

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
RECURSOS NATURALES



Tesis

Obtención de un coagulante Aloe vera con sulfato de aluminio para la clarificación de las aguas del río Huatanay del Cusco - 2023

Asesor:

Mag. Ambía Vásquez, Edy

Autores:

Aiquipa Quispe, Rebeca

Torres Cornejo, Karen Gheraldine

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Ambiental

Cusco – Cusco – Perú

2024



ACTA DE SUSTENTACIÓN ORAL DE LA TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

Modalidad de titulación: Presentación, Sustentación y Aprobación de Tesis Profesional.

En la ciudad del Cusco siendo las 09:00 horas del día 25 de septiembre del año dos mil veinticuatro, en concordancia con el Reglamento General de Grado Académico y Título de la Universidad Tecnológica de los Andes, y en mérito a la Resolución Sub Directoral N° RSD- 070 - 2024- UTEA- FIEPIARN-SD del 04 de julio del 2024, se realiza el acto académico de sustentación de la tesis, intitulada "OBTENCIÓN DE UN COAGULANTE ALOE VERA CON SULFATO DE ALUMINIO PARA LA CLARIFICACIÓN DE LAS AGUAS DEL RIO HUATANAY DEL CUSCO - 2023", presentado por las bachilleras señoritas AIQUIPA QUISPE REBECA Y TORRES CORNEJO KAREN GHERALDINE; como asesor del trabajo de investigación Mag. ANDIA VASQUEZ EDY.

Habiéndose nombrado al jurado con resolución Sub directoral RSD- 119 - 2024- UTEA- FIEPIARN-SD, que está conformada por los señores docentes:

- Presidente: Mg. Cynthia Cecilia Arrieta Concha
- Replicante: Mg. José Salustio Pozo Gonzales
- Dictaminante: Mg. Helidia Hanco Loayza

El acto académico se realizó de la siguiente manera:

Primero: El docente secretario designado dio lectura de la resolución sub Directoral N° RSD- 119 - 2024- UTEA- FIEPIARN-SD, en el que se señala la fecha y hora y el jurado correspondiente para la sustentación de la tesis antes mencionada, así como los artículos 18 y 19 del Reglamento General de Grado Académico y título de la Universidad Tecnológica de los Andes.

Segundo: Se procedió con la sustentación de las tesis señoritas bachilleras aspirantes al título de Ingeniero Ambiental y Recursos Naturales.

Tercero: Se procedió con las preguntas y repreguntas por parte del jurado calificador quienes en una ficha de observaciones hacen conocer por escrito sus apreciaciones y observaciones al trabajo de investigación(tesis).


Cuarto: El presidente del jurado invitó a las señoritas bachilleras y al público en general para que se sirvan desocupar el salón de grados para que el jurado dilucide las calificaciones y determine la nota calificadora del aspirante al título profesional.

Quinto: Culminada con la calificación de parte de los señores integrantes del jurado se dio a conocer públicamente la nota obtenida por las señoritas bachilleras, la misma que fue de 15 Quince puntos.

El presidente del jurado calificador hará llegar a los bachilleras las fichas de observaciones para que puedan levantar las observaciones en los plazos previstos.

Siendo las 10:15 am horas se dio por concluido el acto de sustentación, firmando los señores integrantes del jurado, las señoritas bachilleras en señal de conformidad.


Mg. Cynthia Cecilia Arrieta Concha
Presidente


Mg. José Salustio Pozo Gonzales
Replicante


Mag. Helidia Hanco Loayza
Dictaminante


Bach. Aiquipa Quispe Rebeca


Bach. Torres Cornejo Karen Gheraldine

Obtención de un coagulante Aloe vera con sulfato de aluminio para la clarificación de las aguas del rio Huatanay del Cusco-2023.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

22%	22%	6%	10%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
2	Submitted to Universidad Tecnologica de los Andes Trabajo del estudiante	2%
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
5	repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	repositorio.untels.edu.pe Fuente de Internet	1%

Metadatos

Datos de Autor		
Apellidos y nombres	:	Aiquipa Quispe, Rebeca
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	75822380
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0008-6101-3856
Apellidos y nombres	:	Torres Cornejo, Karen Gheraldine
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	70815624
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0005-8030-1843
Datos del Asesor		
Apellidos y nombres	:	Mag. Ambía Vásquez, Edy
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	23934085
URL ORCID	:	https://orcid.org/0000-0003-2872-0416
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	:	agosto del 2023 - septiembre del 2024
Fuente de financiamiento	:	Autofinanciado
Porcentaje de similitud	:	22%
URL de OCDE	:	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01

Dedicatoria

A las personas que han sido parte fundamental de nuestro viaje académico y personal.

A nuestros seres queridos, por su amor, soporte y paciencia infinita. Su respaldo ha sido la fuerza que nos impulsó a alcanzar esta meta, y este logro es también suyo.

A nuestra casa académica, por brindarnos la oportunidad de explorar, aprender y contribuir al campo de la ingeniería ambiental. Este proyecto es un testimonio de la calidad de la educación que hemos recibido.

Y finalmente, un agradecimiento y dedicatoria especial a nosotras mismas. Celebramos nuestra dedicación, perseverancia y la colaboración efectiva que nos llevó a la culminación exitosa de este proyecto, el cual es un recordatorio de nuestro potencial individual y colectivo.

Atte., Las autoras

Agradecimiento

Queremos expresar nuestra profunda gratitud a cada persona e instituciones que posibilitaron la culminación de este proyecto de investigación, que marca el fin de nuestra etapa como bachilleres de Ingeniería Ambiental.

En primer lugar, queremos agradecer a nuestros familiares y seres queridos, quienes han sido un apoyo indispensable en este arduo camino. Su apoyo absoluto, comprensión y motivación han sido la fuerza que nos impulsó a seguir adelante en circunstancias desafiantes.

Finalmente extendemos nuestro agradecimiento a las autoridades académicas de nuestra casa académica, nuestro docente asesor y asesor externo cuyo respaldo y confianza fueron fundamentales para llevar a cabo este proyecto.

Atte., Las autoras

Resumen

El problema de investigación se centra en la alta turbidez del río Huatanay, en Cusco, que afecta tanto su calidad ambiental como su uso en actividades humanas. En este contexto, surge la pregunta: ¿Se podrá obtener un coagulante de Aloe vera con sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ para la clarificación de sus aguas?; donde cuyo objetivo fue clarificar dichas aguas mediante una mezcla de ambos coagulantes.

Este estudio es de tipo cuantitativo, donde se empleó un diseño experimental para determinar las concentraciones óptimas de los coagulantes que maximicen la remoción de turbidez. Las muestras de agua se recolectaron siguiendo el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (ANA-2016). Las pruebas de laboratorio se realizaron con un equipo de jarras, utilizando diferentes dosis de coagulantes homogenizados con agua destilada. Se mantuvieron constantes la velocidad y el tiempo de agitación: 200 rpm durante 15 segundos y 25 rpm durante 25 minutos.

Los resultados indicaron que la combinación más efectiva fue 15 mg/l de sulfato de aluminio y 10 mg/l de Aloe vera, con una reducción de turbidez del 98.22%. Sin embargo, una combinación más eficiente, en términos de menor uso de sulfato de aluminio, logró una reducción similar (98.05%) con 10 mg/l de sulfato de aluminio y 15 mg/l de Aloe vera.

En conclusión, la mezcla de Aloe vera y sulfato de aluminio resultó una alternativa eficiente para clarificar las aguas, reduciendo significativamente la turbidez y disminuyendo la dependencia de coagulantes químicos.

Palabras clave: coagulante, clarificación, turbidez, remoción, Aloe vera.

Abstract

The research problem focuses on the high turbidity of the Huatanay river in Cusco, which affects both its environmental quality and its use in human activities. In this context, the question arises: Is it possible to obtain a coagulant of Aloe vera with aluminium sulphate $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ for the clarification of its waters; where the objective was to clarify these waters by means of a mixture of both coagulants.

This is a quantitative study, where an experimental design was used to determine the optimum concentrations of the coagulants to maximise turbidity removal. Water samples were collected following the National Protocol for Monitoring the Quality of Surface Water Resources (ANA-2016). Laboratory tests were carried out with a jug apparatus, using different doses of coagulants homogenised with distilled water. Stirring speed and time were kept constant: 200 rpm for 15 seconds and 25 rpm for 25 minutes.

The results indicated that the most effective combination was 15 mg/l aluminium sulphate and 10 mg/l Aloe vera, with a turbidity reduction of 98.22%. However, a more efficient combination, in terms of less use of aluminium sulphate, achieved a similar reduction (98.05%) with 10 mg/l aluminium sulphate and 15 mg/l Aloe vera.

In conclusion, the mixture of Aloe vera and aluminium sulphate proved to be an efficient alternative for water clarification, significantly reducing turbidity and decreasing the dependence on chemical coagulants.

Key words: coagulant, clarification, turbidity, removal, Aloe vera.

Índice

Portada.....	i
Acta de sustentación.....	ii
Reporte de similitud.....	iii
Metadatos.....	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento.....	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
Índice de tablas.....	xi
Índice de figuras	xii
Índice de anexos.....	xiii
Acrónimos.....	xiv
I. Introducción	15
II. Planteamiento del problema	18
2.1. Descripción y formulación del problema	18
2.2. Objetivos	20
2.2.1. Objetivo General.....	20
2.2.2. Objetivos Específicos	20
2.3. Justificación e importancia.....	21
2.4. Hipótesis.....	22
2.4.1. Hipótesis General	22
2.4.2. Hipótesis Específicas.....	22
2.5. Variables	22
2.5.1. Variable dependiente.....	22
2.5.2. Variables independientes	22
III. Marco Teórico.....	24
3.1. Antecedentes.....	24
3.2. Bases teóricas	35
3.2.1. <i>Aloe vera (Aloe barbadensis Miller)</i>	35

3.2.2.	Sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	39
3.2.3.	Clarificación de aguas	42
3.2.4.	Prueba de jarras	50
3.3.	Definición de términos	53
IV.	Metodología.....	58
4.1.	Tipo y nivel de investigación	58
4.1.1.	Tipo de investigación	58
4.1.2.	Nivel de alcance de la investigación	58
4.2.	Ámbito temporal y espacial.....	61
4.2.1.	Temporal	61
4.2.2.	Espacial.....	62
4.3.	Población muestra y muestreo.....	66
4.3.1.	Población.....	66
4.3.2.	Muestra	66
4.3.3.	Muestreo	66
4.4.	Instrumentos.....	67
4.5.	Procedimiento.....	70
4.6.	Análisis de datos	81
4.7.	Consideraciones éticas.....	82
V.	Resultados y discusión	83
5.1.	Resultados	83
5.2.	Discusión de resultados.....	101
VI.	Conclusiones	104
VII.	Recomendaciones	105
VIII.	Referencias	106
IX.	Anexos	112

Índice de tablas

Tabla 1 Operacionalización de variables	23
Tabla 2 Compuestos bioactivos y características del Aloe vera.....	36
Tabla 3 Clasificación taxonómica del Aloe vera.....	37
Tabla 4 Propiedades Químicas del Sulfato de aluminio.....	40
Tabla 5 Resumen del diseño factorial.....	59
Tabla 6 Diseño de investigación	60
Tabla 7 Ubicación de los puntos de muestreo	67
Tabla 8 Equipos utilizados para la toma de muestra.....	68
Tabla 9 Equipos, materiales y reactivos utilizados en el laboratorio	69
Tabla 10 Lectura inicial de parámetros	83
Tabla 11 Porcentaje de la remoción de la turbidez según la cantidad de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$	83
Tabla 12 Porcentaje de la remoción de la turbidez según la cantidad de Aloe vera.....	85
Tabla 13 Porcentaje de remoción promedio de la turbiedad según la cantidad de Aloe vera y sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$	86
Tabla 14 Prueba de normalidad del porcentaje de remoción de turbiedad según la variable Aloe vera	88
Tabla 15 Prueba de normalidad del porcentaje de remoción de turbiedad según la variable sulfato de aluminio.....	89
Tabla 16 Cuadro ANOVA Factorial del porcentaje de remoción de turbiedad según el Aloe vera y sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$	90
Tabla 17 Prueba de Tukey para la remoción de la turbidez según la variable sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$	93
Tabla 18 Comparación de las concentraciones de 10mg/l de Aloe vera con 15mg/l de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y 15mg/l de Aloe vera con 10 mg/l de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$	94
Tabla 19 Prueba de muestras independientes.....	95
Tabla 20 Modelo de Regresión factorial del porcentaje de turbidez en función de las variables Aloe vera y sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$	96
Tabla 21 Resumen del modelo	96
Tabla 22 Análisis de Varianza	97
Tabla 23 Ecuación de regresión en unidades no codificadas	98
Tabla 24 Estructura de alias	98

Índice de figuras

Figura 1 Principio de floculación.....	47
Figura 2 Factores que afectan a la floculación	48
Figura 3 Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para agua.....	49
Figura 4 Ubicación espacial del análisis de estudio	62
Figura 5 Ubicación geográfica del punto 01 de muestreo.....	63
Figura 6 Ubicación geográfica del punto 02 de muestreo.....	64
Figura 7 Ubicación geográfica del punto 03 de muestreo.....	65
Figura 8 Ubicación geográfica del balotario de la Universidad Tecnológica de los Andes	68
Figura 9 Urbanización Villa Unión Huancaro del distrito de Santiago	71
Figura 10 Av. Costanera del distrito de San Sebastián	72
Figura 11 Puente de Kayra del distrito de San Jerónimo.....	73
Figura 12 Recolección de muestras	74
Figura 13 Penca de Aloe vera.....	75
Figura 14 Extracción de espinas del Aloe vera.....	76
Figura 15 Proceso para la obtención del coagulante de Aloe vera	76
Figura 16 Pesaje del sulfato de aluminio y mezcla con agua destilada	77
Figura 17 Proceso de coagulación y floculación.....	79
Figura 18 Lectura inicial de los parámetros fisicoquímicos.....	81
Figura 19 Gráfico de barras del porcentaje de la remoción de la turbidez según la cantidad de sulfato de aluminio	84
Figura 20 Gráfico de barras del porcentaje de la remoción de la turbidez según la cantidad de Aloe vera	85
Figura 21 Gráfico de barras del porcentaje de la remoción de la turbidez según la cantidad de Aloe vera y sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$	87
Figura 22 Gráfico de interacción entre las variables Cantidad de Aloe vera y sulfato de aluminio	91
Figura 23 Prueba de Tukey para la remoción de la turbidez según la variable Aloe vera	92
Figura 24 Gráfica normal de efectos estandarizados	98
Figura 25 Diagrama de Pareto de efectos estandarizados	99
Figura 26 Gráfica de efectos principales de remoción.....	100

Índice de anexos

Anexo A. Matriz de consistencia	113
Anexo B. Instrumento de recolección de datos de campo.....	115
Anexo C. Instrumento de recolección de datos de laboratorio.....	118
Anexo D. Informe de Análisis de resultados de la prueba de eficiencia.....	120
Anexo E. Validación de instrumentos.....	121
Anexo F. Panel Fotográfico.....	125

Acrónimos

ANA	: Autoridad Nacional del Agua
RPM	: Revoluciones por minuto
DQO	: Demanda química de oxígeno
DBO	: Demanda biológica de oxígeno
NTU	: Unidad Nefelométrica de Turbidez
PTAR	: Planta de tratamiento de aguas residuales
LMP	: Límites máximos permisibles
MINAM	: Ministerio del ambiente
ECA	: Estándares de calidad ambiental
OMS	: Organización Mundial de la Salud
UTM	: Universal Transverse Mercator
APA	: American Psychological Association

I. Introducción

El tema del presente trabajo de investigación es la clarificación de las aguas del río Huatanay, en la ciudad del Cusco, mediante la combinación de coagulantes naturales y químicos, específicamente el *Aloe vera* y el sulfato de aluminio. La creciente contaminación de este recurso hídrico, que se manifiesta en altos niveles de turbidez debido a la presencia de partículas en suspensión y coloidales, plantea la necesidad de implementar procesos de tratamiento que mejoren su calidad para su posterior uso.

La investigación se lleva a cabo porque la contaminación del agua es una preocupación global que impacta directamente en la salud pública y el medio ambiente. En particular, el río Huatanay presenta altos niveles de turbidez, lo que afecta tanto a los ecosistemas acuáticos como a las comunidades humanas que dependen de este recurso. Según Cerón, (2016) los coagulantes químicos como el sulfato de aluminio son los más utilizados en los tratamientos convencionales de aguas. Sin embargo, en los últimos años, se ha planteado la posibilidad de usar coagulantes naturales, como el *Aloe vera*, ya sea como alternativa o coadyuvante, con el objetivo de reducir el impacto ambiental y económico del uso excesivo de productos químicos.

Este trabajo de investigación está diseñado como una propuesta para evaluar la efectividad de la combinación de *Aloe vera* y sulfato de aluminio en la remoción de turbidez del agua del río Huatanay, un cuerpo de agua natural que viene siendo contaminado por aguas residuales río arriba. A través de un diseño experimental, se determinarán las dosis óptimas de ambos coagulantes para maximizar la eficiencia en la remoción de turbidez, con el objetivo de mejorar la calidad del agua como recurso natural. Las muestras de agua

serán sometidas a pruebas de jarra en laboratorio, controlando variables como el tiempo y la velocidad de agitación, para analizar el comportamiento de los coagulantes en diferentes concentraciones. Además, esta investigación busca sentar las bases para el diseño de una infraestructura específica que permita aplicar estos resultados en el río Huatanay, de manera que se logre su rehabilitación para usos como el riego agrícola.

El método empleado para el estudio incluye la recolección de muestras de agua en tres puntos estratégicos del río Huatanay, según el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (ANA-2016), seguido de pruebas de coagulación-floculación en laboratorio. Se analizarán los resultados para identificar la combinación de coagulantes más eficiente, basada en la reducción de turbidez.

Entre las limitaciones del estudio se encuentran las dificultades para obtener muestras debido al acceso restringido a ciertas áreas del río, lo que motivó la selección de tres puntos de muestreo representativos. A pesar de esta restricción, se lograron cumplir los objetivos del trabajo al realizar las pruebas en laboratorio. Otra limitación es la aplicabilidad de los resultados a gran escala, dado que el experimento se realizó en condiciones controladas de laboratorio. A futuro, se espera que los resultados de este estudio contribuyan a la implementación de soluciones a mayor escala para la clarificación de aguas contaminadas, promoviendo el uso de coagulantes naturales como el *Aloe vera*.

En el ítem II, se realiza la explicación de cada aspecto del problema de investigación, la problemática que conlleva a realizar el trabajo de investigación actual, los objetivos planteados, la justificación e importancia y el planteamiento de la hipótesis de investigación, a los que se debe responder con el estudio.

En el ítem III, se desarrollan los antecedentes, las bases teóricas y también el marco conceptual, que dan un sustento a la investigación donde se da a conocer las anteriores investigaciones en relación al trabajo de estudio presente.

En el ítem IV, se precisa la metodología que se emplea para el trabajo de investigación donde se muestra los pasos de cada proceso que se realiza para el tratamiento de clarificación de las aguas del río Huatanay.

Los ítems V, VI y VII presentan los resultados de la investigación, las conclusiones y las recomendaciones brindadas, las cuales se realizaron una vez hecha la parte experimental. En estos ítems se observan cuadros, gráficos y tablas de cada proceso, para que de esta manera sea más clara su comprensión

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y formulación del problema

La contaminación y escasez del recurso hídrico representan una gran problemática de carácter mundial, afectando su cantidad, calidad y disponibilidad para los diferentes usos. Esta situación genera serias consecuencias sociales, ambientales y económicas a escala local, regional, nacional y global; por otro lado, el calentamiento global intensifica los periodos de sequía provocando escasez y disminución de agua, así como también genera inundaciones que causan pérdidas de cultivos, áreas de desarrollo urbano, aparición de plagas y enfermedades.

