



**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS PURAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL**



**TRATAMIENTO DE LA TURBIDEZ MEDIANTE FLOCULANTES  
INORGÁNICOS EN AGUAS RESIDUALES DE RELAVES  
MINEROS DE LA COOPERATIVA MINERA  
SEÑOR DE ANANEA 2025**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. DARWIN RONALD CRUZ SUCARI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL**

**JULIACA – PERÚ**

**2025**



**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL**

**TRATAMIENTO DE LA TURBIDEZ MEDIANTE FLOCULANTES  
INORGÁNICOS EN AGUAS RESIDUALES DE RELAVES  
MINEROS DE LA COOPERATIVA MINERA  
SEÑOR DE ANANEA 2025**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. DARWIN RONALD CRUZ SUCARI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL**

**APROBADA POR EL JURADO REVISOR:**

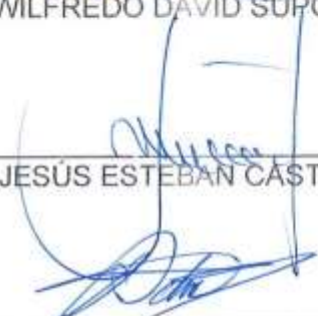
**PRESIDENTE**

  
Dr. ARNALDO YANA TORRES

**PRIMER MIEMBRO**

  
Mgtr. WILFREDO DAVID SUPO PACORI

**SEGUNDO MIEMBRO**

  
M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

**ASESOR DE TESIS**

  
Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN** : SANEAMIENTO AMBIENTAL – P22

**"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"****RESOLUCIÓN DECANAL N° 1447-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 04 de noviembre del 2025

**VISTO:** El expediente N° 2025 - CU - 10632 presentado por el (la) Bachiller: **DARWIN RONALD CRUZ SUCARI** estudiante de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN**.

**CONSIDERANDO:**

Que, el (la) Bach. **DARWIN RONALD CRUZ SUCARI**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulada: **TRATAMIENTO DE LA TURBIDEZ MEDIANTE FLOCULANTES INORGÁNICOS EN AGUAS RESIDUALES DE RELAVES MINEROS DE LA COOPERATIVA MINERA SEÑOR DE ANANEA 2025**, la misma que pertenece a la línea de investigación **SANEAMIENTO AMBIENTAL** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en mérito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO. - APROBAR**, la **NOMINACIÓN DE JURADOS** integrado por los siguientes docentes:

- \* **Presidente** : Dr. ARNALDO YANA TORRES
- \* **1er Miembro** : Mgtr. WILFREDO DAVID SUPO PACORI
- \* **2do Miembro** : M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

**ARTÍCULO SEGUNDO. - RECONOCER** como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREÓN**.

**ARTÍCULO TERCERO. - APROBAR**, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de él (la) bachiller: **DARWIN RONALD CRUZ SUCARI**; del informe final de la investigación (tesis) titulada: **TRATAMIENTO DE LA TURBIDEZ MEDIANTE FLOCULANTES INORGÁNICOS EN AGUAS RESIDUALES DE RELAVES MINEROS DE LA COOPERATIVA MINERA SEÑOR DE ANANEA 2025** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**. de acuerdo al siguiente detalle:

- \* **FECHA** : miércoles 12 de noviembre del 2025
- \* **HORA** : 14:00 horas
- \* **LUGAR** : Aula 306 - FICP

**ARTÍCULO CUARTO. - DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CS. PURASDr. OSCAR V. VAMONTE CALLA  
DECANO (e)  
CIP. 32730UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CS. PURAS  
Dr. Frida Willy Mamani Apaza  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓNcc:  
Archivo  
sistema de archivo



### RESOLUCIÓN DECANAL N° 1077-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 15 de septiembre del 2025

**VISTO:** El expediente N° 2025-CU - 6947 por el señor (a): **DARWIN RONALD CRUZ SUCARI** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el **PROVEIDO - N° 833 - 2025-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 051 - 2025 del integrante del comité de investigación **EPISA** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

#### CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **DARWIN RONALD CRUZ SUCARI**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) **Titulado: TRATAMIENTO DE LA TURBIDEZ MEDIANTE FLOCULANTES INORGÁNICOS EN AGUAS RESIDUALES DE RELAVES MINEROS DE LA COOPERATIVA MINERA SEÑOR DE ANANEA 2025**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **MSc. Jesus Esteban Castillo Machaca** de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la **ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis)** formato N° 051 - 2025 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) **titulado: TRATAMIENTO DE LA TURBIDEZ MEDIANTE FLOCULANTES INORGÁNICOS EN AGUAS RESIDUALES DE RELAVES MINEROS DE LA COOPERATIVA MINERA SEÑOR DE ANANEA 2025**, Correspondiente a la línea de investigación **SANEAMIENTO AMBIENTAL**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

#### RESUELVE:

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **DARWIN RONALD CRUZ SUCARI**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, con el Tema **Titulado: TRATAMIENTO DE LA TURBIDEZ MEDIANTE FLOCULANTES INORGÁNICOS EN AGUAS RESIDUALES DE RELAVES MINEROS DE LA COOPERATIVA MINERA SEÑOR DE ANANEA 2025** correspondiente a la línea de investigación **SANEAMIENTO AMBIENTAL**, en virtud a los considerandos expuestos.

**ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR** como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) **Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON**.

**ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

cc.  
Archivo  
interesado (u)



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. OSCAR V. VIANONTE CALLA  
DECANO (e)  
CIP. 32730



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
Dr. Fritz Willy Mamani Apaza  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



### RESOLUCIÓN DECANAL N° 596-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 02 de julio del 2025

**VISTO:** El expediente N° 2025-CU- 4203, presentado por el señor (a) **DARWIN RONALD CRUZ SUCARI** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el **PROVEIDO - N° 432-2025-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 031-2025 del integrante del comité de investigación **EPISA** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

#### **CONSIDERANDO:**

Que, el señor (a): **DARWIN RONALD CRUZ SUCARI** ha presentado su propuesta de investigación Titulada: **TRATAMIENTO DE LA TURBIDEZ MEDIANTE FLOCULANTES INORGÁNICOS EN AGUAS RESIDUALES DE RELAVES MINEROS DE LA COOPERATIVA MINERA SEÑOR DE ANANEA 2025**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **MSc. Jesus Esteban Castillo Machaca** de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 031-2025- aprobando la propuesta de investigación titulada: **TRATAMIENTO DE LA TURBIDEZ MEDIANTE FLOCULANTES INORGÁNICOS EN AGUAS RESIDUALES DE RELAVES MINEROS DE LA COOPERATIVA MINERA SEÑOR DE ANANEA 2025**.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en mérito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

#### **RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el señor (a): **DARWIN RONALD CRUZ SUCARI**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, con el Tema Titulada: **TRATAMIENTO DE LA TURBIDEZ MEDIANTE FLOCULANTES INORGÁNICOS EN AGUAS RESIDUALES DE RELAVES MINEROS DE LA COOPERATIVA MINERA SEÑOR DE ANANEA 2025** correspondiente a la línea de investigación **SANEAMIENTO AMBIENTAL**.

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

**ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER** como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente Ing. **ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON**.

**ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CS. PURAS

Dr. OSCAR V. VILLAMONTE CALLA  
DECANO (e)  
CIP. 32730



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN  
Dr. Fructuoso Mamani Apaza  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.  
Archivo 2025  
Interesado (a)



# DARWIN RONALD CRUZ SUCARI

## TRATAMIENTO DE LA TURBIDEZ MEDIANTE FLOCULANTES INORGÁNICOS EN AGUAS RESIDUALES DE RELAVES MINER...

 TESIS DE PREGRADO

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::13016:553778038

Fecha de entrega

6 feb 2026, 11:42 GMT-5

Fecha de descarga

7 feb 2026, 23:13 GMT-5

Nombre del archivo

T036\_73460907\_T.docx

Tamaño del archivo

17.2 MB

136 páginas

23.322 palabras

128.715 caracteres



# TESIS UANCV

## 18% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

### Fuentes principales

- 14%  Fuentes de Internet
- 5%  Publicaciones
- 14%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

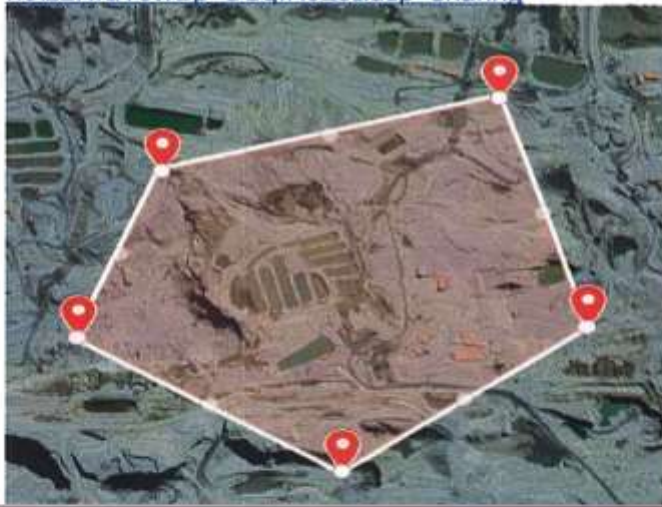
Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



