# UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

## FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

# EFECTO COAGULANTE - FLOCULANTE DE LA SÁBILA (*Aloe Vera* L.) EN LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ DE LAS AGUAS CAPTADAS DEL RÍO UCAYALI CON FINES DE POTABILIZACIÓN - 2025

**Tesis para optar el título profesional**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**KENNETH SLIM RODRIGUEZ URBINA**

**Pucallpa, Perú**

**2025**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI**
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES**
**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**
**COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS**

# ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 254-2025-CGT-FCFyA-UNU

En la ciudad de Pucallpa, siendo las 10:00 a.m. del día martes 23 de diciembre del 2025, de acuerdo con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador en el Auditorio de la facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, siendo designados con Memo Múltiple Nº 057-2025-UNU-FCFyA-CGT, conformado por:

| | |
|---|---|
| Dr. Rubén Dario Manturano Perez | Presidente |
| Dr. Pedro Aparicio Campos Cabrera | Miembro |
| Dr. Noé Klever Guadalupe Baylón | Miembro |

Se procedió a la sustentación de la tesis titulada: **"EFECTO COAGULANTE - FLOCULANTE DE LA SÁBILA (*Aloe vera* L.) EN LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ DE LAS AGUAS CAPTADAS DEL RÍO UCAYALI CON FINES DE POTABILIZACIÓN - 2025"**, siendo sustentado por el Bach. **KENNETH SLIM RODRIGUEZ URBINA**, Asesorado por el Dr. Gabriel Mercado Jauregui.

Habiendo culminado la sustentación se procedió a la formulación de preguntas por parte del Jurado Evaluador, las cuales fueron absueltas por el sustentante, en consecuencia, la tesis fue **APROBADO** por **MAYORÍA**, recomendando subsanar las observaciones realizadas por el Jurado Evaluador, quedando expedito para el otorgamiento del **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL.**

Siendo las 11:05 a.m. del mismo día, se dio por concluida el acto académico, firmando los miembros del Jurado Evaluador en señal de conformidad.

Dr. Rubén Dario Manturano Pérez
Presidente

Dr. Pedro Aparicio Campos Cabrera
Miembro

Dr. Noé Klever Guadalupe Baylón
Miembro

## ACTA DE APROBACIÓN

Esta tesis fue aprobada por el Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito parcial para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

Dr. Rubén Dario Manturano Perez
Presidente

Dr. Pedro Aparicio Campos Cabrera
Miembro

Dr. Noé Klever Guadalupe Baylón
Miembro

Dr. Gabriel Mercado Jauregui
Asesor

Bach. Kenneth Slim Rodriguez Urbina
Tesista

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

# CONSTANCIA

## ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Nº V/318-2025.

La Dirección de Producción Intelectual de la Universidad Nacional de Ucayali, hace constar por la presente, que el trabajo académico de investigación, titulado:

"**EFECTO COAGULANTE - FLOCULANTE DE LA SABILA (*Aloe vera L.*) EN LA REMOCION DE TURBIDEZ DE LAS AGUAS CAPTADAS DEL RIO UCAYALI CON FINES DE POTABILIZACIÓN-2025**"

| | | |
|---|---|---|
| Autor(es) | : | **RODRIGUEZ URBINA, KENNETH SLIM** |
| Facultad | : | **CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES** |
| Escuela | : | **ING. AMBIENTAL** |
| Asesor(a) | : | **Dr. MERCADO JAUREGUI, GABRIEL** |

Presenta un **porcentaje de similitud de 7%,** verificado en el Sistema Antiplagio COMPILATIO,

De acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO, el cual indica que todo trabajo de investigación no debe superar el 10%. **En tal sentido, se declara, que el presente trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de similitud,** procediéndose a emitir la presente Constancia de Originalidad de Trabajo de Investigación (COTI) a solicitud del asesor.

En señal de conformidad se firma y sella el presente documento.

Fecha: 25/06/2025

Mg. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA
Director de Producción Intelectual

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

# AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

## Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, KENNETH SLIM RODRIGUEZ URBINA

Autor de la tesis titulada : EFECTO COAGULANTE - FLOCULANTE DE LA SÁBILA (ALOE VERA L.) EN LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ DE LAS AGUAS CAPTADAS DEL RÍO UCAYALI CON FINES DE POTABILIZACIÓN - 2025

Sustentada el año: 2025

Asesor(a): Dr. GABRIEL MERCADO JAUREGUI

Facultad: CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

Escuela Profesional: INGENIERIA AMBIENTAL

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] TOTAL [X]

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

**Primero**: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

**Segundo**: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 23 / 12 / 25

Email: Kenslimrour2050@gmail.com Firma:

Teléfono: 934 431 582 DNI: 79299977

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todas las personas que, con compromiso y dedicación, trabajan por el cuidado del medio ambiente, generando conciencia sobre la importancia de preservar nuestro entorno para el bienestar de las futuras generaciones. También va dedicado con profundo cariño a mis padres, cuyo amor incondicional, constante apoyo y valiosas enseñanzas han sido fundamentales en mi vida universitaria.

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme la vida, la fortaleza y la sabiduría necesarias para no rendirme ante las dificultades, y por guiar cada paso que me permitió culminar esta etapa importante de mi formación profesional.

Expreso también mi profundo agradecimiento a la Universidad Nacional de Ucayali, mi alma mater, por haberme acogido durante los cinco años de formación universitaria, brindándome una educación de calidad a través de docentes comprometidos y altamente capacitados, quienes contribuyeron significativamente en mi desarrollo académico y profesional.

De manera especial, agradezco a mi familia por su apoyo constante, por su confianza y por acompañarme durante todo mi proceso universitario, siendo la principal motivación para perseverar y alcanzar mis metas.

A mi madre, Eliana Catalina Urbina Pacheco, a quien debo un agradecimiento infinito por su amor, sacrificio y apoyo incondicional a lo largo de todos estos años. Gracias por estar siempre presente y por brindarme el respaldo necesario, incluso en los momentos más difíciles.

Asimismo, expreso mi sincero agradecimiento a mi asesor de tesis, Dr. Gabriel Mercado Jáuregui, por su orientación, paciencia y valiosos conocimientos brindados durante el desarrollo de esta investigación, los cuales fueron fundamentales para mejorar y culminar satisfactoriamente este trabajo.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de una u otra manera, formaron parte de este proceso y me brindaron su apoyo, compañía y motivación durante esta importante etapa de mi vida.

# ÍNDICE GENERAL

**Pág.**

DEDICATORIA ..... vi

AGRADECIMIENTO ..... vii

ÍNDICE GENERAL ..... viii

ÍNDICE DE TABLAS ..... xi

ÍNDICE DE FIGURAS ..... xiii

RESUMEN ..... xv

ABSTRACT ..... xvi

INTRODUCCIÓN ..... xvii

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... 19

1.1. Descripción del problema ..... 19

1.2. Formulación del problema ..... 21

1.1.1. Problema general ..... 21

1.1.2. Problemas específicos ..... 21

1.3. Objetivos de la Investigación ..... 21

1.3.1. Objetivo general ..... 21

1.3.2. Objetivos específicos ..... 22

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO ..... 23

2.1. Antecedentes de la investigación ..... 23

2.1.1. Antecedentes internacionales ..... 23

2.1.2. Antecedentes nacionales ..... 33

2.2. Bases Teóricas ..... 38

2.2.1. Coagulación ..... 38

2.2.2. Floculación ..... 40

2.2.3. Coagulación y floculación ..... 41

2.2.4. Turbidez ..... 49
2.2.5. Prueba de jarras ..... 51
2.2.6. El sulfato de aluminio ..... 53
2.2.7. La sábila *(Aloe vera L.)* ..... 54
2.3. Definicion de términos básicos ..... 58
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA ..... 59
3.1. Método de investigación ..... 59
3.2. Población y muestra ..... 60
3.2.1. Población ..... 60
3.2.2. Muestra ..... 61
3.3. Procedimientos de recolección de datos ..... 61
3.4. Técnicas e instrumentos para recolección de datos. ..... 64
3.4.1. Técnicas ..... 64
3.4.2. Instrumentos ..... 64
3.5. Procesamiento para recolección de datos ..... 65
3.6. Tratamiento de datos ..... 66
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN ..... 67
4.1. Resultados ..... 67
4.1.1. Remoción de turbidez ..... 67
4.1.2. Remoción de turbidez a diferentes dosis de floculante-coagulante ..... 69
4.1.3. Remoción de turbidez a diferentes velocidades de agitación ..... 70
4.1.4. Remoción de turbidez, frente al sulfato de aluminio ..... 71
4.2. Discusión de resultados ..... 72
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 78

5.1. Conclusiones ..... 78

5.2. Recomendaciones ..... 79

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 80

ANEXOS ..... 89

# ÍNDICE DE TABLAS

**En el texto:** **Pág.**

**Tabla 1.** Tipos de coagulantes-floculantes orgánicos……. 47

**Tabla 2.** Límites máximos permisibles (LMP) de la calidad organolépticas para el parámetro turbiedad del agua.…… 51

**Tabla 3.** Composición química de la sábila (*Aloe vera* L.)……..…… 57

**Tabla 4.** Resultado de los ensayos de prueba de jarras, en la remoción de turbidez empleando el coagulante-floculante de la sábila (*Aloe vera* L.)…… 67

**Tabla 5.** Resultado de los ensayos de prueba de jarras en la remoción de turbidez empleando sulfato de aluminio…….. 71

**En el anexo:**

**Tabla 6A.** Prueba de supuesto de normalidad en la remoción del coagulante-floculante de sábila (*Aloe Vera* L.)…… 91

**Tabla 7A.** Prueba de supuesto de normalidad en la remoción del coagulante-floculante del sulfato de aluminio…… 91

**Tabla 8A.** Resultados de la prueba de t-student para la remoción de turbidez…… 92

**Tabla 9A.** Resultado del Análisis de varianza (ANOVA) para la hipótesis específica 2……..…… 94

**Tabla 10A.** Prueba de Tukey para la dosis del floculante-coagulante…… 94

**Tabla 11A.** Resultado del Análisis de varianza (ANOVA) para la hipótesis específica 3……. 96

**Tabla 12A.** Resultado del Análisis de varianza (ANOVA) para la sábila y sulfato de aluminio…….. 97

**Tabla 13A.** Datos de ensayos obtenidos en la prueba de jarras para el coagulante-floculante de la sábila (*Aloe vera* L.)…… 98

**Tabla 14A.** Datos de ensayos obtenidos en la prueba de jarras para el coagulante-floculante sulfato de aluminio…….. 99

**Tabla 15A.** Estadísticos descriptivos de los datos obtenidos en la investigación…… 100

# ÍNDICE DE FIGURAS

**En el texto:** **Pág.**

**Figura 1.** Proceso convencional de coagulación-floculación en la remoción de turbidez……. 43

**Figura 2.** Prueba de jarras, en equipo con 05 paletas de agitación…… 53

**Figura 3.** Plantas de sábila (Aloe Vera L.)…….. 55

**Figura 4.** Ubicación donde se desarrolló la investigación…..……..… 60

**Figura 5.** Eficiencia de remoción del coagulante-floculante de la sábila (*Aloe vera* L.).. …… 67

**Figura 6.** Turbidez final de los tratamientos con coagulante-floculante de sábila (Aloe era L.) en comparación con el LMP de la calidad organolépticas para el parámetro de turbiedad del agua……..… 68

**Figura 7.** Remoción de turbidez a diferentes dosis del coagulante-floculante de la sábila (*Aloe vera* L.)…… 69

**Figura 8.** Remoción de turbidez a diferentes velocidades de agitación para el coagulante-floculante de la sábila (*Aloe vera* L.)……. 70

**Figura 9.** Eficiencia de remoción del coagulante-floculante de la sábila (*Aloe vera* L.) frente al sulfato de aluminio…… 71

**En el anexo:**

**Figura 10A.** Limpieza de la sábila para la obtención del floculante-coagulante……... 101

**Figura 11A.** Aloe vera L. después del proceso de secado…… 101

**Figura 12A.** Proceso antes de la pulverización…… 102

**Figura 13A.** Proceso de pulverización…….. 102

**Figura 14A.** Muestras de agua captadas del río Ucayali, previo al proceso de potabilización……. 103

**Figura 15A.** Toma y registro de la turbidez del agua……. 103

**Figura 16A.** Equipo de prueba de jarra con las muestras……. 104

**Figura 17A.** Dosis de Aloe Vera para 1000 ml de agua……. 104

**Figura 18A.** Proceso de dosificación del coagulante-floculante…… 105

**Figura 19A.** Ensayo de remoción de turbidez……. 105

**Figura 20A.** Prueba de jarras, luego de terminado el ensayo…….. 106

# RESUMEN

Este trabajo tuvo como objetivo determinar el efecto coagulante-floculante de la sábila (*Aloe vera L.*) en la remoción de la turbidez de las aguas captadas del río Ucayali con fines de potabilización en el distrito de Callería. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada y con un diseño experimental, ya que se manipularon las variables dosis del coagulante-floculante y velocidad de agitación para evaluar su efecto sobre la remoción de la turbidez. El experimento se llevó a cabo en condiciones controladas de laboratorio, utilizando la prueba de jarras y empleando sulfato de aluminio como coagulante-floculante de comparación. El tratamiento más eficaz con sábila se obtuvo con una dosis de 200 mg/L y una velocidad de agitación de 200 RPM, alcanzando una eficiencia máxima de remoción del 53,40%. En contraste, el sulfato de aluminio logró eficiencias de hasta 99,80%. Así mismo los datos analizados estadísticamente, con un nivel de confianza del 95%, indicaron que la sábila remueve significativamente la turbidez de aguas captadas del río Ucayali donde la dosis del coagulante-floculante y la velocidad de agitación influyen significativamente en este proceso ya que ambos presentaron valores ($p < 0,05$), mientras que la interacción entre ambos factores no fue estadísticamente significativa.

**Palabras clave:** Efecto coagulante-floculante, dosis, velocidad de agitación, remoción de turbidez.

## ABSTRACT

This study aimed to determine the coagulant-flocculant effect of Aloe vera L. in the removal of turbidity from water collected from the Ucayali River for drinking purposes in the district of Callería. The research followed a quantitative approach, applied type, and experimental design, since the variables of coagulant-flocculant dose and agitation speed were manipulated to evaluate their effect on turbidity removal. The experiment was conducted under controlled laboratory conditions, using the jar test and employing aluminum sulfate as a comparison coagulant-flocculant. The most effective treatment with Aloe vera was obtained with a dose of 200 mg/L and an agitation speed of 200 RPM, reaching a maximum removal efficiency of 53.40%. In contrast, aluminum sulfate achieved efficiencies of up to 99.80%. Likewise, the data analyzed statistically, with a 95% confidence level, indicated that Aloe vera significantly removes turbidity from water collected from the Ucayali River, where both the coagulant-flocculant dose and agitation speed significantly influence this process ($p < 0.05$), while the interaction between both factors was not statistically significant.

**Keywords:** Coagulant-flocculant effect, dose, stirring speed, turbidity removal.

# INTRODUCCIÓN

El acceso al agua limpia y potable ha sido, a lo largo de la historia, un factor determinante para la supervivencia y el desarrollo de las sociedades. La disponibilidad de agua de calidad influye directamente en aspectos fundamentales como la salud pública, la higiene y el desarrollo económico. Sin embargo, en la actualidad garantizar el acceso a agua segura continúa siendo uno de los desafíos más importantes a nivel mundial, especialmente en regiones donde los recursos tecnológicos y económicos para el tratamiento del agua son limitados. En este contexto, uno de los principales problemas que enfrentan los sistemas de tratamiento de agua es la turbidez, la cual se origina por la presencia de partículas suspendidas tales como arcillas, materia orgánica, microorganismos y otros sedimentos. La turbidez no solo afecta la transparencia del agua, sino que también puede ser un indicador de contaminación y representar un riesgo para la salud pública, ya que estas partículas pueden proteger a microorganismos patógenos de los procesos de desinfección. Asimismo, altos niveles de turbidez dificultan los procesos convencionales de tratamiento, como la sedimentación y la filtración, reduciendo la eficiencia de los sistemas de potabilización. En muchas ciudades del mundo, la reducción de la turbidez constituye un reto constante para las plantas de tratamiento de agua. En el caso de Pucallpa, ciudad ubicada en la región amazónica del Perú, esta problemática se presenta con mayor intensidad debido a que el río Ucayali, principal fuente de abastecimiento de agua para la población, presenta frecuentemente altos niveles de turbidez, especialmente durante la temporada de lluvias. Esta situación obliga a las empresas encargadas del tratamiento del agua a utilizar grandes cantidades de coagulantes químicos para remover las

partículas en suspensión. Si bien estos productos han demostrado ser eficaces, su uso excesivo puede generar elevados costos operativos y posibles impactos negativos tanto en el ambiente como en la salud humana.

Ante esta problemática, surge la necesidad de explorar alternativas más sostenibles, económicas y ambientalmente amigables para el tratamiento del agua. En este sentido, diversas investigaciones han señalado el potencial de los coagulantes naturales como una opción viable para mejorar los procesos de clarificación del agua. Entre estos, la sábila (*Aloe vera* L.) destaca por su contenido de polisacáridos y compuestos bioactivos que favorecen los procesos de coagulación y floculación. Además, su disponibilidad, bajo costo y origen natural la convierten en una alternativa prometedora para la remoción de turbidez en aguas superficiales.

En ese sentido, la importancia de esta investigación radica en evaluar el uso de un recurso natural accesible en la región como alternativa para mejorar los procesos de tratamiento de agua, contribuyendo a la búsqueda de soluciones sostenibles que puedan complementar o reducir el uso de coagulantes químicos tradicionales. Asimismo, los resultados del estudio pueden aportar información científica relevante para futuras investigaciones relacionadas con el tratamiento de aguas utilizando materiales de origen natural.

Por lo tanto, el propósito de esta investigación es evaluar la eficacia de la sábila (*Aloe vera* L.) como coagulante-floculante natural en la remoción de la turbidez del agua captada del río Ucayali con fines de potabilización. A partir de este objetivo general se desarrollan los objetivos específicos orientados a determinar las condiciones óptimas de aplicación y el nivel de reducción de turbidez alcanzado mediante el uso de este coagulante natural.