Una de las causas que generan la contaminación del agua es la mala gestión o administración de las aguas residuales, la carencia de inversión en infraestructura de saneamiento, las asignaciones o concesiones indebidas del agua, la deforestación a gran escala y el crecimiento demográfico descontrolado.

Asimismo, el agua del río Huatanay se ve dañado en relación a su calidad, debido a la contaminación por aguas residuales río arriba, existiendo un alto nivel de concentración de turbidez, impidiendo la proliferación de vida y los ecosistemas que deberían existir en él. Además, este recurso hídrico es utilizado para riego de cultivos de tallo largo y corto en diferentes sectores de la región, incluyendo Tipón, Condebamba, Togobamba, Saylla, Huasao, Oropesa y espacios más pequeños en el sector de Huambutio a partir de Huacarpay hasta la unión con el río Vilcanota. La contaminación del agua del río Huatanay al igual que en la mayor parte de casos se debe a que se realiza una deficiente

administración en relación a las aguas residuales y a la falta de inversión en infraestructura de saneamiento, lo que implica un desafío para el medio ambiente local, perjudicando como consecuencia la salud pública. (Gil Mora, Boza, Ramos, & Oviedo, 2022)

Según Blanca, et., al (2018) mencionan que dentro de las aguas residuales se puede encontrar un alto nivel de materia orgánica, para lo cual a lo largo de varios años se vienen desarrollando diferentes tipos de tratamientos bacteriológicos y fisicoquímicos. Por ende, cuando se habla de procesos fisicoquímicos es necesario mencionar que se desarrolla un procedimiento de coagulación-floculación para la remoción de ciertos contaminantes; logrando así una clarificación de las aguas, por otro parte el uso de coagulantes naturales permite que se pueda aminorar el uso de sustancias químicas sintéticas y de la misma manera disminuir la producción de lodos biodegradables (Blanca, et., al 2018)

Una de las técnicas mayormente empleadas a nivel mundial en los procesos de tratamiento de aguas residuales es la floculación y coagulación, técnicas en las que se puede evidenciar dos clases de coagulantes, naturales y químicos.

En vista del problema existente en las aguas del río Huatanay, se ha planteado la aplicación de un coagulante natural como el *Aloe vera*, combinado con sulfato de aluminio, como una estrategia viable para optimizar el proceso de clarificación del agua. Esta propuesta tiene como objetivo principal reducir la turbidez y mejorar la calidad de este recurso hídrico. Aunque el uso de coagulantes y floculantes no es común en cuerpos de agua naturales, esta investigación propone que, en situaciones particulares como la del río Huatanay, se podría desarrollar una infraestructura específica que permita implementar los hallazgos obtenidos.

- **Problema General**

¿Se podrá obtener un coagulante de *Aloe vera* con sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ para la clarificación de las aguas contaminadas del río Huatanay?

- **Problemas específicos**

- ¿Cuál será la concentración adecuada de *Aloe vera* y sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ que sea más eficiente para la clarificación de las aguas del río Huatanay?
- ¿Qué efecto tiene el coagulante de *Aloe vera* con sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ en la remoción del porcentaje de turbidez de las aguas del río Huatanay?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo General

Obtener un coagulante de *Aloe vera* con sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ para la clarificación efectiva de las aguas del río Huatanay del Cusco, 2023.

2.2.2. Objetivos Específicos

- Demostrar la concentración adecuada de *Aloe vera* y sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ para la efectividad en la clarificación de las aguas del río Huatanay del Cusco, 2023.
- Comprobar el efecto del coagulante de *Aloe vera* con sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ en el porcentaje de remoción de turbidez de las aguas del río Huatanay del Cusco, 2023.

2.3. Justificación e importancia

El tema de esta investigación ha sido seleccionado debido a la creciente preocupación por la calidad de las aguas del río Huatanay, las cuales presentan altos niveles de turbidez causados por partículas coloidales en suspensión. Esta turbidez afecta tanto los ecosistemas acuáticos como a las comunidades humanas que utilizan el río para diversas actividades (Mora & Boza, 2022).

El problema de la contaminación hídrica, en especial por partículas en suspensión, residuos plásticos y aguas residuales, requiere soluciones urgentes y sostenibles, lo que nos ha motivado a explorar alternativas innovadoras para el tratamiento de estas aguas.

La investigación ofrecerá un nuevo conocimiento al evaluar la efectividad del uso de coagulantes naturales, como el *Aloe vera*, en combinación con coagulantes químicos, como el sulfato de aluminio, en la clarificación de aguas con alta turbidez. Esta combinación no solo busca reducir el uso de productos químicos, sino también proponer un enfoque más eco amigable y sostenible para el tratamiento de agua. A pesar de que el uso de coagulantes naturales ha sido explorado en otros estudios, el presente trabajo se enfoca en la especificidad del agua del río Huatanay, lo que aportará información relevante y contextualizada para futuras investigaciones.

El modelo de investigación utilizado es un diseño experimental que permite identificar la dosis más adecuada de los coagulantes para optimizar el proceso de clarificación. Este enfoque no solo garantiza un análisis riguroso de los resultados, sino que también permitirá replicar el estudio en contextos similares, ampliando su aplicabilidad y relevancia.

La razón principal de esta investigación es la necesidad de encontrar soluciones sostenibles, económicas y eficaces para el tratamiento del agua, que sean aplicables no solo al río Huatanay, sino también a otras fuentes de agua con problemas similares. Al reducir la dependencia de productos químicos y emplear alternativas naturales, este estudio busca mitigar el impacto ambiental asociado con los tratamientos tradicionales de agua.

Finalmente, esta investigación representa un aporte significativo para la ingeniería ambiental al proponer una alternativa innovadora y sostenible para la clarificación de aguas turbias. Aunque tradicionalmente no se tratan cuerpos de agua naturales con coagulantes y floculantes, este estudio sugiere que, en casos específicos como el del río Huatanay, podría diseñarse una infraestructura adecuada para aplicar los resultados obtenidos. Esto permitiría mejorar la calidad del agua como cuerpo natural, haciéndola apta para actividades como el riego agrícola. Además, este enfoque no solo reduciría el uso de químicos en los tratamientos, sino que también sentaría las bases para replicar esta tecnología en otros cuerpos de agua contaminados por aguas residuales, contribuyendo a la gestión sostenible del recurso hídrico y generando insumos valiosos para futuras investigaciones y la formulación de políticas públicas ambientales.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

Es posible obtener un coagulante de *Aloe vera* con sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ que resulte eficaz para clarificar las aguas del río Huatanay.

2.4.2. Hipótesis Específicas

- Existe una relación significativa en las dosis del coagulante de *Aloe vera* y sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ para la clarificación de las aguas del río Huatanay.
- Existe una relación significativa del coagulante de *Aloe vera* con sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ en la efectividad de la reducción del porcentaje de turbidez de las aguas del río Huatanay.

2.5. Variables

2.5.1. Variable dependiente

Y= Clarificación de las aguas del río Huatanay

2.5.2. Variables independientes

X1= Concentración de *Aloe vera*.

X2= Concentración de Sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variables	Definición Conceptual	Dimensión Operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems
Variable independiente Concentración de <i>Aloe vera</i>.	Se refiere a la cantidad del extracto de gel de <i>Aloe vera</i> presente en el coagulante.	Se obtuvo la cantidad del gel de <i>Aloe vera</i> en mg/l	Dosis del Coagulante	<ul style="list-style-type: none"> Dosis del <i>Aloe vera</i> en mg/L Efecto de la cantidad de <i>Aloe vera</i> en la clarificación del agua. 	<ul style="list-style-type: none"> 10 mg/L de <i>Aloe vera</i> 15 mg/L de <i>Aloe vera</i> 20 mg/L de <i>Aloe vera</i>
Variable independiente Concentración de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$.	Se refiere a la cantidad de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ incorporado en el coagulante.	Se obtuvo la cantidad del sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ en mg/l a utilizarse en el coagulante.		<ul style="list-style-type: none"> Dosis de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ en mg/L Efecto de la cantidad de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ en la clarificación del agua. 	<ul style="list-style-type: none"> 5 mg/L de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$. 10 mg/L de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$. 15 mg/L de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$.
Variable Dependiente: Clarificación de las aguas del río Huatanay.	Se refiere a al proceso para la eliminación y/o disminución de la turbidez del río Huatanay.	Se determinó mediante la comparación de la turbidez inicial (antes de aplicar el coagulante) y la turbidez final (después de aplicar el coagulante)	Efectividad del Coagulante	Porcentaje de remoción de turbidez en comparación con la turbidez inicial.	0% - 20% 21% - 40% 41% - 60% 61% - 80% 81% - 100%

III. Marco Teórico

3.1. Antecedentes

3.1.1. A nivel internacional

(Cevallos, Burgos, & Cordova, 2022) en su artículo científico intitulado “*Evaluación de la eficacia de coagulantes o floculantes químicos y naturales en el tratamiento de las aguas residuales que fueron originadas en la producción de harina de pescado*”, publicado en Venezuela por los bachilleres en Ingeniería Química:

El objetivo fue evaluar la efectividad en la reducción de la turbidez en aguas residuales generadas por la producción de harina de pescado, empleando distintos coagulantes naturales (pitahaya *Selenicereus Undatus* plantas de *Aloe vera*) y los de aplicación comercial (cloruro de polialuminio y sulfato de aluminio), esto con el fin de generar un cuantioso conocimiento acerca de la eficacia de los coagulantes que se mencionaron; para esto la metodología usada fue por medio de un diseño experimental en el cual se realizó análisis estadísticos de los datos, tales análisis radicaron en realizar pruebas de jarras al agua estudiada, se utilizaron distintas dosis de los cuatro coagulantes, todo esto con el objetivo de decidir la mejor dosis empleada en cada uno de los coagulantes analizados; después de haber desarrollado la investigación se tuvo como resultado que ambos coagulantes corresponden a los valores permitidos de sólidos en suspensión, debido a que la normativa no fija límites aceptables de turbidez, y los sólidos en suspensión podrían considerarse como el principal parámetro a la hora de comprobar la clarificación.

(Aranda, 2017) en el alcance de su investigación para obtener el título profesional de pregrado intitulada "*Análisis del proceso de coagulación y filtración de muestras sintéticas de ácidos húmicos, utilizando Aloe Barbadensis como agente coagulante*" publicado en México por el bachiller en Ingeniería Ambiental:

El objetivo analizar la efectividad de remoción de turbidez las cuales son causadas por partículas coloidales en muestras de ácidos húmicos sintéticos mediante parámetros fisicoquímicos empleando un sistema de purificación mixta por coagulación, floculación y filtración utilizando materiales naturales; para la obtención del mucilago del *Aloe vera* se utilizó como método la preparación de soluciones, donde las concentraciones fueron de 30 %, 40 %, 50 % y 60 %; tras llevar a cabo las pruebas con estas concentraciones, se estipuló la cantidad adecuada del mucilago de *Aloe vera* para así realizar seis ensayos: una agitación rápida de 100 RPM durante 1 minuto, seguida de una agitación lenta a 40 RPM durante 30 minutos. Los resultados obtenidos indicaron una efectividad del 77.24% en la remoción de turbidez, empleando una cantidad óptima al 30 % de 50 mL.

(Babora, Freire, & Oliveira, 2018) en su investigación para obtener el título profesional de pregrado que título "*Reducción de la turbidez del agua mediante el uso de Aloe vera como coagulante natural*", publicado en Brasil por los bachilleres en Ingeniería Ambiental:

El objetivo fue estimar la reducción de turbidez en el agua mediante el uso de un extracto de *Aloe vera* como coagulante. Para ello, se recolectaron muestras de agua en seis repeticiones y se evaluaron parámetros físico-químicos como el pH, la demanda química de oxígeno (DQO) y los sólidos totales. En las pruebas de jarras, se aplicaron diferentes concentraciones del extracto de *Aloe vera*, de 0 a 150 mL, obteniendo valores de pH de 4, 7 y 10. Tras completar los ensayos, los resultados mostraron una reducción promedio de turbidez del 75 % con un pH de 10.

(Rodrigues, Aquino, & Cordeiro, 2020) en su estudio de pre grado intitulado "*Evaluación de Aloe arborescens como coagulante para la remoción de color y turbidez en el tratamiento convencional de agua*", publicado en Brasil por los bachilleres en Ingeniería del Agua:

El objetivo fue investigar la efectividad del extracto de sábila (*Aloe vera*) como floculante natural en la reducción de turbidez y color, empleando diagramas de coagulación. Se llevó a cabo un tratamiento convencional de agua, en el cual las muestras fueron tomadas de un río, evaluando parámetros como turbidez, pH y color aparente. El proceso de coagulación se desarrolló mediante pruebas de jarras, utilizando dosis de Aloe vera entre 0.025 y 10 mL, y variando el pH en un rango de 6 a 8 unidades. Al finalizar el estudio, los resultados mostraron una reducción del 36 % en la turbidez y del 52 % en el color en el agua decantada y filtrada, resultado de analizar 72 combinaciones de pH y cantidad de coagulante. La eficiencia alcanzada fue del 68 % en la disminución de la turbidez y del 70 % en el color visible del agua filtrada. Sin embargo, estos resultados no lograron cumplir con los estándares brasileños para el agua potable.

(Kopytko, Rueda, & Rincón, 2018) en el artículo científico intitulado intitulado "*Aplicación de un Producto Natural (Aloe vera) en Procedimientos de Coagulación-Floculación, para el Estudio de la Tratabilidad del Agua*" publicado en Colombia por las ingenieras en Medio Ambiental:

El objeto fue implementar el proyecto de potabilización de agua potable; para lo que se tomaron muestras de agua y se llevaron a cabo estudios de diversos parámetros, como turbidez, pH, alcalinidad y color. Posteriormente, se realizaron pruebas de floculación y coagulación utilizando alumbre y *Aloe vera* como coagulantes, con el fin de identificar parámetros funcionales y operativos. Los resultados obtenidos muestran que la combinación de 56 mg/L de alumbre con 5 mg/L de *Aloe vera* es efectiva para aguas con turbidez media, mientras que la mezcla de 24 mg/L de alumbre con 14 mg/L de *Aloe vera* resulta efectiva y eficiente en aguas altamente turbias

(Solís Silvan, Laines Canepa, & Hernández Barjas, 2019) en su artículo científico intitulado “Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales” publicado en México.

El objetivo principal de esta investigación fue comparar el potencial de diferentes mezclas de coagulantes, específicamente sulfato de aluminio y almidón de yuca, para reducir la cantidad de sulfato de aluminio utilizado en las plantas de tratamiento de aguas. En cuanto a la metodología, se empleó la prueba de jarras, con una agitación rápida a 200 rpm durante 15 segundos, seguida de una agitación lenta a 25 rpm durante 25 minutos, con el fin de determinar la dosis óptima de sulfato de aluminio. Se añadió una dosis inicial de 30 mg/L a una muestra de agua con una turbidez de 70 NTU y un pH de 6.8, utilizando esta dosis como base para preparar mezclas con diferentes proporciones de almidón de yuca y sulfato de aluminio. Los resultados mostraron que la combinación óptima para la reducción de color fue de 2 mg/L de almidón de yuca más 26 mg/L de sulfato de aluminio. Para la reducción de turbidez, los tratamientos 1 y 2 (2 mg/L de almidón de yuca con 30 mg/L de sulfato de aluminio, y 2 mg/L de almidón de yuca con 26 mg/L de sulfato de aluminio) resultaron estadísticamente similares, logrando reducciones de 98.7 % y 97.9 %, respectivamente.

3.1.2. A nivel nacional

(García, 2020) en su tesis para obtener el grado de bachiller en Ingeniería Ambiental, titulada “*Eficiencia del sulfato de aluminio y Aloe vera en la reducción de la turbidez del agua de San Roque de Cumbaza, 2019*”

El objetivo de esta investigación fue evaluar la efectividad de los coagulantes mencionados en la eliminación de la turbidez del río de San Roque. Este estudio se clasifica como aplicado y de diseño cuasi-experimental. Las muestras fueron recolectadas de la parte alta del distrito, y se utilizó la técnica de observación para el análisis. Los resultados indicaron que el *Aloe vera*, bajo las condiciones experimentales aplicadas, incrementó los niveles de turbidez y color; en cambio, el sulfato de aluminio mostró resultados óptimos en la reducción de la turbidez.

(Huaman, 2022) en su investigación para obtener el grado académico de Ingeniero Ambiental, intitulado “*Uso del coagulante natural Aloe vera como tratamiento terciario en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Jauja*”.

El objetivo fue reducir la concentración de parámetros críticos en la planta mencionada, utilizando *Aloe vera* como coagulante natural durante la fase terciaria del proceso. Se llevaron a cabo experimentos con diferentes dosis de gel de *Aloe vera* (10 mL, 20 mL, 30 mL, 40 mL y 50 mL), observándose una disminución en la turbidez, los sólidos suspendidos totales y la demanda biológica de oxígeno a los 5 días (DBO5) tras el proceso de sedimentación. Esto resultó en una reducción del 43.70 % en turbidez (de 120 UNT a 67.6 UNT), del 75.70 % en sólidos suspendidos totales (de 281 mg/L a 68.27 mg/L) y del 87.24 % en DBO5 (de 201.30 mg/L a 25.68 mg/L), cumpliendo así con los límites máximos permisibles (LMP) establecidos por la normativa peruana “D.S. N.º 003-2010-MINAM.” Se concluyó que los mejores resultados se obtuvieron con una dosis de 20 mL.

(Flores, 2022) en su proyecto de investigación para obtener el grado académico de maestra en Ingeniería Ambiental titulado *“Impacto de la concentración de Aloe vera, el tiempo de coagulación y el tiempo de floculación en la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno en el tratamiento de aguas residuales domésticas”*.

El propósito de este estudio fue analizar los efectos de la concentración de *Aloe vera*, así como del tiempo de coagulación y floculación, en la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Se tomó una muestra de agua residual del colector y la concentración de DBO5 fue de 345 ppm. Se ejecutó un diseño factorial 3x2x2 para tratamientos con 3 niveles de concentración de coagulante (2000, 3000 y 4000 ppm), 2 niveles de tiempo de coagulación (2 min y 4 min) y 2 niveles de tiempo de floculación (15 min y 20 min), se utiliza un equipo de pruebas vasculares para simular el proceso de tratamiento. La combinación más efectiva consistió en una concentración de coagulante de 2000 ppm, un tiempo de coagulación de 2 minutos y un tiempo de floculación de 15 minutos, lo que resultó en una reducción de la DBO5 a un promedio de 95 ppm. Desde el punto de vista estadístico, el tratamiento 1 presentó la mayor tasa de reducción de DBO, alcanzando el 72.5 %.

(Pérez, 2019) en su investigación para obtener el grado académico de Ingeniero ambiental titulada, *“Reducción de la turbidez del agua del río Crisnejas en la comunidad de Chuquibamba-Cajabamba mediante el uso de Opuntia ficus indica, Aloe vera y Caesalpinia spinosa”*

El objetivo del proyecto fue disminuir la turbidez del agua consumida por la comunidad a través del uso de coagulantes naturales originarios de la localidad, como la tara, la sábila y la penca de tuna. Para este estudio, se recolectaron un total de 108 litros de agua a lo largo de 9 meses. Se consideraron diversas variables, incluyendo la velocidad de agitación, el tiempo óptimo y la cantidad de coagulante. Se realizaron ensayos de jar test utilizando 6 g y 9 g de coagulante en diferentes intervalos de tiempo (5, 15 y 20 minutos). En la primera fase, la agitación se llevó a cabo a 100 RPM, y en la segunda fase,

a 200 RPM. Los resultados mostraron que el uso de *Aloe vera* logró una remoción de turbidez del 42.48 %. En conclusión, se determinó que la utilización de *Aloe vera* es más efectiva que otros coagulantes naturales evaluados

(Ruiz, y otros, 2022) en su artículo de investigación titulada, "*Aloe vera como agente floculante para eliminación de turbidez en aguas superficiales*" publicado por la docente en investigación de posgrado:

El propósito fue reducir la concentración turbidez del agua destinada al consumo, se emplearon agentes naturales como el *Aloe vera* (sábila), que se presenta como una alternativa al floculante convencional en el tratamiento del agua. Este estudio experimental se enfocó en analizar las propiedades y reacciones del gel de *Aloe vera* como floculante para disminuir la turbidez del agua. Se utilizó caolín para simular la turbidez y se determinó la concentración óptima de alúmina y *Aloe vera* (1%) en diferentes valores de pH y turbidez inicial. Los resultados revelaron que la turbidez inicial, el pH y la cantidad de floculante tienen un impacto significativo en la reducción de la turbidez del agua. Según el modelo de superficie de respuesta, se encontró que la dosis óptima de 1% de *Aloe vera* lograba la máxima eficacia con dosis de 0,1 ml y 0,4 ml por 500 ml de agua, dependiendo del pH y la turbidez inicial del agua.