### Metadatos complementarios

| Título de la Tesis                                                                                                                               |                                                                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| TRATAMIENTO DE LA TURBIDEZ MEDIANTE FLOCULANTES INORGÁNICOS EN AGUAS RESIDUALES DE RELAVES MINEROS DE LA COOPERATIVA MINERA SEÑOR DE ANANEA 2025 |                                                                                           |
| Datos de autor                                                                                                                                   |                                                                                           |
| Nombres y apellidos                                                                                                                              | DARWIN RONALD CRUZ SUCARI                                                                 |
| Tipo de documento de identidad                                                                                                                   | DNI                                                                                       |
| Número de documento de identidad                                                                                                                 | 73460907                                                                                  |
| URL de ORCID                                                                                                                                     | <a href="https://orcid.org/0009-0000-6843-5025">https://orcid.org/0009-0000-6843-5025</a> |
| Datos de asesor                                                                                                                                  |                                                                                           |
| Nombres y apellidos                                                                                                                              | ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREÓN                                                             |
| Tipo de documento de identidad                                                                                                                   | DNI                                                                                       |
| Número de documento de identidad                                                                                                                 | 02064066                                                                                  |
| URL de ORCID                                                                                                                                     | <a href="https://orcid.org/0000-0001-8065-6533">https://orcid.org/0000-0001-8065-6533</a> |
| Datos del jurado                                                                                                                                 |                                                                                           |
| Presidente del jurado                                                                                                                            |                                                                                           |
| Nombres y apellidos                                                                                                                              | ARNALDO YANA TORRES                                                                       |
| Tipo de documento                                                                                                                                | DNI                                                                                       |
| Número de documento de identidad                                                                                                                 | 41414676                                                                                  |
| Miembro del jurado 1                                                                                                                             |                                                                                           |
| Nombres y apellidos                                                                                                                              | WILFREDO DAVID SUPO PACORI                                                                |
| Tipo de documento                                                                                                                                | DNI                                                                                       |
| Número de documento de identidad                                                                                                                 | 02428673                                                                                  |
| Miembro del jurado 2                                                                                                                             |                                                                                           |
| Nombres y apellidos                                                                                                                              | JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA                                                            |
| Tipo de documento                                                                                                                                | DNI                                                                                       |



|                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Número de documento de identidad                       | 01323821                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Datos de investigación</b>                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Línea de investigación                                 | Saneamiento Ambiental – P22                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Grupo de investigación                                 | No aplica.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Agencia de financiamiento                              | Sin financiamiento.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Ubicación geográfica de la investigación               | <p><b>País:</b> Perú<br/><b>Departamento:</b> Puno<br/><b>Provincia:</b> San Antonio De Putina<br/><b>Distrito:</b> Ananea<br/><b>Coordenadas:</b><br/><b>Latitud:</b> 15°24'27"S<br/><b>Longitud:</b> 70°07'37"O<br/><b>URL Maps:</b><br/><a href="https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1R4LP5Arl9lz2NraT6tvBp_dGqIH02s&amp;usp=sharing">https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1R4LP5Arl9lz2NraT6tvBp_dGqIH02s&amp;usp=sharing</a></p>  |
| Año o rango de años en que se realizó la investigación | Julio 2025 - Noviembre 2025                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| URL de disciplinas OCDE                                | <b>Ingeniería ambiental</b><br><a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.00">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.00</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Librería                                               | <b>Ciencias del medio ambiente</b><br><a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.08">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.08</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS  
Dr. César G. Camargo Najar  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



### DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo DARWIN RONALD CRUZ SUCARI, identificado con DNI  
Nro. 73460907, en mi condición de egresado de:

☒ Escuela Profesional

☐ Programa de Segunda Especialidad,

☐ Programa de Maestría o Doctorado

"INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL"

informo que he elaborado el/la ☒ Tesis o ☐ Trabajo de Investigación, ☐ Trabajo Académico  
denominada:

"TRATAMIENTO DE LA TURBIDEZ MEDIANTE FLOCULANTES INORGÁNICOS EN AGUAS  
RESIDUALES DE RELAVES MINEROS DE LA COOPERATIVA MINERA SEÑOR DE  
ANANEA 2025"

Asesorado por: Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 18 de DICIEMBRE del 2025

  
Firma del Asesor

  
Firma del Estudiante





### DEDICATORIA

Dedico esta investigación a nuestro Padre Celestial, quien me ha guiado y apoyado en todo momento.

A mis hermanos, por estar ahí para mí en las buenas y en las malas, y a mis padres, por su apoyo incondicional en mi desarrollo profesional.

A mis profesores universitarios, quienes cumplieron con su deber impartiendo información para formar a la futura generación de profesionales.



### AGRADECIMIENTO

Primero, agradezco a Dios por estar siempre a mi lado, protegiéndome y guiándome a lo largo de mi carrera. Sin Su apoyo constante, no habría podido llegar hasta aquí.

Agradezco profundamente a mi familia, quienes son la fuente de mi motivación y esfuerzo. Sin su amor, apoyo y sacrificio, no hubiera sido posible alcanzar lo que he logrado hasta ahora.

Quisiera agradecer a los docentes y al personal de la Universidad Andina Nōor Cáceres Velásquez, en particular a la Escuela de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, por su dedicación a mis estudios. También quiero expresar mi agradecimiento al equipo de EPISA-UANCV del Laboratorio de Calidad Ambiental por su apoyo y colaboración durante el desarrollo de mi proyecto.

Quisiera agradecer a los miembros del jurado por sus valiosos consejos y recomendaciones, que han mejorado mi trabajo.

Finalmente, quiero agradecer a mi asesor de tesis por su dedicación, orientación y apoyo, los cuales fueron fundamentales para la culminación de este proyecto.



## ÍNDICE GENERAL

|                         |      |
|-------------------------|------|
| DEDICATORIA.....        | iii  |
| AGRADECIMIENTO .....    | iv   |
| ÍNDICE GENERAL.....     | v    |
| ÍNDICE DE TABLAS .....  | ix   |
| ÍNDICE DE FIGURAS ..... | xi   |
| RESUMEN .....           | xii  |
| ABSTRACT .....          | xiii |
| INTRODUCCIÓN .....      | xiv  |

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

|                                                 |   |
|-------------------------------------------------|---|
| 1.1. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA..... | 1 |
| 1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....            | 3 |
| 1.2.1. Problema general.....                    | 3 |
| 1.2.2. Problemas específicos.....               | 3 |
| 1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....        | 4 |
| 1.3.1. Objetivo general.....                    | 4 |
| 1.3.2. Objetivos específicos .....              | 4 |
| 1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....    | 5 |
| 1.4.1. Justificación Practica .....             | 5 |
| 1.4.2. Justificación social .....               | 5 |
| 1.4.3. Justificación ambiental.....             | 6 |
| 1.4.4. Justificación Económica .....            | 7 |
| 1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN .....        | 7 |
| 1.5.1. Hipótesis general .....                  | 7 |



|                                            |   |
|--------------------------------------------|---|
| 1.5.2. Hipótesis específicas .....         | 8 |
| 1.6. VARIABLE DE LA INVESTIGACIÓN .....    | 8 |
| 1.7. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES ..... | 9 |

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....                                  | 10 |
| 2.1.1. Antecedentes internacionales.....                                     | 10 |
| 2.1.2. Antecedentes nacionales.....                                          | 13 |
| 2.1.3. Antecedentes regionales .....                                         | 15 |
| 2.2. BASES TEÓRICAS .....                                                    | 19 |
| 2.2.1. Agua.....                                                             | 19 |
| 2.2.2. Aguas residuales .....                                                | 19 |
| 2.2.3. Aguas residuales de relaves mineros.....                              | 20 |
| 2.2.4. Problemática de las aguas residuales en el País.....                  | 21 |
| 2.2.5. Efecto de la pequeña minería en el medio ambiente .....               | 21 |
| 2.2.6. Pequeña minería en placeres auríferos .....                           | 23 |
| 2.2.7. Tratamiento de aguas residuales minero metalúrgicas.....              | 24 |
| 2.2.8. Parámetros relacionados con aguas residuales minero metalúrgicas..... | 25 |
| 2.2.9. Depósitos o pozas de relaves.....                                     | 28 |
| 2.2.10. Coagulación y floculación .....                                      | 29 |
| 2.2.11. El proceso de coagulación y floculación.....                         | 33 |
| 2.2.12. Tipos de coagulantes.....                                            | 35 |
| 2.2.13. Mecanismos de coagulación y floculación .....                        | 36 |
| 2.2.14. Pruebas de jarras.....                                               | 37 |



|                                            |    |
|--------------------------------------------|----|
| 2.2.15. Floculante Súperfloc A-110 .....   | 39 |
| 2.2.16. Floculante Súperfloc RH 4832 ..... | 42 |
| 2.3. MARCO CONCEPTUAL .....                | 45 |
| 2.3.1. Floculación .....                   | 45 |
| 2.3.2. Coagulación .....                   | 45 |
| 2.3.3. Sedimentación .....                 | 45 |
| 2.3.4. Prueba de jarras .....              | 45 |
| 2.3.5. Relaves .....                       | 45 |
| 2.3.6. Muestra de agua .....               | 46 |

### CAPÍTULO III

#### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| 3.1. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....    | 47 |
| 3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....      | 47 |
| 3.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN .....     | 47 |
| 3.4. ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN .....   | 48 |
| 3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA .....        | 48 |
| 3.5.1. Población .....                | 48 |
| 3.5.2. Muestra .....                  | 48 |
| 3.6. MATERIALES Y EQUIPOS .....       | 49 |
| 3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS .....    | 50 |
| 3.7.1. Técnicas .....                 | 50 |
| 3.7.2. Instrumentos .....             | 52 |
| 3.8. LUGAR DE ESTUDIO .....           | 53 |
| 3.9. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO ..... | 55 |



