34,75	30,25	26,5	23,5
Penca Sábila	38,25	34,5	31	26,83	22,17	20,08

Figura 34:

Comparativa del análisis de turbidez según el tipo de coagulante



La tabla y figura indican que el análisis de turbidez, aplicando coagulante de penca sábila en las concentraciones más alta como en la de 350 mg/L, la turbidez tiende a reducir significativamente.

3.3. Comparación de ambos coagulantes naturales (nopal y penca de sábila) para determinar cuál es el más eficiente.

Para poder evaluar el comportamiento del nopal respecto a la penca sábila en la remoción de la turbidez se usó la metodología de la prueba de Tukey. Además de ello también, se procedió a la aplicación de una prueba T-student con el propósito de comparar el efecto del nopal y la penca sábila, en función de la turbidez, previa realización de una prueba de homogeneidad de varianzas.

3.3.1. Coagulante natural de nopal en la reducción de la turbidez

a. Análisis de varianza

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6$$

H_a : Al menos dos son diferentes

Tabla 24:

Análisis de varianza respecto a la reducción de la turbidez con el nopal

Diseño completamente aleatorizado para turbidez					
FV	GL	SC	CM	F	P
Dosis	6	367.600	94.400	59.8	0.000
Error	10	18.000	1.700		
Total	16	385.600			

Media General: 17.500

CV: 2.92

En relación con la tabla previa se define que se acepta que las dosis de nopal tienen una mayor concentración de turbidez, sin embargo se acepta que el coagulante tiene capacidad de remoción.

b. Prueba de Tukey (Comparaciones Múltiples $\alpha:0.05$)

Tabla 25:

Prueba de Turkey en relación a las dosis con el nopal

Dosis	Media	Grupos Homogéneos
1	24.00	A
2	22.00	B
3	19.00	CD
4	16.00	D
5	13.00	E
6	11.00	F

En relación con la tabla previa se define que se acepta que las dosis de nopal que tiene un mayor efecto en la turbidez es de 100 mg/L, mientras que la que tiene un mayor efecto es la de 350 mg/L

3.3.2. Coagulante natural penca sábila en la reducción de la turbidez

a. Análisis de varianza

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6$$

H_a : Al menos dos son diferentes

Tabla 26:

Análisis de varianza respecto a la reducción de la turbidez con la penca sábila

Diseño completamente aleatorizado para turbidez					
FV	GL	SC	CM	F	P
Dosis	6	964.600	242.900	150	0.000
Error	10	18.000	1.700		
Total	16	982.600			

Media General: 11.600

CV: 4.35

En relación con la tabla previa se define que se acepta que las dosis de penca sábila tienen una menor concentración de turbidez, sin embargo el comportamiento del coagulante es lineal.

b. Prueba de Tukey (Comparaciones Múltiples $\alpha:0.05$)

Tabla 27:

Prueba de Turkey en relación a las dosis con la penca sábila

Dosis	Media	Grupos Homogéneos
1	17.00	A
2	15.00	B
3	14.00	CD
4	11.00	D
5	05.00	E
6	08.00	F

En relación con la tabla previa se define que se acepta que las dosis de penca sábila que tiene un mayor efecto en la turbidez es de 100 mg/L, mientras que la que tiene un mayor efecto es la de 350 mg/L

3.3.3. Comparación de ambos coagulantes de nopal respecto a penca sábila

a. Prueba de homogeneidad de varianzas

H₀: Hay homogeneidad de varianzas entre los tratamientos

H_a: No hay Homogeneidad de varianzas entre los tratamientos

F	GL	P
2.44	16,14	0.0466

Conclusión:

Se rechaza la H₀, no existe homogeneidad de varianzas entre los tratamientos (F = 2.44, P = 0.0466 < 0.05).

b. Prueba T-Student

Tabla 28:

Prueba de homogeneidad en los grupos

Tratamiento	Media	N	S	SE
1	17.5000	18	4.2481	1.4551
2	11.600	18	7.3649	2.2598
Diferencia	14.200			

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2$$

Se rechaza la hipótesis nula (H_0), porque si existe diferencias entre ambos tratamientos con respecto a la remoción de la turbidez, es por ello que el tratamiento 2 que es el coagulante natural de penca sábila es el que genera una mayor remoción de la turbidez ($T = 6.57$, $P = 0.0000 < 0.01$).