(MORALES, 2019) En su investigación para obtener el grado académico de Ingeniero Ambiental intitulada " *Evaluación del poder coagulante de la sábila en la reducción de turbidez durante el tratamiento de agua para consumo humano en Oxapampa en 2018*"

El objetivo principal de este estudio fue erigir el potencial del *Aloe vera* como coagulante para eliminar la turbidez en el tratamiento del agua destinada al consumo humano. La metodología adoptada fue de tipo experimental y se centró en verificar y controlar dos variables específicas: la dosis de mucílago de sábila y la turbidez inicial del agua. Se definieron diferentes niveles de turbidez (A: Baja = 12,77 NTU; B: Media baja = 19,43 NTU; C: Media alta = 42,3 NTU; D: Alta = 79,7 NTU) como bloques para el estudio. Se añadieron cantidades variables de mucílago de sábila a las muestras de agua (0,3 g/L, 0,6 g/L, 0,9 g/L, 1,2 g/L, 1,5 g/L, 1,8 g/L y 2,1 g/L), además de un grupo de control, y se agitaron a 50 RPM durante 15 minutos. Después, las soluciones se dejaron reposar durante 20 minutos antes de medir la turbidez. Se concluyó que la dosis óptima de sábila era de 1,8 g/L, lo que demostró que, dentro de las condiciones experimentales establecidas, se logró una eliminación significativa de turbidez con dosis reducidas del coagulante.

(Segura, 2023) en su investigación para obtener el título profesional en Ingeniería Ambiental, titulada 'Aloe vera y *Caesalpinia spinosa* en el control de la turbidez de las aguas residuales de la industria azucarera"

El objetivo principal de este estudio fue analizar el efecto del *Aloe vera* y *Caesalpinia spinosa* en la disminución de la turbidez en las aguas residuales de la industria azucarera. Se utilizó el ensayo de Jar test para los procesos de clarificación del agua. Se determinó que la concentración óptima y la dosis adecuada del coagulante *Aloe vera* eran de 46,6 NTU y 40.000 ppm en un volumen de 25 ml, respectivamente, logrando una efectividad del 86,69 % en la eliminación de turbidez. Por otro lado, para *Caesalpinia spinosa*, la concentración y dosis óptimas fueron de 61,94 NTU y 40.000 ppm, respectivamente, con una dosis efectiva de 25 ml, que resultó en un 82,35% de eficiencia.

(Alvarez & Ccahua, 2021) en su investigación para optar el título profesional de ingeniería ambiental titulada *“Remoción de turbidez usando biocoagulantes Echinopsis peruviana y Opuntia ficus”*

Esta investigación tiene como fin principal la evaluación de la eficiencia de los biocoagulantes mencionados en muestras de 15 l/s de caudal del río Tucuiri previamente preparadas con suelo; como técnica se usó la prueba de jarras y se evaluaron factores como: el pH, el tiempo de sedimentación, remoción de turbidez, dosis del biocoagulante. La turbidez inicial para esta investigación fue de 500 UNT, luego del procedimiento del tratamiento los resultados obtenidos fueron: para el más eficiente se obtuvo una disminución del 85.7% y el siguiente un 83.8% de turbidez; tales resultados se dieron con la dosis de 90 mg/l teniendo un 7.5 de pH y 30 minutos de sedimentación. Finalmente se redujo de 500 UNT a 71 con el biocoagulante Echinopsis peruviana y de 500 a 81 UNT con Opuntia ficus.

(Fernandez Gutierrez & Ruiz Huaman , 2020) en su investigación titulada *“Tratamiento de agua residual mediante la utilización de sulfato de aluminio y un biopolímero natural de tamarindo”* publicado por la Universidad Nacional Tecnológica de Lima sur-UNTELS, Perú.

El fin de este estudio fue identificar las dosis adecuadas y comparar la eficiencia en la remoción de turbidez y la variación de pH entre un coagulante químico y un biocoagulante (sulfato de aluminio y restos de tamarindo). La metodología empleada se dio a través de la prueba de jarras, simulando las etapas de coagulación y floculación. Se realizaron tres repeticiones en concentraciones de 5, 10 y 15 ml en ambos tratamientos. Los resultados indicaron que el coagulante químico era un 40% más eficiente en la remoción de turbidez en comparación con el biocoagulante. Sin embargo, el biocoagulante mostro mejor desempeño en la dosis de 10 ml, por otro lado, el sulfato de aluminio mostro resultados más favorables con una dosis de 15 ml.

3.1.3. A nivel regional y local

(Hurtado, 2019) En su investigación para optar el grado académico de maestro con mención en Química titulada "*Polisacáridos del mucilago de gel de Aloe vera como agentes floculantes en el tratamiento de aguas*"

El objetivo de esta investigación fue conseguir la clarificación de aguas contaminadas que contienen partículas en suspensión mediante la aplicación de productos naturales, enfocándose en el gel de *Aloe vera* como un coagulante para la floculación. Se implementó un proceso que abarcó coagulación, floculación y sedimentación, utilizando gel de *Aloe vera* en conjunto con alúmina, y se realizaron pruebas de Jar test. La variable principal en estas pruebas fue la medición de la turbidez, llevada a cabo con un turbidímetro. El análisis fitoquímico del gel reveló que contiene carbohidratos, que son los principales compuestos responsables de la floculación y, por ende, de la reducción de la turbidez en el agua.

Los estudios espectrales UV indicaron una absorción máxima en longitudes de onda de 490 nm, característica de estos compuestos orgánicos. Asimismo, el análisis por infrarrojo mostró picos destacados que correspondían a grupos OH en 3450 cm^{-1} y a grupos carbonilo en 1620 cm^{-1} . Estos análisis confirmaron la presencia de polisacáridos como los componentes principales del gel de *Aloe vera*, que le confieren su capacidad aglutinante y sugieren su uso potencial como floculante en el tratamiento de aguas. Aunque los experimentos en laboratorio demostraron que el gel de *Aloe vera* puede funcionar como floculante, su efectividad es limitada cuando se aplica solo. Sin embargo, al combinarlo con óxido de aluminio, se logró una mejor floculación en muestras de agua con una turbidez superior a 30 N.T.U. a 18 °C, utilizando un gradiente de velocidad de 100 G-1, un tiempo de mezclado de 5 minutos y un periodo de sedimentación de 20 a 40 minutos. Los resultados fueron favorables, con una reducción del 67% en la turbidez residual tras la floculación, mientras que el pH se mantuvo dentro de los límites

establecidos por las normativas internacionales, que están entre 6,5 y 8,5.

(Quispe, 2023) En su investigación para obtener al título profesional de Biólogo, intitulado “Impacto del mucílago de *Opuntia ficus indica* (Tuna) como coagulante natural y complemento del sulfato de aluminio en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la laguna de estabilización de Querapara, en el distrito de Chinchero”

El objetivo principal de esta investigación fue analizar el impacto del mucílago de la tuna como coagulante natural en combinación con el sulfato de aluminio para el tratamiento de aguas residuales. El estudio siguió un diseño experimental que incluyó la evaluación de la composición química del mucílago. En cuanto a la metodología, se empleó el método de análisis de alimentos de la A.O.A.C. y la prueba de jarras para identificar la dosis óptima en base seca y húmeda para la eliminación de turbidez. Además, se examinó la sinergia entre el sulfato de aluminio y el mucílago de la tuna como coadyuvante.

Después de determinar la dosis adecuada, se realizaron análisis fisicoquímicos y bacteriológicos antes y después de aplicar el tratamiento, utilizando los métodos estándar para el examen de agua y aguas residuales.

Los hallazgos de esta investigación indican que la combinación de mucílago y sulfato de aluminio, a una dosis de 20 ml, logró una eliminación del 95.14% de la turbidez, alcanzando un valor de 6.75 NTU. En los análisis fisicoquímicos, el mucílago en base seca cumplió con los límites máximos permisibles (LMP) establecidos; sin embargo, los análisis bacteriológicos revelaron una remoción mínima de coliformes termotolerantes, lo que indica que no se cumplieron los LMP en este aspecto.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. *Aloe vera* (*Aloe barbadensis* Miller)

El *Aloe vera* conocido científicamente como "*Aloe Barbadensis* Miller" dentro de las plantas es una especie suculenta, esta tiene hojas carnosas y robustas que contienen una sustancia de gel (mucilago). A esta planta se le conoce por sus distintas propiedades, entre las cuales se puede mencionar la medicinal y terapéutica, ya que está dentro de su composición tiene compuestos bioactivos como minerales, vitaminas, aminoácidos y enzimas; así mismo tiene propiedades cicatrizantes, antiinflamatorias y antimicrobianas por lo que son usadas en diferentes industrias. (Hernández, 2018)

3.2.1.1. Compuestos bioactivos y características del *Aloe vera*

Se han identificado alrededor de 75 principios activos potenciales, que a continuación, se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 2*Compuestos bioactivos y características del Aloe vera*

Antraquinonas	Sacáridos	Vitaminas	Aminoácidos no esenciales	Componentes inorgánicos	Enzimas	Aminoácidos esenciales	Miscelánea
Aloína	Celulosa	B1 tiamina	Histidina	Calcio	Ciclooxigenasa	Lisina	Colesterol
Barbaloina	Glucosa	B2 riboflavina	Arginina	Sodio	Oxidasa	Treonina	Triglicéridos
Isobarbaloina	Manosa	B6 piridoxina	Hidroxiprolina	Cloro	Amilasa	Valina	Esteroides
Antranol	L ramosa	Ácido fólico	Acido aspártico	Manganeso	Catalasa	Leucina	Beta-citosteroles
Acido aloético	Aldopentos	Vit C	Acido glutámico	Zinc	Lipasa	Fenilalanina	Lignina
Ester del ácido ciaminico		Vit A	Prolina	Cromo	Fosfatasa alcalina	Metionina	Acido úrico
Aloe emodina		Vit E	Glicina	Cobre	Carboxipeptidasa		Giberelina
Emodina		Colina	Alanina	Magnesio			Sustancia lecitina-like
Ácido crisofanico			Tirosina	Iodo			Acido salicílico
Resistanol							Acido araquidónico
Antraceno							Sorbato de potasio

Fuente: Ferraro M., Compuestos bioactivos del Aloe vera.

3.2.1.2. Taxonomía del *Aloe vera*

Tabla 3

Clasificación taxonómica del Aloe vera

Reino	Vegetal
División	Magnoliophyta
Clase	Monocotiledoneas
Familia	Liliaceae Asphodelaceae
Nombre científico (género y especie)	<i>Aloe vera</i>
Sinónimo	Barbadensis
Descripción de la planta	planta de hojas suculentas, elongadas y espinosas en el margen
Medio donde habita	terrestre
Tipo de ecosistema donde se encuentra	Tropicales y subtropicales
Características del medio físico	La sábila prospera en regiones tropicales y subtropicales, pero también puede encontrarse en áreas desérticas y semidesérticas. Esta planta es conocida por su capacidad de soportar altas temperaturas y su notable resistencia tanto a las plagas como a la escasez de agua.

Fuente: Avila & Diaz, 2002

3.2.1.3. Composición química del *Aloe vera*

Según (FERRARO, 2009) el *Aloe vera* contiene diversos compuestos fenólicos en su composición química; estos compuestos suelen agruparse en dos categorías:

- Cromonas como la aloesina y sus derivados glucósidos
- Antraquinonas como la barbaloína y sus derivados glucósidos

La isobarbaloína y la aloemodina, localizadas en la capa interna de las células epidermales de la hoja, son responsables de la potente acción laxante del *Aloe vera*. Por otro lado, los polisacáridos constituyen los principales elementos del gel o mucílago de esta planta, ya a ellos se atribuyen las propiedades por las cuales es conocido.

3.2.1.4. *Aloe vera* como coagulante natural

El uso de coagulantes de origen natural se ha convertido en una opción alternativa en los tratamientos de agua, tomando más relevancia debido a sus bajos costos, a su poder de ser biodegradables y la capacidad que tienen de poder sustituir o reducir el uso de coagulantes sintéticos.

Por otro lado, el *Aloe vera* que también es habitualmente conocido como “sábila” es una planta suculenta, la cual en diferentes estudios ha demostrado tener propiedades coagulantes efectivas para reducir la turbidez en el tratamiento de aguas.

(Ruiz, y otros, 2022) señalan que:

Al agregar el gel del *Aloe vera* al agua, ocurre la desestabilización de las partículas en suspensión y partículas coloidales, lo que concede la formación de flóculos que puedan ser fácilmente disgregados por sedimentación; asimismo el *Aloe vera* no deja residuos tóxicos en el agua,

esto a diferencia de algunos coagulantes químicos y por sus propiedades antibacterianas y antiinflamatorias el *Aloe vera* también podría tener aplicación en el tratamiento de aguas residuales.

En este contexto el *Aloe vera* es una alternativa natural que cumple como agente de coagulación para el tratamiento de aguas, contando con la capacidad de remover eficientemente la turbidez sin generar contaminantes y mejora significativamente la claridad del agua tratada, por ende, es un método sostenible y amigable con el medio ambiente.

3.2.2. Sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$

Se define al sulfato de aluminio como una sal sólida de color blanco; este elemento tiene como fórmula $Al_2(SO_4)_3$; se consigue al reaccionar un mineral aluminio con ácido sulfúrico a altas temperaturas.

El sulfato de aluminio se presenta en dos tipos: el tipo A blanco, que contiene un porcentaje de hierro inferior al 0.5%, y el tipo B marrón, con un contenido de hierro inferior al 1.5%.

El sulfato de aluminio tiene diferentes aplicaciones, entre las cuales se menciona que puede regular el pH y es usado en la industria del papel y la pulpa, elimina el fósforo de las aguas residuales, es usado en la fabricación de drogas y cosméticos, purifica la mezcla de la caña de azúcar y fabricantes de colorantes, se usa para elaborar otras sales de aluminio y lo que es de principal importancia para esta investigación es que el sulfato de aluminio se usa como coagulante ya que produce la sedimentación de sólidos en el tratamiento de aguas, lo que contribuye a la clarificación y por ende a esta investigación. (Mendoza, Tambaco, & León-Araujo, 2023)

3.2.2.1. Propiedades Químicas del Sulfato de aluminio

Tabla 4

Propiedades Químicas del Sulfato de aluminio

Fórmula química	Al₂(SO₄)₃
Peso molecular	342.15 g/mol
Apariencia	Sólido blanco o ligeramente grisáceo, en forma de polvo, gránulos o cristales.
Solubilidad	Altamente soluble en agua; se disuelve para formar una solución ácida.
pH	Las soluciones acuosas son ácidas, con un pH que varía alrededor de 2.9 y 3.0 a una concentración del 1%.
Punto de fusión	Se descompone antes de fundirse, por lo general a temperaturas superiores a 770 °C.
Reactividad	Reacciona con bases fuertes para formar hidróxido de aluminio, con agua para formar ácido sulfúrico y óxidos de aluminio en condiciones específicas.
Propiedades higroscópicas	Absorbe humedad del aire, lo que puede llevar a la formación de aglomerados en condiciones de alta humedad.

Fuente: (Chemcess, 2024)

3.2.2.2. Propiedades del Sulfato de aluminio como coagulante

Según (Edufio Segundo, 2020) El sulfato de aluminio es uno de los coagulantes comúnmente utilizado en el tratamiento de aguas. Sus principales propiedades y características son:

- Desestabilización de partículas: El sulfato de aluminio neutraliza la carga superficial de las partículas suspendidas en el agua, permitiendo su aglomeración.
- Formación de flóculos: Cuando las partículas se desestabilizan, se agrupan entre sí, formando flóculos más grandes y pesados que se asientan con mayor rapidez.
- Eliminación de contaminantes: El procedimiento de coagulación-floculación utilizando sulfato de aluminio permite remover sólidos en suspensión, turbidez, materia orgánica y otros contaminantes del agua.
- Mejora de la condición del agua: Al remover los contaminantes, el sulfato de aluminio contribuye a potenciar favorablemente la calidad y claridad del agua tratada.
- Necesidad de optimización: Para alcanzar una alta eficiencia, es esencial un control preciso de factores como el pH, la cantidad de coagulante y la velocidad de agitación.

3.2.2.3. Sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ como coagulante

Según los estudios realizados previamente y siendo considerados en la presente investigación, donde el sulfato de aluminio es ampliamente usado como agente de coagulación para la remoción de partículas en suspensión las cuales provocan la turbidez; se llega a la conclusión que este compuesto es efectivo para dicho proceso.

El sulfato de aluminio puede neutralizar las cargas negativas de las partículas coloidales en suspensión en el agua, lo que facilita su agrupación y, por consiguiente, su sedimentación posterior. Además, este compuesto ha demostrado ser efectivo para eliminar el color y la turbidez del agua, mejorando así su calidad. (Cayambe & Esmeralda, 2023)

3.2.3. Clarificación de aguas

El objetivo de la clarificación del agua es eliminar partículas, materiales coloidales y sólidos suspendidos transformándolos en partículas más grandes que son más sencillas de eliminar. Este proceso se aplica tanto en sistemas municipales de tratamiento de agua para obtener agua potable como en sistemas industriales para tratar agua destinada a diversas finalidades, como la producción de alimentos y bebidas, generación de vapor, sistemas de refrigeración y limpieza de recipientes. (Cogollo, 2010)

3.2.3.1. Procedimiento de la clarificación de las aguas

La clarificación es un procedimiento esencial en el tratamiento convencional del agua. Este proceso conlleva tres pasos que consta desde la coagulación, floculación y sedimentación, los cuales son pasos esenciales en el tratamiento de la mayoría de las aguas superficiales. Al purificar el agua se utilizan diversos coagulantes o polielectrolitos, los cuales causa que las partículas que están suspendidas se agrupen. Una vez formados los flóculos,

el cual debe tener un tamaño más o menos igual al de una partícula de arena, se precipitan al fondo gracias al procesos de sedimentación. Los sólidos que se suelen eliminar en este proceso son usualmente arenas, limos y coloides los cuales se agrupan con los procesos antes mencionados. (GC, 2021).

3.2.3.2. Coagulación

Este proceso implica la desestabilización de partículas en suspensión para su consecutiva agregación en el agua. La desestabilización se produce al neutralizar las cargas eléctricas, lo que disminuye la fuerza de repulsión entre las partículas. El objetivo de la coagulación es modificar las propiedades de los componentes insolubles del agua para facilitar su separación. Una vez que las partículas pequeñas se agrupan en flóculos más grandes y sólidos, es más fácil separarlas. Este procedimiento está dirigido a partículas con tamaños que van de 10^{-4} a 10^{-9} m (como partículas suspendidas y soluciones coloidales), las cuales no pueden ser eliminadas de manera eficiente por medios de decantación o filtración. (Perez & Urrea, 2015)

3.2.3.3. Tipos de coagulación

Valeriano y Matos (2019), señalan que los agentes de coagulación se originan de dos categorías principales:

Los coagulantes primarios y secundarios tienen roles distintos en el proceso de coagulación. Los coagulantes primarios neutralizan las cargas eléctricas de las partículas en el agua, lo que facilita su aglomeración. Por otra parte, los coadyuvantes de la coagulación sirven para aumentar la densidad de las escamas que sedimentan lentamente y reforzar su estructura, evitando así su desintegración durante la fase de mezcla y sedimentación (p.25).