# CAPÍTULO I

# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1. Descripción del problema

El acceso al agua potable es un derecho fundamental a la que toda persona debe tener acceso y para garantizar su consumo y potabilización es necesario superar diversos desafíos relacionados con su calidad. Uno de los problemas más comunes en fuentes de aguas superficiales es la turbidez, que se refiere a la falta de transparencia causada por la presencia de partículas suspendidas, como sedimentos, materia orgánica y microorganismos. Estas partículas, cuyo tamaño varía entre 103 y 1 µm, dificultan los procesos convencionales de tratamiento, como la filtración y sedimentación, y además representan una clara señal de contaminación del agua (OMS, 2011). Para tratar este problema, las empresas encargadas de potabilizar el agua emplean procesos fisicoquímicos utilizando coagulantes sintéticos como el sulfato de aluminio $[Al_2(SO_4)_3]$, que si bien es cierto, son eficaces removiendo la turbidez en el agua, los lodos resultantes de este tratamiento contienen componentes contaminantes, por lo que su manejo requiere de procesos adicionales debido a su naturaleza (Murillo et al., 2020), además de que su uso está asociado con altos costos de adquisición y alteración del pH del agua tratada (Quispe et al., 2021), y se ha relacionado con trastornos del sistema nervioso central, como el Alzheimer, debido a que el aluminio persiste en el ambiente, no se degrada fácilmente y puede transformarse, unirse a otras sustancias o fragmentarse en partículas diminutas (ATSDR, 2008).

En el caso de la ciudad de Pucallpa, la empresa encargada de la potabilización y distribución de agua potable enfrenta desafíos particulares debido a la alta turbidez del agua proveniente del río Ucayali, que abastece a la ciudad. Este problema se debe a diversos factores, como la erosión del suelo y la carga de sedimentos transportados desde las zonas altas del país, lo cual es característico de los ríos amazónicos (SUNASS, 2024). La situación se vuelve aún más crítica durante la temporada de lluvias, cuando el caudal del río aumenta y la carga de sedimentos se eleva, obligando a la empresa de potabilización a utilizar dosis mayores de coagulantes. Este incremento en la dosis de coagulantes no solo eleva los costos operativos, sino que también produce una mayor cantidad de lodos con contenido de aluminio residual, cuyo manejo y disposición adecuados resultan complejos y necesarios para evitar impactos negativos en el medio ambiente.

Por esta razón, es importante considerar opciones distintas a los coagulantes convencionales, centrándose en el uso de materiales naturales que posean propiedades coagulantes y floculantes, como la sábila (Aloe vera L.), la cual, por sus cualidades, se presenta como una alternativa eficaz para reducir la turbidez de las aguas provenientes del río Ucayali. Considerando además que Pucallpa es una ciudad en constante crecimiento, con un aumento sostenido en su población y que, como toda ciudad en crecimiento, requiere implementar métodos de tratamiento de agua que sean sostenibles y respetuosos con el entorno (Khalid et al., 2023).

## 1.2. Formulación del problema

### 1.2.1. Problema general

- ¿Cuál es el efecto coagulante-floculante de la sábila *(Aloe vera L.)* en la remoción de turbidez de las aguas captadas del río Ucayali con fines de potabilización-2025?

### 1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el efecto coagulante-floculante de la sábila *(Aloe vera L.)* a diferentes dosis en la remoción de turbidez de las aguas captadas del río Ucayali?
- ¿Cuál es el efecto coagulante-floculante que presenta la sábila (*Aloe vera L.)* a diferentes velocidades de agitación en la remoción de turbidez de las aguas captadas del río Ucayali?
- ¿Cuál es la eficiencia del efecto coagulante-floculante de la sábila *(Aloe vera L.)* en comparación con el sulfato de aluminio en la remoción de turbidez de las aguas captadas del río Ucayali?

## 1.3. Objetivos de la Investigación

### 1.3.1. Objetivo general

- Determinar el efecto coagulante-floculante de la sábila *(Aloe vera L.)* en la remoción de turbidez de las aguas captadas del río Ucayali con fines de potabilización- 2025.

### 1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar el efecto coagulante-floculante de la sábila *(Aloe vera L.)* a diferentes dosis en la remoción de turbidez de las aguas captadas del río Ucayali.
- Determinar el efecto coagulante-floculante de la sábila *(Aloe vera L.)* a diferentes velocidades de agitación en la remoción de turbidez de las aguas captadas del río Ucayali.
- Evaluar la eficiencia del efecto coagulante-floculante de la sábila *(Aloe vera L.)* en comparación al sulfato de aluminio en la remoción de turbidez de las aguas captadas del río Ucayali.

# CAPÍTULO II

# MARCO TEÓRICO

## 2.1. Antecedentes de la investigación

### 2.1.1. Antecedentes internacionales

En México, Pastrana et al., (2023) en su investigación llevada a cabo con la finalidad de evaluar la eficacia de una combinación entre polvo de Crotalaria longirostrata y sulfato de aluminio para eliminar turbidez y color en comparación con el uso exclusivo de este último, para ello se determinó la dosis más adecuada de sulfato de aluminio y se probaron combinaciones con polvo de C. longirostrata para evaluar cuál de los tratamientos lograba una mayor remoción de turbidez y color en agua residual doméstica. Bajo un diseño experimental aleatorizado con un solo factor y se realizó un análisis de varianza con la prueba de Tukey para identificar diferencias significativas entre los tratamientos. La mezcla que consistía en 75 mg/L de polvo de C. longirostrata y 175 mg/L de sulfato de aluminio mostró una mayor remoción de turbidez (83.4%) y color (64.9%) en comparación con el sulfato de aluminio puro (250 mg/L), lo que permitió reducir el uso de sulfato de aluminio en un 30%. Además, el polvo de C. longirostrata no resultó tóxico, ya que es una planta comestible.

En Ecuador, Cevallos et al., (2022) en su investigación realizada con el objetivo de evaluar la eficiencia de coagulantes naturales frente a coagulantes sintéticos en la remoción de turbidez y los factores que la afectan, mediante un estudio cuantitativo experimental. Los coagulantes

naturales utilizados fueron gel de sábila (*Aloe vera L*.) y mucílago de pitahaya (*Selenicereus undatus*), mientras que los coagulantes sintéticos empleados fueron policloruro de aluminio (PAC) y sulfato de aluminio. Se encontró un 99,59% de remoción para la turbidez de del PAC; 99,87% para el sulfato de aluminio, 62,26% para el mucílago de pitahaya y 75,15% para el gel de sabila (Aloe vera L.). Los valores finales de la demanda química de oxígeno (DQO) obtenidos fueron de 18 $mgO_2$/L para el coagulante sintético más efectivo y 839,35 $mgO_2$/L para el coagulante natural más eficiente. Los autores concluyeron que, aunque los coagulantes naturales fueron menos efectivos en comparación con los sintéticos, presentaron propiedades interesantes para la remoción de turbidez.

En Bolivia, Chamaca (2023) en su investigación realizada con la finalidad de analizar la eficiencia coagulante y floculante de los compuestos naturales extraídos del y la *Opuntia ficus y Aloe vera L. indica* en la reducción de la turbidez, en muestras de agua del río Pallina, mediante un estudio experimental cuantitativo. Sus resultados mostraron porcentajes de remoción de turbidez del 34,80% para el coagulante de Aloe vera en época de lluvia y 53,14% en época seca. En comparación, el coagulante de Opuntia ficus indica logró una remoción de turbidez del 54,76% en época de lluvia y 82,45% en época seca. Los resultados correspondientes a la humedad y la composición de los coagulantes indicaron que la sábila presentó 1,77% de humedad, 15,09% de cenizas, 41,44% de carbohidratos y un pH de 4,79. En cuanto al nopal, se obtuvo un 15,18% para cenizas, 11,49% de humedad, un pH de 6,02 y un 45,46% en contenido de carbohidratos. Este autor concluyó que, aunque los coagulantes naturales

fueron menos efectivos que el sulfato de aluminio en términos de remoción de turbidez, presentaron propiedades interesantes y una viabilidad económica considerable para su uso en el tratamiento de agua en áreas rurales.

En Sudáfrica Gandiwa et al. (2020), en el estudio titulado “Optimización del uso de una mezcla de coagulantes naturales de origen vegetal y sintético para el tratamiento de agua: (mezcla de Moringa oleifera, Cactus Opuntia y alumbre)”, realizado con el objetivo de analizar la eficacia de combinar coagulantes naturales obtenidos de extractos de Moringa oleifera y Cactus Opuntia con un coagulante sintético como el sulfato de aluminio (alumbre) en el tratamiento de agua cruda. Los resultados óptimos se obtuvieron con una combinación de 13% de alumbre, 42.6% de Moringa oleifera y 44.4% de Cactus Opuntia, aplicando una dosis total de 45 mg/L. Esta formulación produjo agua tratada con turbidez de 2.7 NTU, pH de 6.99, conductividad de 308 µS/cm y alcalinidad total de 137.7 mg/L, valores que se encuentran dentro de los límites recomendados por la (OMS) para consumo humano. Se concluye que el alumbre puede mezclarse exitosamente con coagulantes naturales para el tratamiento de agua cruda, logrando así una solución efectiva, segura y alineada con criterios de sostenibilidad.

En la India, Deswal (2023) realizó su investigación titulada “Estudios comparativos del polvo de Aloe vera y el alumbre para la remoción de turbidez en agua cruda”, realizado con el objetivo de desarrollar una técnica de procesamiento eficiente y económica mediante el uso del gel de Aloe vera L. para producir un coagulante natural aplicable en el tratamiento de

agua cruda. Se comparó la eficiencia de remoción de turbidez entre el alumbre y el polvo de Aloe vera L., obteniéndose una eficiencia del 89,65% con alumbre a una dosis de 40 mg/L, y del 77,68% con Aloe vera a una dosis de 150 mg/L. Aunque los resultados indicaron que el alumbre es más eficaz, el estudio también señala desventajas asociadas a su uso, como su relación con enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer, debido a sus posibles propiedades carcinógenas. En este sentido, el polvo de *Aloe vera L*. se presenta como una opción más segura y saludable para la remoción de turbidez en el tratamiento del agua.

En Colombia, Benjumea et al. (2021), en su estudio orientado a evaluar la capacidad de los extractos naturales de *Citrus sinensis* (naranja), *Aloe vera L*. (sábila) y *Zea mays* (maíz) en la disminución de la turbidez de aguas crudas, con el objetivo de facilitar su potabilización. Como resultado, se logró remover un 85 por ciento con los extractos de maíz y sábila, y del 69 por ciento con el extracto de naranja. Los hallazgos indican los beneficios de usar extractos naturales en el tratamiento de aguas, entre los que se destacan su fácil accesibilidad, bajo costo, mínima producción de lodos inocuos debido a la ausencia de sales metálicas, y su potencial con el propósito de minimizar la dependencia de coagulantes sintéticos, ayudando así a disminuir los efectos negativos sobre el ambiente que podrían derivarse del manejo de los lodos tradicionales.

En Burkina Faso, Konkobo et al. (2023) es su investigación “Evaluación de la efectividad de algunos extractos de plantas locales en la mejora de la calidad del agua no segura consumida en países en desarrollo”, realizada con el objetivo de utilizar extractos de plantas como

biocoagulantes para reemplazar el sulfato de aluminio en el proceso de potabilización de agua cruda, identificaron nueve plantas mediante una investigación y se evaluó su efectividad en el laboratorio a través de coagulación/floculación en aguas superficiales. De las nueve plantas identificadas, cinco extractos mostraron una actividad coagulante muy baja en la reducción de la turbidez de las muestras de agua (con una reducción máxima de 1.03%): estas fueron las semillas de la planta de Adansonia digitata Acacia nilotica, las hojas de Balanites aegyptiaca, Tamarindus indica (tamarindo) y las hojas de Capparis corymbosa. Dos extractos mostraron una actividad media, a saber, el jugo de Sabila (*Aloe vera L*.) (20.7%) y el jugo de Opuntia ficus indica (32.25%). Otros dos extractos, las semillas de Moringa oleífera y las semillas de Boscia senegelensis, mostraron una actividad muy buena (84.83% y 82.97%, respectivamente, después de 1 hora de decantación). Al fijar la concentración óptima de 1 g/L para el tratamiento con semillas de Moringa oleífera, se obtuvo un agua de 4.6 NTU después de 2 horas de decantación, lo que representó una reducción de aproximadamente el 98%. El tratamiento con semillas de Boscia senegelensis también permitió obtener, para una concentración de 2.5 g/L, un agua de 4.9 NTU después de 2 horas de decantación. La acción combinada de los biocoagulantes de Moringa y Boscia, y los mucílagos de cactus y Aloe, redujo el tiempo de decantación a 15 minutos. Estos dos tratamientos indujeron un ligero aumento de los minerales inicialmente presentes en el agua y una reducción de casi el 99% de los microorganismos patógenos. Estos autores concluyen que las semillas de Boscia senegelensis y Moringa oleifera resultan ser biocoagulantes muy

efectivos en comparación con el sulfato de aluminio, constituyendo por lo tanto una alternativa ante la falta de acceso al agua potable, especialmente para los países en desarrollo.

En Suiza, Benalia et al. (2021) en la investigación titulada “Uso del Aloe vera como coagulante orgánico para mejorar la calidad del agua potable”, cuyo objetivo fue evaluar la eficacia del Aloe vera en el proceso de coagulación–floculación–sedimentación, utilizado comúnmente para la remoción de sólidos suspendidos y la reducción de la turbidez del agua. El coagulante natural se aplicó en dos formas: en polvo (AV-Powder) y en forma líquida (AV-$H_2O$), esta última extraída con agua destilada como disolvente. Los resultados mostraron que, a pH natural, el uso del Aloe vera logró una remoción de turbidez del 87,84 % en su forma líquida y del 28,23 % en su forma en polvo. Asimismo, se comprobó que ninguna de las dos formas afectó significativamente los parámetros de pH, alcalinidad y dureza del agua. Al evaluar el efecto del pH sobre el rendimiento del proceso, se obtuvo una eficiencia máxima de remoción de turbidez del 88,23% utilizando AV-$H_2O$ y del 53,53% con AV-Powder, ambos a un pH óptimo de 6. Estos resultados evidencian el potencial del *Aloe vera L.* como coagulante natural.

En Zimbabue, Diver et al. (2023) en la investigación titulada “Potencial y limitaciones de reemplazo de coagulantes químicos convencionales por extractos vegetales naturales en el tratamiento de agua y aguas residuales”, elaborado con el objetivo de revisar el potencial de los extractos vegetales naturales como alternativa a los coagulantes sintéticos, evaluando investigaciones previas sobre su eficacia en la remoción de

metales pesados, turbidez, patógenos y otros contaminantes. Los hallazgos revelan que algunos extractos vegetales, como los obtenidos de semillas de fenogreco, pueden alcanzar eficiencias de remoción de turbidez de hasta un 98%, superando al alumbre (85%). Se concluye que los coagulantes naturales producen menos lodo, son menos tóxicos y representan una alternativa más sostenible ambientalmente. No obstante, el estudio también subraya la necesidad de investigar cómo estos coagulantes naturales podrían ser comercializados y distribuidos a gran escala, de manera similar a los químicos.

En Etiopia, Getahun et al. (2024) en el estudio titulado “Proceso de coagulación para la remoción de color y turbidez en aguas residuales de la industria de procesamiento de café húmedo utilizando bio-coagulantes: Optimización a través del diseño compuesto central”, realizado con el objetivo de investigar el potencial de utilizar coagulantes naturales como Acanthus sennii C., Moringa stenopetala B., y Aloe vera L., ya sea individualmente o en combinación, para el tratamiento de las aguas residuales del café. De manera destacada, la forma combinada de los tres coagulantes resultó ser particularmente prometedora, alcanzando condiciones óptimas de dosis de coagulante de 0.750 g/L, pH 8.76, velocidad de agitación de 80.73 rpm y tiempo de agitación de 19.23 min. Bajo estas condiciones optimizadas, el coagulante combinado logró una eficiencia notable de remoción, alcanzando aproximadamente un 99.99% de remoción de color y un 98.7% de remoción de turbidez. Estos resultados destacan la eficiencia de los coagulantes naturales, especialmente en su forma combinada, para el tratamiento sostenible de aguas residuales en el

procesamiento de café húmedo.

En Venezuela, Capitillo et al. (2023) en su investigación denominada realizado con el propósito de emplear el quitosano como coagulante-floculante para el tratamiento de aguas residuales industriales generadas en los procesos de fabricación de pintura y pegamento. Los resultados obtenidos para los parámetros de demanda química de oxígeno (DQO), sólidos totales suspendidos (STS), sólidos totales disueltos (STD) y pH indicaron que las aguas tratadas son adecuadas para su disposición en la red cloacal interna, cumpliendo con las regulaciones del país venezolano. El tratamiento produjo aguas post tratamiento con valores de entre 6,8 y 7,5 para el pH, una reducción del DQO de aproximadamente 85%, y una disminución de los STD y STS en torno al 90%, lo que contribuyó a disminuir los efectos perjudiciales de diversos componentes presentes en los procesos productivos de la empresa.

En Nigeria, Mustapha y Obayomi (2025) en el estudio de "Optimización paramétrica del coagulante *Aloe Vera* para la remoción de nitratos en aguas residuales textiles aplicando la metodología de superficie de respuesta (RSM)", desarrollado con la finalidad de aplicar la metodología de superficie de respuesta (RSM) para optimizar los parámetros operativos en la eliminación de nitratos. Las condiciones óptimas para obtener la mayor remoción de nitratos fueron determinadas como sigue: tiempo de 20 minutos de agitación, 120 minutos de sedimentación, dosis de 0.5 g/L de Aloe Vera y 150 rpm de velocidad de agitación. Se verificaron estas condiciones a través de réplicas, logrando eliminar el 97% de los nitratos. A través de espectroscopía de infrarrojo (FTIR) y análisis de microscopía

electrónica de barrido (SEM), se identificaron los grupos funcionales que causan la coagulación y se observó una estructura densa y firme, sugiriendo que los contaminantes se adherían al coagulante. Los resultados tienen aplicaciones potenciales para el tratamiento industrial de aguas.

En Ecuador, Buenaño et al. (2019) en su investigación “Estudio de las características coagulantes-floculantes de polímeros orgánicos extraídos de residuos para el tratamiento de agua”, que fue realizada con el objetivo de evaluar las propiedades coagulantes y floculantes de tres polímeros naturales, en este caso la pectina obtenida de la cáscara de naranja, el almidón extraído de la cáscara de plátano verde, y el extracto de semilla de tamarindo, al ser utilizados en tres soluciones diferentes (agua, cloruro de sodio y acetato de amonio) para purificar agua cruda con turbidez de 5,32 NTU. Debido a la baja turbidez del agua cruda, los polímeros no mostraron actividad coagulante, pero sí presentaron acción floculante cuando se combinaron con sulfato de aluminio. Las combinaciones más efectivas fueron: 50 mg/L de sulfato de aluminio con 0,2 mg/L de almidón, 60 mg/L de sulfato con 0,06 mg/L de pectina, 60 mg/L de sulfato con 0,6 mg/L de extracto de tamarindo en agua, 60 mg/L de sulfato con 0,5 mg/L de extracto de tamarindo en cloruro de sodio, y 60 mg/L de sulfato con 0,2 mg/L de extracto de tamarindo en acetato de amonio. La reducción de turbidez y color fue de cerca del 87% y 92%, respectivamente. Sin embargo, los residuos de lodo generados superaron los límites de descarga al sistema de alcantarillado y demostraron que son tóxicos para las actividades mitóticas de las raíces de cebolla.