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

|                                                                                                                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1. RESULTADOS.....                                                                                                                                                                                                             | 62 |
| 4.1.1. Concentración inicial de la turbidez y sólidos totales en suspensión de las aguas residuales de los relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea.....                                                                | 62 |
| 4.1.2. Dosis óptima de los floculantes Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832 para la remoción de la turbidez y totales en suspensión de las aguas residuales de relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea. ....            | 65 |
| 4.1.3. Porcentaje de remoción de la turbidez y sólidos totales en suspensión de las aguas residuales de relaves mineros tratadas con los floculantes Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832 en la Cooperativa Señor de Ananea. .... | 74 |
| 4.2. DISCUSIONES .....                                                                                                                                                                                                           | 83 |
| CONCLUSIONES .....                                                                                                                                                                                                               | 86 |
| RECOMENDACIONES .....                                                                                                                                                                                                            | 88 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                                                                                                                                                                                 | 89 |
| ANEXOS .....                                                                                                                                                                                                                     | 97 |



### ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1</b> Operacionalización de variables de la presente investigación. ....                                                                                         | 9  |
| <b>Tabla 2</b> Propiedades del Floculante Aniónico SUPERFLOC A-110. ....                                                                                                  | 41 |
| <b>Tabla 3</b> Ventajas y desventajas del floculante Súperfloc RH 4832. ....                                                                                              | 43 |
| <b>Tabla 4</b> Coordenadas del lugar de estudio - Cooperativa Minera Señor de Ananea. ....                                                                                | 54 |
| <b>Tabla 5</b> Dosis para los ensayos de prueba de jarras con la adición del coagulante de Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832. ....                                      | 57 |
| <b>Tabla 6</b> Resultados de la turbidez de las aguas residuales de los relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea. ....                                           | 62 |
| <b>Tabla 7</b> Resultados de los Sólidos Totales en Suspensión de las aguas residuales de los relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea. ....                     | 63 |
| <b>Tabla 8</b> Dosis óptima del floculante Súperfloc A-110 para la remoción de turbidez en aguas residuales de relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea. ....    | 66 |
| <b>Tabla 9</b> Dosis óptima del floculante Súperfloc A-110 para la remoción de SST en aguas residuales de relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea. ....         | 67 |
| <b>Tabla 10</b> Dosis óptima del floculante Súperfloc RH 4832 para la remoción de turbidez en aguas residuales de relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea. .... | 68 |
| <b>Tabla 11</b> Dosis óptima del floculante Súperfloc RH 4832 para la remoción de SST en aguas residuales de relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea. ....      | 70 |



|                                                                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 12</b> Porcentaje de remoción de turbidez en aguas residuales de relaves mineros tratadas con el floculante Súperfloc A-110 en la Cooperativa Señor de Ananea.....   | 75 |
| <b>Tabla 13</b> Porcentaje de remoción de los SST en aguas residuales de relaves mineros tratadas con el floculante Súperfloc A-110 en la Cooperativa Señor de Ananea.....    | 76 |
| <b>Tabla 14</b> Porcentaje de remoción de turbidez en aguas residuales de relaves mineros tratadas con el floculante Súperfloc RH 4832 en la Cooperativa Señor de Ananea..... | 78 |
| <b>Tabla 15</b> Porcentaje de remoción de los SST en aguas residuales de relaves mineros tratadas con el floculante Súperfloc RH 4832 en la Cooperativa Señor de Ananea.....  | 79 |



### ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1</b> Minería aluvial en la región de Puno. ....                                                                                                                                              | 24 |
| <b>Figura 2</b> Proceso de coagulación. ....                                                                                                                                                            | 30 |
| <b>Figura 3</b> Coagulación Por Adsorción. ....                                                                                                                                                         | 31 |
| <b>Figura 4</b> Coagulación por Barrido. ....                                                                                                                                                           | 32 |
| <b>Figura 5</b> Proceso de floculación.....                                                                                                                                                             | 33 |
| <b>Figura 6</b> Proceso de coagulación, floculación y sedimentación. ....                                                                                                                               | 35 |
| <b>Figura 7</b> Proceso de coagulación y floculación. ....                                                                                                                                              | 37 |
| <b>Figura 8</b> Prueba de jarras. ....                                                                                                                                                                  | 38 |
| <b>Figura 9</b> Ubicación del proyecto de investigación, Cooperativa Minera Señor de Ananea.....                                                                                                        | 54 |
| <b>Figura 10</b> Promedio de Turbidez y Sólidos Totales en Suspensión en Aguas Residuales d .....                                                                                                       | 64 |
| <b>Figura 11</b> Comparación de la dosis óptima de los floculantes Súperfloc A-110 y RH 4832 para la remoción de turbidez en aguas residuales de relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea..... | 72 |
| <b>Figura 12</b> Comparación de la dosis óptima de los floculantes Súperfloc A-110 y RH 4832 para la remoción de los SST en aguas residuales de relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea.....  | 73 |
| <b>Figura 13</b> Comparación del porcentaje de remoción de turbidez empleando los floculantes Súperfloc A-110 y RH 4832 en aguas residuales de relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea.....   | 81 |
| <b>Figura 14</b> Comparación del porcentaje de remoción de SST con los floculantes Súperfloc A-110 y RH 4832 en aguas residuales de relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea.....              | 82 |



## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la eficacia del uso de los floculantes Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832. El objetivo de este estudio fue disminuir la turbidez y mejorar la sedimentación de sólidos suspendidos totales (SST) en aguas residuales provenientes de relaves mineros de la Cooperativa Minera Señor de Ananea. Mediante un diseño preexperimental con tratamientos aplicados a muestras reales de aguas residuales con alta carga de sólidos, el estudio empleó una metodología cuantitativa, aplicada y experimental. Se realizaron pruebas de jarra en el laboratorio a un pH de 6,96 con una concentración de floculante establecida del 2 %. El proceso de floculación consistió en un minuto de agitación rápida a 250 rpm, veinticinco minutos de agitación gradual a 18 rpm y treinta minutos de sedimentación. Con una tasa de remoción de turbidez de hasta el 98,36 %, el floculante Súperfloc RH 4832 superó al A-110, según los datos. (reduciendo de 9912 NTU a 163 NTU) y una remoción de SST de 92.07 % (reduciendo de 117632 mg/L a 9329.7 mg/L), con una dosis óptima de 25 ml. En contraste, el A-110 alcanzó valores máximos de 75.85 % en turbidez y 73.42 % en SST. Se concluye que el floculante RH 4832 es una alternativa más eficiente y viable para el tratamiento de efluentes mineros en condiciones reales de alta carga de sólidos y bajas temperaturas, como las que se presentan en

**Palabras claves:** Relaves mineros, floculantes, sedimentación, turbidez y sólidos suspendidos totales.



## ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the effectiveness of the use of Superfloc A-110 and Superfloc RH 4832 flocculants for the sedimentation of total suspended solids (TSS) and the reduction of turbidity in wastewater from mine tailings of the Señor de Ananea Mining Cooperative. The study was developed under a quantitative, applied and experimental approach, employing a pre-experimental design with application of treatments to real samples of wastewater with high solids loading. Jar tests were carried out in the laboratory, with a fixed flocculant concentration at 2%, pH 6.96, the flocculation process was developed with rapid agitation of 250 rpm for 1 minute, followed by slow agitation of 18 rpm for 25 minutes, and subsequently a sedimentation period of 30 minutes. The results showed that the Superfloc RH 4832 flocculant was more effective than A-110, achieving turbidity removal of up to 98.36% (reducing from 9912 NTU to 163 NTU) and TSS removal of 92.07% (reducing from 117632 mg/L to 9329.7 mg/L), with an optimal dose of 25 ml. In contrast, A-110 reached maximum values of 75.85% in turbidity and 73.42% in TSS. It is concluded that the RH 4832 flocculant is a more efficient and viable alternative for the treatment of mining effluents under real-world conditions of high solids loading and low temperatures, such as those found in the La Mística Project.

**Keywords:** Mine tailings, flocculants, sedimentation, turbidity and total suspended solids.



## INTRODUCCIÓN

La actividad minera es una de las principales fuentes de desarrollo económico en muchas regiones, sin embargo, también representa un desafío ambiental significativo debido a la generación de residuos peligrosos, entre ellos, los relaves mineros. Estos residuos, al entrar en contacto con el agua, generan aguas residuales altamente contaminadas que presentan elevados niveles de turbidez y contienen metales pesados y otros compuestos tóxicos, lo que pone en riesgo la calidad de los recursos hídricos y la salud ambiental de las comunidades aledañas (Younger, Banwart, & Hedin, 2002).

La Cooperativa Minera Señor de Ananea en el distrito de Ananea, Puno, enfrenta este desafío debido a la generación constante de aguas residuales provenientes de sus depósitos de relaves. La turbidez presente en estas aguas es un indicador de la cantidad de partículas suspendidas y sólidos en suspensión, los cuales dificultan los procesos de tratamiento y afectan la eficiencia en la remoción de contaminantes.

En este contexto, el uso de floculantes químicos se presenta como una alternativa eficaz para la sedimentación y clarificación de las aguas residuales mineras. En particular, los floculantes Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832 han sido propuestos para mejorar la aglomeración de partículas y facilitar su sedimentación, contribuyendo así a la reducción de la turbidez y a la mejora de la calidad del agua.