3.2.3.4. Eficacia de la coagulación

La eficacia del proceso de coagulación está determinada por la recuperación de partículas coloidales después de la sedimentación. La eliminación de estos coloides se ve directamente afectada por la agitación rápida y lenta, lo cual es importante para lograr un procedimiento eficaz de coagulación, floculación y sedimentación. La cantidad de solución utilizada también determina esta distancia. (Valdiviezo, 2021)

(Rodríguez, Confortti, Pérez, Suárez, & Lobo, 2022) señalan que:

La eficiencia de la coagulación esta referida a la capacidad de un proceso de coagulación para desestabilizar las partículas en suspensión presentes en el agua y aglutinarlas en flóculos para que pueda ser fácilmente separadas del agua, esto con el fin de mejorar la calidad y claridad de este recurso.

3.2.3.5. Coagulantes

Perez & Urrea, 2015 indica que la coagulación se produce a través de la incorporación de iones de carga contraria al colóide (coagulantes); las características más relevantes son las siguientes:

- Estos compuestos tienen carga opuesta a las del colóide para neutralizar las fuerzas electrostáticas. En ocasiones, el coagulante principal no logra reducir las cargas electrostáticas lo suficiente, por lo que es necesario utilizar otros compuestos auxiliares conocidos como coadyuvantes.
- Cuentan con la valencia más alta para promover la disrupción de la estabilidad coloidal.
- Por otro lado, deben tener un peso molecular suficiente para que los flóculos formados puedan precipitarse rápidamente y separarse del agua.

Por otra parte, el coagulante ideal es aquel que proporciona una carga para desestabilizar los coloides y, posteriormente, forma un coagulo o floculo primario, sobre el cual las partículas pueden ser absorbidas de manera eficiente.

3.2.3.6. Tipos de coagulantes

Perez & Urrea, 2015 señalan que podemos encontrar dos grandes grupos son cuales son:

- **Coagulantes inorgánicos:** Hay varios tipos de coagulantes inorgánicos disponibles, como el sulfato férrico, el sulfato de aluminio, el cloruro férrico, el sulfato ferroso y el aluminato de sodio. Estas sustancias pueden actuar tanto como coagulantes como floculantes.
- **Coagulantes orgánicos:** los coagulantes naturales a su vez pueden dividirse en dos grupos:
- **De origen natural:** estos son derivados por ejemplo del almidón y la celulosa y a veces son consideradas como auxiliares de la coagulación y coadyuvantes.
- **Sintéticos:** se trata de macromoléculas con estructura de cadena larga, tales como el óxido de polietileno, poliacrilamida, entre otros.

3.2.3.7. Floculación

Según Perez & Urrea (2015), la floculación es un proceso mediante el cual las partículas que han sido desestabilizadas se agrupan en micro flóculos y luego en flóculos más grandes, los cuales tienden a sedimentarse en los decantadores. Este proceso sigue a la coagulación, formando así el proceso conjunto conocido como coagulación-floculación. La floculación es fundamental para generar flóculos de mayor peso y cohesión, lo que facilita su eliminación de manera eficiente.

3.2.3.8. Principio de Floculación

El principio de floculación es un proceso que permite desestabilizar las partículas suspendidas en el agua mediante la adición de coagulantes, lo que permite la aglomeración en flóculos más grandes y densos que pueden ser fácilmente separados por sedimentación.

(Labarces, 2013) en su investigación señala que dentro de los principales aspectos del principio de floculación son:

- Desestabilización de partículas: Los coagulantes químicos, como el sulfato de aluminio, actúan neutralizando la carga superficial de las partículas suspendidas, permitiendo que se aglomeren.
- Formación de flóculos: Las partículas desestabilizadas se unen entre sí, formando flóculos de mayor tamaño y peso que sedimentan más rápidamente.
- Mejora de la claridad del agua: El proceso de coagulación y floculación ayuda a eliminar partículas en suspensión, turbidez, materia orgánica y otros contaminantes del agua, mejorando así su calidad y transparencia después del tratamiento.
- Uso de coagulantes: Por lo general, se emplean sales de aluminio o hierro como coagulantes, aunque también se están explorando alternativas naturales como el *Aloe vera* en la investigación actual.
- Optimización del proceso: Es crucial controlar factores como el pH, la cantidad de coagulante utilizada y la agitación para maximizar la eficacia del proceso de floculación.

Figura 1*Principio de floculación*

Nota: La presente figura explica el principio de floculación; en el diagrama de la izquierda tenemos una solución sin coagulantes, se tiene partículas disueltas en el medio (contaminantes) donde se observa que estas partículas atraviesan el filtro. Mientras que en el segundo diagrama este ya contiene un floculante que logra adherirse a las partículas contaminantes para agrandarlas y de esta forma no atraviesen el filtro.

3.2.3.9. Floculantes

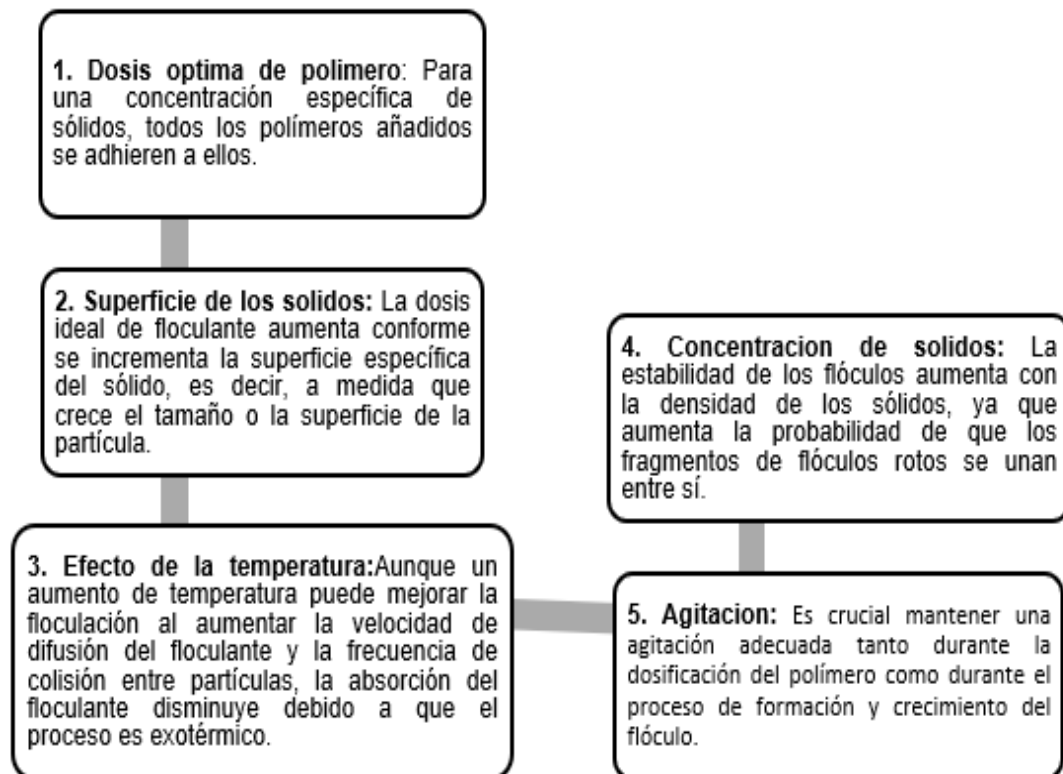
Los floculantes son también conocidos como coadyuvantes de coagulación, estos productos facilitan la formación de flóculos; estos atrapan mecánicamente las partículas suspendidas actuando de puente o unión. La distinción clave entre floculante y coagulante radica en que el coagulante neutraliza las fuerzas de repulsión entre las partículas coloidales, lo cual da inicio a la formación de micro flóculos y por otro lado los flóculos engloban los micro flóculos logrando aumentar su tamaño y densidad, esto con el fin de sedimentar más fácil y rápido. (Perez & Urrea, 2015)

3.2.3.10. Factores que afectan a la floculación

(Perez & Urrea, 2015) Indican que la eficacia del proceso de separación en la floculación está influenciada por diversos factores.

Figura 2

Factores que afectan a la floculación



3.2.3.11. Sedimentación en el proceso de clarificación de aguas

Según el estudio de (Cantillo, y otros, 2022) señalan que:

La sedimentación es un paso clave dentro del proceso de clarificación del agua, pues permite la separación eficiente de los sólidos que se agrupan durante la coagulación y floculación, mejorando así la calidad del agua tratada.

Por lo tanto, la sedimentación se refiere al fenómeno en el que los flóculos formados durante la coagulación-floculación se asientan en el fondo de un recipiente debido a su mayor peso y tamaño, separándose del agua clarificada. Este paso es muy importante para eliminar las partículas aglutinadas y obtener un agua más limpia y clara.

3.2.3.12. Estándares de calidad ambiental para agua (ECA)

De acuerdo al artículo 31, numeral 31.1 de la ley General de Ambiente N.º 28611, el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) se define como la medida que establece la concentración o cantidad de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el aire, agua o suelo en su estado natural, sin que ello implique un riesgo considerable para la salud humana o el medio ambiente. Dependiendo del parámetro específico al que se refiera, dicha concentración puede expresarse en valores máximos, mínimos o dentro de ciertos rangos.

Según el artículo 3 del DS N.º 004-2017-MINAM para la aplicación de los

ECA para agua se debe considerar las categorías descritas a continuación:

Figura 3

Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para agua



De acuerdo a lo descrito en la figura anterior y según ANA el río Huatanay pertenece a la categoría 3, que es descrita como la categoría utilizada para riego de vegetales y bebida de animales. En lo que respecta al riego de vegetales, las aguas del río Huatanay son categorizadas como “agua para riego restringido”, entendiéndose que la calidad de las aguas de dicho río solo permite ser utilizado en cultivos alimenticios que serán consumidos cocidos y/o en cultivos de tallo alto donde el agua de riego no entre en contacto con el fruto; así mismo pueden ser utilizados en cultivos a ser procesados, envasados y/o industrializados, cultivos interastrales no comestibles y cultivos forestales, forrajes, pastos o similares.

3.2.4. Prueba de jarras

Según Lorenzo Acosta (2006), es la técnica mayormente usada con el objetivo de establecer la dosis de químicos y otros parámetros. Mediante la prueba de jarras se simula el procedimiento de coagulación, floculación y sedimentación, todo esto a un nivel de laboratorio.

En cuanto a su funcionamiento; este debe tener una serie de jarras que serán utilizadas al mismo tiempo y lo que es más importante es que se tenga la posibilidad de variar la velocidad de agitación (RPM) de una máxima a una mínima.

Existen factores tanto químicos como hidráulicos que influyen en este proceso; entre los cuales tenemos:

- Temperatura
- pH (normalmente entre 7,3 a 8)
- Concentración de coagulantes
- Tiempo de sedimentación
- Proceso de aplicación de las sustancias química
- Nivel de agitación

De acuerdo con Rojas (2004), La prueba de jarras es un método fundamental para controlar la coagulación química del agua. Para llevar a cabo este proceso, es necesario contar con información previa como el pH, la turbidez y el color del agua cruda. Se aplican diferentes dosis de coagulante en cada frasco, lo que facilita la reducción de las partículas coloidales suspendidas y la materia orgánica mediante floculación. Esto permite simular las etapas de coagulación, floculación y sedimentación en un solo procedimiento.

Por otro lado, Acosta (2012), describe que la prueba de jarras es un procedimiento fundamental usado para evaluar la eficacia de los coagulantes en el tratamiento de aguas; donde el proceso incluye la preparación de muestras, la adición de diferentes dosis de coagulante y la observación de resultados con el objetivo de determinar la dosis adecuada.

3.2.4.1. Dosis del coagulante

La concentración óptima del coagulante se determina mediante el uso de la prueba de jarras, el cual se considera como el método más sencillo para evaluar el acondicionamiento químico y por lo regular también es usado para ensayos convencionales de coagulación. (Rojas, 2004)

La prueba de jarras es usada para establecer la dosis adecuada de coagulantes, ajustando la cantidad para maximizar la disminución de turbidez y sólidos suspendidos; el uso de la prueba de jarras es indispensable para realizar una prueba piloto de tratamiento de aguas. (Eddy, 2021)

Según (Tafur, 2014), uno de los puntos a considerar en la dosis del coagulante es que a menor concentración de coagulante la neutralización de la carga coloidal se verá afectada por lo que la formación de flóculos será menor; mientras que a mayor dosis la formación de flóculos pequeños será mayor por lo que a su vez la sedimentación de estos será mucho más lenta.

3.2.4.2. Dosis adecuada de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$

La concentración del sulfato de aluminio empleada en el tratamiento de aguas varia y depende de varios factores, como la calidad del agua y el proceso del tratamiento. Generalmente, las dosis se encuentran en un rango de 10 a 50 mg/l (miligramos por litro).

Según Gandony (2015), la dosis del sulfato de aluminio oscila entre 10 y 40 mg/l, este rango depende de la turbidez del agua cruda y otros factores. Además, se destaca la importancia de ajustar la dosis mediante prueba de jarras para optimizar el proceso de coagulación y floculación.

Un estudio de la Universidad de Santo Tomas, utilizo un modelo de red neuronal artificial, (ARN) con el fin de determinar la concentración adecuada de sulfato de aluminio. El modelo logro una coagulación efectiva, sugiriendo que la dosis debería oscilar entre 10 y 50 mg/l, dependiendo de las condiciones específicas del agua. (Grazon Barajas & Leon Luque, 2015)

3.2.4.3. RPM en tratamiento de aguas

Las revoluciones por minuto (RPM) son una unidad de medida que expresa la frecuencia o velocidad angular, indicando cuantas veces un objeto realiza una rotación completa en el transcurso de un minuto. (Solutions, 2023)

El tratamiento de aguas residuales ha sido un tema de interés desde las antiguas civilizaciones. Diversos autores han señalado que la velocidad de rotación por minuto (RPM) de los equipos empleados en el tratamiento de aguas puede variar según el tipo de tratamiento y la tecnología empleada. (Salguero, 2011)

Según la OMS (2021), las RPM pueden oscilar entre 30 y 60 para asegurar una mezcla y oxigenación adecuada del agua. En tratamientos físicos, como la sedimentación, las RPM suelen ser menores, alrededor de

10 a 20, para permitir que las partículas se asienten correctamente. En resumen, la velocidad de rotación es un factor crucial en el tratamiento de aguas, y su ajuste depende del tipo de proceso y los objetivos específicos del tratamiento.

3.3. Definición de términos

Mucilago

El mucilago es una sustancia viscosa y gelatinosa que se encuentra en algunas plantas, podríamos encontrar esta sustancia en el café, palta y en el *Aloe vera* donde es más conocido como “gel”. Este mucilago a lo largo de las diferentes investigaciones ha demostrado que tiene propiedades coagulantes y floculantes, las cuales pueden ser útiles y eficaces en el tratamiento de aguas. (Pardo, Vargas, Ruiz, & Gomez, 2019)

Compuestos bioactivos

Estos compuestos son conocidos por tener efectos que benefician a la salud y al medio ambiente y están presentes en las plantas y otros organismos. Hablando específicamente del *Aloe vera*, sus compuestos bioactivos son los polisacáridos y proteínas los cuales les confieren propiedades coagulantes que son útiles para la clarificación del agua. (Briceño, Fuentes, Mendoza, Bolaños, & Caldera, 2016)

Partículas en suspensión

Las partículas en suspensión son pequeñas partículas sólidas que se encuentran dispersas en un medio líquido, como el agua. Estas partículas pueden ser de origen orgánico o inorgánico. Estas pueden causar turbidez en el agua. (Pardo, Moncada, Martínez, & Ayala, 2019)

Partículas coloidales

Estas son partículas muy pequeñas, generalmente tienen un tamaño que va entre 1 nanómetro y 1 micrómetro, estas se encuentran dispersas en un medio líquido; estas partículas tienen cargas eléctricas, las cuales les confieren estabilidad y dificultad en su eliminación, por este motivo las partículas coloidales requieren de coagulantes para su

aglutinación. (Samaniego, Esquivel, Bujaico, & Bujaico, 2020)

Flóculos

La estructura de un floculo se forma por la unión de partículas suspendidas en un medio líquido, como el agua, durante el procedimiento de coagulación y floculación las partículas se aglomeran, se vuelven más grandes y pesadas, lo que facilita su separación del líquido, generalmente por sedimentación. Los flóculos son fundamentales en el tratamiento de aguas para eliminar impurezas y mejorar la claridad del agua tratada. (Rodríguez, Confortti, Pérez, Suárez, & Lobo, 2022)

Soluciones coloidales

Son dispersiones de partículas muy finas presentes en un medio líquido, gaseoso o sólido. Estas partículas coloidales no se sedimentan fácilmente y están suspendidas en el medio ya que tiene un tamaño entre 1 a 1000 nanómetros. (Rodríguez, Confortti, Pérez, Suárez, & Lobo, 2022)

Coadyuvantes de coagulación

Los coadyuvantes de coagulación son sustancias de polímeros sintéticos o mezclas de coagulantes naturales y químicos que se agregan a los coagulantes principales para optimizar la eficiencia del proceso de coagulación-floculación en el tratamiento de aguas. (Pastrana, Solís, Ávila, Laines, & Sánchez, 2023)

Desestabilización de partículas

La desestabilización es el fenómeno mediante el cual se logra desequilibrar las partículas coloides y su aglomeración posterior (Contyquim, 2022)

Aguas Residuales

(Cueva & Pereda, 2020) "Las aguas residuales son aquellas que, tras ser utilizadas en actividades domésticas, industriales o agrícolas, contienen sustancias químicas que se incorporan durante esos procesos y son vertidas en cuerpos de agua" (p.45)

Aguas residuales domesticas

Las aguas residuales de origen domestico provienen de las actividades cotidianas del ser humano. Estas se recolectan a través de los sistemas de alcantarillado o se descargan directamente al ambiente (Castañeda & Flores, 2014).

Lezcano (2016) señala que “las aguas residuales domesticas consisten en flujos de agua que contienen excretas generadas por la población, incluidas las heces y la orina” estas provienen de los hogares y/o de instalaciones comerciales, tanto privadas como públicas.

Por otro lado, López (1985) menciona que estas aguas contienen una gran cantidad de macroorganismos y materia orgánica, además de residuos de jabones, detergentes y grasas. También están presentes gérmenes patógenos, sólidos, fósforo, nitrógeno y otros contaminantes.

Aguas residuales industriales

Según López (1985), este tipo de agua son provienen de los diferentes procesos industriales, estas aguas contienen aceites, productos químicos, metales pesados y ácidos. Debido a la naturaleza de estos contaminantes, estas aguas requieres un tratamiento especializado.

La contaminación del agua por parte de las empresas industriales, presentan una problemática significativa. Sin embargo, no se presenta la debida atención a estas situaciones. (Hernández, 2017)

Tratamiento de aguas residuales

El tratamiento del agua tiene como objetivo mejorar su calidad para que sea apta para diferentes usos, como el consumo humano, las actividades industriales, recreativas y la rehabilitación de ecosistemas acuáticos, como ríos y lagos. (Safety Culture, 2024)

(Cely Calixto, Bonilla Granados, & Carrillo Soto, 2022) Mencionan que el tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de pasos con el objetivo de eliminar diferentes componentes, biológicos, físicos y químicos, esto para poder descontaminar el agua y si se diera el caso poder reutilizarla. El tratamiento de aguas residuales conlleva diferentes pasos, los cuales se detallan brevemente a continuación.

Pre tratamiento: Consiste en la depuración de los sólidos, ya que estos pueden perjudicar los próximos tratamientos.

Tratamiento primario: Se enfoca en disminuir la concentración de sólidos en suspensión y preparar el agua para la siguiente etapa mediante la neutralización y homogenización.