En Irak, Khalid et al. (2023) en su investigación titulada “Uso de hojas de plantas potenciales como coagulantes verdes sostenibles para la remoción de turbidez”, cuyo objetivo fue evaluar el rendimiento de 13 plantas locales como coagulantes verdes en el tratamiento de agua sintética de caolín para la remoción de turbidez, utilizó una dosis variable de 0 a 10,000 mg/L para cada planta, con un proceso que incluyó agitación rápida a 180 rpm durante 5 minutos, agitación lenta a 50 RPM durante 15 minutos y un tiempo de sedimentación de 30 minutos. Los resultados mostraron que las plantas más efectivas fueron Phoenix dactylifera (5000 mg/L), Albizia lebbeck, Dianthus caryophyllus (3000 mg/L), Clerodendrum inerme (10,000 mg/L), Conocarpus lancifolius, Nerium oleander (1000 mg/L) y Azadirachta indica, con tasas de remoción de turbidez que variaron entre el 39.3% y el 75.5%. Estos hallazgos sugieren que estas plantas son una alternativa económica y sostenible al sulfato de aluminio, lo que las convierte en una opción viable para la remoción de turbidez en el tratamiento de aguas, especialmente en países en desarrollo.

En Etiopia, Kenea et al. (2023) en su investigación titulada “Investigación sobre el tratamiento de aguas superficiales utilizando una mezcla de semillas de Moringa oleífera y Aloe vera como coagulantes naturales”, cuyo objetivo fue evaluar la eficiencia de remoción de color, turbidez, sólidos disueltos totales (TDS), demanda química de oxígeno (COD) y fosfatos del agua superficial utilizando polvo mezclado de semillas de Moringa oleífera (MOS) y plantas de Aloe vera (AVP). Los resultados mostraron que el polvo mezclado de Moringa oleífera y Aloe vera eliminó el color en un 87,1%, la turbidez en un 88,5%, los sólidos disueltos totales

(TDS) en un 92,1%, la demanda química de oxígeno (COD) en un 52,6% y los fosfatos en un 93,9% bajo condiciones operativas óptimas. Además, los datos experimentales fueron analizados estadística y matemáticamente utilizando un diseño compuesto central (CCD) de la metodología de superficie de respuesta (RSM), revelando que el modelo cuadrático fue significativo para la remoción de COD y fosfatos. El modelo también fue válido para la remoción de COD y fosfatos basado en el coeficiente de determinación, aunque el modelo cuadrático para la remoción de color, turbidez, TDS y COD presentó “aliased”, lo que indicó que no es adecuado para investigaciones futuras.

### 2.1.2. Antecedentes nacionales

Ruiz et al. (2022) en la investigación titulada “Aloe Vera (L.) como floculante para remover la turbidez de aguas superficiales”, realizada con la finalidad de examinar experimentalmente las propiedades y comportamientos del gel de *Aloe vera* como agente floculante en la remoción de la turbidez del agua. Para ello, se utilizó caolín como sustancia que simulo la turbidez en el agua, para poder evaluar la concentración óptima de sábila al 1% y alúmina en diferentes niveles de pH y turbidez inicial. Con base en los resultados, se llevó a cabo la optimización de las dosis mediante un modelo matemático de superficie de respuesta, el cual fue posteriormente validado mediante herramientas gráficas y métricas matemáticas. Los hallazgos indicaron que factores como la cantidad de coagulante, la turbidez inicial y el pH influyen de manera significativa de forma independiente en la eficiencia del tratamiento. El modelo permitió

establecer que la sábila al 1% muestra su mayor eficacia con dosis de entre 0,1 mL y 0,4 mL por cada 500 mL de agua, variando según el pH y la turbidez inicial. Este modelo se ajusta adecuadamente a las condiciones de las aguas superficiales de la ciudad de Tingo María.

Foraquita et al. (2024), desarrollaron su estudio titulado “Estudio de la aplicación del Aloe vera (L.) como coagulante para reducir la turbidez en el agua del río Caplina”, con el objetivo de evaluar la eficacia del Aloe vera (L.) como coagulante natural en la modificación de parámetros fisicoquímicos del agua del río Caplina, en Tacna. Se utilizaron tres dosis distintas del coagulante (4 mL, 8 mL y 12 mL) y tiempos de agitación de 10, 20 y 30 minutos para cada muestra. Los datos obtenidos fueron analizados mediante la prueba estadística ANOVA con el fin de determinar la significancia de las diferencias entre las dosis. Los resultados evidenciaron que la dosis de 12 mL fue la más eficiente en la remoción de la turbidez, superando a las demás concentraciones, además de contribuir a la neutralización del pH. Se concluyó que el Aloe vera (L.) representa una alternativa ecológica y viable frente a los coagulantes convencionales en el tratamiento de aguas turbias.

Cacsire (2024) desarrolló un estudio titulado “Influencia de la aplicación combinada de los coagulantes naturales Opuntia ficus-indica y Aloe vera en la disminución de coliformes termotolerantes del agua residual municipal descargada al río Chanchamayo”; el objetivo principal fue analizar cómo influye la combinación de estos coagulantes naturales en la reducción de coliformes termotolerantes. Este estudio experimental desarrolló un método para obtener ambos coagulantes en forma

pulverizada. Las pruebas de efectividad se realizaron en laboratorio, incluyendo una etapa inicial y otra de evaluación, utilizando un muestreo simple. Los resultados mostraron que la aplicación conjunta de 0,1 g/L (dividida en 0,05 g/L de Opuntia ficus-indica y 0,05 g/L de Aloe vera) logró disminuir los coliformes termotolerantes en un 56,57%, mientras que la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) se redujo en un 12,64% y la demanda química de oxígeno (DQO) en un 14,24%. Además, al ajustar el pH del agua residual a 6, se consiguió eliminar el 97,95% de los coliformes termotolerantes, mientras que a pH 8,5 la reducción fue de un 50,90%. En relación con la turbidez, se observó una reducción del 69,51%, lo que confirma que estos coagulantes naturales representan una alternativa eficaz frente a los productos químicos convencionales.

Olivera (2022) desarrolló su investigación titulada “Aplicación de aloe vera como coagulante natural en el tratamiento terciario de aguas residuales en la PTAR – Jauja”, cuyo objetivo fue reducir la concentración de parámetros críticos como la turbidez, los sólidos suspendidos totales (SST) y la demanda bioquímica de oxígeno ($DBO_5$), mediante el uso de gel de aloe vera como coagulante natural. El estudio se realizó a nivel de laboratorio utilizando el ensayo o prueba de jarras, aplicando diferentes dosificaciones de (10 a 50 mL) de floculante-coagulante. Los resultados evidenciaron que la mayor eficiencia se alcanzó con una dosis de 20 mL, logrando una reducción del 43,70% en la turbidez (de 120 UNT a 67,6 UNT), 75,70% en los sólidos suspendidos totales (de 281 mg/L a 68,27 mg/L) y 87,24% en la $DBO_5$ (de 201,30 mg/L a 25,68 mg/L). Estos resultados permitieron cumplir con los límites máximos permisibles

evidenciando la eficacia del Aloe vera como una opción natural viable para el tratamiento de aguas residuales.

Pinchi et al. (2023) en la tesis “Eficiencia de la harina de cáscara de cacao (*Theobroma cacao*) en la remoción de turbidez de aguas residuales domésticas”, que se planteó para estudiar el comportamiento de la harina de cáscara *Theobroma cacao* en la remoción de turbidez en aguas residuales domésticas. Para ello, se emplearon dosis de coagulante de 600, 800 y 1000 mg/L. Se trabajó con una agitación inicial rápida entre 40 y 60 RPM durante 15 minutos y luego una agitación rápida de 180 RPM durante un minuto, para posteriormente dejar sedimentar por 15 minutos. El análisis estadístico arrojó un valor p de 0,001 para la variable "velocidad lenta", lo que evidencia una diferencia significativa en la turbidez según las velocidades empleadas. Por otro lado, el factor "concentración del floculante" presentó un p-valor de 0,737, lo cual indica que no hubo diferencias estadísticas importantes entre los distintos niveles de concentración evaluados. Asimismo, la interacción entre ambos factores (velocidad lenta y concentración de floculante) también resultó no significativa, con un p-valor de 0,737. En síntesis, el estudio respalda que los floculantes naturales como la harina de cáscara de cacao pueden considerarse una opción sostenible para disminuir la turbidez en aguas residuales de naturalezas domésticas.

Quispe et al. (2021) en su investigación sobre Capacidad floculante de coagulantes naturales, realizada con el objetivo de evaluar la capacidad floculante de tres variedades de Cactáceas: Nopal (Opuntia ficus), Cactus de Arequipa (Neoraimondia arequipensis) y San Pedro (Echinopsis

pachanoi)", para tratar agua residual de origen artificial. Aplicaron para ello diferentes dosis (1%, 2% y 3%) de coagulante en dichas variedades de Cactáceas que fueron extraídas con tres solventes distintos al agua residual artificial. Los resultados indicaron un aumento considerable (p-valor < 0.05) en la capacidad de clarificación y el porcentaje de eliminación conforme se incrementaba la dosis de coagulante, destacándose mejores rendimientos en la variedad San Pedro. Los parámetros fisicoquímicos del agua tratada, como el pH, aumentaron ligeramente de 6.61 en el agua sin tratar a 7.58, mientras que la dureza y la alcalinidad no mostraron diferencias significativas (p-value > 0.05). La DBO del agua tratada con coagulante se incrementó conforme aumentaba el porcentaje de aplicación.

Ynofuente et al. (2022) en su investigación "Residuos de papa como auxiliar del sulfato de aluminio para clarificación de agua", realizado con el objetivo de investigar la efectividad de la cáscara de papa como complemento del sulfato de aluminio en la clarificación del agua. Para ello, se empleó una muestra simulada con una turbidez de 40 UNT a una temperatura de 16 °C y un pH de 7,16. Se aplicó el método CEPIS para definir la dosis óptima, utilizando un diseño factorial de 7 tratamientos y con 9 dosis. Los resultados revelaron que la combinación de sulfato de aluminio con cáscara de papa roja, a una dosis de 30 mg/L, alcanzó la turbidez más baja (0,85 UNT a pH 6,99), logrando una eficiencia de remoción del 98%. Mientras tanto, la mezcla de sulfato de aluminio con cáscara de imilla negra, a 35 mg/L, obtuvo una turbidez de 0,90 UNT y un pH de 6,96, también con una eficiencia del 98%. Finalmente se determinó que la cáscara de la papa roja y la imilla negra son alternativas muy efectivas como coadyuvantes en

el proceso de coagulación para el alumbre (sulfato de aluminio) .

Segura (2023) en la investigación realizada con el objetivo de aplicar coagulantes naturales como la sábila y la tara espinosa para tratar aguas residuales de una empresa del sector azucarero y disminuir la turbidez, se utilizó la prueba de jarra para llevar a cabo la clarificación. Los resultados mostraron que la concentración ideal y la dosis del coagulante de sábila (Aloe vera L.) fueron de 46.6 NTU, con una concentración de 40,000 ppm y un volumen de 25 ml, alcanzando una eficiencia del 86.69 % en la reducción de la turbidez. En comparación, el coagulante derivado de Caesalpinia spinosa presentó una concentración y dosis óptimas de 61.94 NTU, con la misma concentración y volumen de dosis, logrando un 82.35% de eficacia en la remoción de turbidez. Se llega a la conclusión que la capacidad de estos coagulantes naturales para eliminar la turbidez se debe a la presencia de mucílago en las plantas, el cual favorece la aglomeración de partículas con carga negativa, siendo el mucílago de la sábila el que mostró mayor rendimiento en este proceso.

## 2.2. Bases Teóricas

### 2.2.1. Coagulación

La coagulación consiste en la desestabilización de las partículas coloidales mediante la incorporación de un reactivo químico, ya sea orgánico o inorgánico, conocido como coagulante. Este coagulante neutraliza las cargas electrostáticas de las partículas, lo que facilita su unión y la formación de agregados llamados coágulos o flóculos. La adición de un coagulante neutraliza las cargas, produciendo un colapso de la “nube

de iones” que rodean los coloides de modo que se puedan aglomerar. Según Castellanos y Tusarma (2014), tres elementos fundamentales para inducir la coagulación son el pH, el tiempo de tratamiento y el gradiente de velocidad. En específico, dedicar un periodo adecuado de exposición y aplicar un gradiente de velocidad apropiado aumenta las oportunidades de que las partículas coloidales colisionen entre sí y, al mismo tiempo, proporciona el intervalo suficiente para que, por acción de la gravedad, dichas partículas desciendan y se asienten como sedimento.

**Tipos de coagulación**

- **Coagulación por adsorción:** Cuando la cantidad de coloides presente en el agua es grande, la distancia entre ellos es pequeña, por lo tanto es mayor la fuerza de atracción y la energía requerida para su desestabilización es menor, así como el potencial zeta resultante. Al añadir sales metálicas al agua bajo condiciones específicas de concentración de coagulante y pH, se generan distintas especies hidroxi-metálicas solubles. Estas especies pueden adsorberse en la superficie del coloide o formar complejos superficiales, provocando su desestabilización y favoreciendo la agregación de partículas en flóculos (Aguilar, 2018).

- **Coagulación por barrido:** Este tipo de coagulación ocurre generalmente cuando el agua es clara y las partículas coloidales están presentes en bajas concentraciones. En este proceso, las partículas se atrapan debido a la sobresaturación del precipitado de hidróxido de aluminio, lo que se conoce como coagulación de

barrido. Con dosis altas de alúmina, se genera un precipitado de hidróxido de aluminio que arrastra las partículas coloidales de la suspensión. Dado que las partículas están más distantes entre sí, las fuerzas de atracción son menores, lo que requiere una mayor cantidad de coagulante y energía para desestabilizarlas, incrementando el potencial zeta y el tiempo de reacción (Aguilar, 2018).

### 2.2.2. Floculación

Este procedimiento ocurre después de la incorporación del coagulante y consiste en agrupar las partículas que fueron desestabilizadas durante la coagulación, a través de una agitación moderada del agua. La formación de los flóculos se desarrolla lentamente, con una duración promedio de entre 10 y 30 minutos. Su propósito principal es maximizar los encuentros entre las partículas, incrementando la frecuencia de colisiones y facilitando la creación de flóculos más grandes y densos. Los objetivos esenciales de la floculación incluyen unir los microflóculos para formar estructuras más pesadas que el agua, compactarlos reduciendo su contenido de agua, y así obtener una menor concentración en volumen. Esto favorece una mejor efectividad en las etapas siguientes de separación, como la decantación y la filtración (Elias, 2023; Restrepo, 2009). Así mismo, Olivera (2022), hace mención que tenemos dos tipos de floculación en el proceso de remoción de partículas del agua:

- **Floculación pericinética:** La floculación pericinética se origina por el movimiento natural de las moléculas de agua, impulsado por la energía térmica, fenómeno que se conoce como movimiento browniano. Este tipo de floculación favorece el encuentro y unión de las partículas suspendidas, facilitando así la formación de flóculos en los procesos de tratamiento de agua, además que se da sin necesidad de agitación mecánica.

- **Floculación ortocinética:** La floculación ortocinética ocurre como resultado de las colisiones entre partículas, provocadas por el movimiento del agua generado por una fuente externa de energía, ya sea de tipo mecánico o hidráulico. Tras el proceso de coagulación, se da la formación de microflóculos, comenzando con la floculación pericinética y continuando con la ortocinética, para lograr la unión efectiva de las partículas.

### 2.2.3. Coagulación y floculación

De acuerdo a Caldera et al. (2007) es un procedimiento que funciona de manera conjunta (coagulación-floculación) y que emplea determinados compuestos para disminuir en el agua el desarrollo de algas, la proliferación bacteriana, su color y su turbidez, todo ello mediante un proceso de desestabilización de los conocidos coloides en suspensión. Así mismo estas partículas coloidales forman sistemas estables que no pueden separarse por los medios convencionales; únicamente al añadir un coagulante, que neutraliza las cargas eléctricas de las fracciones

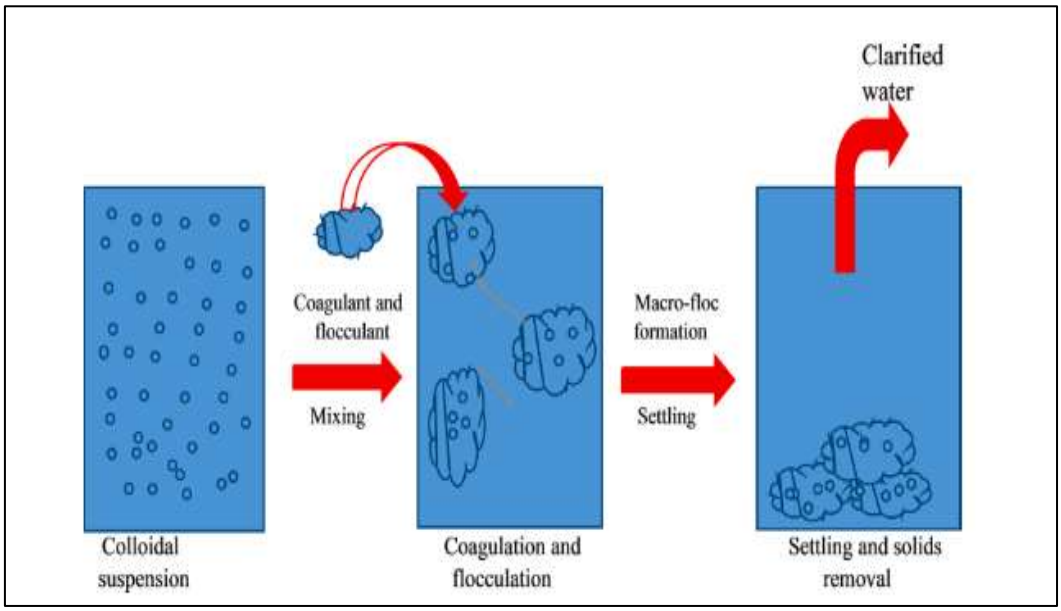
hidrofílicas e hidrofóbicas, se facilita esta separación, así una vez que se introduce el coagulante, se desencadena la desestabilización química en las partículas coloidales lo que ocasiona que estas comiencen a agruparse en “gotas” más grandes, originando así una masa compacta de diversos tamaños, comúnmente llamado flóculo (Quintero y Rodríguez, 2018). Murillo et al. (2020) mencionan que el origen de estos flóculos obedece a la ruptura de las interacciones de Van der Waals y a la supresión de las fuerzas electrostáticas que habitualmente impiden la agregación de las partículas; por ello, la acción del coagulante bloquea dichas fuerzas, posibilitando que los sólidos se unan y puedan ser finalmente eliminados del agua.