IV. DISCUSIONES:

En el marco de la presente investigación, nos proponemos abordar de manera integral la problemática asociada a la turbidez del agua, haciendo especial énfasis en la aplicación de coagulantes naturales provenientes de la penca de sábila y el nopal. Al examinar detenidamente el tratamiento con nopal, los resultados presentados en la tabla 22 revelan que, en relación al pH, la concentración de 350 mg/L exhibe un valor próximo al nivel neutro en una muestra de agua. En contraste, al analizar el pH de la penca de sábila, se observa un valor más elevado en la misma escala, alcanzando 5.41. No obstante, es importante señalar que este valor aún se sitúa en un nivel ácido.

La contribución de Diestra y Ramos (2019) en esta línea de investigación resalta la eficiencia de la penca de sábila en la reducción y eliminación de partículas presentes en cuerpos de agua. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que este coagulante natural también puede tener un impacto en el nivel de acidez de la muestra debido a la composición inherente del agente. Este hallazgo subraya la complejidad de la aplicación de coagulantes naturales y la importancia de considerar no solo su eficacia en la reducción de turbidez, sino también los posibles efectos secundarios, como cambios en el pH del agua tratada.

En este contexto la variación en el pH, como se evidencia en los resultados de la penca de sábila, resalta la necesidad de establecer criterios claros para la selección y dosificación adecuada de coagulantes naturales. Asimismo, la identificación de los parámetros óptimos de aplicación, como la velocidad de agitación y la dosis, se presenta como una tarea esencial para garantizar la efectividad del tratamiento sin comprometer la calidad del agua tratada.

En el proceso de búsqueda de resultados óptimos, Morales (2019) propone una cuidadosa elección de la dosis y la velocidad de agitación en relación con la muestra analizada. En el desarrollo de la prueba de test de jarras, se implementó una velocidad de agitación de 40 RPM durante 20 minutos y una dosis de 6 g/L, validando la importancia crítica de estos parámetros para lograr una reducción

efectiva de la turbidez. No obstante, es esencial resaltar que el valor de pH obtenido bajo estas condiciones fue de 6.68.

A pesar de que este valor se sitúa dentro de la escala paramétrica aceptable de 6.5 a 7.5, merece atención su proximidad al límite de acidez, según las directrices establecidas por el MINSA (2014). Esta proximidad indica que el agua tratada podría no ser idónea para el consumo humano, siendo más adecuada para aplicaciones en riego. Este hallazgo enfatiza la necesidad de considerar no solo la eficacia en la reducción de turbidez, sino también los posibles impactos en parámetros críticos como el pH, lo que incide directamente en la calidad del agua y su idoneidad para distintos fines.

En lo que respecta al porcentaje de remoción de turbidez, se pudo evidenciar que la penca sábila tiene un mayor efecto logrando resultados de un 95% a una concentración de 350mg/L y a una velocidad de agitación de 100 rpm por 3 minutos, mientras el nopal alcanzó un 90 % a esa misma concentración, velocidad y tiempo. Asimismo (Diestra y Ramos., 2019), en su investigación de la reducción de turbidez con penca sábila obtuvieron resultados de un 88.49%, con una concentración de 3000 mg/L y a una velocidad de agitación 30 rpm por 25 minutos. Del mismo modo (Olivero *et al.*, 2014), al evaluar el poder de coagulación que tiene el nopal logró reducir los niveles de turbidez a 83.66% con una concentración de 40 mg/L, con una velocidad de 200 rpm por 90 segundos.

En el contexto de la eficacia de los agentes naturales, Aguirre y Piraneque (2018) enfatizan su capacidad para eliminar sólidos presentes en las muestras de agua, sin importar su origen. No obstante, advierten que la eficiencia de estos agentes puede disminuir en comparación con los coagulantes químicos, principalmente debido al tiempo necesario para su aplicación y procesamiento. Este aspecto resalta la importancia de considerar tanto la efectividad del tratamiento como la eficiencia en términos de recursos y tiempo.

Adicionalmente, las observaciones de Padilla y Soplá (2019) subrayan que los coagulantes naturales presentan una eficiencia en el manejo de recursos que

oscila entre el 30% y el 35%. Esto destaca la importancia crucial de gestionar parámetros fisicoquímicos en las muestras de agua al emplear coagulantes naturales, reconociendo que la optimización de estos procesos puede tener un impacto directo en la eficacia y sostenibilidad del tratamiento.