Tratamiento secundario: En esta fase del tratamiento, se eliminan los componentes orgánicos mediante procesos biológicos (aeróbicos y anaeróbicos).

Tratamiento terciario: El objetivo de esta fase es la reutilización del agua, para lo cual se aplican diferentes procesos que eliminan agentes patógenos, amoníaco y fosforo, con el fin de mejorar su calidad. Existen diferentes tipos de tratamiento terciario, entre ellos: la eliminación de sólidos en suspensión, microtamizado, filtración, coagulación y osmosis inversa.

Turbidez

La turbidez es una propiedad física de los fluidos y se refiere a la propiedad óptica del agua que describe su claridad o turbidez. A diferencia del color, la atención no se centra en el tono, sino en la pérdida de claridad provocada por la existencia de partículas en suspensión o sustancias coloidales. (DIGIMED, 2023)

NTU:

Es la abreviatura de “Nephelometric Turbidity Unit”, y es conocida como la unidad en la que se medimos la turbidez de un fluido o cuando hay existencia de partículas en suspensión en el agua, así mismo se puede afirmar que a mayor concentración de sólidos en suspensión en el agua, mayor será su turbidez, ya que la presencia de estos sólidos provoca un aumento en la opacidad del agua (TECNOCONVERTING, 2017)

Turbidímetro:

Se trata de un dispositivo que analiza ópticamente la concentración de sustancias en un líquido. Está diseñado para medir partículas suspendidas en líquidos o gases disueltos, y su principio de funcionamiento es detectar estas partículas mediante una fuente de luz y un fotodetector colocado a 90 grados del haz original. (HACH, 2024)

IV. Metodología

4.1. Tipo y nivel de investigación

4.1.1. Tipo de investigación

Según Tamayo (2007), “la metodología cuantitativa involucra el empleo de técnicas estadística, prueba teorías existentes mediante un conjunto de hipótesis derivadas de estas teorías. Es fundamental obtener una muestra que sea representativa del fenómeno o población en investigación, ya sea mediante selección aleatoria o discriminada”.

Por cuanto la presente investigación es de naturaleza cuantitativa, ya que parte de una teoría previa que sirve como base inicial. Además, tiene como objetivo poner a prueba hipótesis mediante la recolección y análisis de datos, utilizando conceptos y variables que pueden ser cuantificados mediante métodos estadísticos.

4.1.2. Nivel de alcance de la investigación

Según Hernández Sampieri (2008) el alcance explicativo se caracteriza por establecer relaciones de causa y efecto entre las variables, las cuales son detalladas y estructuradas. Aquí se identifican las variables independientes (causas) y las variables dependientes (efectos), permitiendo formular hipótesis que buscan establecer relaciones causales entre ellas.

En este contexto, este estudio adopta un enfoque explicativo, dado que busca establecer relaciones de causa y efecto entre sus variables. En particular, se propone analizar cómo el coagulante de *Aloe vera* con sulfato de aluminio (variables independientes) afecta la clarificación de las aguas del río Huatanay (variable dependiente).

Diseño de la investigación

Respecto al diseño de la investigación, esta se caracterizará por tener un método experimental.

Según Arias (2012) en método experimental “es un procedimiento que implica aplicar condiciones, estímulos o tratamientos específicos (variable independiente) a un grupo u objeto, con la finalidad de observar y analizar qué respuestas o efectos se producen (variable dependiente)”. (p, 480).

La investigación se lleva a cabo mediante la extracción de un coagulante a partir de *Aloe vera* combinado con sulfato de aluminio, con el objetivo de clarificar las aguas del río Huatanay; siendo evaluada la acción que causa la variable independiente (sulfato de aluminio y *Aloe vera*) sometida a pruebas sobre la dependiente (clarificación de las aguas).

Resumen del diseño

Tabla 5

Resumen del diseño factorial

Factores:	2	Diseño de la base:	2; 4
Corridas:	12	Réplicas:	2
Bloques:	2	Puntos centrales (total):	4

Nota: la presente tabla muestra el resumen del diseño factorial a emplearse, la cual contiene 2 factores, 12 corridas, 2 bloques, 4 puntos centrales y 2 réplicas para asegurar un análisis más detallado de los factores.

Tabla 6*Diseño de investigación*

OrdenEst	OrdenCorrida	PtCentral	Bloques	<i>Aloe vera</i>	$Al_2(SO_4)_3$
1	1	1	1	10 mg/l	20 mg/l
2	2	1	1	20 mg/l	20 mg/l
3	3	1	1	10 mg/l	30 mg/l
4	4	1	1	20 mg/l	30 mg/l
5	5	0	1	15 mg/l	25 mg/l
6	6	0	1	15 mg/l	25 mg/l
7	7	1	2	10 mg/l	20 mg/l
8	8	1	2	20 mg/l	20 mg/l
9	9	1	2	10 mg/l	30 mg/l
10	10	1	2	20 mg/l	30 mg/l
11	11	0	2	15 mg/l	25 mg/l
12	12	0	2	15 mg/l	25 mg/l

Nota: la tabla muestra el diseño experimental empleado, donde se observa las cantidades en miligramos por litro de las dosis del sulfato de aluminio y *Aloe vera* con sus respectivas replicas.

Sub Tipo

Además, la presente investigación tiene un sub tipo experimental puro que presenta el manejo de una o más variables independientes. Esta manipulación tiene como objetivo producir un efecto que debe medirse específicamente con respecto a la variable dependiente. El principal provecho de este diseño es el estricto control de validez, que mejora la solidez del estudio. (Crehana, 2023)

En la presente investigación se emplea un diseño factorial, que según (Fernandez, 2020) el diseño factorial se utiliza para experimentos con dos o más factores, donde se investiga todas las combinaciones posibles entre los niveles de los factores.

En este sentido el diseño factorial a emplearse es el $2k$ con puntos centrales en el cual se estudia el efecto de dos factores donde se consideran dos niveles para cada uno, en este caso el primer factor es el *Aloe vera* y el segundo factor es el sulfato de aluminio, ambos con dos niveles y puntos centrales. Los puntos centrales son importantes para encontrar curvatura en el modelo, así como hacer un análisis más detallado de los factores.

$2k$ Con puntos centrales

Donde:

2 = Dos Factores

K = Dos niveles

4.2. Ámbito temporal y espacial

4.2.1. Temporal

El actual trabajo de estudio comprendió un lapso de tiempo de 13 meses, desde el mes de agosto del 2023 hasta septiembre del 2024, durante el cual se llevaron a cabo diversas etapas cruciales para su desarrollo. Este lapso de tiempo se destinó a la composición del proyecto de tesis, la elaboración del informe de investigación y la ejecución de actividades de laboratorio con el fin de cumplir de manera eficaz con los objetivos programados en el estudio.

Durante este período, se planificó y ejecutó las actividades necesarias para la compilación y evaluación de los datos, y la obtención de resultados concluyentes. Esta estructura temporal proporcionó el marco indispensable para el desarrollo de la investigación, asegurando la coherencia y la efectividad en la obtención de los objetivos planteados en el transcurso del proceso investigativo.

4.2.2. Espacial

El análisis de estudio presente se concentra exclusivamente en el río Huatanay, ubicado en la región del Cusco; las muestras fueron tomadas en tres puntos a lo largo del curso del río.

Ubicación:

- Región : Cusco
- Provincia : Cusco
- Río : Huatanay

Figura 4

Ubicación espacial del análisis de estudio



Ubicación Geográfica por punto de muestreo

- El primer punto se ubicó en la urbanización Villa Unión Huancaro del distrito de Santiago.

Coordenadas UTM

- Este (X) : 177227.507
- Norte (Y) : 8501161.397
- Altitud : 3414.8 msnm

Figura 5

Ubicación geográfica del punto 01 de muestreo



Nota: La figura muestra la ubicación geográfica del primer punto de muestreo.

- El segundo punto se ubicó en la Av. Costanera del distrito de San Sebastián.

Coordenadas UTM

- Este (X) : 187454
- Norte (Y) : 8500229
- Altitud : 3266 msnm.

Figura 6

Ubicación geográfica del punto 02 de muestreo



Nota: La figura muestra la ubicación geográfica del segundo punto de muestreo.

- El tercer punto se ubicó por el puente de Kayra del distrito de San Jerónimo

Coordenadas UTM

- Este (X) : 188955
- Norte (Y) : 8499796
- Altitud : 3240 msnm.

Figura 7

Ubicación geográfica del punto 03 de muestreo



Nota: La figura muestra la ubicación geográfica del tercer punto de muestreo.

El muestreo se realizó a intervalos regulares, los puntos de muestreo seleccionados se ubicaron en los distritos de Santiago, San Sebastián y San Jerónimo, cubriendo así una zona representativa de la región de estudio.

4.3. Población muestra y muestreo

4.3.1. Población

Según Pineda (1994), población se define como: “el grupo de elementos o individuos que son el objeto de un estudio, y en el que se puede incluir personas, registros médicos, animales, eventos como accidentes o nacimientos, entre otros recursos importantes.”

Por otro lado, Arias (2012) especifica que “la población es un conjunto de individuos, ya sea grande o pequeño, que comparten características específicas y que proporciona la base sobre la cual se extraerán conclusiones significativas en una investigación.” En este estudio, la población está constituida por las aguas del río Huatanay en Cusco.

4.3.2. Muestra

Según Palella y Martins (2008), "Una muestra se entiende como una parte o subconjunto de la población, que debe reflejar de manera exacta las características de esta para asegurar la mayor precisión posible." (p.93).

En este estudio, se tomó en consideración el “Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales” (ANA 2016). La muestra está formada por tres puntos específicos de recolección a lo largo del recorrido del río Huatanay; estos puntos están ubicados en los distritos de Santiago, San Sebastián y San Jerónimo.

4.3.3. Muestreo

Según Cuesta (2009), “el muestreo no probabilístico es una técnica en la que las muestras se obtienen sin garantizar que todos los miembros de la población tengan la misma probabilidad de ser escogidos”. En una muestra no probabilística, los sujetos suelen seleccionarse según su accesibilidad o según el criterio personal e intencional del investigador. Por lo tanto, en esta investigación se utiliza el método de muestreo no probabilístico por conveniencia, ya que la recolección de muestras se realiza según el criterio de accesibilidad determinado por los investigadores.

4.4. Instrumentos

Para la toma de muestras se procedió de acuerdo al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (ANA, 2016).

Ubicación de los tres puntos de muestreo en el río Huatanay de la provincia de Cusco

Los puntos de muestreo están ubicados en las siguientes coordenadas:

Tabla 7

Ubicación de los puntos de muestreo

PUNTO 01: Urb. Villa		N 8501161.397
Unión Huancaro		E 177227.507
PUNTO 02: Av.		N 8500229
Costanera	Coordenadas UTM	E 187454
PUNTO 03: Puente		N 8499796
Kayra		E 188955

Nota: la tabla muestra las coordenadas UTM de los 3 puntos muestreados.

Ambientes de trabajo

Las pruebas de jarras y medición de los parámetros fueron llevadas a cabo en el laboratorio de análisis de suelos, agua y aire de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Tecnológica de los Andes, ubicada en Cusco.

Figura 8

Ubicación geográfica del balotario de la Universidad Tecnológica de los Andes



Fuente: de Google Earth

Equipos y materiales

Tabla 8

Equipos utilizados para la toma de muestra

Equipos	Materiales
GPS	Galoneras de agua
Cámara fotográfica	Jarra de 1 litro
	Guantes
	Mascarilla
	Libreta de campo
	Lapicero
	Guardapolvo

Tabla 9*Equipos, materiales y reactivos utilizados en el laboratorio*

Materiales	Equipos	Insumos
Guantes	Cámara Fotográfica	Sulfato de aluminio
Guarda polvo	Balanza Analítica	<i>Aloe vera</i>
Mascarilla	Equipo De Turbidímetro	Agua Destilada
Gorro	Agitador magnético	Muestras Del Rio Huatanay
Baquetas	Medidor multiparámetro	
Luna de reloj	Test de jarras	
Vasos precipitado 200 ml, 500 ml y 1 litro		
Viales		
Matraz Erlenmeyer de 250 ml		
Libreta De Campo		
Pinzas		
Cucharilla de pasado		

Técnicas de recolección de datos

- Observación directa
- Plan de muestreo
- Formato de registro de datos
- Formulario de recolección de datos en campo
- Formulario de recolección de datos en laboratorio

4.5. Procedimiento

Según Tamayo y Tamayo (2012), "Se define como método científico a una serie de pasos y procedimientos utilizados para formular problemas científicos, probar hipótesis y evaluar herramientas de investigación." (p.30).

Por otro lado, Bonilla y Rodríguez (2005), citado en Bernal (2010, p.58), "El método científico comprende una serie de principios, directrices y normativas utilizados para investigar y resolver problemas de estudio".

Para, Bunge (1970), El método científico es una característica distintiva tanto de la ciencia teórica como aplicada. Se sostiene que la ausencia de método científico equivale a la ausencia de ciencia.

Así mismo, Arias (2012), menciona que el método científico consiste en una serie de técnicas, procedimientos, y pasos utilizados con el objetivo de plantear y abordar dificultades de investigación a través de la comprobación o validación de hipótesis.

En este contexto, este estudio busca seguir una secuencia lógica para abordar un problema específico, utilizando la comprobación de hipótesis mediante los instrumentos de investigación propuestos en este trabajo.

a) De la obtención de las muestras en el río Huatanay – provincia de Cusco, departamento de Cusco.

Las muestras fueron recolectadas de acuerdo al "Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales" (ANA 2016). El área de estudio abarcó el río Huatanay, donde se ubicó tres puntos específicos a lo largo de su curso, dentro de la provincia de Cusco.

Se procedió a coleccionar la muestra de tipo integrada basándonos en el "Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales" (ANA 2016) que consiste en la homogenización de muestras puntuales tomadas en diferentes puntos del río simultáneamente.

A continuación, se explica la secuencia que se siguió para la toma de muestra.

Las muestras fueron tomadas en los distritos de Santiago, San Sebastián y San Jerónimo a las 12:00 pm simultáneamente.

Puntos de muestreo

a) **Muestra 01:** Urbanización Villa Unión Huancaro del distrito de Santiago:

Zona: 19L

Este:177227.507

Norte: 8501161.397

Figura 9

Urbanización Villa Unión Huancaro del distrito de Santiago



Nota: la figura muestra el primer punto de donde se recolectó la primera muestra de agua ubicado en la Villa Unión Huancaro del distrito de Santiago.

b) **Muestra 02:** Av. Costanera del distrito de San Sebastián:

Zona: 19L

Este: 187454

Norte: 8500229

Figura 10

Av. Costanera del distrito de San Sebastián



Nota: la figura muestra el segundo punto de donde se recolectó la segunda muestra de agua ubicado en la Avenida Costanera del distrito de San Sebastián.

c) **Muestra 03:** Puente de Kayra del distrito de San Jerónimo:

Zona: 19L

Este: 188955

Norte:8499796

Figura 11

Puente de Kayra del distrito de San Jerónimo



Nota: la figura muestra el tercer y último punto de donde se recolectó la tercera muestra de agua ubicado en el puente Kayra del distrito de San Jerónimo.

Para realizar el muestreo, se comenzó con una planificación preliminar en gabinete para organizar el trabajo. Este proceso abarca: a localización de los puntos de muestreo, accesos a los sitios, verificación, identificación de la zona de muestreo mediante herramientas digitales (como Google Earth) y otros aspectos logísticos necesarios para la toma de muestra.

Después del trabajo de gabinete, se realizaron visitas in situ a los puntos de muestreo para verificar la información recopilada previamente y preceder con la toma de muestras. Para ello, se siguieron los siguientes pasos:

Se comenzó con el reconocimiento del entorno, seguido por el rotulado y etiquetado de los contenedores utilizados. Luego, se georreferenció el punto de muestreo y se colocó el contenedor en un lugar adecuado. Se extrajo un volumen de 12 litros de

agua en cada punto de muestreo con el propósito de realizar las pruebas de eficiencia. Las muestras recolectadas se homogenizaron adecuadamente para finalmente, etiquetarlas y cerrarlas. Este proceso se realizó considerando lo determinado en el por el “Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales” ANA 2016 (págs. 30-31).

Figura 12
Recolección de muestras



Nota: las figuras muestran la toma y recolección de muestras en los diferentes puntos de muestreo.

b) De la obtención del coagulante de *Aloe vera*

En cuanto a la obtención del gel de *Aloe vera* se utilizó la metodología usada por Olivera (2022); siguiendo los pasos mostrados a continuación:

Selección del tipo de sábila:

La hoja de sábila seleccionada corresponde a la especie *Aloe barbadensis Miller*. Los parámetros morfológicos y físicos considerados incluyen una penca de sábila de 30 cm de longitud y 10 cm de ancho, la cual no presenta visualmente signos de estrés hídrico, enfermedades como hongos o presencia de gorgojos, entre otros.

Figura 13
Penca de Aloe vera



Nota: la figura muestra la penca de *Aloe vera* seleccionada para la extracción del gel.

Extracción de espinas, remojo del *Aloe vera* y obtención del gel.

Primero, se procedió a eliminar las espinas del *Aloe vera* utilizando un cuchillo metálico de borde liso. Posteriormente, se sumergió en un recipiente de metal con agua corriente, dejándola en remojo durante aproximadamente 24 horas.

Para la obtención del gel se raspo la hoja utilizando un cuchillo metálico, cuidando de no dañar la hoja en el proceso.

Figura 14

Extracción de espinas del Aloe vera

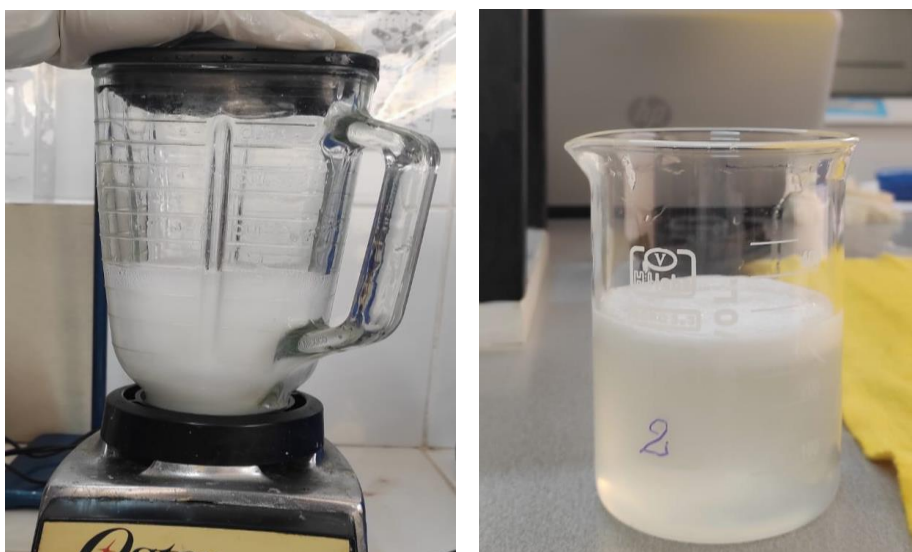
**Mezcla del gel *Aloe vera* con agua destilada y filtración.**

En este procedimiento, se midieron 150g de gel de *Aloe vera* utilizando una balanza. Luego, la cantidad de gel se completó con 1 litro de agua destilada en una licuadora, donde se mezcló de manera homogénea durante 20 segundos.

Finalmente, para obtener el coagulante de *Aloe vera*, se procedió a filtrar el gel licuado, preparándolo para su uso en la prueba de jarras.

Figura 15

Proceso para la obtención del coagulante de Aloe vera



Nota: las figuras muestran el proceso para la obtención del coagulante de Aloe vera.

c) De la preparación del sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

Para la obtención del coagulante de sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ se tomó en consideración el procedimiento usado por Barajas y León (2015).

La aplicación del coagulante al tratamiento se realizó en forma líquida por lo que fue necesaria la preparación de este.