Según Guzmán et al. (2013), la turbidez del agua es ocasionada por diversas sustancias, entre ellas los coloides y los sólidos en suspensión, los cuales pueden ser eliminados mediante el proceso de coagulación–floculación. Dentro de los coloides se encuentran partículas con un tamaño menor a 1 µm, caracterizadas por su carga eléctrica negativa que dificulta su agrupación y sedimentación, lo que contribuye a la turbidez y a la coloración del agua. Asimismo, existen sustancias disueltas de alrededor de 1 nanómetro de tamaño, integradas por iones inorgánicos (como aniones y cationes) y compuestos orgánicos como ácidos, aldehídos y alcoholes. Por otro lado, los sólidos en suspensión, que superan el tamaño de 1 µm, proceden de fuentes minerales o biológicas como restos de plantas, animales, hongos o bacterias y afectan directamente tanto la turbidez como el aspecto visual del agua.

Así según Aguirre et al. (2018) y Murillo et al. (2020) el proceso de clarificación del agua mediante el uso de coagulante-floculante, se lleva a cabo en tres etapas: primero, el coagulante neutraliza las cargas iónicas para favorecer la agregación de las partículas; luego, el floculante facilita, por acción de la gravedad, la concentración de dichos agregados; finalmente, los flóculos resultantes sedimentan gracias a los aditivos incorporados. Al combinarse la coagulación y la floculación, se logra eliminar partículas de menos de una micra, que suelen albergar bacterias y provocar turbidez y coloración. No obstante, la coloración no desaparece por completo, pues diversos compuestos húmicos y metales como cobre, hierro y manganeso pueden permanecer en suspensión, por lo que resulta imprescindible el uso de carbón activado.

**Figura 1**

***Proceso convencional de coagulación-floculación en la remoción de turbidez***




Fuente: Diver et al.(2023).

**Tipos de coagulante – floculantes**

Los coagulantes-floculantes utilizados en el tratamiento de aguas residuales se dividen principalmente en dos categorías: sintéticos y naturales, además, existen otros tipos como los coagulantes auxiliares y los coagulantes mejorados, cuya función es optimizar la formación de flóculos al incrementar su densidad.

- **Coagulantes - floculantes inorgánicos:** Generalmente de naturaleza química inorgánicos, estos coagulantes-floculantes se aplican con mayor frecuencia en el tratamiento de aguas, entre estas tenemos las sales de hierro, sales de aluminio y los polímeros orgánicos. Los coagulantes formulados con hierro o aluminio son rentables y de fácil acceso, y gracias a su alta eficacia en la eliminación de la mayoría de partículas sólidas se emplean en una amplia gama de tratamientos de agua potable y aguas residuales. En consecuencia, son ampliamente usados debido a su bajo costo y fácil disponibilidad. No obstante, presentan ciertas desventajas, como la necesidad de dosis elevadas, alta sensibilidad al pH, poca eficacia ante variaciones de temperatura y una considerable producción de lodos, además, una sobredosificación de aluminio o hierro en los efluentes puede representar un riesgo para el ecosistema y la salud humana, causando problemas como estreñimiento intestinal, cólicos abdominales y espasmos. También, los coagulantes a base de hierro son altamente corrosivos y pueden producir manchas visibles de color óxido asociadas con derrames o

fugas químicas. Por ello, existe un gran interés en mejorar los coagulantes inorgánicos mediante el uso de coagulantes orgánicos poliméricos y naturales en el tratamiento de aguas residuales (Tetteh y Rathilal, 2020).

Arismendi (2016) señala que estos agentes son ampliamente utilizados debido a su solubilidad en agua, no alteran el pH del sistema en suspensión, generan flóculos grandes y estables, disminuyen la carga iónica del agua tratada y son eficaces en dosis reducidas. A pesar de sus beneficios, presentan desventajas como su elevado costo, la complejidad molecular frente a la biodegradación y posibles efectos cancerígenos derivados de subproductos o monómeros resultantes de su descomposición Coagulantes- floculantes orgánicos sintéticos.

- **Coagulantes- floculantes naturales:** De acuerdo a Murillo et al. (2020) son una fuente alternativa que las poblaciones nativas han utilizado en diversos países para el tratamiento del agua. Estos compuestos se generan de manera espontánea en animales y plantas, como resultado de su metabolismo y de diversos procesos bioquímicos. Un aspecto relevante es su baja toxicidad, lo que permite su uso como agentes coagulantes y floculantes, ya que logran aglutinar las partículas suspendidas en el agua, facilitando su sedimentación y posterior eliminación. Estos biopolímeros han sido desarrollados como una solución a las desventajas e impactos ambientales de los floculantes convencionales. Su estructura se

basa en polisacáridos o polímeros naturales obtenidos de procesos bioquímicos en organismos vivos, lo que favorece su descomposición microbiana y la degradación de los lodos generados durante la sedimentación, además, su origen orgánico evita la generación de contaminación secundaria (Arismendi, 2016).

Mendez y Calderón (2023) señalan que los coagulantes-floculantes orgánicos son alternativas consideradas como opciones con gran potencial para ser utilizadas en el ámbito ambiental, debido a que presentan características biodegradables y ocasionan un impacto reducido a diferencia de los coagulantes inorgánicos y los polímeros sintéticos, los coagulantes naturales provienen en su mayoría de plantas y contienen compuestos activos como carbohidratos, taninos y proteínas, que favorecen el proceso de coagulación. Como se muestra en la Tabla 1 las especies vegetales más estudiadas han mostrado una notable eficacia en el tratamiento del agua. Estas sustancias naturales se perfilan como una alternativa viable a los productos químicos tradicionalmente utilizados en los procesos de clarificación, ya que ayudan a reducir los posibles efectos nocivos para la salud humana y minimizan los impactos negativos sobre el medio ambiente. Asimismo, su uso representa una estrategia prometedora para el aprovechamiento de residuos, lo que favorece la sostenibilidad.

**Tabla 1**

***Tipos de coagulantes-floculantes orgánicos***

| ORIGEN: PLANTA | ORIGEN: ANIMAL |
|---|---|
| • Semilla: Sandía, tamarindo, frijol, moringa, papaya, mostaza.<br>• Hojas: bellota, hibisco, roble<br>• Corteza (taninos): Acacia, schinopsis, castanea.<br>• Cáscaras: Mandioca, naranja, plátano.<br>• Almohadillas (mucílago): Nopal, sábila (*Aloe vera L*.), okra.<br>• Almidón: tubérculo (papa, mandioca), cereal (trigo, maíz, arroz). | • Concha: quitosano, quitina, insectos<br>• Gelatina: proteínas animales |

Fuente: Owodunni y Ismail (2021).

**Factores que influyen en la coagulación – floculación**

- **Dosis del coagulante:** Para cada tipo de agua existe una dosis óptima de coagulante, y ésta influye directamente en la eficiencia de la coagulación, así tenemos que poca cantidad de coagulante la neutralización de la carga es incompleta y apenas se forman microflóculos, lo que provoca una elevada turbidez residual. Por el contrario, un exceso de coagulante invierte la carga de las partículas y genera multitud de microflóculos de tamaño muy pequeño, cuya velocidad de sedimentación es baja, dando como resultado asimismo una turbidez residual elevada (Ojeda, 2012).

  Por otra parte Recalde (2010) menciona que la dosis de coagulante se refiere a la concentración eficaz para la desestabilización de las

partículas suspendidas de modo que se reduzcan las fuerzas de separación entre ellas. Las partículas se aglutinan en pequeñas masas llamadas flóculos tal que su peso específico supera a la del agua y precipitan. Así mismo Aguilar (2018) menciona que la elección del tipo de coagulante y su dosis óptima se establecen mediante ensayos de prueba de jarras; de no hacerse así, se presentan dos inconvenientes, pues una dosis insuficiente apenas neutraliza la carga de las partículas, produciendo escasa formación de microflóculos y, por tanto, elevada turbidez residual; además mientras que una dosis excesiva invierte la carga superficial, genera gran cantidad de microflóculos muy pequeños con baja velocidad de sedimentación y, nuevamente, altas cifras de turbidez residual.

- **Velocidad de agitación:** Según Perez y Urrea (2012) es fundamental aplicar una agitación adecuada tanto durante la dosificación del polímero como en las etapas de formación y crecimiento del flóculo. La incorporación del polímero al agua requiere una agitación intensa y controlada que garantice su dispersión uniforme y la formación de flóculos de tamaño homogéneo. La mezcla rápida aumenta la frecuencia de colisiones entre las cadenas poliméricas y las partículas suspendidas, favoreciendo la floculación, pero debe regularse para evitar esfuerzos de cizalladura que provoquen la ruptura mecánica de los agregados, por lo tanto en definitiva, contar con un nivel óptimo de agitación es esencial para acercar las partículas lo suficiente como

para formar puentes moleculares estables y lograr una coagulación–floculación eficaz.

Aguilar (2018) menciona que para lograr una distribución uniforme del coagulante en todo el volumen de agua, es imprescindible aplicar una mezcla adecuada y lo más rápida posible, dado que las reacciones de coagulación ocurren en lapsos muy breves. En la primera etapa, se efectúa una agitación intensa y de corta duración (mezcla rápida) con el fin de dispersar por completo el coagulante; posteriormente, se procede a una mezcla suave y prolongada (mezcla lenta) que favorece el crecimiento y consolidación de los microflóculos.

### 2.2.4. Turbidez

La turbidez es un indicador visual inmediato de la calidad y seguridad del agua, fácilmente perceptible por los consumidores. A diferencia de otros análisis de laboratorio que requieren más tiempo y recursos, medir la turbidez es rápido y sencillo, proporcionando información valiosa en poco tiempo. Este parámetro refleja la presencia de sólidos en suspensión, como materia orgánica, sales, metales pesados y residuos de medicamentos, aunque no identifica los componentes específicos ni sus concentraciones. Aun así, ofrece una primera aproximación a posibles problemas de contaminación en las fuentes de agua. Para reducir la turbidez, uno de los métodos más estudiados a nivel mundial es el uso de reactivos químicos, los cuales son efectivos, económicos y de fácil aplicación (Cahuana y Meza, 2022).

Según Martínez et al. (2020) en las plantas potabilizadoras se observa que, a mayor turbidez, también aumenta la cantidad de coliformes totales. Aunque la turbidez es simplemente una característica óptica del agua y no supone un riesgo sanitario directo, suele vincularse con la presencia bacteriana, incrementa la demanda de cloro, favorece la formación de subproductos de desinfección y estimula el crecimiento biológico en la red de distribución. Los índices de turbidez permiten evaluar el grado de tratamiento que requiere un agua del naturaleza cruda, su capacidad de filtración y, por ende, la velocidad de filtración idónea, así como valorar la eficiencia de los procesos de coagulación, sedimentación y filtración, y determinar si el agua cumple con los parámetros de potabilidad para consumo humano (Galindo, 2018).

Para la DIGESA (2011) la turbidez representa un indicador que refleja la presencia y concentración de elementos físicos, químicos y biológicos en un efluente o emisión. Cuando estos niveles son elevados, pueden provocar efectos adversos en la salud humana, en la calidad de vida y en el equilibrio ambiental. Asimismo, el Artículo 33 de la Ley N° 28611 establece que los Límites Máximos Permisibles (LMP) deben estar en concordancia con el grado de protección ambiental definido para cada fuente emisora y con los valores establecidos en los estándares de Calidad Ambiental (ECA). La aplicación de estos parámetros debe garantizar que no se sobrepase la capacidad de carga de los ecosistemas, conforme a la normativa ambiental vigente.

**Tabla 2**

***Límites máximos permisibles (LMP) de la calidad organolépticas para el parámetro de turbiedad del agua***

| Parámetro | Unidad de medida | Límite Máximo Permisible |
|---|---|---|
| Turbiedad | UNT | 5 |

Fuente: DIGESA (2011).

- **Remoción de la turbidez:** En los sistemas de agua potable, la presencia de turbidez es clave, ya que las partículas que llevan microorganismos ofrecen un refugio que incrementa la probabilidad de que estos sobrevivan a la desinfección, por lo tanto, el tratamiento del agua potable se centra en la eliminación de partículas coloidales y la producción de agua extremadamente clara, lo que también es estéticamente agradable (Huaringa y Vilcarano, 2019). Además la remoción de la turbidez se refiere al conjunto de acciones que, mediante el uso de un agente coagulante, permiten eliminar o reducir la carga coloidal del agua, disminuyendo simultáneamente características indeseables como el color, el sabor, el aspecto y la presencia de materiales o partículas de distintos tamaños (Cano, 2023).

### 2.2.5. Prueba de jarras

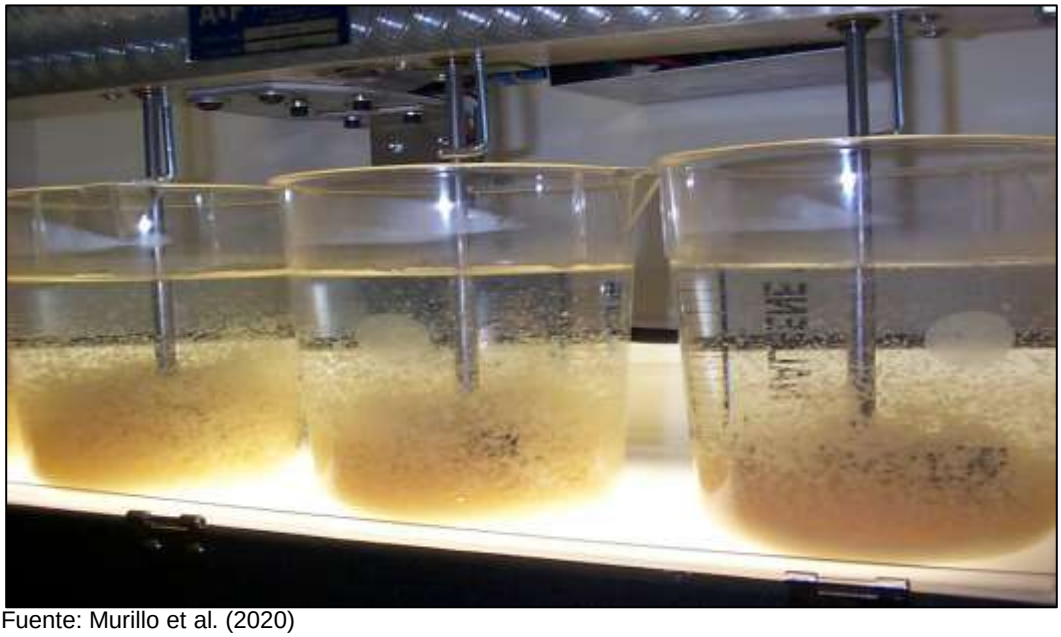
La prueba de jarras es un procedimiento experimental en laboratorio que permite reproducir los procesos de coagulación y floculación, con el objetivo de analizar su comportamiento y determinar las dosis más adecuadas de productos químicos para alcanzar una calidad de agua

específica (Cahuana y Meza, 2022). Según Castellanos y Tusarma (2014), esta técnica simula tanto la coagulación como la floculación, y su finalidad principal es identificar la dosis óptima mediante el análisis de diversas variables fisicoquímicas que intervienen en dichos procesos. Entre estas variables se encuentran los gradientes de mezcla, la selección del coagulante, el pH ideal, los tiempos de agitación rápida, la relación con la velocidad de sedimentación y la eficacia en la eliminación de contaminantes, entre otros aspectos.

Antes de llevar a cabo los ensayos de coagulación-floculación, es imprescindible realizar una evaluación del agua para identificar las principales impurezas que deben ser tratadas. Normalmente, se presta especial atención a indicadores como el color y la turbidez, ya que son claves en los procesos de purificación; no obstante, en determinadas situaciones, también se considera importante medir elementos como el hierro, el fósforo residual o la existencia de microorganismos. A veces, estas pruebas se desarrollan con aguas o aguas residuales de composición poco conocida, aunque el método esencial no varía. Es importante señalar que el análisis inicial y el establecimiento de parámetros teóricos no son suficientes, dado que los cuerpos de agua naturales suelen experimentar cambios estacionales. Por tal motivo, es necesario realizar ensayos periódicos que permitan ajustar el tratamiento según las condiciones cambiantes del recurso hídrico.

**Figura 2**

***Prueba de jarras, en equipo con 03 paletas de agitación***



Fuente: Murillo et al. (2020)

### 2.2.6. El Sulfato de aluminio

El sulfato de aluminio es el coagulante más utilizado en el tratamiento del agua, donde su presentación comercial corresponde generalmente a la fórmula $Al_2(SO_4)_3$ y se elabora a partir de la reacción de minerales de bauxita con ácido sulfúrico; además tanto en su forma líquida como sólida, se caracteriza por su contenido de alúmina. En solución líquida, su concentración suele oscilar entre el 8% y el 8,5%, lo que equivale a un 48% a 49% en forma de polvo, o bien entre 630 y 650 gramos de $Al_2(SO_4)_3$ por cada litro de agua (Pérez, 2015).

El sulfato de aluminio está compuesto por la sal resultante de una base débil (hidróxido de aluminio) y un ácido fuerte (ácido sulfúrico), lo que provoca que sus soluciones acuosas sean altamente ácidas, con un pH que oscila entre 2 y 3,8 dependiendo de la proporción molar entre sulfato y

alúmina. Esta acidez debe considerarse al momento de su almacenamiento, preparación y aplicación. Se comercializa en diversas presentaciones, como polvo, molido, en terrones, en forma de gránulos similares al arroz y también en estado líquido. Su disponibilidad global, bajo costo y facilidad de fabricación, incluso en instalaciones simples, han hecho que muchas plantas de tratamiento estén diseñadas para utilizarlo, y que su personal esté capacitado para su manejo. Es fundamental que el sulfato de aluminio se mezcle rápida y uniformemente en el cuerpo de agua a tratar, para asegurar el contacto efectivo con las partículas coloidales antes de que se formen especies químicas no deseadas. Esto se consigue mediante una agitación inmediata que garantice la distribución homogénea del coagulante en el menor tiempo posible (Pérez, 2015; Velasquez, 2021).

Diversos estudios epidemiológicos, neuropatológicos y bioquímicos han planteado un posible vínculo entre la toxicidad del aluminio a nivel neurológico y el desarrollo de la enfermedad de Alzheimer. Esta preocupación ha motivado a varios investigadores a explorar alternativas que sean más amigables con el medio ambiente. Según las recomendaciones del Comité de la Organización Mundial de la Salud, numerosos países han optado por retirar de sus plantas de tratamiento de agua potable los coagulantes sintéticos como las poliacrilamidas (Bravo, 2017).

### *2.2.7.* La sábila *(Aloe vera L.)*

La sábila (*Aloe vera L*.) es una planta herbácea de gran resistencia, reconocida por su característico tono verde grisáceo con matices rosados

y por presentar pequeñas espinas en los bordes de sus hojas. Al alcanzar su etapa de madurez, entre los 3 y 5 años, puede llegar a medir hasta 61 centímetros de altura y pesar aproximadamente 3 kilogramos por planta. Además, desarrolla inflorescencias que pueden alcanzar los 80 centímetros de longitud (Camarena, 2022).