Los resultados obtenidos en este estudio refuerzan la relevancia de explorar y comprender las dinámicas de los coagulantes naturales en la mejora de la calidad del agua. Si bien demuestran su capacidad para reducir significativamente la turbidez, también señalan la necesidad de considerar aspectos como el tiempo de procesamiento y la eficiencia en el uso de recursos para maximizar los beneficios de estos coagulantes en aplicaciones prácticas de tratamiento de agua.

V. CONCLUSIONES

El análisis comparativo de los coagulantes naturales, nopal y penca de sábila, en relación con la estabilización del nivel de pH revela información significativa sobre sus propiedades en diferentes concentraciones. En el caso del nopal, se observa que las concentraciones de 100 a 350 mg/L mantienen el pH en valores próximos al nivel neutro, evidenciando una ligera variación de 6.19 a 6.63. En contraste, la penca de sábila, en el mismo rango de concentraciones, exhibe un comportamiento similar al mantener el pH en el intervalo de 5.13 a 5.41. Este análisis indica que el nopal, a concentraciones mayores, tiende a mostrar una mayor capacidad para estabilizar el pH en valores cercanos a la neutralidad, mientras que la penca de sábila mantiene valores en un rango más ácido.

El análisis comparativo de los coagulantes naturales, nopal y penca de sábila, con relación a la reducción de la turbidez proporciona una evaluación detallada de su eficacia en diferentes concentraciones. Para el nopal, se observa que las concentraciones de 100 a 350 mg/L muestran una disminución progresiva de la turbidez, con valores que varían desde 42.5 hasta 23.5 NTU. Por otro lado, la penca de sábila, en el mismo rango de concentraciones, también exhibe una disminución de la turbidez, con valores que oscilan entre 38.25 y 20.08 NTU. Este análisis indica que, en general, tanto el nopal como la penca de sábila son efectivos en la reducción de la turbidez, y la eficacia de ambos coagulantes varía según la concentración utilizada.

La diferencia de 14.2 en las medias de eficiencia entre el Grupo 1 (nopal) y el Grupo 2 (penca de sábila) sugiere de manera concluyente que la penca de sábila exhibe una mayor eficiencia en el tratamiento evaluado. Esta disparidad significativa destaca la superioridad del coagulante en términos de rendimiento, indicando que posee una eficacia más consistente en remoción de turbidez en comparación con el nopal.

VI. RECOMENDACIONES

Como recomendación principal, se sugiere priorizar el uso del coagulante natural derivado del nopal a un pH alcalino (8 y 9) y para la penca sábila a un pH ácido (2) para una mejor remoción de turbidez.

Además, se aconseja llevar a cabo estudios adicionales para explorar variaciones en las concentraciones de coagulantes naturales, así como ajustes en las condiciones de tratamiento, con el fin de identificar las dosis óptimas y las condiciones ideales para maximizar la eficiencia de ambos coagulantes. Estos estudios podrían proporcionar información adicional sobre la influencia de las concentraciones en los resultados y contribuir a la optimización de los procesos de tratamiento de agua.

Se recomienda a futuras investigaciones evaluar la viabilidad económica y la sostenibilidad ambiental de la aplicación de estos coagulantes naturales. Considerar estos aspectos proporcionaría una perspectiva integral sobre la idoneidad de estos coagulantes en aplicaciones prácticas a gran escala, contribuyendo así a la toma de decisiones informada en la gestión del agua.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Almendárez de Quezada, N. (2004). *Comprobación de la efectividad del coagulante en aguas del lago de Managua “Piedras Azules.”* Revista Iberoamericana de Polímeros, 5(1), 46–54.
- Aguirre, S. E., & Piraneque, N. V. (2018). *Sustancias Naturales : Alternativa para el Tratamiento de Agua Natural Substances : Alternative for the Treatment of Magdalena River ´s Water in Palermo Colombia.* 29(3), 59–70.
- Almendárez de Quezada, N. (2004). *Comprobación de la efectividad del coagulante (cochifloc) en aguas del lago de Managua “Piedras Azules.”* Revista Iberoamericana de Polímeros, 5(1), 46–54.
- Amruta, G., (2017). *Use of Aloe Vera as coagulant aid in Turbidity Removal.* International Journal of Engineering Research and Technology, 10(1), 314-317.
- Arboleda, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua. Tercera edición,* Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria. Mc Graw Hill. Colombia.
- Castellanos Corredor María C., Becerra Mora N., Carreño Nury L.y Páez Cepeda L. (2012). *Estudio comparativo de la acción coagulante-floculante del mucilago de opuntia ficus indica por los métodos: coagulación y electrocoagulación en los lixiviados del relleno sanitario Pírgua de Tunja.* Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica. ISSN 0718-378X. Vol. 5, N° 1, 44 – 55. Colombia.
- Corredor, M. C. C., Mora, N. del P. B., Nury, L. C., & Cepeda, L. P. P. (2012). *Estudio comparativo de la acción coagulante-floculante del mucilago de Opuntia ficus indica por los métodos: coagulación y electrocoagulación en los lixiviados del relleno sanitario pírgua de Tunja.* Revista aidis de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo y Práctica., 5(1), 44–55.
- Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA). *Protocolo de monitoreo de la calidad sanitaria de los recursos hídricos superficiales.* Aprobado mediante R.D N° 2254/2007/DIFESA/SA de fecha 11 de setiembre de 2007.
- Diestra, F., y Ramos, I. (2019). *Efecto de la concentración de Aloe vera (sábila) y tiempo de floculación en la remoción de la turbidez de la quebrada el Cerrillo, Santiago de Chuco.* Tesis. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, 2019.
- Martinez, G. J., y Gonzales S. L. (2012). *Evaluación del poder coagulante de la tuna (Opuntia indica) para la remoción de turbidez y color en aguas crudas.* Universidad