Para comenzar este proceso, se pesaron 5g de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ en la balanza analítica y se mezclaron 500 ml litro de agua destilada en un agitador magnético, hasta obtener una mezcla homogénea.

Figura 16

Pesaje del sulfato de aluminio y mezcla con agua destilada



Nota: las figuras muestran el pesaje del sulfato de aluminio en la balanza analítica y la posterior mezcla con agua destilada.

d) Aplicación de la prueba de jarras

Para la aplicación de la prueba de jarras se tomó en consideración las velocidades de agitación según la investigación y método de Letterman y Villegas. Este método consistió en una mezcla rápida durante 15 segundos a 200 rpm, con el fin de desestabilizar las cargas superficiales de las partículas presentes, para luego disminuir la velocidad a una agitación de 25 rpm durante 25 minutos para promover la formación de flóculos. Finalmente, se dejó sedimentar la mezcla durante 30 minutos.

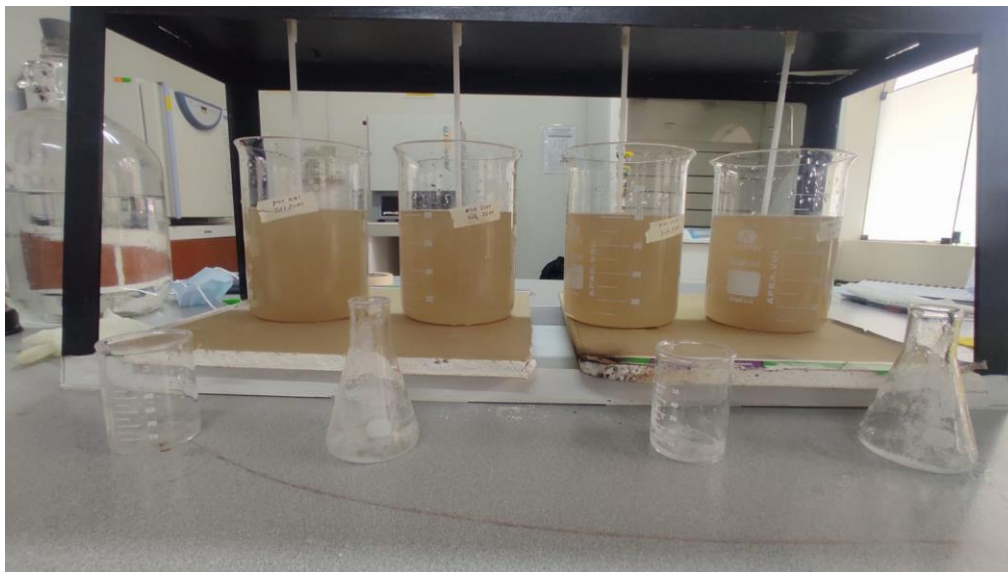
Procedimiento para la prueba de jarras

En base al diseño experimental propuesto para el cumplimiento de los objetivos se emplearon dosis a diferentes concentraciones mostrando en la tabla N°5. Para proceder a emplear la prueba de jarras se siguió con el siguiente procedimiento:

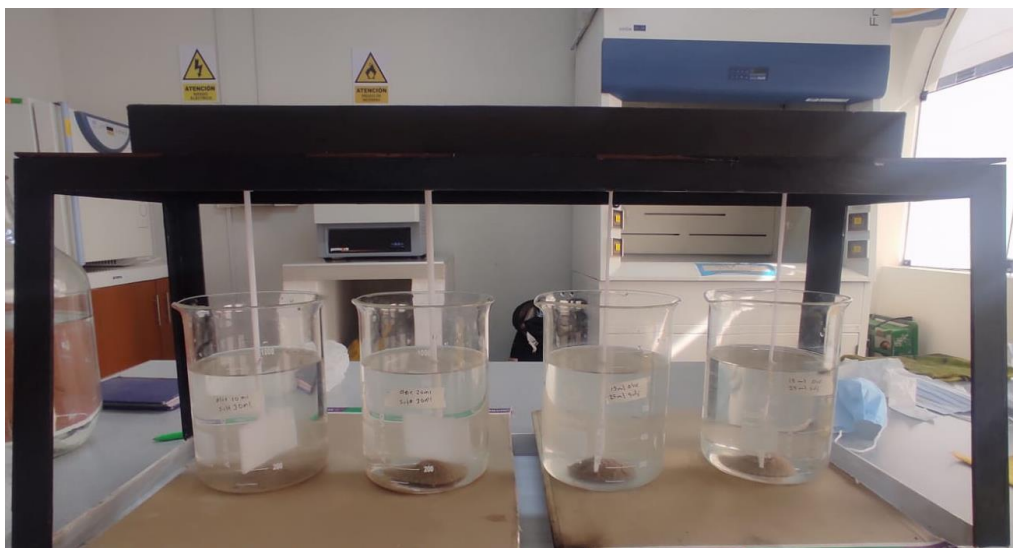
- Primero se colocó las muestras de agua debajo de las paletas de agitación debidamente ajustadas dentro de los vasos precipitados de 1 litro cada una.
- Se agregó el coagulante de sulfato de aluminio a las muestras de agua para luego configurar la prueba de jarras a una velocidad de 200 rpm por 15 segundos.
- Después de transcurrido los 15 segundos de agitación rápida, se incorporó la solución de *Aloe vera* a las muestras de agua con sulfato de aluminio y se configuro la prueba de jarras a una velocidad de agitación lenta de 25 rpm por 25 minutos.
- Transcurrido el tiempo de agitación lenta y ya habiendo ocurrido la formación de flóculos en el proceso de coagulación se dejó sedimentar la muestra por 30 minutos.

Figura 17

Proceso de coagulación y floculación



Nota: la presente figura muestra el inicio del proceso de coagulación y floculación en la prueba de jarras, junto con la dosificación a emplearse.



Nota: la figura evidencia la formación de flóculos en las muestras obtenidas de las aguas del río Huatanay.

Análisis de laboratorio para las muestras a procesar

El análisis de los parámetros fisicoquímicos se realizó en el laboratorio de la Universidad Tecnológica de los Andes, específicamente en la Facultad de Ingeniería-Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Aire. El propósito fue evaluar como el coagulante derivado del sulfato de aluminio y *Aloe vera* afecta en la reducción de la turbidez en las aguas del río Huatanay, con el fin de establecer la concentración óptima para lograr resultados eficaces. Además, se detalla el proceso para obtener los resultados.

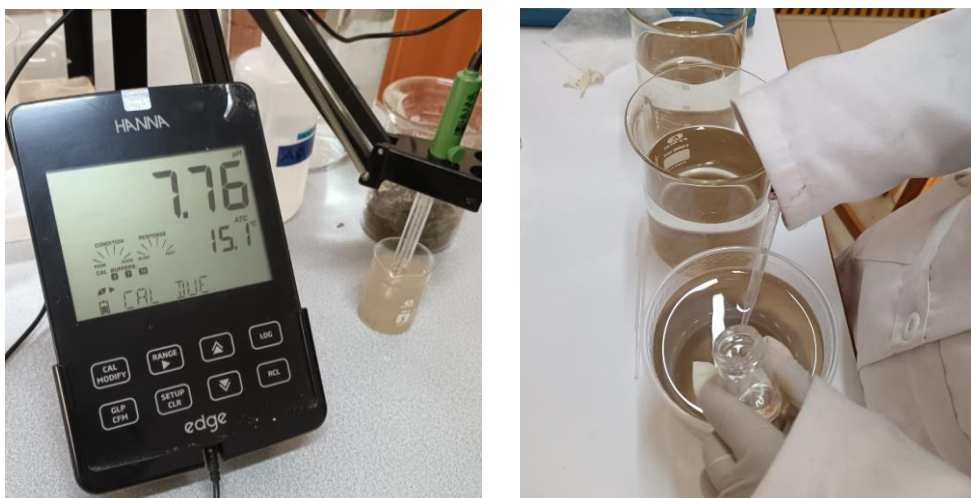
Previamente a someter la muestra a la prueba de jarras se realizó una lectura inicial de los siguientes parámetros.

Una vez transcurrido los 30 minutos de sedimentación se llevó a cabo la lectura final de turbidez (después de aplicado el tratamiento). Se inició tomando una pequeña muestra del sobrenadante con una pipeta desechable de cada uno de los vasos precipitados, para seguidamente realizar la lectura en un turbidímetro previamente calibrado; este dispositivo proporciona los resultados en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU), que indican el porcentaje de luz que atraviesa la solución, permitiendo así cuantificar la turbidez de manera precisa.

Este procedimiento se realizó en repetidas ocasiones hasta completar las corridas necesarias propuestas en el diseño de investigación; los resultados obtenidos de este proceso fueron utilizados para el procedimiento estadístico.

Figura 18

Lectura inicial de los parámetros fisicoquímicos



Nota: las figuras muestran la lectura inicial de los parámetros y la toma de muestra del sobrenadante para realizar la lectura de la turbidez final.

4.6. Análisis de datos

Para el análisis y procesamiento de datos, se emplearon diversas herramientas informáticas especializadas. Se utilizó Microsoft Excel 2021 versión 18.0 para obtener los resultados descriptivos de los datos experimentales. Para llevar a cabo el ANOVA factorial y las pruebas post-hoc que evaluaron el efecto del *Aloe vera* en conjunto con sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ en la disminución porcentual de la turbidez del agua, se utilizó el software SPSS 27. Finalmente, para realizar la regresión factorial de la variable de remoción de la turbidez con las variables *Aloe vera* y sulfato de aluminio, se empleó el software Minitab 19.

Para evaluar la normalidad, se aplicó el test de Shapiro-Wilks, que verifica la hipótesis nula de que una muestra sigue una distribución normal. Se utilizó un nivel de significancia de 0,05, con una hipótesis alternativa que plantea que la muestra no proviene de una distribución normal.

Tenemos:

H₀: La variable presenta una distribución es normal

H₁: La variable no presenta una distribución normal.

Toma de decisión:

ρ valor $> 0,05$: No rechazar H₀ (normal)

ρ valor $< 0,05$: Rechazar H₀ (normal)

4.7. Consideraciones éticas

Este estudio se adhiere a principios éticos fundamentales de equidad, honestidad y respeto por los derechos de propiedad intelectual. A lo largo del texto se incluyen citas y conceptos de diversos autores, proporcionando las referencias completas siguiendo el estilo APA. Este enfoque se adopta para dar crédito al autor original, respetar sus derechos de autor y dirigir a los lectores a la fuente original si desean profundizar en el tema

V. Resultados y discusión

5.1. Resultados

Caracterización inicial de las aguas del río Huatanay

La tabla N°10 muestra los resultados del análisis de turbidez, pH y temperatura inicial (antes de aplicar el coagulante) (Ver Anexo D, Informe de ensayo de laboratorio).

Tabla 10

Lectura inicial de parámetros

Parámetros	Lectura inicial	Unidad
Temperatura	15.2	C°
pH	7.76	unidades
Turbidez	170.9	NTU

Nota: Los resultados obtenidos del análisis de laboratorio muestran la lectura inicial de la turbidez, temperatura y pH. Donde se puede observar que el pH está dentro de los parámetros para un adecuado proceso de coagulación y floculación.

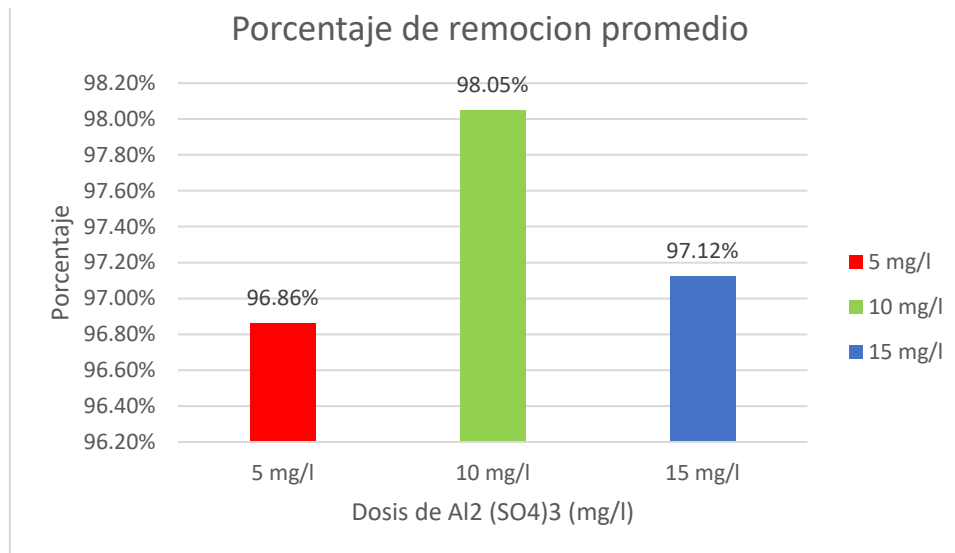
Tabla 11

Porcentaje de la remoción de la turbidez según la cantidad de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$

Bloque	Dosis de $Al_2(SO_4)_3$	Turbidez inicial	Turbidez final promedio	% de Remoción promedio
B1	5 mg/l		5.3600	96.86%
B2	10 mg/l	170.9	3.3275	98.05%
B3	15 mg/l		4.9250	97.12%

Figura 19

Gráfico de barras del porcentaje de la remoción de la turbidez según la cantidad de sulfato de aluminio



Según la tabla 3, el mayor porcentaje promedio de remoción de turbidez es del 98.05%, logrado con 10 mg/l de sulfato de aluminio (Al₂(SO₄)₃). Con 15 mg/l de este compuesto, se alcanza un 97.12% de remoción de turbidez, mientras que con 5 mg/l se obtiene un 96.86%.

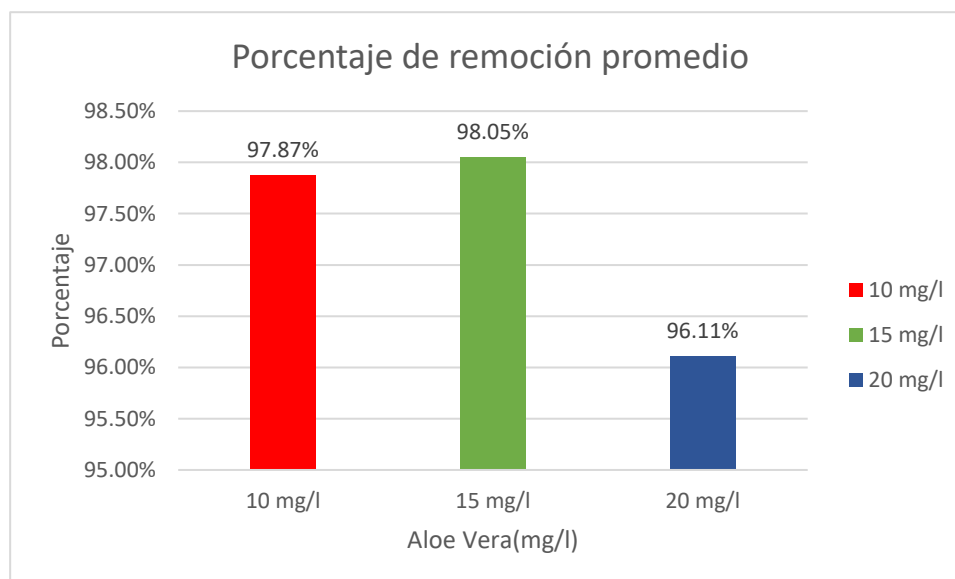
Tabla 12

Porcentaje de la remoción de la turbidez según la cantidad de Aloe vera

Tratamiento	Dosis de Aloe vera	Turbidez inicial	Turbidez final promedio	% de Remoción promedio
T1	10 mg/l		3.6350	97.87%
T2	15 mg/l	170.9	3.3275	98.05%
T3	20 mg/l		6.6500	96.11%

Figura 20

Gráfico de barras del porcentaje de la remoción de la turbidez según la cantidad de Aloe vera



En la tabla 1 se observa que el mayor porcentaje promedio de remoción de turbidez, del 98.05%, se alcanza utilizando 15 mg/l de Aloe vera. Al emplear 10 mg/l de Aloe vera, se obtiene un 97.87% de remoción de turbidez, mientras que con 20 mg/l se logra una remoción del 96.11%.

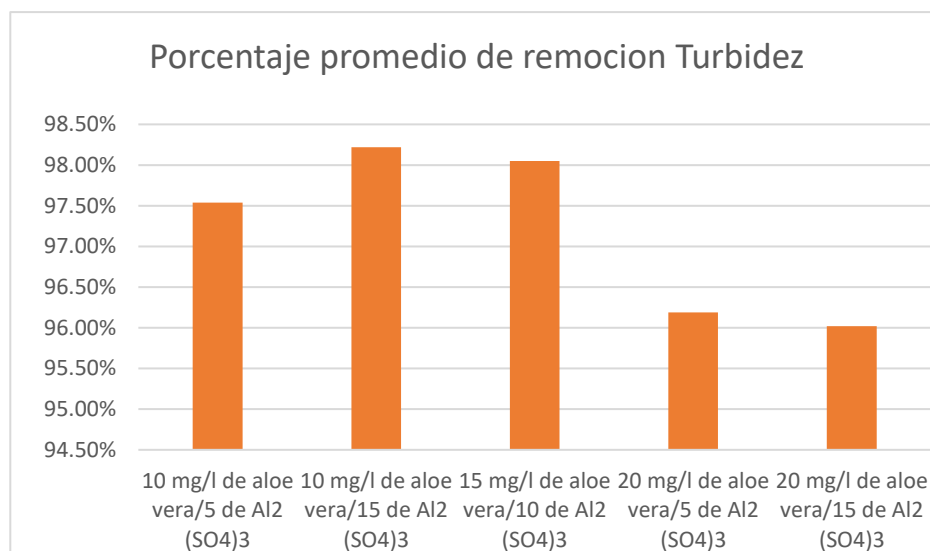
Tabla 13

Porcentaje de remoción promedio de la turbiedad según la cantidad de Aloe vera y sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$

Al_2 $(SO_4)_3$ (mg/l)	Aloe vera (mg/l)					
	10 mg/l		15 mg/l		20 mg/l	
	Turbiedad	4.215	Turbiedad	0	Turbiedad	6.505
5 mg/l	% de remoción	97.54%	% de remoción	0%	% de remoción	96.19%
	Turbiedad	0	Turbiedad	3.328	Turbiedad	0
10 mg/l	% de remoción	0%	% de remoción	98.05%	% de remoción	0%
	Turbiedad	3.055	Turbiedad	0	Turbiedad	6.795
15 mg/l	% de remoción	98.22%	% de remoción	0%	% de remoción	96.02%

Figura 21

Gráfico de barras del porcentaje de la remoción de la turbidez según la cantidad de Aloe vera y sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$



- Con una combinación de 10 mg/l de Aloe vera y 5 mg/l de sulfato de aluminio, se obtiene una turbidez final de 4.215 NTU, logrando un porcentaje de remoción de turbidez del 97.54%.
- Al emplear 10 mg/l de Aloe vera junto con 15 mg/l de sulfato de aluminio, se alcanza una turbidez final de 3.055 NTU, con un porcentaje de remoción de turbidez del 98.22%.
- La combinación de 15 mg/l de Aloe vera y 10 mg/l de sulfato de aluminio resulta en una turbidez final de 3.328 NTU, con un porcentaje de remoción de turbidez del 98.05%.
- Utilizando 20 mg/l de Aloe vera y 5 mg/l de sulfato de aluminio, se obtiene una turbidez final de 6.505 NTU, logrando un porcentaje de remoción de turbidez del 96.19%.
- Al combinar 20 mg/l de Aloe vera con 15 mg/l de sulfato de aluminio, se observa una turbidez final de 6.795 NTU, con un porcentaje de remoción de turbidez del 96.02%.

Prueba de Hipótesis

Prueba de normalidad del porcentaje de remoción de turbiedad

H_1 : La distribución de los datos de la variable no siguen una distribución normal.

H_0 : La distribución de los datos de la variable siguen una distribución normal.