Carrascal (2020) indica que las hojas en promedio pueden alcanzar un peso final de entre 600 a 800 gramos, incluso con dosis adecuadas de biofertilizantes y buenas prácticas de cultivo, se pueden llegar a obtener hojas que pueden llegar a superar un kilogramo. Siendo esto un factor importante dentro del aprovechamiento de la pulpa o gel para fines agroindustriales, ya que un aumento en el peso de las hojas asociado a 14 una adecuada fertilización orgánica, garantiza mayores volúmenes de gel producido por unidad de área.

**Figura 3**

***Plantas de sábila (Aloe Vera L.)***



Fuente: Carrascal (2020).

**Clasificación taxonómica**

- Reino: Vegetal
- División: Embriophyta Siphonogama
- Subdivisión: Angiospermae Clase
- Orden: Monocotiledoneae Liliales
- Familia: Lilaceae
- Subfamilia: Asfodeloideae
- Tribu: Aloineae
- Género : Aloe
- Especie: vera L.

**Gel de la sábila (*Aloe vera L*.)**

Al cortar transversalmente la hoja de sábila (*Aloe vera L*.), se pueden identificar con claridad dos estructuras principales: una corteza externa de aspecto voluminoso y color verde, conocida como piel, seguida de una capa fibrosa que contiene la aloína. En su interior se encuentra una pulpa abundante denominada gel.

Al realizar un corte transversal en la hoja de Aloe vera L., se distinguen claramente dos partes principales: una capa externa de color verde y apariencia gruesa, conocida como piel, seguida de una franja fibrosa donde se encuentra la aloína. En el centro se ubica una sustancia abundante denominada gel. Este gel se caracteriza por ser una masa viscosa, brillante y de color blanco amarillento, originada en las células mucilaginosas que forman parte del parénquima central de la hoja. Su

composición está constituida principalmente por agua, dado que la fracción sólida representa apenas el 0,5% del total (Villanueva, 2023). Desde el punto de vista químico, se ha reportado que la sábila posee una mezcla compleja de diferentes compuestos, lo cual se muestra en la figura 4.

**Tabla 3**

***Composición química de la sábila (Aloe vera L.)***

| Composición | Compuestos |
|---|---|
| Antraquinonas | Ácido aloético, antranol, acido cinámico, barbaloina, ácido crisofanico, emodina, aloemodin, éster de ácido cinámico, aloína, isobarbaloina, antraceno resintanol. |
| Vitaminas | Ácido fólico, vitamina $B_1$, colina, vitamina $B_2$, vitamina C, vitamina $B_3$, vitamina E, vitamina $B_6$, betacaroteno. |
| Minerales | Calcio, magnesio, potasio, cinco, sodio, cobre, hierro, manganeso, fosforo, cromo. |
| Carbohidratos | Celulosa, galactosa, glucosa, xilosa, manosa, arabinosa, aldopentosa, glucamanosa, fructuosa, acemanano, sustancias pépticas, L- ramnosa. |
| Enzimas | |
| Lípidos y compuestos orgánicos | Esteroides (campestrol, colesterol, β-sitoesterol), ácido salicílico, sorbato de potasio, triglicéridos, lignina, ácido úrico, saponinas, giberelina, triterpenos. |
| Aminoácidos | Alanina, acido aspártico, arginina, acido glutámico, glicina, histidina, isoleucina, lisina, metionina, fenilalanina, prolina, tirosina, treonina, valina. |

Fuente: Adaptado de Domíguez et al. (2012).

## 2.3. Definición de términos básicos

- **Coloide:** Se trata de partículas diminutas con un diámetro inferior a 1 micrómetro, cuya velocidad de caída es tan baja que no pueden sedimentarse de forma natural (Martinez y Yauri, 2023).

- **Potabilización:** Proceso mediante el cual, a partir de agua no apta para el consumo humano, sus características son plenamente modificadas a fin de que cumplan condiciones establecidas para que el agua sea potable (Zegarra y Pereda, 2023).

- **Revolución por minuto (RPM):** Es una unidad que se emplea para medir la velocidad de rotación de un objeto alrededor de un eje.

- **Sedimentación:** Es un proceso la cual consta en la separación de partículas por acción de la gravedad, bajo la influencia del peso específico que posee las diferentes partículas presentes en el agua (Quispe et al., 2021)

- **Turbidimetro:** Es un instrumento utilizado para medir la turbidez de un líquido, es decir, la cantidad de partículas suspendidas que reducen la transparencia del agua u otra solución.

# CAPÍTULO III

# METODOLOGÍA

## 3.1. Método de investigación

Esta investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con el objetivo de medir y analizar de manera objetiva los efectos floculantes de la sábila (*Aloe vera L*.) en la remoción de turbidez de las aguas captadas del río Ucayali. Esto permitió recopilar datos numéricos confiables que respaldaron los resultados obtenidos en cada fase del estudio. El tipo de investigación es aplicada, ya que busca ofrecer una solución práctica y concreta a un problema real relacionado con el tratamiento de agua para consumo humano.

Asimismo, se utilizó un diseño de tipo experimental, dado que se manipuló las variables independientes (la dosis de sábila y la velocidad de agitación) en un entorno controlado de laboratorio. Esto permitió observar sus efectos directos sobre la variable dependiente, es decir, la remoción de turbidez. Gracias a este diseño, fue posible establecer relaciones causales claras entre las variables, lo que a su vez facilitó una evaluación precisa de la eficacia del tratamiento. Además, se controlaron cuidadosamente los factores externos que pudieran interferir en los resultados, garantizando así la validez interna del experimento y la replicabilidad de sus procedimientos.

Por otro lado, cabe señalar que la investigación se desarrolló en el laboratorio de la empresa EMAPACOP S.A., el cual está ubicado en la avenida Julio C. Arana Nº 316, en el distrito de Callería, provincia de Coronel Portillo, departamento de Ucayali. Este laboratorio fue elegido por

contar con el equipamiento y las condiciones necesarias para realizar ensayos de prueba de jarras, en un entorno controlado, lo que permitió llevar a cabo el experimento con rigurosidad y precisión. En este espacio se efectuaron todas las pruebas relacionadas con la aplicación de la sábila como coagulante-floculante natural. A continuación, se presenta la figura 5 que muestra la ubicación del laboratorio, donde se desarrolló el trabajo experimental.

**Figura 4**

***Ubicación donde se desarrolló la investigación***




Fuente: Google Maps (2025).

## 3.2. Población y muestra

### 3.2.1. Población

La población del estudio estuvo compuesta por el volumen total de agua captada del río Ucayali por la empresa EMAPACOP S.A., ubicada en el distrito de Callería, provincia de Coronel Portillo, departamento de

Ucayali. Esta agua captada se utiliza en el proceso de potabilización para abastecer a la población local.

### 3.2.2. Muestra

El tipo de muestreo fue el no probabilístico, dado que se determinó la muestra según la cantidad de agua necesaria para realizar los ensayos experimentales en su totalidad y de manera adecuada (criterio del investigador). En total, se recolectaron 43 litros de agua de la fuente de abastecimiento de la empresa EMAPACOP S.A. para realizar los experimentos. Además de un 20% adicional (7 litros), según lo recomendado por Camarena (2022).

## 3.3. Procedimientos de recolección de datos

Los procedimientos aplicados para la recolección de datos en esta investigación fueron cuidadosamente diseñados con el fin de obtener el coagulante-floculante necesario para la realización de la prueba de jarras, así como muestras representativas que permitieran asegurar la precisión y confiabilidad del proceso experimental. A continuación, se detallan los pasos seguidos:

- **Obtención de la sábila *(Aloe vera L.)*** La sábila fue adquirida directamente en los mercados cercanos a la zona de estudio, seleccionando únicamente plantas completas en buen estado, sin signos visibles de enfermedades ni presencia de plagas. Las plantas recolectadas fueron transportadas de inmediato al laboratorio, donde

se procedió a su acondicionamiento y posterior procesamiento para la obtención del coagulante-floculante.

- **Elaboración del coagulante-floculante de sábila:** Se extrajeron las hojas de sábila de las plantas que fueron transportadas al laboratorio. Estas hojas fueron lavadas con agua destilada para eliminar polvo y residuos presentes en el para posteriormente extrae cuidadosamente el gel (mucílago) el cual fue sometido a un secado a 70 °C durante 48 horas (Cevallos et al., 2022). Una vez seco, el coagulante-floculante fue pulverizado hasta obtener un polvo muy fino (Murillo et al., 2020; Owodunni y Ismail, 2021). Finalmente, el polvo fue tamizado y almacenado en condiciones herméticas para evitar el contacto de este con la humedad ambiental y otros agentes externos.

- **Obtención del Sulfato de Aluminio:** El sulfato de aluminio, utilizado como coagulante-floculante para la comparación, fue proporcionado por la empresa EMAPACOP S.A., que se encargó de suministrar el producto bajo los estándares de calidad requeridos para su uso en procesos de potabilización de agua. Este coagulante se mantuvo en su forma comercial hasta su uso en las pruebas de jarras, asegurando así su efectividad y consistencia en los ensayos realizados.

- **Recolección de muestras de agua:** Las muestras de agua fueron recolectadas de la fuente de abastecimiento de la planta de potabilización de EMAPACOP S.A., ubicada en la caja de agua que

viene directamente de la balsa de captación. Para el muestreo se siguió siguieron las recomendaciones del Ministerio de Salud (2017) y los procedimientos estandarizados que utiliza la Empresa EMAPACOP S.A. empleando para ello frascos de vidrio estériles para garantizar la calidad de las muestras. Una vez recolectadas las muestras de agua, fueron transportadas inmediatamente al laboratorio para mantener su integridad.

- **Prueba de jarras para remoción de turbidez:** Se realizaron las pruebas de jarras utilizando seis muestras de agua cada una de 1000 ml y en vasos de precipitados de 2000 ml de capacidad. El proceso comenzó con un minuto de agitación inicial, tras el cual se añadió la dosis de coagulante de sábila (*Aloe vera L*.) según lo planteado en esta investigación. Luego, cada muestra se agitó a las velocidades predeterminadas durante 15 minutos, que es el tiempo estandarizado por la empresa EMAPACOP S.A. para sus ensayos de coagulantes-floculantes. Posteriormente, se dejó reposar cada muestra durante 45 minutos para permitir el proceso de sedimentación. Luego de transcurrido este tiempo, se extrajeron 100 ml de agua a una profundidad de entre 4 y 5 cm de la superficie utilizando una pipeta, con el fin de medir su turbidez. Este procedimiento se replicó tres veces para cada de los tratamientos. Para el sulfato de aluminio, se replicó el mismo procedimiento experimental en la prueba de jarras.

## 3.4. Técnicas e instrumentos para recolección de datos

### 3.4.1. Técnicas

- **Observación directa:** Se empleó la observación como técnica, para monitorear y registrar el proceso de los ensayos experimentales, garantizando que se siguieran los procedimientos correctamente y sin alteración de ninguna variable.

- **Prueba de jarras:** Técnica estándar para evaluar la remoción de turbidez en el tratamiento de aguas, que consiste en la agitación controlada de las muestras con coagulante, seguida de un periodo de sedimentación para observar la efectividad del coagulante-floculante.

- **Análisis de turbidez**: Se utilizó esta técnica para medir la turbidez de las muestras de agua antes y después del tratamiento, usando un Turbidimetro para obtener los resultados en unidades nefelométricas de turbidez (NTU).

### 3.4.2. Instrumentos

- **Balanza analítica:** Empleado para pesar el coagulante-floculante de acuerdo a las dosis a trabajar.
- **Estufa de aire forzado**: Utilizada para el secado a una temperatura constante del gel obtenido de la sábila (*Aloe Vera L.)*

- **Equipo de prueba de jarras**: Equipo que consta de un numero de 06 paletas giratorias y con el mismo número de vasos de precipitación.
- **Turbidimetro marca HACH:** Se empleo para medir la turbidez del agua en unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU) antes y después de cada prueba experimental.

## 3.5. Procesamiento para recolección de datos

- **Tratamiento y preparación de muestras:** Las muestras de agua fueron almacenadas adecuadamente antes de ser utilizadas en los ensayos.
- **Almacenamiento del coagulante-floculante:** El coagulante de sábila fue procesado según las especificaciones detalladas, y se almacenaron con diferentes pesos para evaluar su efectividad en las pruebas de turbidez.
- **Análisis de turbidez:** La turbidez de las muestras de agua se midió antes y después de cada prueba utilizando un Turbidímetro. Los resultados obtenidos permitieron evaluar el grado de remoción de turbidez (NTU) producido por el coagulante-floculante de sábila *(Aloe vera L.)* en comparación con el sulfato de aluminio.
- **Cálculo de remoción de turbidez:** La eficiencia de remoción de turbidez se calculó utilizando la siguiente fórmula.

$$R_T = \frac{T_I + T_F}{T_I} X\ 100$$

**Donde:**

Rf: % Remoción de turbidez

Ti: Turbidez inicial (UNT)

Tf: Turbidez final (UNT)

## 3.6. Tratamiento de datos

Para el tratamiento de los datos se emplearon pruebas estadísticas que permitieron evaluar la efectividad del coagulante-floculante de la *sabila (Aloe vera L.)* y su comparación con otros métodos (Sulfato de Aluminio). Para ello, se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia del 5% ($\alpha=0.05$), lo que permitió determinar si existían diferencias estadísticamente significativas entre las variables independientes (dosis de coagulante-floculante y velocidad de agitación) y la variable dependiente (remoción de turbidez) a través del programa SPSS ver. 27 conjuntamente con el programa Microsoft Exel ver. 2019 como herramienta complementaria.

# CAPÍTULO IV

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## 4.1. Resultados

### 4.1.1. Remoción de turbidez

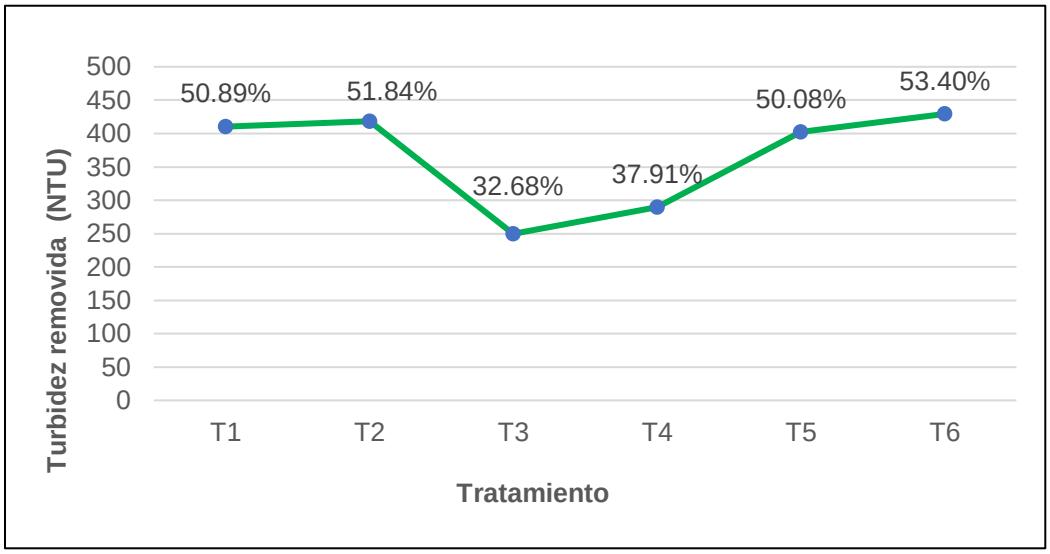
**Tabla 4**

***Resultado de los ensayos de prueba de jarras, en la remoción de turbidez empleando el coagulante-floculante de la sábila (Aloe vera L.)***

| Trat. | Dosis (mg/L) | Velocidad de agitación (RPM) | Turbidez Inicial (NTU) | Turbidez final (NTU) | Turbidez removida (NTU) | Promedio de Eficiencia (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| T1 | 50 | 50 | 807 | 396.33 | 410.67 | 50.89% |
| T2 | 50 | 200 | 807 | 388.67 | 418.33 | 51.84% |
| T3 | 100 | 50 | 764 | 514.33 | 249.67 | 32.68% |
| T4 | 100 | 200 | 764 | 474.33 | 289.67 | 37.91% |
| T5 | 200 | 50 | 804 | 401.33 | 402.67 | 50.08% |
| T6 | 200 | 200 | 804 | 374.67 | 429.33 | 53.40% |

**Figura 5**

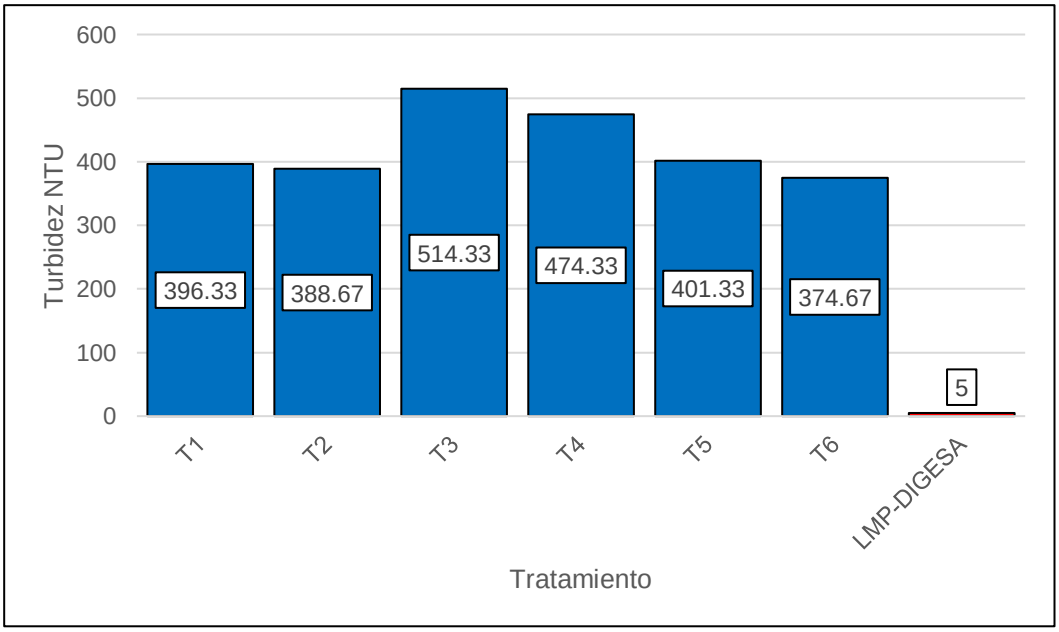
***Eficiencia de remoción del coagulante-floculante de la sábila (Aloe vera L.)***



En la figura 5 se muestra la eficiencia de remoción de turbidez del coagulante-floculante de sábila *(Aloe vera L.*) en las aguas captadas del rio Ucayali con fines de potabilización, donde se observa que el tratamiento T6 (200 mg/L y 200 RPM) alcanzó la mayor remoción de turbidez con 429.33 NTU, lo que representa una eficiencia de 53.40%. Por otra parte, el T2 (50 mg/L y 200 RPM) alcanzó una remoción de 418.33 NTU, lo que representa una eficiencia de 51.84%. El T1 (50 mg/L y 50 RPM) removió 410.67 NTU, lo que representa una eficiencia de 50.89%, mientras que el T5 (200 mg/L y 50 RPM) presentó una remoción de 402.67 NTU, lo que indica una eficiencia de 50.08%. En contraste, el T4 (100 mg/L y 200 RPM) obtuvo una remoción de 289.67 NTU, representando una eficiencia de 37.91%, y el T3 (100 mg/L y 50 RPM) presentó la menor eficiencia con 249.67 NTU, equivalente a 32.68%.