- de Cartagena, Facultad de Ingeniería Química. Tesis.2012. Cartagena.
- Melorse, J., Perroy, R., y Careas, S. (2015). *Tratamiento Ecológico, Una Alternativa Sustentable Para La Purificación De Aguas Contaminadas*. Universidad Católica Santa María. Arequipa. Perú.
- Morales, J. (2019). Determinación del poder coagulante de la sábila para la remoción de turbidez en el proceso de tratamiento de agua para consumo humano – Oxapampa – 2018. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Perú.
- Olivero Verbel R., Mercado Martínez I., y Montes Gazabón L. (2013). *Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal Opuntia ficus-indica*. Revista Producción + Limpia - Enero - Junio de 2013. Vol. 8, N°1 - 19•27. COLCIENCIAS-Universidad de Sucre. Colombia.
- Organización Mundial de la Salud, OMS. *Progresos en materia de saneamiento y agua potable: informe de actualización 2015 y evaluación del ODM* (en línea: <https://goo.gl/ifVxKo>, acceso 15 de enero 2017), Unicef OMS (2015).
- Padilla, A., & Sopla, R. (2019). *Evaluación de los coagulantes Hylocereus undatus (pitahaya) y Opuntia ficus indica (tuna) para remover parámetros físicoquímicos en aguas mieles de Coffea arabica (café), Naranjillo, 2019* [Universidad Cesar Vallejo].
- Ramírez, H., y Jaramillo, J. (2015). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. 2015. Vol. 11, no. 2, p. 136-153.
- Sánchez Martín, J., Beltrán Heredia, J., y Solera-Hernández, C. (2010). *Surface water and wastewater treatment using a new tannin-based coagulant. Pilot plant trials*. Journal of Environmental Management, 91(10), 2051–2058.
- Tejada Tumba B., (2015). *Efecto del uso del coagulate natural de nopal (opuntia ficus-indica) en la calidad del agua del lado bajo del centro poblado San Antonio, distrito de Moquegua en la provincia Mariscal Nieto, región Moquegua 2015*. Tesis. Universidad José Carlos Mariátegui. Moquegua. Perú.
- Villabona Ortiz A. , Paz Astudillo, I. C., & García Martínez, J. (2013). Caracterización de la Opuntia ficus-indica para su uso como coagulante natural Characterization of Opuntia ficus-indica for using as a natural coagulant. *Rev. Colomb. Biotecnol.*, XV(1), 137–144.

ANEXOS

7.1. Anexo 1: Resultados del coagulante natural (nopal)

Tabla 1. Coagulante natural (nopal) con un pH 8 (alcalino).