Regla de decisión

Si $p > 0.05$ se acepta la H_0

Si $p \leq 0.05$ se rechaza la H_0

Tabla 14

Prueba de normalidad del porcentaje de remoción de turbiedad según la variable Aloe vera

Pruebas de normalidad

		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Aloe vera	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Remocion	10 mg/l	,282	4	.	,821	4	,146
	15 mg/l	,390	4	.	,772	4	,060
	20 mg/l	,238	4	.	,916	4	,514

a. Corrección de significación de Lilliefors

Según la prueba de Shapiro-Wilk, las significancias obtenidas para las diferentes dosis de *Aloe vera* (mg/l) son mayores que el nivel de significancia $\alpha = 0.05$. Esto indica que las distribuciones son normales, lo que permite aplicar la prueba paramétrica de ANOVA de dos factores.

Tabla 15

Prueba de normalidad del porcentaje de remoción de turbiedad según la variable sulfato de aluminio

<i>Pruebas de normalidad</i>							
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Al ₂ SO ₄	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Remocion	5 mg/l	,294	4	.	,804	4	,110
	10 mg/l	,390	4	.	,772	4	,060
	15 mg/l	,295	4	.	,814	4	,130

a. Corrección de significación de Lilliefors

Según la prueba de Shapiro-Wilk, las significancias obtenidas para las distintas dosis de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ son mayores que el nivel de significancia $\alpha = 0.05$. Esto indica que las distribuciones son normales, lo cual permite aplicar la prueba paramétrica de ANOVA de dos factores.

Prueba de ANOVA Factorial del porcentaje de remoción de turbiedad según el *Aloe vera* y sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$

Para el factor *Aloe vera* (mg/l):

H_0^T : No existe diferencia significativa en el porcentaje de remoción de Turbiedad debido a la cantidad de *Aloe vera*

H_1^T : Existe diferencia significativa en el porcentaje de remoción de Turbiedad debido a la cantidad de *Aloe vera*

Para el factor sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ (mg/l):

H_0^B : No existe diferencia significativa en el porcentaje de remoción de Turbiedad debido a la cantidad de Sulfato de aluminio

H_1^B : Existe diferencia significativa en el porcentaje de remoción de Turbiedad debido a la cantidad de sulfato de aluminio.

Para la interacción:

H_0^{AB} : No existe interacción entre la Cantidad de *Aloe vera* y la cantidad de sulfato de aluminio

H_1^{AB} : Existe interacción entre la Cantidad de *Aloe vera* y la cantidad de sulfato de aluminio

Regla de decisión

Si $p > 0.05$ se acepta la H_0

Si $p \leq 0.05$ se rechaza la H_0

Tabla 16

Cuadro ANOVA Factorial del porcentaje de remoción de turbiedad según el *Aloe vera* y sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$

<i>Pruebas de efectos inter-sujetos</i>					
Variable dependiente: Porcentaje de remoción de la turbidez					
	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Origen					
Modelo	9,722 ^a	4	2,430	108,810	,000
Modelo corregido					
Intersección	112834,304	1	112834,304	5051450,274	,000
Av	6,225	1	6,225	278,673	,000
Sa	,130	1	,130	5,801	,047
av * sa	,360	1	,360	16,114	,005
Error	,156	7	,022		
Total	113722,323	12			
Total corregido	9,878	11			

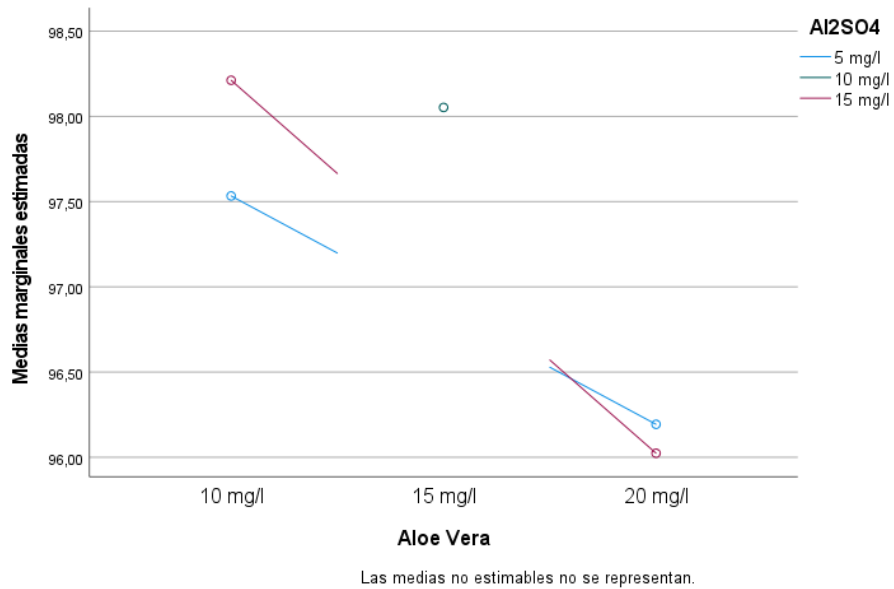
a. R al cuadrado = ,984 (R al cuadrado ajustada = ,975)

- Con un nivel de confianza del 95%, se observa una diferencia significativa en el porcentaje de remoción de turbidez en función de las distintas dosis de *Aloe vera* (mg/l).
- Con un nivel de confianza del 95%, se evidencia una diferencia significativa en la remoción de turbidez debido a las diversas dosis de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ (mg/l).

- Con un nivel de confianza del 95%, se observa una interacción significativa entre las variables *Aloe vera* y sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (mg/l).

Figura 22

Gráfico de interacción entre las variables Cantidad de Aloe vera y sulfato de aluminio



El gráfico de interacción muestra que, a medida que aumentan las cantidades de Aloe vera y de sulfato de aluminio, el porcentaje de remoción de turbidez también incrementa.

Prueba de Post-Hoc para el ANOVA Factorial

Figura 23

Prueba de Tukey para la remoción de la turbidez según la variable Aloe vera

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Porcentaje de remoción de la turbidez

HSD Tukey

(I) Aloe vera	(J) Aloe vera	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
10 mg/l	15 mg/l	-,1799	,10568	,270	-,4912	,1313
	20 mg/l	1,7642*	,10568	,000	1,4530	2,0754
15 mg/l	10 mg/l	,1799	,10568	,270	-,1313	,4912
	20 mg/l	1,9441*	,10568	,000	1,6329	2,2554
20 mg/l	10 mg/l	-1,7642*	,10568	,000	-2,0754	-1,4530
	15 mg/l	-1,9441*	,10568	,000	-2,2554	-1,6329

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,022.

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

A un nivel de confianza del 95% se observa que no existe diferencia significativa en el porcentaje de remoción de la turbidez debido a las cantidades de *Aloe vera* de 10 y 15 mg/l.

Tabla 17

Prueba de Tukey para la remoción de la turbidez según la variable sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Porcentaje de remoción de la turbidez

HSD Tukey

(I)	(J)	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Al ₂ SO ₄ 5 mg/l	Al ₂ SO ₄ 10 mg/l	-1,1893*	,10568	,000	-1,5005	-,8781
	Al ₂ SO ₄ 15 mg/l	-,2545	,10568	,104	-,5658	,0567
10 mg/l	5 mg/l	1,1893*	,10568	,000	,8781	1,5005
	15 mg/l	,9348*	,10568	,000	,6235	1,2460
15 mg/l	5 mg/l	,2545	,10568	,104	-,0567	,5658
	10 mg/l	-,9348*	,10568	,000	-1,2460	-,6235

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,022.

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

-
- A un nivel de confianza del 95% se observa que no existe diferencia significativa en el porcentaje de remoción de la turbidez debido a las cantidades de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ de 5 mg/l y 15mg/l.

Comparación de las concentraciones de 10mg/l de *Aloe vera* con 15mg/l de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y 15mg/l de *Aloe vera* con 10 mg/l de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$

H_1 : Existe diferencia en las concentraciones de 10mg/l de *Aloe vera* con 15mg/l de $Al_2(SO_4)_3$ y 15mg/l de *Aloe vera* con 10 mg/l de $Al_2(SO_4)_3$

H_0 : No existe diferencia en las concentraciones de 10mg/l de *Aloe vera* con 15mg/l de $Al_2(SO_4)_3$ y 15mg/l de *Aloe vera* con 10 mg/l de $Al_2(SO_4)_3$

Tabla 18

*Comparación de las concentraciones de 10mg/l de *Aloe vera* con 15mg/l de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y 15mg/l de *Aloe vera* con 10 mg/l de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$*

<i>Estadísticas de grupo</i>					
	Concentracion	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Porcentaje de remoción de la Turbidez	10mg/l <i>Aloe vera</i> y 15mg/l $Al_2(SO_4)_3$	2	98,2124	,06206	,04389
	15mg/l <i>Aloe vera</i> y 10mg/l $Al_2(SO_4)_3$	4	98,0530	,14336	,07168

Tabla 19*Prueba de muestras independientes*

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error standard	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Porcentaje de remocion de la Turbidez	Se asumen varianzas iguales	1,237	,328	1,439	4	,224	,15945	,11083	-,14825	,46715
	No se asumen varianzas iguales			1,897	3,98	,131	,15945	,08405	-,07415	,39305
					9					

Con un nivel de confianza del 95%, se concluye que no existe diferencia significativa entre las concentraciones de 10 mg/l de *Aloe vera* con 15 mg/l de $Al_2(SO_4)_3$ y 15 mg/l de *Aloe vera* con 10 mg/l de $Al_2(SO_4)_3$, ya que la significancia de la prueba de comparación de medias es superior a $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, se determina que la concentración más eficiente es la de 15 mg/l de *Aloe vera* y 10 mg/l de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$.

Tabla 20

Modelo de Regresión factorial del porcentaje de turbidez en función de las variables Aloe vera y sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		96.9900	0.0530	1830.75	0.000	
<i>Aloe vera</i> (mg/l)	-	-0.8850	0.0530	-16.70	0.000	1.00
		1.7700				
$Al_2(SO_4)_3$ (mg/l)		0.2550	0.1275	2.41	0.047	1.00
<i>Aloe vera</i> (mg/l)* $Al_2(SO_4)_3$ (mg/l)	-	-0.2125	0.0530	-4.01	0.005	1.00
		0.4250				
Pt Ctrial		1.0625	0.0918	11.58	0.000	1.00

Del cuadro de coeficientes codificados, se observa que los factores *Aloe vera* (mg/l), $Al_2(SO_4)_3$ (mg/l) y su interacción son significativos para el modelo de regresión factorial.

Tabla 21

Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0.149845	98.42%	97.51%	95.06%

El valor de R^2 indica que el modelo explica el 98.42% de la varianza en el porcentaje de remoción de turbidez, lo cual sugiere que el modelo se ajusta de manera adecuada a los datos.

Tabla 22*Análisis de Varianza*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	4	9.7675	2.44188	108.75	0.000
Lineal	2	6.3959	3.19793	142.42	0.000
<i>Aloe vera</i> (mg/l)	1	6.2658	6.26580	279.06	0.000
Al ₂ (SO ₄) ₃ (mg/l)	1	0.1300	0.13005	5.79	0.047
Interacciones de 2 términos	1	0.3613	0.36125	16.09	0.005
<i>Aloe vera</i> (mg/l) * Al ₂ (SO ₄) (mg/l)	1	0.3613	0.36125	16.09	0.005
Curvatura	1	3.0104	3.01042	134.07	0.000
Error	7	0.1572	0.02245		
Total	11	9.9247			

- Con un nivel de confianza del 95%, se observa un efecto significativo en el porcentaje de remoción de turbidez debido al factor *Aloe vera* (mg/l) ($p < 0.05$).
- Con un nivel de confianza del 95%, se observa un efecto significativo en el porcentaje de remoción de turbidez debido al factor Al₂(SO₄)₃ (mg/l) ($p < 0.05$).
- Con un nivel de confianza del 95%, se observa un efecto significativo en el porcentaje de remoción de turbidez debido a la interacción de los factores *Aloe vera* y Al₂(SO₄)₃ (mg/l) ($p < 0.05$).
- Con un nivel de confianza del 95%, se observa que la curvatura es significativa para el modelo ($p < 0.05$).

Tabla 23

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\text{Remoción} = 98.115 - 0.0920 \text{ Aloe vera (mg/l)} + 0.1530 \text{ Al}_2(\text{SO}_4)_3 \text{ (mg/l)}$$

$$- 0.00850 \text{ Aloe vera (mg/l)} * \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \text{ (mg/l)} + 1.0625 \text{ Pt Ctral}$$

Tabla 24

Estructura de alias

Factor	Nombre
A	Aloe vera (mg/l)
B	Al ₂ (SO ₄) ₃ (mg/l)

Alias

I
A
B
AB

Figura 24

Grafica normal de efectos estandarizados

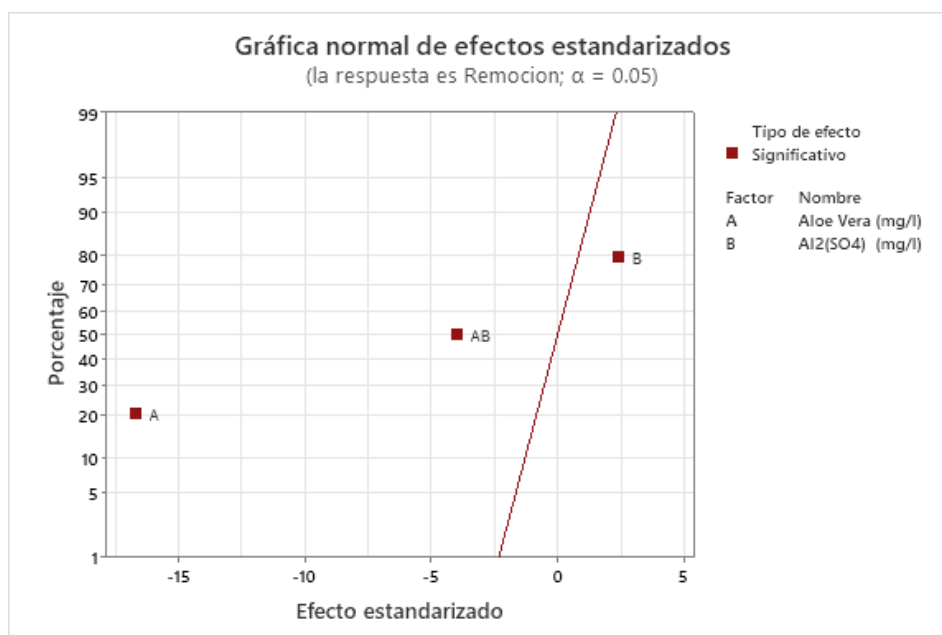
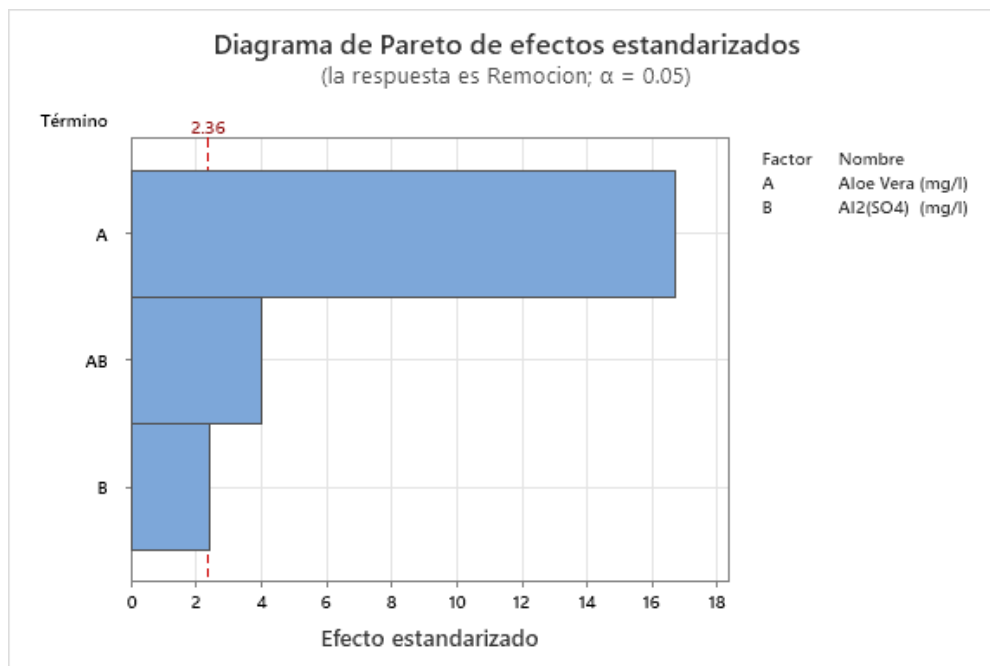


Figura 25

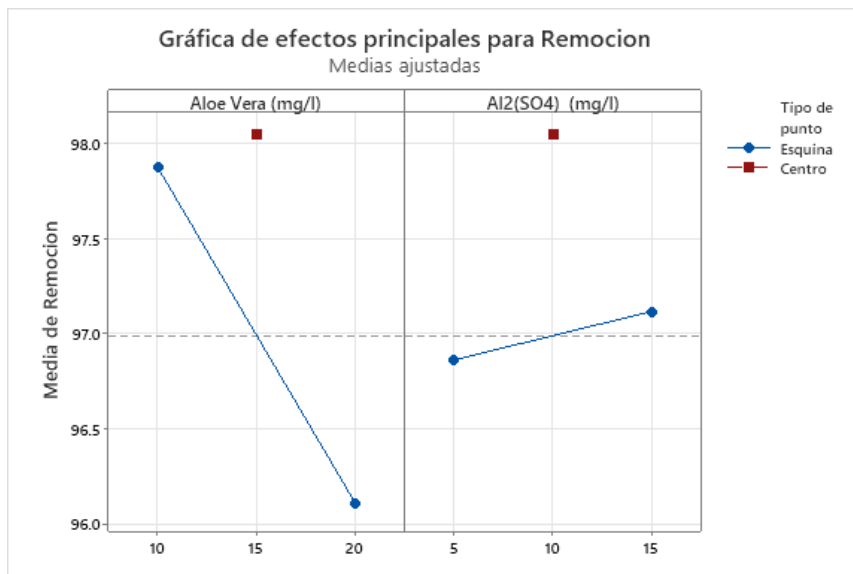
Diagrama de Pareto de efectos estandarizados



El diagrama de Pareto de los efectos permite una identificación visual clara de los efectos más significativos y facilita la comparación de la magnitud relativa de los diferentes factores. En este caso, se observa que el efecto más prominente corresponde al factor *Aloe vera*, ya que es el que presenta la mayor extensión en el gráfico, lo que indica que tiene un impacto considerable en el porcentaje de remoción de turbidez. Por otro lado, el efecto más pequeño corresponde a la interacción entre *Aloe vera* y sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), ya que es el que presenta la menor extensión en el diagrama, sugiriendo que su influencia en el proceso es relativamente baja en comparación con los efectos individuales de los factores. Este tipo de análisis es útil para priorizar los factores más influyentes y optimizar el proceso experimental.

Figura 26

Grafica de efectos principales de remoción



- En el factor *Aloe vera*, se observa un efecto que parece ser significativo, acompañado de una curvatura significativa, lo que sugiere que el impacto de este factor no solo es relevante, sino que también está influenciado por una relación no lineal.
- En el factor sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, se detecta un efecto que parece ser altamente significativo, lo que indica que este factor tiene un impacto considerable en la remoción de turbidez. Sin embargo, la curvatura es poco significativa, lo que sugiere que el efecto de este factor sigue una relación más lineal, sin una variabilidad pronunciada en su comportamiento a diferentes concentraciones.

5.2. Discusión de resultados

En relación a lo expuesto previamente, se realiza una comparación de los resultados obtenidos en la presente investigación.