**Figura 6**

***Turbidez final de los tratamientos con coagulante-floculante de sábila (Aloe vera L.) en comparación con el LMP de la calidad organolépticas para el parámetro de turbiedad del agua***

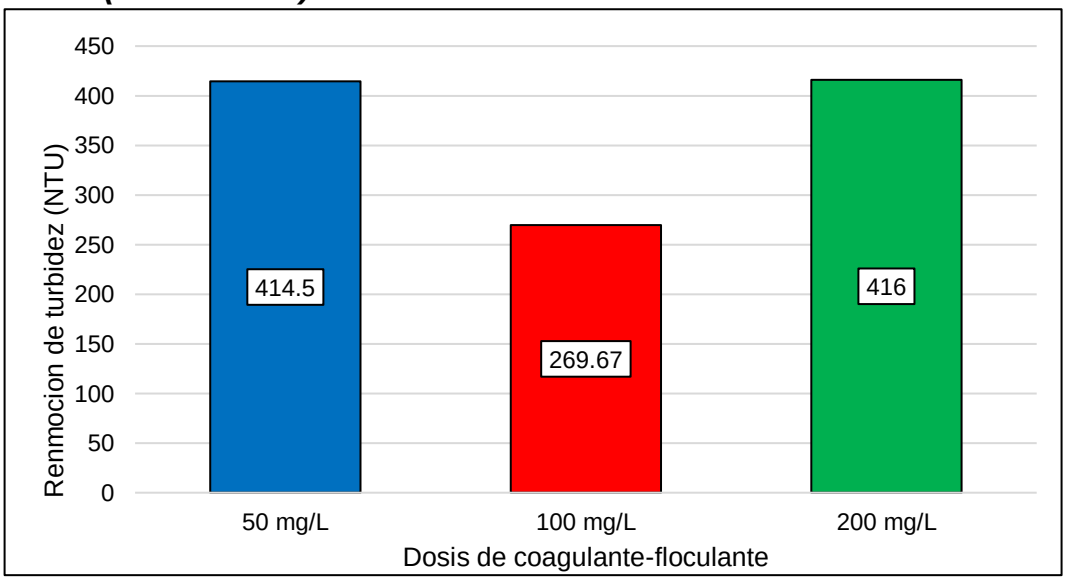


En la figura 6 se observa que las turbideces finales de los tratamientos oscilaron entre 374,67 NTU (T6) y 514,33 NTU (T3), al comparar estos valores con el Límite Máximo Permisible (5 NTU) establecido por la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) para agua destinada a consumo humano, se concluye que ninguno de los tratamientos alcanzó el estándar requerido. Sin embargo, los resultados evidencian que la sábila (*Aloe vera L.)* presenta una capacidad apreciable de reducción de turbidez respecto al agua cruda, mostrando potencial como coagulante-floculante natural, no obstante, su aplicación aislada resulta insuficiente para cumplir con los criterios normativos.

### 4.1.2. Remoción de turbidez a diferentes dosis de floculante-coagulante

**Figura 7**

***Remoción de turbidez a diferentes dosis del coagulante-floculante de sábila (Aloe Vera L.)***



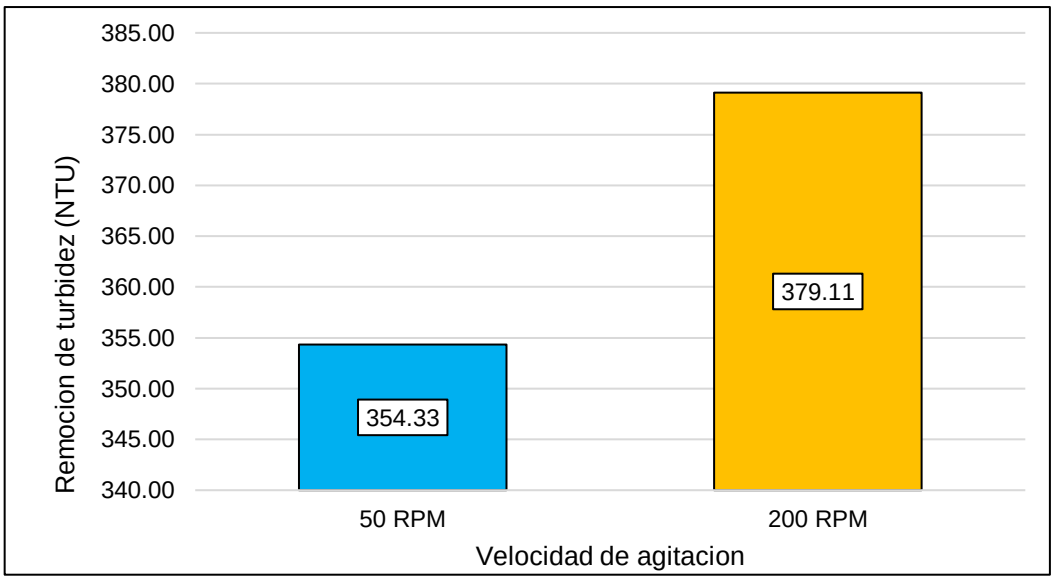

En la figura 7 se observa que a una dosis de 200 mg/L se alcanzó el mayor valor de remoción con 416 NTU, seguida muy de cerca por la dosis

de 50 mg/L con 414,5 NTU. En contraste, la dosis intermedia de 100 mg/L registró un valor considerablemente menor con 269,67 NTU, lo que indica una eficiencia más baja en comparación con las otras dos dosis, este comportamiento sugiere que dosis de 50 y 200 mg/l de coagulante-floculante de sábila *(Aloe Vera L.*) presentan un mejor desempeño en el proceso de remoción de turbidez, mientras que la dosis intermedia no resulta adecuada en este proceso.

### 4.1.3. Remoción de turbidez a diferentes velocidades de agitación

**Figura 8**

***Remoción de turbidez a diferentes velocidades de agitación para el coagulante-floculante de la sábila (Aloe vera L.)***




En la figura 8 se muestra la remoción de turbidez en las aguas captadas del río Ucayali, evaluada a diferentes velocidades de agitación. Los resultados evidencian que a 200 RPM se alcanzó una mayor reducción de turbidez (379,11 NTU), en comparación con 50 RPM (354,33 NTU). Esto indica que a mayor velocidad de agitación, el coagulante-floculante a base

de sábila (*Aloe vera L.*) presenta una mayor efectividad en la eliminación de turbidez, mientras que a 50 RPM el proceso de coagulación-floculación resulta menos eficiente.

### 4.1.4. Remoción de turbidez, frente al sulfato de aluminio

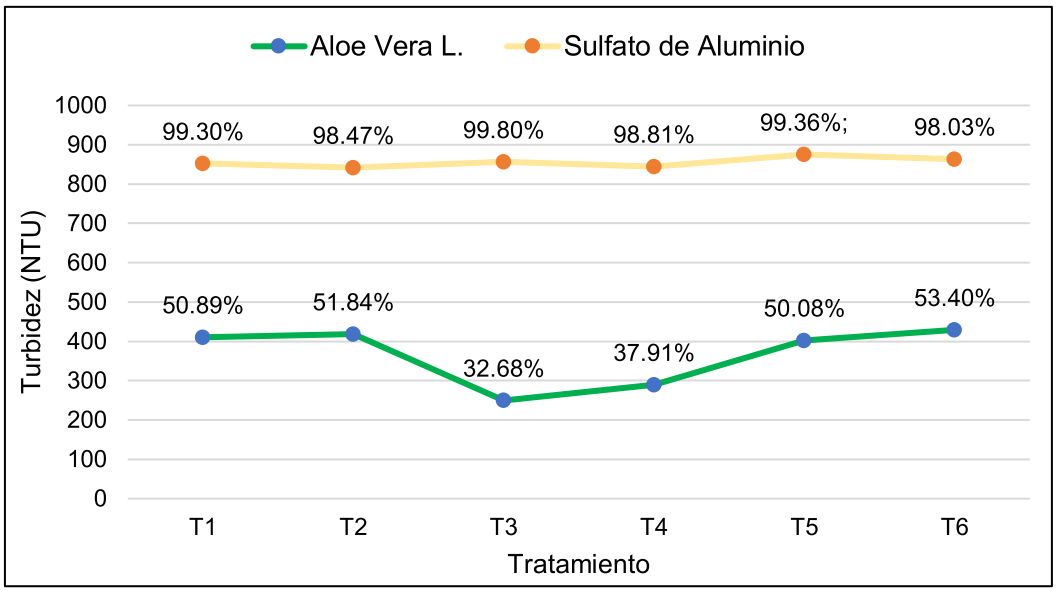
**Tabla 5**

***Resultado de los ensayos de prueba de jarras en la remoción de turbidez empleando sulfato de aluminio***

| Replica | Dosis (mg/L) | Velocidad de agitación (RPM) | Turbidez Inicial (NTU) | Turbidez final (NTU) | Turbidez removida (NTU) | Promedio de eficiencia (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| T1 | 50 | 50 | 858 | 5.97 | 852.03 | 99.30% |
| T2 | 50 | 200 | 855 | 13.10 | 841.90 | 98.47% |
| T3 | 100 | 50 | 858 | 1.75 | 856.25 | 99.80% |
| T4 | 100 | 200 | 855 | 10.19 | 844.81 | 98.81% |
| T5 | 200 | 50 | 881 | 5.67 | 875.33 | 99.36% |
| T6 | 200 | 200 | 881 | 17.37 | 863.63 | 98.03% |

**Figura 9**

***Eficiencia de remoción del coagulante-floculante de la sábila (Aloe vera L.) frente al sulfato de aluminio***



En la figura 9 se presenta la comparación entre el coagulante-floculante a base de sábila (*Aloe vera L*.) y el sulfato de aluminio evaluados bajo el mismo diseño experimental. En el tratamiento T1 (50 mg/L y 50 RPM), el sulfato de aluminio logró una remoción del 99,30%, mientras que la sábila alcanzó el 50,89%. De manera similar, en el T3 (100 mg/L y 50 RPM), el sulfato de aluminio obtuvo 99,80%, en contraste con el 32,68% de la sábila, así se puede observar que en conjunto, el sulfato de aluminio registró valores de eficiencia que varían entre 98,03% y 99,80%, mientras que la sábila presentó en un rango de eficiencia de remoción entre el 32,68% a 53,40%, lo que confirma la superioridad del sulfato de aluminio en la remoción de turbidez de las aguas captadas del río Ucayali.

## 4.2. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en esta investigación evidencian que el efecto coagulante-floculante de la sábila (*Aloe vera L.)* es significativo en la remoción de turbidez de las aguas captadas del río Ucayali con fines de potabilización (ver anexo 02, prueba 1), alcanzando una eficiencia máxima del 53,40% y una mínima del 32,68%. Valores cercanos a los obtenidos en esta investigación fueron reportados por Olivera (2022) y Chamaca (2023), con eficiencias de 48,70% y 53,14%. Cacsire (2024) alcanzó una eficiencia de 69,51% al emplear una combinación de sábila y *Opuntia ficus*, evidenciando que la interacción de diferentes coagulantes naturales puede potenciar la remoción de turbidez. En contraste, Konkobo et al. (2023) y Benalia et al. (2021) registraron eficiencias menores (20,7% y 28,23%), mientras que Cevallos et al. (2022) y Segura (2023) alcanzaron valores

superiores (75,15% y 86,69%). En general estos resultados indican que la eficacia de la sábila como coagulante-floculante presenta una variabilidad importante, la cual depende de factores como las características del agua tratada y las condiciones específicas del proceso de coagulación-floculación en diferentes entornos.

El destacado rendimiento del coagulante elaborado con sábila en este estudio se explica principalmente por su composición bioquímica, en particular por su elevado contenido de polisacáridos, los cuales son fundamentales para favorecer la agregación de partículas durante los procesos de coagulación y floculación. Katubi et al. (2021) indican que el mucílago de polisacáridos participa en la floculación, promoviendo mecanismos de puenteo entre partículas suspendidas y favoreciendo la formación de flóculos más grandes y estables; además, su peso molecular elevado contribuye a la eficiencia del proceso, mejorando la captura y sedimentación de partículas. Por su parte, Benalia et al. (2021) señala que los polisacáridos y proteínas del *Aloe vera* contienen grupos funcionales como carboxílicos y amidas, que se unen a las partículas coloidales, reducen la repulsión electrostática y facilitan la formación de flóculos mediante puentes de hidrógeno, atracción coulómbica o fuerzas de Van der Waals, actuando como sitios de adsorción y mejorando la coagulación. Segura (2023) y Khalid et al. (2023) añaden que estos grupos funcionales cargados positivamente se adhieren a partículas coloidales con carga negativa, provocando su desestabilización y favoreciendo la formación de flóculos.

Respecto a la dosis, esta es una variable fundamental para

minimizar el costo del proceso y la formación de lodos y también para obtener el desempeño óptimo en el tratamiento de remoción de turbidez (Saritha et al. 2017). Así se determinó que la dosis de coagulante-floculante de sábila (*Aloe vera L*.) empleadas en esta investigación, influye significativamente en la eficiencia del proceso remoción de turbidez de las aguas captadas del río Ucayali con fines de potabilización (ver anexo 02, prueba 2). De este modo, al realizar la prueba post hoc de Tukey se observó que a una dosis de 200 mg/L se obtuvieron los mejores resultados, seguida de la dosis de 50 mg/L. Por su parte, la dosis de 100 mg/L mostró los menores niveles de remoción de turbidez. Foraquita et al. (2024) señala que la eficiencia en la remoción de turbidez mejora a medida que aumenta la dosis de sábila (*Aloe vera L*.), hasta llegar a un punto óptimo y que partir de ahí, una sobredosificación puede provocar una disminución de la eficiencia por sobresaturación. Khalid et al. (2023) indican que los coagulantes-floculantes naturales como la sábila suelen requerir dosis más altas a comparación de los coagulantes-floculantes sintéticos encontrando una dosis optima de 500 mg/l de *Aloe Vera L.* para obtener una buena eficiencia. Sin embargo, en nuestro caso no se evaluaron dosis mayores a 200 mg/L, por lo que no se pudo comprobar si existía ese punto de saturación. Por otro lado, Kenea et al. (2023) advierten que una mala dosificación puede afectar negativamente el proceso de remoción de turbidez, y tanto Ruiz et al. (2022) como Mustapha y Obayomi (2025) explican que un exceso de coagulante-floculante puede reestabilizar las partículas suspendidas (se repelen entre sí), generando nuevamente turbidez. Es importante señalar que, aunque no se midió directamente, los

resultados sugieren que la contribución de turbidez por la sábila (*Aloe vera L*.) es mínima, de haberse generado turbidez significativa, se habría observado una disminución de la eficiencia al emplear dosis de 200 mg/L, esto indica que la adición de una posible turbidez es mínima en el proceso.

En cuanto a la velocidad de agitación, medida en revoluciones por minuto (RPM), se determinó que esta variable influye significativamente en la eficiencia de remoción de turbidez de las aguas captadas del río Ucayali con fines de potabilización (ver anexo 02, prueba 3). Dado que solo se evaluaron dos niveles (50 y 200 RPM), no fue necesario aplicar la prueba post hoc de Tukey, que se utiliza únicamente para comparaciones entre tres o más niveles (Nanda et al. 2021). Los resultados mostraron que a 200 RPM se obtuvo una mayor remoción de turbidez, favoreciendo la formación de flóculos más grandes y estables, en contraste, a 50 RPM la eficiencia fue considerablemente menor, lo que indica que una agitación lenta no favorece la formación de flóculos y reduce la efectividad del proceso de floculación. Getahun et al. (2024) y Kenea et al. (2023) mencionan que una agitación demasiado lenta, combinada con tiempos largos de mezcla, puede retrasar la formación de flóculos, lo cual concuerda con los resultados observados a 50 RPM. Por otro lado, Mustapha y Obayomi (2025) señalan que velocidades muy altas pueden generar flóculos pequeños que sedimentan rápidamente, pero que no garantizan una turbidez baja a largo plazo; además, pueden favorecer la resuspensión de partículas si los flóculos se rompen. Este fenómeno no se observó en esta investigación, ya que la mayor velocidad utilizada produjo los mejores resultados, aunque es posible que incrementos adicionales en la agitación

pudieran desencadenarlo.

Con relación al análisis comparativo entre el uso del *sábila (Aloe vera L.)* y sulfato de aluminio se determinó que existe una diferencia significativa en la eficacia para la remoción de turbidez de las aguas captadas del río Ucayali con fines de potabilización entre estos dos compuestos (ver anexo 02, prueba 4), así el sulfato de aluminio alcanzó una eficiencia máxima de 99.81% (100 mg/L y 200 RPM), en comparación con la sábila *(Aloe vera L.)* que encontró su máxima eficiencia con un 53.40% (200 mg/L y 200 RPM). Estudios similares como los de Cevallos et al. (2022) encontró una remoción de turbidez del 99,87% para el sulfato de aluminio y 75,15% para el gel de sábila (*Aloe vera L.)*, Deswal (2023) obtuvo un 87.62% para el sulfato de aluminio y en un 78.48% para la sábila (*Aloe vera L.*). Estos resultados evidencian que aunque la sábila actúa como coagulante natural y consigue una reducción considerable de turbidez, su eficiencia es claramente inferior a la del sulfato de aluminio, el cual se utiliza ampliamente en plantas de tratamiento de agua potable por su alta eficacia. No obstante, la combinación de sábila con sulfato de aluminio presenta un gran potencial, ya que sus propiedades complementarias podrían optimizar el proceso de coagulación-floculación, reducir la dependencia de altas dosis de químicos y favorecer un tratamiento más sostenible y económico del agua del río Ucayali.

Diversos estudios respaldan esta idea del uso de coadyuvantes naturales para remover la turbidez en complemento con el sulfato de aluminio. Así, Ruiz et al. (2022) investigaron la combinación de gel de *sábila (Aloe vera L.)* con sulfato de aluminio obteniendo resultados de hasta de un

100% de eficiencia en la remoción de la turbidez. Diver et al. (2023), señala que el emplear coadyuvantes naturales en la remoción de turbidez generan menos lodos contaminados en las plantas de tratamiento que los coagulantes químicos, lo que reduce los costos de disposición y el impacto ambiental. Además de que los coadyuvantes naturales pueden eliminar tanto contaminantes disueltos como no disueltos, acelerando el proceso del tratamiento y proporcionando ventajas como el ahorro de costos y la reducción de la huella ambiental. Este enfoque abre la puerta a diseños de tratamientos híbridos que maximicen la eficiencia, minimizando al mismo tiempo los costos y residuos tóxicos del tratamiento de potabilización de las aguas del río Ucayali.