La presente tesis tiene como finalidad evaluar la eficacia del uso de los floculantes Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832 para la sedimentación de sólidos totales en suspensión y la reducción de la turbidez en las aguas residuales de relaves mineros de la Cooperativa Minera Señor de Ananea. Se



busca determinar la efectividad de estos agentes en la clarificación del agua residual, proponiendo un método optimizado que contribuya a la gestión ambiental sostenible de la cooperativa minera, alineado con las normativas vigentes y los estándares de calidad ambiental.

Mediante un enfoque experimental y analítico, se realizó la caracterización de las aguas residuales, seguido de pruebas de dosificación y evaluación del rendimiento de los floculantes. Los resultados permitieron establecer recomendaciones técnicas para el manejo eficiente de las aguas residuales y la mitigación de su impacto ambiental en el distrito de Ananea.

Los siguientes capítulos conforman este estudio de investigación: Capítulo I: Este capítulo cubre el Planteamiento del Problema, que comprende el análisis de la situación problemática, los objetivos y preguntas de investigación, la justificación de la investigación y las hipótesis. Capítulo II: El contexto, los fundamentos teóricos y el marco conceptual se cubren en el desarrollo del marco teórico de este capítulo. Capítulo III: Este capítulo proporciona una visión general de la metodología de investigación, incluyendo el tipo de investigación, métodos y herramientas, estudio y ubicación, población y muestra, y procedimientos de la metodología de investigación. Capítulo IV: Los Resultados y Discusión se presentan en este capítulo. Se utilizan tablas y figuras con interpretaciones para presentar los resultados en el orden de los objetivos particulares. Además, se discute la conexión entre los hallazgos de este estudio e investigaciones anteriores.



## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.

A nivel mundial, la minería es una actividad que genera alrededor del 10% del Producto Interno Bruto (PIB) de muchos países, pero también es responsable de una significativa contaminación documentado numerosos casos donde la inadecuada gestión de relaves ha causado impactos graves, incluyendo contaminación por metales pesados y altas turbideces que afectan ecosistemas acuáticos y comunidades (EEA, 2021).

El tratamiento de aguas residuales mineras mediante floculación es una técnica ampliamente adoptada, reconocida por su eficacia en la reducción de sólidos suspendidos y turbidez, lo que facilita la reutilización del agua y minimiza el impacto ambiental. Sin embargo, la elección del floculante y su dosificación precisa es crucial para maximizar la eficiencia del proceso y minimizar costos.

En Perú, la minería es un motor económico fundamental, siendo uno de los principales exportadores mundiales de minerales. Sin embargo, la minería ha generado retos ambientales significativos, especialmente en la gestión de aguas residuales provenientes de relaves. Según el Ministerio del Ambiente

(2022), existen múltiples casos reportados de contaminación hídrica asociada a aguas residuales mineras, afectando la biodiversidad y la salud pública.

La legislación peruana, a través del Reglamento de Gestión de Residuos Sólidos Mineros y del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SNEIA), establece estándares para el manejo y tratamiento de aguas residuales, fomentando la implementación de tecnologías eficientes como la floculación. No obstante, muchas operaciones mineras pequeñas y cooperativas enfrentan limitaciones técnicas y económicas para adoptar estas tecnologías de manera óptima.

La región Puno es reconocida por su actividad minera, especialmente en el sector de minerales metálicos. La presencia de depósitos de relaves en zonas altas y la cercanía a fuentes de agua importantes como el lago Titicaca, aumentan la vulnerabilidad ambiental y social ante la contaminación por aguas residuales mineras. Estudios regionales han identificado altos niveles de turbidez y metales pesados en ríos y lagunas cercanas a zonas mineras, atribuidos principalmente a la disposición inadecuada de relaves. La falta de sistemas eficientes para el tratamiento de aguas residuales limita la sostenibilidad de la actividad minera y eleva los riesgos para la salud de las comunidades aledañas (GORE, 2021).

En el distrito de Ananea, la Cooperativa Minera Señor de Ananea representa una importante fuente económica local, pero también enfrenta los desafíos propios de la gestión ambiental en minería artesanal y cooperativa. Los depósitos de relaves generados carecen de un tratamiento adecuado para las aguas residuales, caracterizadas por alta turbidez que afecta la calidad de los cuerpos de agua vecinos y pone en riesgo la salud de la población. En

donde, la limitada infraestructura y conocimiento técnico para el tratamiento eficaz de aguas residuales con floculantes específicos como Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832, impide optimizar la sedimentación de partículas suspendidas y la clarificación del agua. Esta situación genera una problemática ambiental que requiere intervención técnica y científica para garantizar la sostenibilidad y cumplimiento normativo, además de preservar la salud ambiental del distrito y sus habitantes.

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cómo es el uso de los floculantes Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832 para la sedimentación de sólidos totales en suspensión y la reducción de la turbidez en las aguas residuales de relaves mineros de la Cooperativa Minera Señor de Ananea?

### **1.2.2. Problemas específicos**

¿Cuál es la concentración inicial de la turbidez y sólidos totales en suspensión de las aguas residuales de los relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea?

¿Cuál será la dosis óptima de los floculantes Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832 para la remoción de la turbidez y sólidos totales en suspensión de las aguas residuales de relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea?

¿Cuál es el porcentaje de remoción de la turbidez y sólidos totales en suspensión de las aguas residuales de relaves mineros tratadas con los



floculantes Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832 en la Cooperativa Señor de Ananea?

### **1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Evaluar el uso de los floculantes Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832 para la sedimentación de sólidos totales en suspensión y la reducción de la turbidez en las aguas residuales de relaves mineros de la Cooperativa Minera Señor de Ananea.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

Caracterizar la concentración inicial de la turbidez y sólidos totales en suspensión de las aguas residuales de los relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea.

Determinar la dosis óptima de los floculantes Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832 para la remoción de la turbidez y sólidos totales en suspensión de las aguas residuales de relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea.

Determinar el porcentaje de remoción de la turbidez y sólidos totales en suspensión de las aguas residuales de relaves mineros tratadas con los floculantes Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832 en la Cooperativa Señor de Ananea

### 1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.4.1. Justificación Práctica

El tratamiento de aguas residuales provenientes de relaves mineros presenta desafíos técnicos relacionados con la alta turbidez y la presencia de sólidos suspendidos que dificultan los procesos convencionales de clarificación. La utilización de floculantes específicos como Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832 ofrece una solución práctica para mejorar la sedimentación y la eliminación de partículas en suspensión. Este estudio permitirá identificar la dosificación óptima y condiciones operativas que maximicen la eficiencia del tratamiento, facilitando la implementación de un sistema adecuado para De esta forma, la tesis aportará un marco técnico robusto que podrá ser aplicado directamente por la Cooperativa Minera Señor de Ananea para optimizar sus procesos de manejo de aguas residuales.

Además, la investigación contribuirá a generar conocimiento aplicado sobre el comportamiento de estos floculantes en condiciones reales de operación minera, lo que es de gran relevancia para proyectos similares en la región y el país. La sistematización de resultados y recomendaciones facilitará la replicabilidad y transferencia tecnológica, incentivando prácticas de tratamiento más eficientes y accesibles, especialmente en contextos donde la tecnología y recursos son limitados.

#### 1.4.2. Justificación social

Las comunidades asentadas alrededor del distrito de Ananea dependen en gran medida de los recursos hídricos locales para actividades domésticas, ganadería camélida y recreativas. La contaminación causada por las aguas residuales de relaves mineros, caracterizada por alta turbidez y metales

pesados, representa un riesgo para la salud pública y el bienestar social, generando enfermedades y afectando la calidad de vida. Mediante esta tesis, se busca contribuir a la mitigación de estos impactos al proponer una tecnología de tratamiento que permita mejorar la calidad del agua y proteger a las poblaciones vulnerables.

Además, al promover la gestión ambiental responsable en la Cooperativa Minera Señor de Ananea, se fortalece la relación entre la minería y la comunidad, fomentando la corresponsabilidad y la participación social en la protección del entorno. Esto genera un efecto positivo en la cohesión social y en la percepción pública de la actividad minera, potenciando un desarrollo más sostenible y equitativo en la región.

### **1.4.3. Justificación ambiental**

Los ecosistemas acuáticos y terrestres del distrito de Ananea y sus alrededores están expuestos a la contaminación generada por las aguas residuales de relaves mineros, las cuales presentan altos niveles de turbidez y cargas contaminantes que alteran los procesos ecológicos naturales. Esta contaminación afecta la calidad del agua, reduce la biodiversidad y altera la funcionalidad de los hábitats. La tesis aportará una solución técnica basada en floculantes que favorece la sedimentación y reducción de sólidos suspendidos, contribuyendo así a la recuperación ambiental y la conservación de los recursos hídricos.

Adicionalmente, la implementación de un sistema de tratamiento eficaz disminuye el riesgo de contaminación a largo plazo, previniendo la degradación irreversible de los ecosistemas acuáticos. Esto favorece la preservación de los servicios ambientales que sustentan actividades

productivas y la calidad de vida local, alineándose con las políticas nacionales e internacionales de conservación ambiental y desarrollo sostenible.

#### **1.4.4. Justificación Económica**

La optimización del tratamiento de aguas residuales mediante el uso de floculantes como Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832 puede generar ahorros significativos en costos operativos para la Cooperativa Minera Señor de Ananea. La reducción de turbidez y sólidos en suspensión facilita la reutilización del agua dentro del proceso minero, disminuyendo la dependencia de fuentes externas y reduciendo gastos en captación y almacenamiento. Esto representa un beneficio económico directo para la operación minera, mejorando la eficiencia y sostenibilidad financiera.