DESCRIPCIÓN	PRIMERA REPETICIÓN A UN pH 8 CON UNA AGITACION DE 100 RPM (NOPAL)					
	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
pH	8,18	8,20	8,27	8,34	8,45	8,51
Turbidez (NTU)	25,00	22,00	19,00	17,00	13,00	11,00

DESCRIPCIÓN	SEGUNDA REPETICIÓN A UN pH 8 CON UNA AGITACION DE 100 RPM (NOPAL)					
	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
pH	8,17	8,19	8,25	8,30	8,42	8,50
Turbidez (NTU)	27,00	23,00	21,00	19,00	17,00	15,00

DESCRIPCIÓN	TERCERA REPETICIÓN A UN pH 8 CON UNA AGITACION DE 100 RPM (NOPAL)					
	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
pH	8,20	8,22	8,24	8,32	8,44	8,54
Turbidez (NTU)	26,00	24,00	23,00	18,00	15,00	10,00

Tabla 2. Coagulante natural (nopal) con un pH 9 (alcalino).

DESCRIPCIÓN	PRIMERA REPETICIÓN A UN pH 9 CON UNA AGITACION DE 100 RPM (NOPAL)					
	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
pH	9,16	9,20	9,27	9,34	9,41	9,49
Turbidez (NTU)	23,00	22,00	19,00	15,00	13,00	12,00

DESCRIPCIÓN	SEGUNDA REPETICIÓN A UN pH 9 CON UNA AGITACION DE 100 RPM (NOPAL)					
	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
pH	9,14	9,18	9,25	9,32	9,39	9,47
Turbidez (NTU)	25,00	23,00	20,00	18,00	16,00	14,00

DESCRIPCIÓN	TERCERA REPETICIÓN A UN pH 9 CON UNA AGITACION DE 100 RPM (NOPAL)					
	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
pH	9,17	9,19	9,28	9,33	9,42	9,51
Turbidez (NTU)	24,00	21,00	18,00	15,00	10,00	07,00

Tabla 3. Coagulante natural (nopal) con un pH 2 (ácido).

DESCRIPCIÓN	PRIMERA REPETICIÓN A UN pH 2 CON UNA AGITACION DE 100 RPM (NOPAL)					
	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
pH	2,17	2,26	2,42	2,51	2,74	2,80
Turbidez (NTU)	78,00	72,00	68,00	63,00	60,00	57,00

DESCRIPCIÓN	SEGUNDA REPETICIÓN A UN pH 2 CON UNA AGITACION DE 100 RPM (NOPAL)					
	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
pH	2,18	2,25	2,40	2,54	2,71	2,82
Turbidez (NTU)	77,00	74,00	66,00	64,00	58,00	55,00

DESCRIPCIÓN	TERCERA REPETICIÓN A UN pH 2 CON UNA AGITACION DE 100 RPM (NOPAL)					
	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
pH	2,16	2,23	2,41	2,53	2,73	2,83
Turbidez (NTU)	79,00	73,00	70,00	62,00	59,00	53,00

Tabla 4. Coagulante natural (nopal) con un pH 3 (ácido).

DESCRIPCIÓN	PRIMERA REPETICIÓN A UN pH 3 CON UNA AGITACION DE 100 RPM (NOPAL)					
	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
pH	5,26	5,32	5,50	5,55	5,68	5,71
Turbidez (NTU)	42,00	38,00	30,00	21,00	18,00	14,00

DESCRIPCIÓN	SEGUNDA REPETICIÓN A UN pH 3 CON UNA AGITACION DE 100 RPM (NOPAL)					
	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
pH	5,24	5,33	5,52	5,53	5,65	5,69
Turbidez (NTU)	40,00	37,00	31,00	24,00	19,00	16,00

DESCRIPCIÓN	TERCERA REPETICIÓN A UN pH 3 CON UNA AGITACION DE 100 RPM (NOPAL)					
	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
pH	5,25	5,34	5,54	5,57	5,59	5,70
Turbidez (NTU)	44,00	36,00	32,00	27,00	20,00	18,00

7.2. Anexo 2: Resultados del coagulante natural de penca sábila

Tabla 5. Resultados del coagulante natural (penca sábila) con un pH 8 (alcalino).

DESCRIPCIÓN	PRIMERA REPETICIÓN A UN pH 8 CON UNA AGITACION DE 100 RPM (PENCA SÁBILA)					
	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
pH	7,16	7,17	7,20	7,25	7,29	7,32
Turbidez (NTU)	24,00	22,00	19,00	16,00	12,00	11,00

DESCRIPCIÓN	SEGUNDA REPETICIÓN A UN pH 8 CON UNA AGITACION DE 100 RPM (PENCA SÁBILA)					
	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
pH	7,18	7,19	7,22	7,27	7,31	7,35
Turbidez (NTU)	20,00	18,00	17,00	13,00	11,00	09,00

DESCRIPCIÓN	TERCERA REPETICIÓN A UN pH 8 CON UNA AGITACION DE 100 RPM (PENCA SÁBILA)					
	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
pH	7,15	7,17	7,20	7,28	7,30	7,33
Turbidez (NTU)	22,00	17,00	15,00	13,00	10,00	8,00

Tabla 6. Resultados del coagulante natural (Penca Sábila) con un pH 9.0 (Alcalino).