Es importante señalar que, aunque en esta investigación se empleó la sábila (*Aloe vera L.*) como coagulante-floculante en su forma sólida (polvo), Benalia et al. (2021) recomiendan su uso en forma líquida, ya que observaron un aumento significativo en la remoción de turbidez, que pasó del 28,23% al 87,84% al utilizar el coagulante disuelto. De manera similar, Gandiwa et al. (2020) demostraron que los coagulantes líquidos extraídos de Moringa oleífera y Opuntia ficus presentan mayor eficiencia en la remoción de turbidez. Estos hallazgos sugieren que la solubilidad del coagulante-floculante de sábila en polvo es un factor crítico en el proceso de coagulación-floculación, lo que podría explicar la eficiencia promedio observada en nuestro estudio. Por lo tanto, se recomienda explorar el uso de este floculante en su forma disuelta para el tratamiento de las aguas del río Ucayali, considerando además su facilidad de manipulación y almacenamiento (Diver et al., 2023).

# CAPÍTULO V

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 5.1. Conclusiones

- Se determinó que el efecto coagulante- floculante de la sábila *(Aloe vera L.)* es significativo en la remoción de turbidez de las aguas captadas para su potabilización del río Ucayali con una eficiencia máxima de 53.40%.

- Se determinó que la dosis influye significativamente en el efecto coagulante-floculante de la sábila *(Aloe vera L.)* siendo la dosis de 200 mg/L la más efectiva para la remoción de turbidez.

- Se determinó que la velocidad de agitación influye significativamente en el efecto de coagulación-floculación de la sábila *(Aloe vera L.),* siendo 200 RPM la velocidad más eficaz para la remoción de turbidez.

- El coagulante-floculante de la sábila *(Aloe vera L.)* alcanzó una eficiencia máxima de 53.40% en la remoción de turbidez, frente al sulfato de aluminio que presentó una eficiencia significativamente mayor, alcanzando un 99.80% en la eficiencia de remoción de turbidez.

## 5.2. Recomendaciones

- Evaluar la efectividad del coagulante floculante la sábila (*Aloe vera L*.) en su forma disuelta en las aguas captadas del rio Ucayali con fines de potabilización y en otros tipos de agua.

- Evaluar la efectividad de combinar *de la sábila (Aloe vera L.)* en combinación con otros materiales naturales potencialmente empleables como coagulantes-floculantes y con el sulfato de aluminio, a fin de reducir el uso de químicos sin comprometer la eficiencia en la remoción de turbidez.

- Realizar estudios con otras variables que permitan mejorar la eficiencia del coagulante-floculante de la *sábila (Aloe vera L).*

# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar, E. M. (2018). Optimización de la dosis de coagulante y floculante en el tratamiento químico del agua de bombeo en una empresa pesquera de Chimbote.

Aguirre, S. E., Piraneque, N. V., & Cruz, R. K. (2018). Sustancias Naturales: Alternativa para el Tratamiento de Agua del Río Magdalena en Palermo, Colombia. Informacion Tecnologica, 29(3), 59–70.

Arismendi Espinosa, W. A. (2016). Evaluación y comparación de la capacidad floculante de taninos modificados (quebracho, acacia, castaño) y su aplicación en el tratamiento de aguas RESIDUALES. Pontifica Universidad Javeriana, 2016.

ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2008). *Toxicological profile for aluminum*. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.

Benalia, M., Derbal, K., & Panico, A. (2021). Uso de *Aloe vera* como coagulante orgánico para mejorar la calidad del agua potable. *Journal of Water Process Engineering*, 40, 101945.

Benjumea, M., Cardona, J., & Patiño, Y. (2021). Evaluación de extractos naturales de *Citrus sinensis*, *Aloe vera* y *Zea mays* para la remoción de turbidez en agua cruda. *Revista Facultad de Ingeniería*, 30(57), 1–10.

Buenaño, X., Vera, E., & Aldás, M. (2019). Estudio de las características coagulantes-floculantes de polímeros orgánicos extraídos de residuos para el tratamiento de agua. *Revista Politécnica*, 43(1), 15–22.

Bravo Gallardo, M. A. (2017). Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados

en aguas residuales. Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, 53(9), 1689–1699.

Cacsire, L. (2024). Evaluación de la opuntia ficus-indica y aloe vera como coagulantes para la disminución de coliformes termotolerantes del río Chanchamayo.

Cahuana, Y., & Meza, C. (2022). Análisis de la influencia de los coagulantes sulfato de aluminio y cloruro férrico en la remoción de turbidez de las aguas del río Shullcas, Huancayo, 2022. Universidad Continental.

Caldera, Y., Mendoza, I., Briceño, L., García, J., & Fuentes, L. (2007). *Eficiencia de la coagulación-floculación en la remoción de turbidez y color en el tratamiento de agua*. Revista Técnica de Ingeniería, 30(2), 143–150.

Camarena, J. (2022). Influencia de la concentración de aloe vera, tiempo de coagulación y tiempo de floculación en la disminución de la demanda bioquímica de oxígeno en el tratamiento de agua residual doméstica. Universidad Nacional del Centro del Perú.

Cano Córdova, G. M. (2023). Estudio Comparativo del Alumbre y Coagulantes Naturales para remover la turbidez del agua en el centro Poblado Agropensa - Barranca, 2019. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.

Capitillo, R., Pérez, J., & Hernández, L. (2023). Aplicación de quitosano como coagulante-floculante en el tratamiento de aguas residuales industriales de la industria de pinturas y adhesivos. *Revista Ingeniería y Desarrollo*, 41(2), 75–84.

Carrascal Ortiz, F. A. (2020). Nuevas tecnologías para el cultivo del aloe vera y su potencial agroindustrial en Colombia. Universidad de Ciencias Aplicadas

y Ambientales, 2507(February), 1–9.

Castellanos Cardona, J. F., & Tusarma Grajales, L. E. (2014). *Coagulación–floculación en el tratamiento de aguas*. Universidad Nacional de Colombia.

Cevallos Coox, N., Burgos Briones, G. A., & Conrdova Mosquera, A. (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 Ciencia y Tecnologia, 16, 1–15.

Chamaca, J. (2023). Eficiencia coagulante y floculante de compuestos naturales de *Opuntia ficus indica* y *Aloe vera* en la reducción de turbidez del agua del río Pallina. Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia.

Deswal, S. (2023). Estudios comparativos del polvo de *Aloe vera* y el alumbre para la remoción de turbidez en agua cruda. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20(3), 3565–3574.

Diver, S., Moyo, P., & Chikodzi, D. (2023). Potencial y limitaciones del reemplazo de coagulantes químicos convencionales por extractos vegetales naturales en el tratamiento de agua y aguas residuales. *Water Science and Technology*, 87(5), 1183–1196.

DIGESA. (2011). Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Human. Direccion General de Salud Ambiental- Ministerio de Salud. DS N° 031-2010-SA. Obtenido de: http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento_Calidad_Agua.pdf

Diver, D., Nhapi, I., & Ruziwa, W. R. (2023). The potential and constraints of replacing conventional chemical coagulants with natural plant extracts in water and wastewater treatment. Environmental Advances, 13(August),

100421.

Domíguez-Fernández, R., Arzate-Vázquez, I., Chanona-Pérez, J., Welti-Chanes, J., Alvarado-González, J., Garibay-Febles, V., & Gutiérrez-López, G. (2012). El gel de aloe vera: Estructura, composición quimica,procesameinto,actividad biológica e importancia en la industria farmacéutica y alimentaria. Revista Mexicana de Ingeniera Qumica, 11(1), 23–43.

Elias, J. W. (2023). Universidad Nacional de Trujillo [Universidad Nacional de Trujillo]. In Universidad Nacional de Trujillo (Vol. 4, Issue None).

Foraquita, A., Quispe, J., & Apaza, M. (2024). *Estudio de la aplicación del Aloe vera (L.) como coagulante para reducir la turbidez en el agua del río Caplina*.

Galindo, G. (2018). Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio granulado tipo b en la planta de tratamiento de agua potable Yurajhuanca – Emapa Pasco. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, 138.

Gandiwa, E., Muchengeti, N., & Nyamadzawo, G. (2020). Optimización del uso de una mezcla de coagulantes naturales (*Moringa oleifera* y *Opuntia*) y sintéticos para el tratamiento de agua. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, 69(7), 742–751.

Getahun, T., Desta, M., & Alemu, D. (2024). Proceso de coagulación para la remoción de color y turbidez en aguas residuales de la industria de procesamiento de café húmedo utilizando bio-coagulantes: Optimización a través del diseño compuesto central. *Environmental Technology & Innovation*, 34, 103042.

Google. (2025). *Ubicación donde se desarrolló la investigación* [Google Maps]. Google Maps.

Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., & García, R. (2013). *Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión*. Revista Ingeniería y Universidad, 17(2), 335–354.

Huaringa, J., & Vilcarano, D. (2019). Efectividad del coagulante obtenido de residuos de papa (Solanum tuberosum) en la turbidez para la potabilización del agua. Universidad Nacional del Centro del Centro de Posgrado, 118.

Katubi, K. M., Amari, A., Harharah, H. N., Eldirderi, M. M., Tahoon, M. A., & Ben Rebah, F. (2021). *Aloe vera as promising material for water treatment: A review*. Processes, 9(5), 782.

Kenea, A., Tadesse, M., & Bekele, T. (2023). Investigación sobre el tratamiento de aguas superficiales utilizando una mezcla de semillas de *Moringa oleifera* y *Aloe vera* como coagulantes naturales. *Journal of Water Process Engineering, 54*, 104020.

Khalid, S., Shahid, M., Bibi, I., Sarwar, T., Shah, A. H., & Niazi, N. K. (2023). *Natural coagulants and flocculants for water treatment: A sustainable approach*. Journal of Water Process Engineering, 51, 103385.

Konkobo, H., Ouedraogo, N., & Traore, A. (2023). Evaluación de la efectividad de extractos de plantas locales como biocoagulantes para mejorar la calidad del agua en países en desarrollo. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(4), 109553.

Martínez-Orjuela, M. R., Mendoza-Coronado, J. Y., Medrano-Solís, B. E., Gómez-Torres, L. M., & Zafra-Mejía, C. A. (2020). Evaluación de la turbiedad como parámetro indicador del tratamiento en una planta

potabilizadora municipal. Revista UIS Ingenierías, 19(1), 15–24.

Martinez, A., & Yauri, K. (2023). Eficiencia de la remoción de la turbidez en aguas sintéticas a nivel de laboratorio, aplicando como coagulante natural la Moringa Oleífera con y sin extracción lipídica de la semilla - 2022.

Mendez León, D. M., & Calderón Idarraga, D. L. (2023). Tratamiento de aguas pluviales a partir de coagulantes naturales para uso doméstico [Universidad EAN]. In Universidad EAN.

Ministerio de Salud. (2017). Caracterización de fuentes de agua y del agua para consumo humano. Programa de incentivos a la Mejora de la Gestión Municipal - Meta 35, 1–20.

Murillo, S. A., Galvis, G., & Pacheco, S. (2020). Manual técnico para la elaboración de coagulantes / floculantes a partir de productos naturales. servicio nacional de aprendizaje (SENA).

Mustapha, A., & Obayomi, O. (2025). Optimización paramétrica del coagulante *Aloe vera* para la remoción de nitratos en aguas residuales textiles mediante metodología de superficie de respuesta. *Environmental Monitoring and Assessment*, 197, 112.

Nanda, A., Mohapatra, D. B. B., Mahapatra, A. P. K., Mahapatra, A. P. K., & Mahapatra, A. P. K. (2021). Multiple comparison test by Tukey's honestly significant difference (HSD): Do the confident level control type I error. International Journal of Statistics and Applied Mathematics, 6(1), 59–65.

Ojeda Baez, L. F. (2012). Determinación de la eficiencia de las características coagulantes y floculantes del tropaeolum tuberosum, en el tratamiento del agua cruda de la planta de puengasí de la epmaps. Universidad Politécnica Salesiana, 150.

Olivera Huaman, D. (2022). Aplicación de aloe vera como coagulante natural en el tratamiento terciario de aguas residuales en la PTAR – Jauja.

OMS. (2011). Guías para la calidad del agua de consumo humano. Organización Mundial de La Salud, 4, 608. Obtenido de: https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?sequence=1

Owodunni, A. A., & Ismail, S. (2021). Revolutionary technique for sustainable plant-based green coagulants in industrial wastewater treatment—A review. Journal of Water Process Engineering, 42(2), 102096.

Pastrana-Pacho, A., Hernández-Barrios, C., Gómez-López, D., & Martínez-Sánchez, J. (2023). Uso de polvo de *Crotalaria longirostrata* combinado con sulfato de aluminio para la remoción de turbidez y color en aguas residuales domésticas. *Journal of Water Process Engineering*, 54, 104067.

Perez de la Cruz, F. J., & Urrea Mallebrera, M. A. (2012). Abastecimineto de Aguas. Universidad Politecnica de Cartagena, 1–34.

Pérez, I. (2015). Optimización de la dosificación de sulfato de aluminio para el tratamiento de agua potable del distrito de Vilcacoto. Universidad Nacional Del Centro Del Peru, 95.

Pinchi, J., Pérez, L., & Ramírez, M. (2023). *Eficiencia de la harina de cáscara de cacao (Theobroma cacao) en la remoción de turbidez de aguas residuales domésticas.*

Quintero, L., & Rodríguez, A. (2018). *Evaluación del proceso de coagulación-floculación para el tratamiento de agua con alta turbidez*. Revista Colombiana de Ingeniería Ambiental, 17(2), 45–54.

Quispe, D. C., Quispe, Y. C., Pacheco, B. S. R., Reynoso, A. M. S., Puma, L. M.

Z., Samanez, C. A. L., Pardo, F. T., Flórez, M. C., Puma, M. M. Z., Lanado, J. F. A., & Quispe, Y. Q. (2021). Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua. Conservação e Meio Ambiente, 38, 70–82.

Recalde Gil, M. A. (2010). Determinación de los parámetros de Influencia en el proceso del agua de la quebrada El Guamal para su potencial uso industrial por la empresa Americana de Curtidos Ltda y Cía C.S.A. Universidad Tecnologica de Pereira, 2(2), 35–43.

Restrepo Osorno, H. A. (2009). Evaluación del proceso de coagulación – floculación de una planta de tratamiento de agua potable. Universidad Nacional de Colombia, 2(5), 255.

Ruiz Ortega, E. L., Ore Cierto, L. E., Vega Guevara, M. R., Angulo Romero, A., Ruiz Huaman, C. M., Garcia Curo, G., & Díaz Dumont, J. R. (2022). Aloe Vera (L.) como floculante para remover la turbidez de aguas superficiales. Boletin de Malariologia y Salud Ambiental, 62(3), 526–543.

Saritha, V., Srinivas, N., & Srikanth Vuppala, N. V. (2017). Analysis and optimization of coagulation and flocculation process. Applied Water Science, 7(1), 451–460.

Segura Pelaez, L. A. (2023). Aloe vera y caesalpinia spinosa para la remoción de turbidez en aguas residuales del sector azucarero. Universidad Privada Del Norte.

SUNASS. (2024). Proyecto de estudio tarifario de EPS EMAPACOP S.A. Documento para la Sostenibilidad de los Servicios de Saneamiento prestados por la EPS EMAPACOP S.A, 2024–2029.

Tetteh, E., & Rathilal, S. (2020). Application of Organic Coagulants in Water and

Wastewater Treatment. Organic Polymers, April.

Velasquez Cachay, C. A. (2021). Dosis óptima y eficiencia del coagulante sulfato de aluminio.

Villanueva, J. (2023). *Evaluación del gel de sábila (Aloe vera L.) como coagulante natural en el tratamiento de agua*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Zegarra, P., & Pereda, E. (2023). Mejoramiento del proceso de potabilización del agua en planta de tratamiento para consumo humano- Santiago de Chuco-La Libertad – 2022. Universididad Nacional de Trujillo (Vol. 4, Issue None).