Por otro lado, un tratamiento adecuado y conforme a la normativa ambiental reduce la probabilidad de sanciones, multas o paralización de actividades por incumplimientos regulatorios, protegiendo la continuidad operativa. Además, la adopción de tecnologías ambientalmente responsables mejora la imagen corporativa de la cooperativa, facilitando el acceso a mercados, financiamiento y apoyo institucional, lo que contribuye a fortalecer su posición económica y social en el largo plazo.

### **1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.5.1. Hipótesis general**

La eficacia del uso de los floculantes Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832 para la sedimentación de sólidos totales en suspensión y la reducción de la turbidez en las aguas residuales de relaves mineros de la Cooperativa Minera Señor de Ananea es óptima.

### 1.5.2. Hipótesis específicas

La concentración inicial de la turbidez y sólidos totales en suspensión de las aguas residuales de los relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea, son elevados.

La dosis óptima de los floculantes Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832 permitirá remover la turbidez y sólidos totales en suspensión de las aguas residuales de relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea.

El porcentaje de remoción de la turbidez y sólidos totales en suspensión de las aguas residuales de relaves mineros tratadas con los floculantes Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832 en la Cooperativa Señor de Ananea, será significativamente alto.

### 1.6. VARIABLE DE LA INVESTIGACIÓN

#### Variable independiente

- Floculante: Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832.

#### Variable dependiente

- Tratamiento y sedimentación de la turbidez y sólidos totales en suspensión.

### 1.7. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

**Tabla 1**

*Operacionalización de variables de la presente investigación.*

| Variable                                                                                                       | Dimensión                                   | Indicador                                                               | Índice                                                      | Técnicas e Instrumentos                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Variable Independiente</b><br><br>Flocculante: Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832.                         | - Tipo de flocculante                       | - Flocculante utilizado (Súperfloc A-110 o RH 4832).                    | - Tipo de flocculante aplicado (N/A).                       | - Registro de flocculante usado, observación visual, ficha técnica de flocculante.         |
|                                                                                                                | - Dosificación de flocculante               | - Cantidad de flocculante utilizado.                                    | - Dosis de flocculante (mg/L)                               | - Balanza para pesar flocculante, sistema de dosificación automatizada.                    |
|                                                                                                                | - pH del agua                               | - pH del agua antes y después del tratamiento.                          | - pH del agua.                                              | - Medidor portátil de pH.                                                                  |
| <b>Variable Dependiente</b><br><br>Tratamiento y sedimentación de la turbidez y sólidos totales en suspensión. | - Reducción de turbidez                     | - Nivel de turbidez antes y después del tratamiento.                    | - Reducción porcentual de turbidez (NTU).                   | - Turbidímetro, toma de muestras antes y después del tratamiento.                          |
|                                                                                                                | - Remoción de sólidos totales en suspensión | - Concentración de sólidos suspendidos antes y después del tratamiento. | - Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos (mg/L y %). | - Filtración y pesaje de sólidos, equipo de laboratorio para separación y medición.        |
|                                                                                                                | - Tiempo de sedimentación                   | - Tiempo necesario para la sedimentación completa de los flóculos.      | - Tiempo total de sedimentación (Min.).                     | - Cronómetro, observación del tiempo desde la adición del flocculante hasta sedimentación. |
|                                                                                                                | - Eficiencia de sedimentación               | - Volumen de sedimento generado tras el tratamiento.                    | - Volumen de lodo sedimentado (cm <sup>3</sup> ).           | - Medición volumétrica del lodo sedimentado, cilindros medidores.                          |



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

En la tesis de Camacho et al. (2019) denominada "Evaluación de floculantes químicos para la sedimentación de aguas residuales mineras en Potosí, Bolivia", tuvo como objetivo determinar la efectividad y dosificación óptima de floculantes químicos comerciales para reducir la turbidez en aguas residuales mineras provenientes de relaves en la región de Potosí. En la metodología se realizaron ensayos de laboratorio tipo jar-test aplicando floculantes poliacrílicos y de aluminio, variando la dosificación entre 2 mg/L y 8 mg/L. Con la aplicación de floculante poliacrílico a una dosis de 6 mg/L, se logró una reducción de turbidez del 87%, disminuyendo los valores a aproximadamente 156 UNT. El tiempo de sedimentación efectivo fue de 25 minutos, logrando una clara separación de los sólidos suspendidos. A dosis inferiores a 4 mg/L, a reducción fue menor al 70%, evidenciando la importancia de la dosificación óptima. En conclusión, el estudio demostró que el uso de floculantes químicos es una solución viable para mejorar la clarificación de aguas residuales mineras en Bolivia, con una alta reducción de turbidez y tiempos razonables de sedimentación. Se recomienda la implementación de

esta tecnología en plantas mineras locales para mejorar el tratamiento de aguas residuales.

Sin embargo, Rodríguez y Martínez (2020) en su estudio denominado "Tratamiento de aguas residuales mineras con floculantes poliméricos en la cuenca del río Magdalena, Colombia", tuvo el objetivo de analizar la capacidad de floculantes aniónicos y catiónicos para reducir sólidos suspendidos y turbidez en aguas residuales mineras de la cuenca del río Magdalena. Para ello, realizaron pruebas piloto en laboratorio mediante test de jarras, variando la dosificación de floculantes entre 1 y 7 mg/L y controlando tiempos de sedimentación de 15 a 35 minutos, midiendo turbidez, sólidos suspendidos y tiempo de sedimentación para evaluar su desempeño. Las muestras iniciales tenían una turbidez promedio de 950 UNT, y con floculantes catiónicos a una dosificación óptima de 5 mg/L lograron reducir la turbidez en un 90%, quedando cerca de 95 UNT, con un tiempo de sedimentación inferior a 30 minutos. En contraste, los floculantes aniónicos obtuvieron solo un 75% de reducción a dosis similares. Los autores concluyeron que la floculación con floculantes catiónicos es una alternativa eficiente para el tratamiento de aguas residuales mineras en Colombia, mejorando la calidad del agua y facilitando su reutilización en procesos industriales o agrícolas.

Por otro lado, Silva et al. (2018) en su investigación titulada "Uso de floculantes orgánicos en el tratamiento de efluentes mineros en Minas Gerais, Brasil", tuvo el objetivo de evaluar el rendimiento de floculantes orgánicos, derivados de almidón y acrilamida, en la sedimentación de sólidos suspendidos en efluentes mineros del estado de Minas Gerais, Brasil. En la parte metodológica en el laboratorio realizaron pruebas con dosis de

floculantes entre 4 mg/L y 10 mg/L, observando cambios en turbidez y tiempos de sedimentación que variaron entre 15 y 25 minutos, analizando las propiedades físicas del agua antes y después del tratamiento. Consiguiendo los siguientes resultados: Los efluentes presentaban una turbidez inicial promedio de 1100 UNT, y la aplicación de floclulantes orgánicos a una dosis de 7 mg/L permitió reducir la turbidez en un 85%, dejando valores residuales aproximados de 165 UNT, alcanzando la sedimentación completa en 20 minutos. Dosis mayores no mejoraron significativamente la reducción, lo que indicó un punto óptimo de aplicación. Llegando a la conclusión que los floclulantes orgánicos son efectivos y constituyen una alternativa ambientalmente sostenible para el tratamiento de aguas residuales mineras en Brasil, facilitando una sedimentación rápida y una reducción significativa de la turbidez.

En cambio, González y Benítez (2021) en su investigación denominada "Clarificación de aguas residuales mineras mediante floclulación química en la región del Pilcomayo, Paraguay", tuvo el objetivo de desarrollar un protocolo para reducir la turbidez y los sólidos suspendidos en aguas residuales de relaves mineros mediante floclulación química en la región del Pilcomayo, Paraguay. Para ello, realizaron ensayos test de jarras con floclulantes catiónicos comerciales, probando dosis entre 3 y 7 mg/L y evaluando la turbidez y parámetros físico-químicos antes y después del tratamiento, además de controlar el tiempo de sedimentación para optimizar el proceso. Los resultados mostraron que la turbidez promedio inicial de las muestras era de 1300 UNT, y con una dosis de 5 mg/L de floclulante catiónico se logró una reducción del 80%, disminuyendo la turbidez a 260 UNT; asimismo, el tiempo

efectivo de sedimentación fue aproximadamente de 30 minutos, lo que permitió una clarificación adecuada para su posible reutilización. Por lo tanto, el estudio concluye que la floculación química constituye una técnica viable y eficaz para el tratamiento de aguas residuales mineras en Paraguay, mejorando tanto la gestión ambiental como la calidad del agua en zonas afectadas por la minería.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Según el estudio de Torres y Mendoza (2019) denominado "Evaluación de floculantes químicos para el tratamiento de aguas residuales mineras en la región de Cajamarca", tuvo como objetivo determinar la efectividad y dosificación adecuada de floculantes químicos para reducir la turbidez y sólidos suspendidos en aguas mineras. La metodología consistió en ensayos test de jarras con dosis variables entre 2 y 8 mg/L, y tiempos de sedimentación de 20 a 35 minutos, midiendo parámetros como turbidez, sólidos totales y tiempos de aclaramiento. Los resultados mostraron que con 6 mg/L de floculante se logró una reducción promedio de turbidez del 88%, disminuyendo los valores iniciales de 1150 UNT a 138 UNT, y los sólidos suspendidos se redujeron en un 85%, pasando de 450 mg/L a 67 mg/L. Además, el tiempo de sedimentación para lograr esta clarificación fue de 28 minutos, permitiendo un manejo eficiente del efluente. Los investigadores concluyeron que la aplicación de floculantes químicos representa una alternativa viable y efectiva para mejorar el tratamiento de aguas residuales mineras en Cajamarca, facilitando una gestión ambiental más adecuada.