En este estudio, se utilizó el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ como coagulante, al que se añadió *Aloe vera*, con el objetivo de desarrollar un coagulante más eficiente para la clarificación de las aguas del río Huatanay. Tras realizar las pruebas de laboratorio y procesarlas estadísticamente, se observó que la combinación de estos dos coagulantes mostró resultados significativos en la remoción de turbidez. En la prueba más eficiente, se alcanzó un 98.22% de remoción de turbidez en comparación con la prueba cero, que representó el 100% de turbidez. En un estudio previo realizado por Naomy, Gabriel y Alexandra (2022), se evaluó la eficacia de los coagulantes sintéticos (sulfato de aluminio) y naturales (*Aloe vera*) de manera individual, obteniendo un 99.87% de remoción con sulfato de aluminio y un 75.15% con *Aloe vera*. Los autores sugirieron la combinación de ambos coagulantes como una estrategia para mejorar la eficiencia de la remoción de turbidez, lo cual se relaciona estrechamente con los hallazgos de la investigación actual.

Por otro lado, en 2016, Moreno Pérez utilizó *Aloe vera* con el objetivo de reducir la turbidez del río Crisnejas en la comunidad de Chuquibamba. En su estudio, se emplearon variables como la velocidad de agitación, el tiempo y la dosis del coagulante mediante pruebas de jarras, obteniendo un 42.48% de remoción de turbidez. Sin embargo, en la presente investigación, se llevó a cabo un proceso de prueba de jarras en el que se mantuvieron constantes la velocidad de agitación y el tiempo de coagulación y floculación. Los resultados obtenidos en esta investigación mostraron un 96.02% de remoción de turbidez en la prueba con menor significancia, superando así el porcentaje reportado en el estudio mencionado.

En 2019, Pérez y Mario se plantearon como objetivo clarificar las aguas utilizando productos naturales, como el *Aloe vera*. Llegaron a la conclusión de que, aunque el *Aloe vera* puede funcionar como floculante, no es tan eficiente por sí solo. Sin embargo, cuando se utiliza como coadyuvante de floculación en combinación con sulfato de aluminio, mejora la eficiencia de la floculación, especialmente en muestras de aguas con turbidez superior a 30 NTU. En relación con la presente investigación, se puede afirmar que, al aplicar el coagulante de *Aloe vera* junto con sulfato de aluminio, se obtuvo un resultado significativo, considerando que la turbidez inicial del patrón era de 170.9 NTU.

En 2019, Solís y Laines llevaron a cabo una investigación con el objetivo de comparar el potencial de una mezcla de coagulantes, uno natural y otro sintético (sulfato de aluminio), para reducir la cantidad de sulfato de aluminio utilizado en el tratamiento de aguas. En todos los tratamientos, se aplicaron velocidades de agitación de 200 rpm durante 15 segundos y 25 rpm durante 25 minutos. En la presente investigación, se emplearon las mismas velocidades de agitación, obteniéndose resultados similares: una reducción de turbidez del 98.7% en el estudio comparado y un 98.22% en esta investigación. Esta similitud en los resultados podría atribuirse al uso de las mismas condiciones de agitación en ambos estudios.

Huamán, en 2022, llevó a cabo una investigación sobre el uso de un coagulante natural (*Aloe vera*) para su aplicación en el tratamiento terciario de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Tras aplicar diferentes dosis de *Aloe vera*, se concluyó que las dosis óptimas, con la mayor remoción de turbidez (43.70%), se encontraban entre los 10 ml y 20 ml de *Aloe vera*. En contraste, en la presente investigación se alcanzó una remoción de turbidez de hasta un 98.22%. Este resultado se puede atribuir, en parte, a que, a diferencia del estudio de Huamán (2022), en esta investigación se utilizó sulfato de aluminio como coagulante principal, complementado con *Aloe vera* para mejorar la eficiencia del proceso de floculación.

La presente investigación, mediante la formulación de un coagulante compuesto por sulfato de aluminio y *Aloe vera*, tiene como objetivo reducir el uso de coagulantes sintéticos, incorporando un coadyuvante natural como el *Aloe vera*. Esta combinación busca mejorar la eficiencia del tratamiento de las aguas, al mismo tiempo que se disminuye la dependencia de productos químicos sintéticos. Sin embargo, como se ha demostrado en diversas investigaciones citadas en este estudio, existen otros coadyuvantes naturales que también han mostrado ser efectivos en la mejora de los procesos de coagulación y floculación. Entre ellos, se destacan el almidón de yuca, *Opuntia ficus-indica* (nopal), *Echinopsis peruviana* (también conocida como el cactus peruano), *Caesalpinia spinosa* (tara), el tamarindo y *Opuntia ficus* (tuna), entre otros. Estos coadyuvantes han sido evaluados en aguas con características similares a las del río Huatanay, evidenciando su capacidad para reducir la turbidez y mejorar la calidad del agua. La utilización de estos coadyuvantes naturales puede ofrecer una alternativa sostenible y menos costosa en comparación con los coagulantes sintéticos, contribuyendo a la protección del medio ambiente y a la mejora de los procesos de tratamiento de aguas en diversas regiones.

VI. Conclusiones

Primera.

Se determinó que es posible obtener un coagulante eficaz a partir de la combinación de *Aloe vera* con sulfato de aluminio para la clarificación de las aguas del río Huatanay. Esta mezcla de coagulante natural y sintético no solo tiene el potencial de reducir los costos asociados al tratamiento del agua, sino que también contribuiría a disminuir el impacto ambiental y los posibles efectos adversos sobre la salud pública, ofreciendo una alternativa más sostenible y menos perjudicial en comparación con el uso exclusivo de coagulantes químicos.

Segunda.

Se demostró que la mezcla más eficaz para la clarificación de las aguas del río Huatanay corresponde a 10 mg/l de *Aloe vera* y 15 mg/l de sulfato de aluminio. Sin embargo, al comparar esta dosis con una combinación de 15 mg/l de *Aloe vera* y 10 mg/l de sulfato de aluminio, se observó que la diferencia en la reducción de turbidez fue mínima y estadísticamente poco significativa. Por lo tanto, la segunda combinación resulta ser más eficiente, ya que emplea una menor cantidad de sulfato de aluminio, lo que implica una reducción tanto de los costos asociados al tratamiento como de los impactos ambientales, favoreciendo una opción más sostenible.

Tercera.

Se comprobó que la combinación de *Aloe vera* y sulfato de aluminio es altamente efectiva en la clarificación de las aguas del río Huatanay, logrando una remoción de turbidez del 98.22%. Este resultado supera significativamente la eficiencia obtenida con el uso exclusivo de *Aloe vera* en investigaciones previas y, al mismo tiempo, se acerca a la efectividad del sulfato de aluminio cuando se utiliza de manera aislada. La mezcla de ambos coagulantes ofrece una alternativa más eficiente, manteniendo los beneficios de reducir la cantidad de productos químicos empleados.

VII. Recomendaciones

Primera.

Llevar a cabo investigaciones adicionales que evalúen una mayor cantidad de parámetros de calidad del agua, como DBO₅, DQO, color, pH, temperatura, entre otros. Esto permitiría garantizar que la combinación de *Aloe vera* y sulfato de aluminio no genere efectos adversos y determinar su influencia sobre otros indicadores de calidad del agua. De este modo, se podría obtener una visión más integral del impacto de este tratamiento en el medio ambiente y en la salud pública.

Segunda.

Para futuras investigaciones, se sugiere utilizar la velocidad de agitación y el tiempo de mezcla como variables, con el objetivo de optimizar tanto la dosificación como las condiciones de mezcla del coagulante combinado. Al perfeccionar estas variables, se podrá mejorar el rendimiento general del proceso, reduciendo costos y aumentando la sostenibilidad ambiental.

Tercera.

Se recomienda realizar pruebas a mayor escala en condiciones reales del río Huatanay, con el fin de confirmar la efectividad observada en el laboratorio y ajustar el proceso según las características específicas del agua del río. Esto permitirá validar los resultados obtenidos en un entorno controlado y optimizar el tratamiento en escenarios prácticos.

Cuarta.

Se sugiere a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Tecnológica de los Andes, filial Cusco, la instalación de un laboratorio con un equipo de pruebas de jarras. Este equipo permitirá realizar ensayos que simulen las etapas de coagulación y floculación, promoviendo así investigaciones adicionales por parte de los estudiantes en el campo del tratamiento de aguas residuales.

VIII. Referencias

- Alvarez, N., & Ccahua, T. (2021). *Repositorio USIL*. Obtenido de Repositorio USIL:
<https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/80ed0891-38a9-41c4-9d30-db79fd5e5c7f/content>
- Aranda, M. A. (2017). *REPOSITORIO INSTITUCIONAL UQROO*. Obtenido de REPOSITORIO INSTITUCIONAL UQROO:
<http://hdl.handle.net/20.500.12249/1933>
- Avila, L., & Diaz, J. (2002). Sondeo del mercado mundial de Sabila (Aloe vera).
 doi:https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13259/Ver_Documento_13259.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Babora, R., Freire, R., & Oliveira, W. d. (2018). REMOÇÃO DA TURBIDEZ DA ÁGUA USANDO ALOE VERA COMO COAGULANTE NATURAL. *ResearchGate*.
 doi:<http://dx.doi.org/10.17271/1980082710122014857>
- Briceño, R., Fuentes, L., Mendoza, I., Bolaños, J., & Caldera, Y. (13 de noviembre de 2016). *SEMANTIC SCHOLAR*. Obtenido de SEMANTIC SCHOLAR:
<https://www.semanticscholar.org/paper/EFFECTIVIDAD-DE-UNA-SUSPENSION-GELATINOSA-DE-HUESOS-Brice%3%B1o-Fuentes/02b87961df8929106eb215d913c0d13dd1b06ebf>
- Cantillo, Y., Eustate, K., Gómez, D., Gutiérrez, E., Torres, A., & Mercado, N. (26 de abril de 2022). Análisis del proceso de tratamiento de aguas sanitarias en los canales de drenaje con impacto ambiental y salud poblacional. Una revisión de la literatura. *Boletín De Innovación, Logística Y Operaciones*.
 doi:<https://doi.org/10.17981/bilo.4.1.2022.07>
- Cayambe, N., & Esmeralda, S. (06 de marzo de 2023). Coagulación de aguas residuales mediante una mezcla de polvo de Crotalaria longirostrata y sulfato de aluminio. *Tecnología en marcha*.
- Cerón, P. V. (12 de diciembre de 2016). *SEMANTIC SCHOLAR*. Obtenido de SEMANTIC

- SCHOLAR: <https://www.semanticscholar.org/paper/Estudio-para-la-determinaci%C3%B3n-y-dosificaci%C3%B3n-%C3%B3ptima-VickyCer%C3%B3n/3e95d36de393808235e7ba430e922c97e670fed7>
- Cevallos, N., Burgos, G., & Cordova, A. (15 de agosto de 2022). Evaluación de la eficacia de coagulantes sintéticos y naturales en el tratamiento de aguas residuales generadas en la producción de harina de pescado. *Publicaciones en Ciencias y Tecnología*. doi:<https://doi.org/10.5281/zenodo.6993155>
- Chemcess. (2024). *Chemcess*. Obtenido de Chemcess: <https://chemcess.com/aluminum-sulfate-production-and-uses/>
- Cogollo, M. (2010). CLARIFICACIÓN DE AGUAS USANDO COAGULANTES POLIMERIZADOS: CASO DEL HIDROXICLORURO DE ALUMINIO. *Revistas.unas.edu.com*.
- Contyquim. (28 de marzo de 2022). *Contyquim*. Obtenido de Contyquim: <https://contyquim.com/blog/importancia-de-los-floculantes-en-procesos-industriales#:~:text=La%20desestabilizaci%C3%B3n%20es%20el%20fen%C3%B3meno,que%20caracteriza%20a%20los%20coloides>.
- DIGIMED. (31 de octubre de 2023). *DIGIMED*. Obtenido de DIGIMED: <https://www.digimed.ind.br/br/suporte/blog/importancia-turbidez>
- Edulfo Segundo, L. C. (24 de enero de 2020). *SEMANTIC SCHOLAR*. Obtenido de SEMANTIC SCHOLAR: <https://www.semanticscholar.org/paper/EVALUACION-DEL-PROCESO-DE-COAGULACION-FLOCULACION-A-Campo-Ambiental/432e113f65e6be797bf05c7efb799a0be1cbb7a7>
- Ferraro, G. M. (2009). REVISION OF ALOE VERA (Barbadensis Miller). En G. M. FERRARO, *REVISION OF ALOE VERA (Barbadensis Miller)* (pág. 220). Rev Argent Dermatol.
- Flores, J. C. (2022). *Repositorio UNCP*. Obtenido de Repositorio UNCP: <http://hdl.handle.net/20.500.12894/7732>
- FuentesQ, L., Flores, M., & Vigo, J. E. (2022). Residuos de patata como coadyuvante del

- sulfato de aluminio en la clarificación del agua. *Revista de Investigación UNED*.
- GC, t. (2021 de abril de 2021). *GC tratamiento*. Obtenido de GC tratamiento: <https://gctratamiento.mx/que-es-la-clarificacion-del-agua/>
- Gil Mora, J. E., Boza, Á. H., Ramos, K. J., & Oviedo, N. A. (2022). Determinación de la pérdida de la calidad de un río urbano en Cusco: Caso Saphy. *Ciencia Latina Revista Multidisciplinar*. doi:https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i1.1765
- Hach. (2024). *HACH Be Right*. Obtenido de HACH Be Right: <https://latam.hach.com/turbidimetros>
- Hernández, D. &. (26 de abril de 2018). *SEMANTIC SCHOLAR*. Obtenido de SEMANTIC SCHOLAR: <https://www.semanticscholar.org/paper/An%C3%A1lisis-de-la-demanda-del-mercado-para-productos-y-Hern%C3%A1ndez-Fern%C3%A1ndez/73b5eff6b570a8d155cfe9ff067ce7e89574f9f0>
- Huaman, D. O. (14 de julio de 2022). *Repositorio Institucional Continental*. Obtenido de Repositorio Institucional Continental: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/11493>
- Hurtado, A. (2019). *Repositorio institucional UNSAAC*. doi:<https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/5093/253T20191216.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Kopytko, M., Rueda, a. P., & Rincón, Y. (2018). Application of Natural Product (Aloe vera) in coagulation-flocculation procedures, for water treatability study. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)*. doi:https://www.ijesit.com/Volume%203/Issue%203/IJESIT201403_58.pdf
- Labarces, E. (24 de enero de 2013). *SEMANTIC SCHOLAR*. Obtenido de SEMANTIC SCHOLAR: <https://www.semanticscholar.org/paper/EVALUACION-DEL-PROCESO-DE-COAGULACION-FLOCULACION-A-Campo-Ambiental/432e113f65e6be797bf05c7efb799a0be1cbb7a7>
- Mendoza, K. E., Tambaco, R. M., & León-Araujo, M. E. (31 de marzo de 2023). Estudio para la recuperación de sulfato de aluminio a partir de lodos generados en floculadores y sedimentadores. *IBERO-AMERICAN JOURNAL OF ENGINEERING*

- & *TECHNOLOGY STUDIES*, 286.
- Mora, J. E., & Boza, Á. H. (2022). Índice de calidad del agua de dos ríos urbanos de la ciudad del Cusco: Saphy y Cachimayu. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 5. doi:<https://doi.org/10.34188/bjaerv5n1-013>
- Morales, J. (2019). *Repositorio institucional UNDAC*. Obtenido de Repositorio institucional UNDAC:
http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1422/1/T026_70495263_T.pdf
- Muñoz, D., & Alejandro, D. (01 de julio de 2017). *SEMANTIC SCHOLAR*. Obtenido de SEMANTIC SCHOLAR: <https://www.semanticscholar.org/paper/Aprovechamiento-del-sulfato-de-aluminio-extra%C3%ADdo-a-Mu%C3%B1oz-Alejandro/7d39ee0e633ed8bcdac2ea488e4ede5a2a61328f>
- Pardo, J. S., Moncada, D. K., Martínez, L. E., & Ayala, S. L. (11 de noviembre de 2019). Evaluación de coagulantes naturales para el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Revista de investigacion agraria y ambiental*.
- Pardo, S., Vargas, D., Ruiz, E., & Gomez, L. (11 de noviembre de 2019). Evaluación de coagulantes naturales para el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Revista de investigacion agraria y ambiental*.
- Pastrana, A., Solis, R., Ávila, I., Laines, J. R., & Sánchez, B. (2 de abril de 2023). Coagulación de aguas residuales mediante una mezcla de polvo de *Crotalaria longirostrata* y sulfato de aluminio. *TEC Tecnología de Costa Rica*, 36. doi:<https://doi.org/10.18845/tm.v36i2.6000>
- Pastrana, A., Solis, R., Ávila, I., Laines, R., & Sánchez, B. (6 de marzo de 2023). *Tecnología de Costa Rica*. doi:<https://doi.org/10.18845/tm.v36i2.6000>
- Perez, F., & Urrea, M. (2015). *Abastecimiento de Aguas*. Cartagena : Universidad Politecnica de Cartagena .
- Pérez, S. C. (2019). *Repositorio digital institucional UCV*. Obtenido de Repositorio digital institucional UCV: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/6854>
- Quispe, D. (2023). *Universidad San Antonio Abad del Cusco Repositorio Institucional*.

- Obtenido de Universidad San Antonio Abad del Cusco Repositorio Institucional:
https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/8410/253T20230816_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rodrigues, A. M., Aquino, D. S., & Cordeiro, L. L. (2020). *UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA*. doi:<https://doi.org/10.4995/ia.2020.11562>
- Rodríguez, M., Confortti, N., Pérez, M., Suárez, S., & Lobo, D. (2022). Mecanismo coagulación- floculación, utilizando alumbre comercial y alumbre preparado a partir de material de reciclaje. Comparación de la eficiencia. Universidad Metropolitana. *Produccion limpia*. doi:<https://doi.org/10.22507/pml.v17n1a4>
- Rodriguez, R., Confortti, N., Pérez, M., Suárez, S., & Lobo, D. (28 de junio de 2022). Mecanismo coagulación- floculación, utilizando alumbre comercial y alumbre preparado a partir de material de reciclaje. Comparación de la eficiencia. Universidad Metropolitana. *Produccion limpia*. doi:<https://doi.org/10.22507/pml.v17n1a4>
- Ruiz, E., Ore, L., Vega, M., Algulo, A., Milagros, C., Gracia, G., & Diaz, J. (2022). Aloe vera (L.) como floculante para remoción de turbidez de aguas superficiales. *Boletín de Marialogía y Slud Ambiental*. doi:<https://docs.bvsalud.org/biblioref/2022/10/1397154/508-1565-1-pb.pdf>
- SafetyCulture. (15 de enero de 2024). *SafetyCulture*. Obtenido de SafetyCulture: <https://safetyculture.com/es/temas/tratamiento-de-aguas/>
- Samaniego, H. H., Esquivel, S. E., Bujaico, R. W., & Bujaico, J. F. (2020). Optimización de la cantidad de coagulantes para la producción de agua potable en zonas de la sierra del Perú. *UCV-SCIENTIA*.
- Segura, A. (2023). *Repositorio Institucional UPN*. doi:<https://hdl.handle.net/11537/33898>
- Tecnoconverting. (2017). ARTÍCULOS TÉCNICOS. *TECNOCONVERTING*. Obtenido de <https://www.tecnoconverting.es/articulos-tecnicos/que-es-la-ntu/>
- Valdiviezo, R. (2021). *Repositorio Institucional UPLA*. Obtenido de Repositorio Institucional UPLA:

https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/3010/T037_73573606_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Vicky Cerón, P. (16 de diciembre de 2016). *SEMANTIC SCHOLAR*. Obtenido de SEMANTIC SCHOLAR: <https://www.semanticscholar.org/paper/Estudio-para-la-determinaci%C3%B3n-y-dosificaci%C3%B3n-%C3%B3ptima-VickyCer%C3%B3n/3e95d36de393808235e7ba430e922c97e670fed7>

IX. Anexos

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