# ANEXOS

# ANEXO 1

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

<table>
<tr><td colspan="6">TÍTULO: “Efecto coagulante - floculante de la sábila (Aloe Vera L.) en la remoción de turbidez de las aguas captadas del río Ucayali con fines de potabilización, Callería -2025”.</td></tr>
<tr><th>PROBLEMA GENERAL</th><th>OBJETIVO GENERAL</th><th>HIPÓTESIS GENERAL</th><th>VARIABLES</th><th>DIMENSIONES</th><th>METODOLOGIA</th></tr>
<tr><td>¿Cuál es el efecto coagulante-floculante de la sábila (Aloe vera L.) en la remoción de turbidez de las aguas captadas del rio Ucayali con fines de potabilización-2025?</td><td>Determinar el efecto coagulante-floculante de la sábila (Aloe vera L.) en la remoción de turbidez de las aguas captadas del rio Ucayali con fines de potabilización- 2025.</td><td>La aplicación del coagulante–floculante de sábila (Aloe vera L.) tiene un efecto significativo en la remoción de turbidez de las aguas captadas del rio Ucayali con fines de potabilización- 2025.</td><td rowspan="2">Variable independiente<br><br>Coagulación -Floculación</td><td rowspan="2">- Dosis<br>- Velocidad</td><td rowspan="3">Método: Cuantitativo<br>Tipo: Aplicada<br>Diseño de investigación<br>Experimental<br><br>Población: Aguas captadas del río Ucayali<br>Muestra:43 litros de agua<br><br>Técnicas e instrumentos de recolección de datos<br>• Observación directa: Ficha de registro<br>• Prueba de jarras: Equipo de prueba de jarras<br>• Análisis de turbidez: Turbidimetro<br><br>Procedimiento de recolección de datos<br>1. Procedimientos de recolección de datos<br>2. Obtención de la sábila (Aloe vera L.)<br>3. Elaboración del coagulante-floculante de sábila<br>4. Obtención del Sulfato de Aluminio<br>5. Recolección de muestras de agua<br>6. Prueba de jarras para remoción de turbidez.<br><br>Tratamiento de datos<br>t-student y ANOVA de dos factores con nivel de significancia del 0.05 a través del programa SPSS v.27.</td></tr>
<tr><th>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</th><th>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</th><th>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</th></tr>
<tr><td>¿Cuál es el efecto coagulante-floculante de la sábila (Aloe vera L.) a diferentes dosis en la remoción de turbidez de las aguas captadas del río Ucayali?<br><br>¿Cuál es el efecto coagulante-floculante que presenta la sábila (Aloe vera L.) a diferentes velocidades de agitación en la remoción de turbidez de las aguas captadas del rio Ucayali?<br><br>¿Cuál es la eficiencia del efecto coagulante-floculante de la sábila (Aloe vera L.) en comparación con el sulfato de aluminio en la remoción de turbidez de las aguas captadas del rio Ucayali?</td><td>Determinar el efecto coagulante-floculante de la sábila (Aloe vera L.) a diferentes dosis en la remoción de turbidez de las aguas captadas del río Ucayali.<br><br>Determinar el efecto coagulante-floculante de la sábila (Aloe vera L.) a diferentes velocidades de agitación en la remoción de turbidez de las aguas captadas del rio Ucayali.<br><br>Evaluar la eficiencia del efecto coagulante-floculante de la sábila (Aloe vera L.) en comparación al sulfato de aluminio en la remoción de turbidez de las aguas captadas del rio Ucayali.</td><td>La dosis de coagulante-floculante de sábila (Aloe vera L.) influye significativamente en la remoción de turbidez de las aguas captadas del río Ucayali.<br><br>La velocidad de agitación del coagulante-floculante de sábila (Aloe vera L.) influye significativamente en la remoción de turbidez de las aguas captadas del río Ucayali<br><br>La eficiencia del efecto coagulante-floculante de la sábila (Aloe vera L.) es similar a la del sulfato de aluminio para remover la turbidez de las aguas captadas del río Ucayali.</td><td>Variable dependiente:<br><br>Turbidez</td><td>- Turbidez removida</td></tr>
</table>

# ANEXO 2

## PRUEBA DE HIPÓTESIS

**Tabla 6A**

***Prueba de supuesto de normalidad en la remoción del coagulante-floculante de sábila (Aloe Vera L.)***

| Velocidad de agitación | | Dosis | Shapiro-Wilk | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Estadístico | gl | Sig. |
| 50 RPM | Turbidez_ removida | 50 mg/l | ,949 | 3 | 0,567 |
| | | 100 mg/l | ,993 | 3 | 0,843 |
| | | 200 mg/l | ,997 | 3 | 0,902 |
| 200 RPM | Turbidez_ removida | 50 mg/l | ,923 | 3 | 0,463 |
| | | 100 mg/l | ,995 | 3 | 0,859 |
| | | 200 mg/l | ,929 | 3 | 0,485 |

**Tabla 7A**

***Prueba de supuesto de normalidad en la remoción del coagulante-floculante del sulfato de aluminio***

| Velocidad | | Dosis | Shapiro-Wilk | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Estadístico | gl | Sig. |
| 50 RPM | Turbidez_ removida | 50 mg/l | ,998 | 3 | 0,926 |
| | | 100 mg/l | ,928 | 3 | 0,480 |
| | | 200 mg/l | ,883 | 3 | 0,333 |
| 200 RPM | Turbidez_removida | 50 mg/l | ,998 | 3 | 0,906 |
| | | 100 mg/l | ,750 | 3 | 0,000 |
| | | 200 mg/l | ,957 | 3 | 0,599 |

**Prueba 1: Hipótesis general**

- **$H_0$:** La aplicación del coagulante–floculante de sábila (*Aloe vera L.*) no tiene un efecto significativo en la remoción de turbidez de las aguas captadas del río Ucayali con fines de potabilización, Callería - 2025.
- **$H_1$:** La aplicación del coagulante–floculante de sábila (*Aloe vera L.*) tiene un efecto significativo en la remoción de turbidez de las aguas captadas del río Ucayali con fines de potabilización, Callería - 2025.

**Nivel de significancia**

- 95%

**Prueba estadística**

- t-student

**Criterio de decisión**

- Si el valor de sig. > 0.05 se aprueba la **$H_0$**
- Si el valor de sig. < 0.05 se rechaza la **$H_0$**

**Cálculos**

**Tabla 8A**

***Resultados de la prueba de t-student para la remoción de turbidez***

| | Diferencias emparejadas | | | | | t | gl | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Media | Desviación estándar | Media de error estándar | 95% de intervalo de confianza de la diferencia Inferior | Superior | | | |
| Turbidez Inicial – Turbidez final | 366,72 | 73,82 | 17,40 | 330,014 | 403,430 | 21,08 | 17 | 0,000 |

**Conclusión**

- A un nivel de significancia del 95% y con un p-valor de 0.000 (< 0,05), se rechaza la $H_0$, por lo que se afirma que la aplicación del coagulante–floculante de sábila (*Aloe vera L*.) tiene un efecto significativo en la remoción de turbidez de las aguas captadas del rio Ucayali con fines de potabilización, Callería - 2025.

**Prueba 2: Hipótesis específica 1**

- **$H_0$:** La dosis de coagulante-floculante de sábila (*Aloe vera L*.) influye significativamente en la remoción de turbidez de las aguas captadas del río Ucayali.
- **$H_1$:** La dosis de coagulante-floculante de sábila (*Aloe vera L.*) influye significativamente en la remoción de turbidez de las aguas captadas del río Ucayali.

**Nivel de significancia**

- 95%

**Prueba estadística**

- ANOVA

**Criterio de decisión**

- Si el valor de sig. > 0,05 se aprueba la **$H_0$**
- Si el valor de sig. < 0,05 se rechaza la **$H_0$**

## Cálculos

**Tabla 9A**

***Resultado del Análisis de varianza (ANOVA) para la hipótesis específica 2***

| Origen | Tipo III de suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo corregido | 88339,611[a] | 5 | 17667,922 | 49,421 | ,000 |
| Intersección | 2420733,389 | 1 | 2420733,389 | 6771,282 | ,000 |
| Dosis | 84784,778 | 2 | 42392,389 | 118,580 | ,000 |
| Velocidad de agitación | 2762,722 | 1 | 2762,722 | 7,728 | ,017 |
| Dosis * Velocidad de agitación | 792,111 | 2 | 396,056 | 1,108 | ,362 |
| Error | 4290,000 | 12 | 357,500 | | |
| Total | 2513363,000 | 18 | | | |
| Total corregido | 92629,611 | 17 | | | |

## Conclusión

- A un nivel de significancia del 95% y con un p-valor de 0.000 (< 0,05), se rechaza la $H_0$, consecuentemente la dosis de coagulante-floculante de sábila (*Aloe vera L.*) influye significativamente en la remoción de turbidez de las aguas captadas del río Ucayali. La prueba post hoc se muestra a continuación:

**Tabla 10A**

***Prueba de Tukey para la dosis del floculante-coagulante***

| Dosis | N | Subconjunto | |
|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 |
| 100 mg/L | 6 | 269,67 NTU | |
| 50 mg/L | 6 | | 414,50 NTU |
| 200 mg/L | 6 | | 416,00 NTU |

**Prueba 3: Hipótesis específica 2**

- **$H_0$:** La velocidad de agitación del coagulante-floculante de sábila (*Aloe vera L.*) no influye significativamente en la remoción de turbidez de las aguas captadas del río Ucayali.
- **$H_1$:** La velocidad de agitación del coagulante-floculante de sábila (*Aloe vera L.*) influye significativamente en la remoción de turbidez de las aguas captadas del río Ucayali.

**Nivel de significancia**

- 0,05

**Prueba estadística**

- ANOVA

**Criterio de decisión**

- Si el valor de sig. > 0,05 se aprueba la **$H_0$**
- Si el valor de sig. < 0,05 se rechaza la **$H_0$**

## Cálculos

**Tabla 11A**

***Resultado del Análisis de varianza (ANOVA) para la hipótesis específica 3***

| Origen | Tipo III de suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo corregido | 88339,611[a] | 5 | 17667,922 | 49,421 | ,000 |
| Intersección | 2420733,389 | 1 | 2420733,389 | 6771,282 | ,000 |
| Dosis | 84784,778 | 2 | 42392,389 | 118,580 | ,000 |
| Velocidad de agitación | 2762,722 | 1 | 2762,722 | 7,728 | ,017 |
| Dosis * Velocidad de agitación | 792,111 | 2 | 396,056 | 1,108 | ,362 |
| Error | 4290,000 | 12 | 357,500 | | |
| Total | 2513363,000 | 18 | | | |
| Total corregido | 92629,611 | 17 | | | |

## Conclusión

- A un nivel de significancia de 0,05 y con un p-valor de 0.017 (< 0,05), se rechaza la $H_0$, por lo que se afirma que la velocidad de agitación del coagulante-floculante de sábila (*Aloe vera L.*) influye significativamente en la remoción de turbidez de las aguas captadas del río Ucayali.

## Prueba 4: Hipótesis específica 3

- **$H_0$:** La eficiencia del efecto coagulante-floculante de la sábila (Aloe vera L.) es similar a la del sulfato de aluminio para remover la turbidez de las aguas captadas del río Ucayali.
- **$H_1$**: **:** La eficiencia del efecto coagulante-floculante de la sábila *(Aloe vera L*.) es diferente a la del sulfato de aluminio para remover la turbidez de las aguas captadas del río Ucayali.

**Nivel de significancia**

- 95%

**Prueba estadística**

- ANOVA

**Criterio de decisión:**

- Si el valor de sig. > 0,05 se aprueba la **$H_0$**
- Si el valor de sig. < 0,05 se rechaza la **$H_0$**

**Cálculos**

**Tabla 12A**

***Resultado del Análisis de varianza (ANOVA) para la sábila y sulfato de aluminio***

| | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|
| Entre grupos | 2151531,576 | 1 | 2151531,576 | 769,828 | 0,000 |
| Dentro de grupos | 95023,939 | 34 | 2794,822 | | |
| Total | 2246555,516 | 35 | | | |

**Conclusión**

- A un nivel de significancia de 0,05 y con un p-valor de 0.00 (< 0,05), se rechaza la $H_0$, por lo tanto la eficiencia del efecto coagulante-floculante de la sábila (*Aloe vera L.)* es diferente a la del sulfato de aluminio para remover la turbidez de las aguas captadas del río Ucayali.

# ANEXO 3

## BASE DE DATOS

**Tabla 13A**

***Datos de ensayos obtenidos en la prueba de jarras para el coagulante-floculante de la sábila (Aloe vera L.).***

| Dosis (mg/L) | Velocidad de agitación (RPM) | Trat. | Turbidez inicial (UNT) | Turbidez final (UNT) | Turbidez removida (UNT) |
|---|---|---|---|---|---|
| 50 | 50 | T1 | 807 | 395 | 412 |
| | | | 807 | 392 | 415 |
| | | | 807 | 402 | 405 |
| | 200 | T2 | 807 | 390 | 417 |
| | | | 807 | 392 | 415 |
| | | | 807 | 384 | 423 |
| 100 | 50 | T3 | 764 | 511 | 253 |
| | | | 764 | 514 | 250 |
| | | | 764 | 518 | 246 |
| | 200 | T4 | 764 | 476 | 288 |
| | | | 764 | 454 | 310 |
| | | | 764 | 493 | 271 |
| 200 | 50 | T5 | 804 | 399 | 405 |
| | | | 804 | 363 | 441 |
| | | | 804 | 442 | 362 |
| | 200 | T6 | 804 | 371 | 433 |
| | | | 804 | 365 | 439 |
| | | | 804 | 388 | 416 |

**Tabla 14A**

***Datos de ensayos obtenidos en la prueba de jarras para el coagulante-floculante sulfato de aluminio***

| **Dosis (mg/L)** | **Velocidad de** agitación **(RPM)** | **Trat.** | **Turbidez inicial (UNT)** | **Turbidez final (UNT)** | **Turbidez removida (UNT)** |
|---|---|---|---|---|---|
| **50** | 50 | T1 | 858 | 4.66 | 853.34 |
| | | | 858 | 5.91 | 852.09 |
| | | | 858 | 7.34 | 850.66 |
| | 200 | T2 | 855 | 14.8 | 840.2 |
| | | | 855 | 13.2 | 841.8 |
| | | | 855 | 11.3 | 843.7 |
| **100** | 50 | T3 | 858 | 1.8 | 856.2 |
| | | | 858 | 1.88 | 856.12 |
| | | | 858 | 1.57 | 856.43 |
| | 200 | T4 | 855 | 10.3 | 844.7 |
| | | | 855 | 9.96 | 845.04 |
| | | | 855 | 10.3 | 844.7 |
| **200** | 50 | T5 | 881 | 7.87 | 873.13 |
| | | | 881 | 4.91 | 876.09 |
| | | | 881 | 4.24 | 876.76 |
| | 200 | T6 | 881 | 23.6 | 857.4 |
| | | | 881 | 16 | 865 |
| | | | 881 | 12.5 | 868.5 |

**Tabla 15A**

***Estadísticos descriptivos de los datos obtenidos en la investigación***

| Dosis | Velocidad de agitación | | N | Mínimo | Máximo | Media | Desviación estándar |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 50 mg/L | 50 RPM | Turbidez removida | 3 | 405 | 415 | 410,67 | 5,132 |
| | | N válido (por lista) | 3 | | | | |
| | 200 RPM | Turbidez removida | 3 | 415 | 423 | 418,33 | 4,163 |
| | | N válido (por lista) | 3 | | | | |
| 100 mg/L | 50 RPM | Turbidez removida | 3 | 246 | 253 | 249,67 | 3,512 |
| | | N válido (por lista) | 3 | | | | |
| | 200 RPM | Turbidez removida | 3 | 271 | 310 | 289,67 | 19,553 |
| | | N válido (por lista) | 3 | | | | |
| 200 mg/L | 50 RPM | Turbidez removida | 3 | 362 | 441 | 402,67 | 39,552 |
| | | N válido (por lista) | 3 | | | | |
| | 200 RPM | Turbidez removida | 3 | 416 | 439 | 429,33 | 11,930 |
| | | N válido (por lista) | 3 | | | | |

# ANEXO 4

## EVIDENCIAS FOTOGRÁFICAS

**Figura 10A**

***Limpieza de la sábila para la obtención del floculante-coagulante***



**Figura 11A**

***Aloe vera L. después del proceso de secado***



**Figura 12A**

***Proceso antes de la pulverización***



**Figura 13A**

***Proceso de pulverización***



**Figura 14**

***Muestras de agua captadas del río Ucayali, previo al proceso de potabilización***




**Figura 15A**

***Toma y registro de la turbidez del agua***



**Figura 16A**

***Equipo de prueba de jarra con las muestras***



**Figura 17A**

***Dosis de Aloe Vera para 1000 ml de agua***



**Figura 18A**

***Proceso de dosificación del coagulante-floculante***

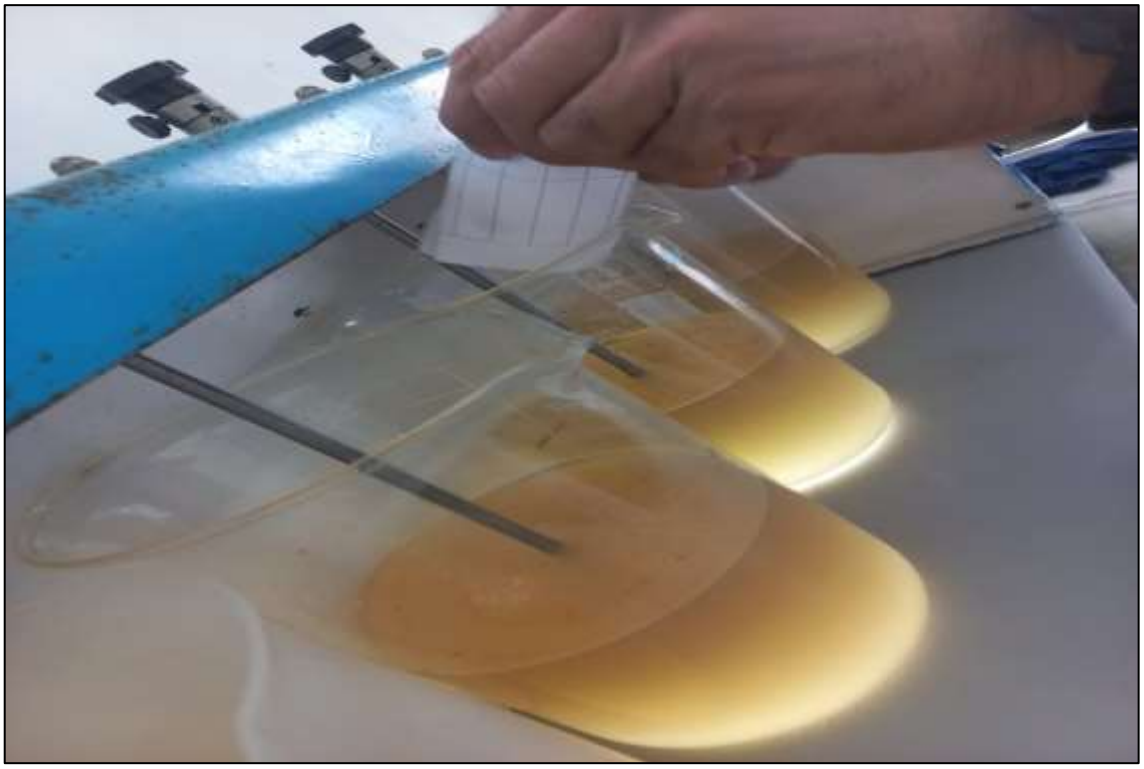


**Figura 19A**

***Ensayo de remoción de turbidez***



**Figura 20**

***Prueba de jarras, luego de terminado el ensayo***



## ANEXO 5

## SOLICITUD PARA ACCESO AL LABORATORIO DE LA EMPRESA

## EMAPACOP S.A.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
DECANATURA

Pucallpa, 04 de marzo del 2025

**CARTA N° 010/2025-UNU-VRACAD-FCFyA-D**

**SEÑOR:**
**ING. MIRKO JURADO DUEÑAS**
**Gerente General de EMAPACOP S.A.**

Presente.-

**ASUNTO** : **SOLICITO BRINDAR FACILIDADES PARA REALIZAR TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN DE TESIS**

**REF.** : **CARTA S/N DE TESISTA**

Es grato dirigirme a usted, para saludarle cordialmente y al mismo tiempo presentarle al **Bach. KENNETH SLIM RODRIGUEZ URBINA,** egresado de la Escuela Profesional de Ingenieria Ambiental de la FCFyA-UNU, quien solicita autorización para ingresar a las instalaciones de la empresa **EMAPACOP S.A**, con la finalidad de recabar información para realizar trabajos de investigación de tesis.

En ese sentido, le solicitamos brindar las facilidades al mencionado Bachiller para que pueda cumplir con sus objetivos y metas.

Seguros de contar con su apoyo, que será en beneficio de nuestros estudiantes y egresados, aprovecho la oportunidad para expresarle las muestras de mi especial consideración y estima personal.

Atentamente

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

DR. PEDRO APARICIO CAMPOS CABRERA
DECANO

05-03-2025

Cc. Archivo

Carretera Federico Basadre Km 6 Telf (061) 576259 Telefax (061) 592236
Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales Telf (061) 574804
PUCALLPA - PERÚ