Por otro lado, Vásquez et al. (2020) en su estudio titulado "Optimización del tratamiento de aguas residuales de relaves mineros mediante floculación

en la región de Arequipa", tuvo el objetivo de analizar el efecto de floculantes catiónicos y no iónicos sobre la turbidez y sólidos suspendidos en efluentes mineros. Se llevaron a cabo test de jarras con dosis entre 3 y 9 mg/L y tiempos de sedimentación de 15 a 30 minutos, evaluando parámetros de turbidez, sólidos suspendidos y tiempo para sedimentación. Los resultados indicaron que con una dosis de 5 mg/L de floculante catiónico se alcanzó una reducción del 85% en turbidez, desde 1000 UNT a 150 UNT, mientras que la combinación con floculantes no iónicos incrementó esta reducción hasta un 90%, bajando la turbidez a 100 UNT. Los sólidos suspendidos disminuyeron de 500 mg/L a 60 mg/L. El tiempo de sedimentación efectivo para estas condiciones fue de 25 minutos. Llegando a la conclusión que la combinación de floculantes mejora la eficiencia del tratamiento en Arequipa y contribuye a la reutilización del agua.

En cambio, Ramírez y Huamán (2018) en la tesis "Aplicación de floculantes en el tratamiento de aguas residuales mineras de la región de Lima", evaluaron la eficacia de diferentes floculantes para clarificar aguas con alta turbidez provenientes de relaves. Utilizaron test de jarras con dosis entre 4 y 7 mg/L y tiempos de sedimentación de 20 a 35 minutos, midiendo turbidez, sólidos totales y otros parámetros físico-químicos. Se obtuvo que una dosis de 6 mg/L permitió reducir la turbidez en un 83%, desde 1050 UNT a 178 UNT, y los sólidos suspendidos bajaron de 420 mg/L a 75 mg/L. El tiempo necesario para sedimentación completa fue de aproximadamente 30 minutos. Concluyendo que los floculantes evaluados son adecuados para el tratamiento de aguas residuales mineras en Lima, logrando una reducción efectiva de contaminantes y mejorando la calidad del agua.

Sin embargo, Flores y Pérez (2021), en el estudio titulado "Eficiencia de floculación química para la sedimentación de aguas residuales mineras en la región de Junín", tuvo el objetivo de evaluar la capacidad de floculantes comerciales para disminuir turbidez y sólidos suspendidos. A través de test de jarras con dosis entre 2 y 8 mg/L y tiempos de sedimentación de 15 a 30 minutos, midieron turbidez antes y después del tratamiento. Se logró una reducción del 87% de la turbidez, pasando de 1200 UNT a 156 UNT, y una disminución de sólidos suspendidos de 480 mg/L a 70 mg/L. El tiempo de sedimentación óptimo fue de 27 minutos, lo que permitió una clarificación rápida y eficiente. Los autores concluyeron que la floculación química es una solución eficaz para mejorar la gestión de aguas residuales mineras en Junín y contribuir a la sostenibilidad ambiental.

### **2.1.3. Antecedentes regionales**

En la tesis de Quispe y Mamani (2022) titulada "Evaluación del uso de floculantes químicos para la reducción de turbidez en aguas residuales mineras en la provincia de Sandia, Puno", tuvo como objetivo de evaluar la eficiencia de floculantes catiónicos para sedimentar partículas suspendidas en aguas residuales mineras. Los ensayos del test de jarras se realizaron con dosis variables de 3 a 8 mg/L y tiempos de sedimentación entre 20 y 35 minutos, monitoreando turbidez y sólidos suspendidos. Los resultados indicaron que la turbidez promedio inicial de 1250 UNT se redujo en un 85% a 187 UNT con la aplicación de 6 mg/L de floculante, logrando una reducción constante en muestras replicadas. Además, los sólidos suspendidos se redujeron de 480 mg/L a 72 mg/L, evidenciando una clarificación efectiva. La sedimentación alcanzó estabilidad en 28 minutos, y dosis mayores a 7 mg/L

no produjeron mejoras significativas, indicando un punto óptimo de dosificación. Estos datos reflejan la capacidad del floculante para generar agregados sólidos compactos y acelerar la separación sólido-líquido, facilitando el manejo del agua residual minera en la zona.

Por otro lado, Huanca et al. (2020) en su investigación "Optimización del tratamiento de aguas residuales mineras mediante floculación en la provincia de Carabaya, Puno", tuvo como finalidad evaluar la eficacia de floculantes poliméricos para disminuir la turbidez y los sólidos suspendidos. Mediante test de jarras con dosis entre 2 y 7 mg/L y tiempos de sedimentación de 15 a 30 minutos, midieron turbidez, sólidos totales y parámetros físico-químicos. La turbidez inicial promedio de 1150 UNT se redujo en un 88%, llegando a 138 UNT con una dosificación óptima de 5 mg/L, lo que representó una mejora considerable en la calidad del agua. Los sólidos suspendidos disminuyeron de 450 mg/L a 65 mg/L, indicando una remoción eficiente de partículas finas. El tiempo de sedimentación efectivo fue de 25 minutos, siendo suficiente para obtener un efluente clarificado. Además, se observaron mejoras en parámetros como la conductividad y pH, mostrando estabilidad en las condiciones del agua tratada. Los autores destacaron que la floculación química es una alternativa eficaz y sostenible para el tratamiento en Carabaya.

Sin embargo, Mamani y Quispe (2018) en su trabajo de investigación "Aplicación de floculantes para el tratamiento de aguas residuales mineras en la provincia de Azángaro, Puno", tuvo el objetivo de estudiar el desempeño de floculantes catiónicos y no iónicos en la clarificación de aguas con alta turbidez. Realizaron test de jarras con dosis de 3 a 7 mg/L y tiempos de

sedimentación entre 20 y 35 minutos, midiendo turbidez, sólidos suspendidos y el tiempo requerido para clarificación. La turbidez inicial de 1100 UNT se redujo en un 84% hasta 176 UNT con 6 mg/L de floculante, mientras que los sólidos suspendidos disminuyeron de 420 mg/L a 70 mg/L. La sedimentación completa se alcanzó en 30 minutos, con formación de flóculos densos y compactos que facilitaron la separación. A dosis inferiores a 4 mg/L, la eficiencia cayó notablemente, y dosis superiores a 7 mg/L no mejoraron la clarificación, estableciendo así un rango óptimo. Este estudio evidencia que la combinación adecuada de floculantes mejora la remoción de contaminantes sólidos en aguas residuales mineras en Azángaro.

En el estudio de Vilca y Poma (2021) denominado "Eficiencia de la floculación química en la clarificación de aguas residuales mineras en la provincia de Melgar, Puno", tuvo el objetivo de evaluar la reducción de turbidez y sólidos suspendidos con floculantes comerciales. A través de test de jarras con dosis entre 2 y 8 mg/L y tiempos de sedimentación entre 15 y 30 minutos, midieron turbidez y sólidos antes y después del tratamiento. La turbidez inicial promedio fue de 1200 UNT, con una reducción del 86% que dejó valores en torno a 168 UNT tras aplicar 6 mg/L de floculante catiónico. Los sólidos suspendidos descendieron de 480 mg/L a 75 mg/L, mostrando una remoción efectiva de partículas en suspensión. La sedimentación óptima se alcanzó en 27 minutos, con la formación de flóculos estables que permitieron una separación eficiente. Se observó también un incremento en la transparencia del agua y una disminución de metales en suspensión, indicando un efecto positivo adicional. Los resultados respaldan la viabilidad de la floculación para el manejo ambiental en Melgar.

En su tesis Llampi (2023) El objetivo fue determinar cómo el pH afectó la capacidad de Superfloc A-110 para reducir la turbidez en Minera Mosoqminas, Ananea en la región de Puno. A nivel explicativo-descriptivo, la metodología sugiere un diseño experimental con un enfoque cuantitativo. Después de ser recolectadas en el campo, las muestras de agua se llevaron al laboratorio. Se realizaron pruebas de jarra después de las pruebas de optimización de floculante, cal y dosis de pH. Dos niveles, tres variables independientes, seis tratamientos y nueve réplicas conformaron el diseño experimental factorial completamente aleatorizado. Las dos variables independientes fueron valores de pH de 5, 7 y 9 y floculante (con y sin floculante). La disminución de la turbidez fue la variable dependiente. Las cuatro lagunas de tratamiento de agua constituyeron la población, con una muestra de 160 L y una inicial

Finalmente, Huamán y Choque (2022) en la tesis titulada "Evaluación del tratamiento de aguas residuales mineras con floculantes en la provincia de Lampa, Puno", tuvo el objetivo de evaluar la eficiencia de floculantes catiónicos en la clarificación de aguas turbias de relaves mineros. Mediante test de jarras con dosis entre 3 y 7 mg/L y evaluaciones de turbidez, sólidos suspendidos y tiempos de sedimentación, obtuvieron una reducción del 89% en turbidez, bajando de 1180 UNT a 130 UNT con 6 mg/L de floculante. Los sólidos suspendidos descendieron notablemente, desde 470 mg/L hasta 55 mg/L, demostrando una remoción eficaz. La sedimentación estable se logró en 26 minutos, con flóculos densos que facilitaron la separación sólido-líquido. Además, se evidenció una mejora en parámetros relacionados con la calidad química y física del agua tratada, reforzando la idoneidad de este tratamiento

para aguas residuales mineras en Lampa. Los autores concluyeron que esta técnica es altamente eficaz para la protección ambiental en la región.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. Agua**

Es un líquido incoloro, inodoro e insípido que está compuesto por dos átomos de hidrogeno y uno de oxígeno ( $H_2O$ ). todas las sustancias son de alguna manera solubles en agua, se le conoce frecuentemente como el disolvente universal. El agua se combina con ciertas sales para formar hidratos, reacciona con los óxidos de los formados ácidos y actúa como catalizador en muchas reacciones químicas importantes (Contreras, y otros, 2008).

Dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno componen el líquido incoloro, inodoro e insípido conocido como agua ( $H_2O$ ). El agua se considera a veces el disolvente universal porque disuelve todos los compuestos en cierta medida. El agua actúa como catalizador en numerosas reacciones químicas importantes, reacciona con óxidos metálicos para generar ácidos y se combina con ciertas sales para formar hidratos. (Porto & Gardey, 2010).

También se le conoce como un material cuyas moléculas están compuestas por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Es un líquido incoloro, inodoro e insípido, aunque también puede existir en forma sólida (conocido como hielo) o gaseosa (vapor). (Porto & Gardey, 2010).

### **2.2.2. Aguas residuales**

Tanto dentro como fuera de las ciudades, estos son subproductos de aguas residuales industriales o del consumo humano. Tras su procesamiento,

sus propiedades típicas, como el nivel de pH, la turbidez, el color, el olor, la conductividad eléctrica y los sólidos en suspensión, suelen cambiar. También pueden contener elementos químicos, materia orgánica y otros componentes. Dado que las aguas residuales contienen numerosos contaminantes de diversos tamaños y composiciones químicas, también se consideran aguas de dispersión. Muchos de ellos permanecen en suspensión debido a su tamaño, aunque la sedimentación puede eliminar gran parte de ellos. (Llampi Pineda, 2023).

### 2.2.3. Aguas residuales de relaves mineros

Las aguas residuales de relaves mineros provienen de los procesos de extracción y procesamiento de minerales. Estas aguas suelen tener una alta concentración de sólidos suspendidos, metales pesados, y otros contaminantes. En el caso de la minería aurífera o de relaves mineros, las aguas suelen ser ricas en partículas finas y coloides, lo que genera una turbidez elevada (López Hernández, Martínez Sánchez, & Hernández Cruz, 2019).

- **Características y composición:** Las aguas residuales de relaves mineros tienen una alta turbidez debido a la presencia de sólidos suspendidos, que pueden incluir arcillas, limos, y partículas finas provenientes del proceso de molienda y concentración del mineral.
- **Impacto ambiental:** La turbidez y los sólidos suspendidos en las aguas pueden afectar gravemente a los ecosistemas acuáticos y a la calidad del agua en las fuentes receptores. La alta turbidez dificulta la oxigenación de los cuerpos de agua y puede dañar la fauna acuática, además de ser un indicador de la presencia de contaminantes como metales pesados.

#### **2.2.4. Problemática de las aguas residuales en el País**

Quispe et al., (2020) Según su publicación, el agua se utiliza tanto para fines industriales como domésticos. Conocemos los numerosos tratamientos a los que se somete, así como su uso y reutilización. Sin embargo, pocas personas conocen o preguntan dónde termina toda esa agua residual. La construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales como destino final es una solución común en la actualidad. Esto ha resuelto el problema en las ciudades más grandes del país, que dependen de estas infraestructuras para su correcto funcionamiento. Añade que los ríos en Perú se utilizaron históricamente como sumideros de basura urbana. Sin embargo, los ríos pudieron recuperarse, pero no reoxigenarse, debido al aumento de volumen durante las temporadas de lluvias. Por esta razón, los peces son gradualmente. (Moscoso Cavallini & Egocheaga Young, 2004).

Debido a que la industria minera y las poblaciones vulnerables comparten el acceso al agua de las cuencas altas, el país se ha visto envuelto en conflictos sociales, ambientales y económicos relacionados con el agua en las últimas décadas. Según el libro de Moscoso, una gestión ambiental adecuada por parte de las autoridades competentes puede convertir este problema en una oportunidad, especialmente mediante el tratamiento de aguas residuales. (Moscoso Cavallini & Egocheaga Young, 2004).

#### **2.2.5. Efecto de la pequeña minería en el medio ambiente**

Según la investigación de En<sub>2</sub>quez, la presencia de depósitos de placer aluvial tiene un impacto ambiental mayor y más notorio. El departamento de Madre de Dios es un claro ejemplo. Por ejemplo, cuando se lava el mineral para la concentración de oro, los lechos fluviales se agitan, lo que provoca

que los materiales en suspensión generen turbidez en el agua. Estos sólidos recorren grandes distancias con el lecho del río antes de precipitar o sedimentar. Debido a que los átomos de oxígeno no pueden difundirse debido a esta turbidez, la luz no puede llegar al fondo del río, lo que impide el crecimiento de peces y vegetación. La región de Anane experimenta algo similar (Enríquez Mamani, 2021).

Los métodos de concentración por gravedad se utilizan comúnmente en los procesos de concentración de oro aluvial. Sin embargo, el oro está recubierto por una sustancia delicada. Se utiliza agua para la dispersión y así separar el oro de la grava aluvial, dejando estos materiales finos suspendidos. Además, la actividad requiere combustibles y lubricantes, que se vierten al suelo o a los arroyos en caso de emergencia. Al igual que en Chala, muchas de estas operaciones se ubican cerca de vías fluviales. (De Echave, 2016).

Los efectos ambientales de la minería artesanal son particularmente evidentes en Madre de Dios, donde incluyen disminución de la cobertura forestal, de los cursos de agua, pérdida de pureza en los cursos naturales de agua, desintegración del ambiente debido a la actividad minera que dificulta su autorrecuperación, cambios en el color del agua y altos niveles de turbidez que impulsan a las especies acuáticas a trasladarse a aguas más claras. (Llampi Pineda, 2023).

De manera similar, la región de Puno ha experimentado una disminución de la cobertura forestal a lo largo de las riberas de ríos y arroyos, así como modificaciones en las propiedades físicas del agua río abajo, como el color y la acidez. También es evidente la presencia de partículas suspendidas en el suelo y el agua donde se alimentan los animales. En las

zonas altas de la región de Puno, ciertos camélidos sudamericanos pastan en estos pastos y beben agua río arriba, lo que puede propagar la contaminación a las personas. Los peces en los tramos inferiores de los canales experimentan lo mismo. (De Echave, 2016).

#### **2.2.6. Pequeña minería en placeres auríferos**

En cuanto al tipo de minería desarrollada, existen cuatro estratos mineros en el país: minería a cielo abierto o de superficie, minería subterránea y minería de placer. Estos estratos se clasifican según la capacidad de procesamiento del mineral, la técnica de extracción y el área de trabajo destinada a las actividades mineras, es decir, en hectáreas asignadas. (Llampi Pineda, 2023).

La concentración de material precioso (oro, Au) en un yacimiento, en su forma libre o nativa, se conoce como minería de placer aurífero. La erosión de la fuente mineral primaria produjo estos depósitos, que se acumularon en las regiones más bajas. Los minerales más pesados en yacimientos como playas y depósitos glaciares se concentran posteriormente por la fuerza de las corrientes de agua.

Al aprovechar la gravedad específica del oro, se puede concentrar material valioso. Dado que las concentraciones de oro en estos yacimientos suelen ser relativamente bajas, se requiere procesar grandes cantidades de mineral para que la actividad sea rentable. Utilizando maquinaria pesada como excavadoras hidráulicas, el mineral se extrae de los frentes de extracción como parte del ciclo de extracción. Posteriormente, se cargan camiones volquete de 15 metros cúbicos con el mineral. (Llampi Pineda, 2023).

### Figura 1

*Minería aluvial en la región de Puno.*



#### 2.2.7. Tratamiento de aguas residuales minero metalúrgicas

El tipo de aguas residuales generadas por las empresas mineras y metalúrgicas peruanas afecta directamente el tratamiento de sus efluentes. Este tratamiento comprende todos los procedimientos destinados a modificar las características físicas, químicas o biológicas o su composición, convirtiéndolas en descargas seguras que puedan recuperarse y almacenarse, transportarse con mayor seguridad o tener un volumen menor. (Tejada Mayta, 2017).

Las características del agua de mina rara vez superan los requisitos. En algunas situaciones, el parámetro que excede puede tratarse con un solo tratamiento. Los estanques de sedimentación, con o sin coagulantes o floculantes, se utilizan para tratar agua que solo supera la norma en términos de sólidos en suspensión. La complejidad de estos estanques de sedimentación varía según el contenido de partículas en suspensión en las aguas residuales. Se utilizan sustancias alcalinas como cal, sosa cáustica o

cualquier otra sustancia alcalina para neutralizar el agua con valores de pH inferiores a la norma (agua ácida). El tratamiento consiste en la precipitación química en forma de hidróxidos (con lechada de cal, por ejemplo) cuando el agua contiene metales disueltos superiores a los requisitos existentes. (Tejada Mayta, 2017).