DESCRIPCIÓN	PRIMERA REPETICIÓN A UN pH 9 CON UNA AGITACION DE 100 RPM (PENCA SÁBILA)					
	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
pH	8,12	8,21	8,29	8,34	8,42	8,62
Turbidez (NTU)	81,00	75,00	66,00	63,00	58,00	53,00

DESCRIPCIÓN	SEGUNDA REPETICIÓN A UN pH 9 CON UNA AGITACION DE 100 RPM (PENCA SÁBILA)					
	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
pH	8,14	8,18	8,24	8,30	8,39	8,57
Turbidez (NTU)	79,00	73,00	64,00	59,00	56,00	50,00

DESCRIPCIÓN	TERCERA REPETICIÓN A UN pH 9 CON UNA AGITACION DE 100 RPM (PENCA SÁBILA)					
	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
pH	8,13	8,22	8,27	8,32	8,44	8,61
Turbidez (NTU)	80,00	77,00	74,00	70,00	60,00	56,00

Tabla N° 07. Resultados del coagulante natural (Penca Sábila) con un pH 2.0 (Acido).

DESCRIPCIÓN	PRIMERA REPETICIÓN A UN pH 2 CON UNA AGITACION DE 100 RPM (PENCA SÁBILA)					
	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
pH	2,07	2,10	2,12	2,18	2,23	2,31
Turbidez (NTU)	18,00	16,00	15,00	13,00	08,00	09,00

DESCRIPCIÓN	SEGUNDA REPETICIÓN A UN pH 2 CON UNA AGITACION DE 100 RPM (PENCA SÁBILA)					
	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
pH	2,05	2,08	2,10	2,16	2,21	2,29
Turbidez (NTU)	16,00	14,00	13,00	11,00	05,00	08,00

DESCRIPCIÓN	TERCERA REPETICIÓN A UN pH 2 CON UNA AGITACION DE 100 RPM (PENCA SÁBILA)					
	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
pH	2,08	2,11	2,13	2,19	2,24	2,32
Turbidez (NTU)	17,00	15,00	14,00	10,00	04,00	07,00

Tabla N° 08. Resultados del coagulante natural (penca sábila) con un pH 3 (ácido).

DESCRIPCIÓN	PRIMERA REPETICIÓN A UN pH 3 CON UNA AGITACION DE 100 RPM (PENCA SÁBILA)					
	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
pH	3,16	3,19	3,23	3,27	3,31	3,38
Turbidez (NTU)	32,00	27,00	24,00	16,00	13,00	09,00

DESCRIPCIÓN	SEGUNDA REPETICIÓN A UN pH 3 CON UNA AGITACION DE 100 RPM (PENCA SÁBILA)					
	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
pH	3,17	3,18	3,21	3,28	3,30	3,37
Turbidez (NTU)	34,00	29,00	23,00	18,00	15,00	11,00

DESCRIPCIÓN	TERCERA REPETICIÓN A UN pH 3 CON UNA AGITACION DE 100 RPM (PENCA SÁBILA)					
	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L	250 mg/L	300 mg/L	350 mg/L
pH	3,16	3,20	3,22	3,25	3,32	3,41
Turbidez (NTU)	36,00	31,00	28,00	20,00	14,00	10,00

7.3. Anexo 4: Panel Fotográfico



Fotografía N° 01. Obtención del nopal.



Fotografía N° 02. Obtención de la penca sábila.



Fotografía N° 03. Toma de muestras en la quebrada Piatana.



Fotografía N° 04. Rotulado de la muestra.



Fotografía N° 05. Evolución del pH de la muestra en el laboratorio de EMAPAB.



Fotografía N° 06. Evolución de la turbidez de la muestra en el laboratorio de EMAPAB



Fotografía N° 07. Pesaje de los coagulantes naturales en el laboratorio de EMAPAB.



Fotografía N° 08. Prueba de jarras de las muestras en el laboratorio de EMAPAB.