#### **2.2.8. Parámetros relacionados con aguas residuales minero metalúrgicas**

De acuerdo al Alanya (2024) Esto demuestra que las empresas tienen un impacto en el medio ambiente, y que se requiere monitoreo para evaluar dicho impacto. Otros sectores sociales han exigido esta vigilancia. Para confirmar el daño ambiental que ocurre en un sitio específico y permitir la evaluación de medidas preventivas, se lleva a cabo mediante la medición y observación de indicadores específicos. Para las autoridades y las empresas, esto ofrece una perspectiva esencial. Mediante la observación continua y metódica de los factores ambientales, el monitoreo ambiental recopila información para determinar y evaluar el estado de los recursos naturales. Estos datos cuantificables brindan información sobre aspectos como la recuperación, la degradación y el estado de conservación del medio ambiente. Verificando si se producen impactos ambientales, su alcance, la eficacia de las estrategias de mitigación (Alanya Camasca, 2024).

##### **a. Turbidez del agua**

La opacidad que producen las partículas suspendidas en el agua se mide por su turbidez. Estas partículas, que pueden ser coloidales o finas, enturbian el agua al obstruir la luz. La turbidez suele ser un problema importante en las aguas de relaves mineros debido a la alta concentración

de partículas diminutas que se producen durante la extracción y concentración de minerales. Estas partículas, que impiden la eliminación de contaminantes y causan turbidez, pueden incluir limos, arcillas y elementos metálicos dispersos. (Méndez, 2018).

Los residuos provenientes de la molienda del mineral extraído se denominan relaves mineros, y las aguas residuales generadas durante esta operación presentan una alta carga de sólidos en suspensión. La reducción de los efectos sobre los ecosistemas acuáticos y el cumplimiento de las normas ambientales dependen del tratamiento de las aguas residuales provenientes de los relaves mineros. Además de mejorar la calidad del agua, controlar su turbidez es crucial para evitar la contaminación de los cuerpos de agua receptores. (Alvarez & García, 2020).

Además de aumentar la turbidez, las diminutas partículas presentes en los relaves, como arcillas y metales pesados, tienen la capacidad de absorber contaminantes como cianuros, metales pesados y otros materiales peligrosos empleados en la extracción de minerales. Una de las mejores maneras de reducir la turbidez es dejar sedimentar estos materiales en suspensión. Sin embargo, debido al pequeño tamaño de las partículas, este proceso puede retrasarse; por lo tanto, se deben emplear métodos como la floculación para fomentar la aglomeración de partículas microscópicas y facilitar su sedimentación. (Pérez, Gómez, & Martínez, 2019).



### **b. Sólidos totales en suspensión**

Las partículas finas y los coloides que permanecen suspendidos en el agua debido a su tamaño, forma o carga superficial se denominan sólidos suspendidos totales (SST) en las aguas de relaves mineros. Estos sólidos pueden ser desde limos y arcillas hasta minerales no sedimentados y metales pesados. Los SST son esenciales para el tratamiento de las aguas residuales mineras, ya que pueden contaminar el agua y poner en peligro el medio ambiente. (Hach, 2017).

Los relaves mineros, que son los residuos líquidos generados por el proceso de extracción y concentración de minerales, contienen una alta concentración de sólidos suspendidos. Esto se debe a los procesos de molienda y separación de los minerales valiosos, que dejan partículas finas que no se pueden separar fácilmente por métodos convencionales de filtración. La turbidez de las aguas de relaves es una consecuencia directa de estos sólidos suspendidos, los cuales pueden tener efectos adversos sobre la fauna acuática y la calidad del agua. Las partículas finas también pueden transportar contaminantes como metales pesados, lo que aumenta el riesgo de contaminación de fuentes de agua (Zhao, Yang, & Li, 2015).

Los sólidos totales en suspensión incluyen tanto las partículas orgánicas como las inorgánicas que están suspendidas en el agua. La composición de estos sólidos depende del tipo de mineral extraído, del proceso de molienda utilizado, y de los reactivos químicos empleados en la separación. Los sólidos más comunes en los relaves mineros incluyen sílice, arcillas, y minerales sulfatados, que tienen una alta tendencia a

permanecer suspendidos en el agua debido a su tamaño microscópico.

La medida de los STS se realiza por medio de filtración y secado, obteniendo una concentración en mg/L (miligramos por litro) (Pérez, Gómez, & Martínez, 2019).

### 2.2.9. Depósitos o pozas de relaves

Dado que las lagunas de relaves generan efluentes con bajo contenido de sólidos en suspensión, pueden considerarse un tipo de tratamiento de aguas residuales para plantas concentradoras. El tiempo de retención de partículas finas (sólidos en suspensión) en los relaves depende del tamaño de las lagunas. Se debe considerar un tratamiento adicional para garantizar el cumplimiento de las normas de calidad vigentes cuando los efluentes de las lagunas de relaves no cumplan con los criterios de calidad. (Tejada Mayta, 2017).

Características de los depósitos o pozas de relaves:

- ❖ **Función:** La principal función de los depósitos de relaves es almacenar de manera segura los residuos líquidos y sólidos resultantes de las actividades mineras, evitando que se dispersen en el medio ambiente. Estos depósitos también permiten que el agua de los relaves se asiente, facilitando la separación de los sólidos suspendidos mediante sedimentación (EPA, 2016).
- ❖ **Diseño:** Los depósitos o pozas de relaves están diseñados con una barrera impermeable (generalmente hecha de arcilla o material sintético) para evitar que los contaminantes se filtren al suelo o lleguen a fuentes de agua cercanas. Además, suelen tener un sistema de drenaje para

controlar el agua que se acumula, evitando la acumulación excesiva de líquidos (EPA, 2016).

- ❖ **Riesgos ambientales:** Si no se gestionan adecuadamente, los depósitos de relaves pueden representar un grave riesgo para el medio ambiente. La filtración de metales pesados, como arsénico o cianuro, puede contaminar los suelos y cuerpos de agua cercanos, lo que afecta la biodiversidad y la calidad del agua. Además, la inestabilidad estructural de las pozas puede resultar en derrames o desbordes, causando daños severos al entorno natural (EPA, 2016).
- ❖ **Manejo del agua de relaves:** En muchos casos, el agua de los depósitos de relaves se recicla para volver a los procesos de la planta minera. No obstante, el agua de relaves puede contener contaminantes y partículas suspendidas, por lo que se somete a procesos de tratamiento, como la floculación, para reducir la turbidez y mejorar su calidad antes de su reutilización o disposición final (EPA, 2016).

#### 2.2.10. Coagulación y floculación

Las partículas coloidales se extraen de efluentes industriales mediante estos métodos fisicoquímicos. Este proceso ocurre mediante la aplicación de un coagulante, que comprime la capa difusa que rodea los coloides y anula las cargas electrostáticas de las partículas. Esto facilita la formación de macroflóculos, permitiéndoles crear flóculos mediante un mecanismo similar a un puente que conecta las partículas, creando una malla porosa basada en su radio efectivo. Numerosos coagulantes, que se dividen en tres categorías: coagulantes inorgánicos, polímeros orgánicos sintéticos y coagulantes

naturales, se utilizan con frecuencia en los procedimientos de tratamiento de agua. (Bravo Gallardo, 2017).

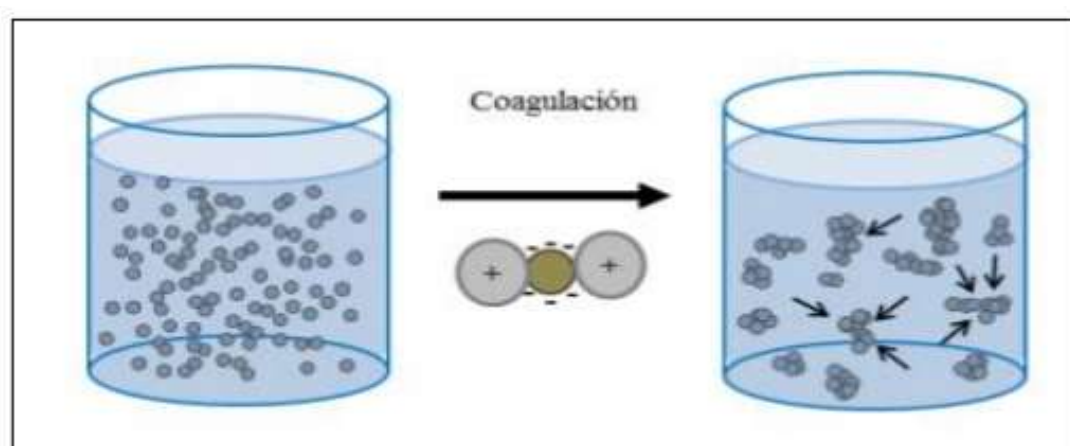
- a. **Coagulación:** Los flóculos se forman como resultado de una reacción física y química entre el coagulante del agua y la alcalinidad. La solución se vuelve inestable cuando se introducen polímeros para promover la formación de flóculos (Bratby, 1980).

Para provocar la coagulación se utilizan sustancias químicas llamadas coagulantes, que pueden ser inorgánicos, poliméricos o naturales. Se recomiendan los coagulantes naturales porque los químicos pueden ser peligrosos y costosos (Ayangunna, 2016).

Consiste en mezclar el agua a tratar con el coagulante químico. El objetivo del procedimiento es mezclar rápidamente para distribuir el coagulante uniformemente. El procedimiento se realiza en un breve periodo de tiempo. (Iwuozor, 2019).

## Figura 2

*Proceso de coagulación.*



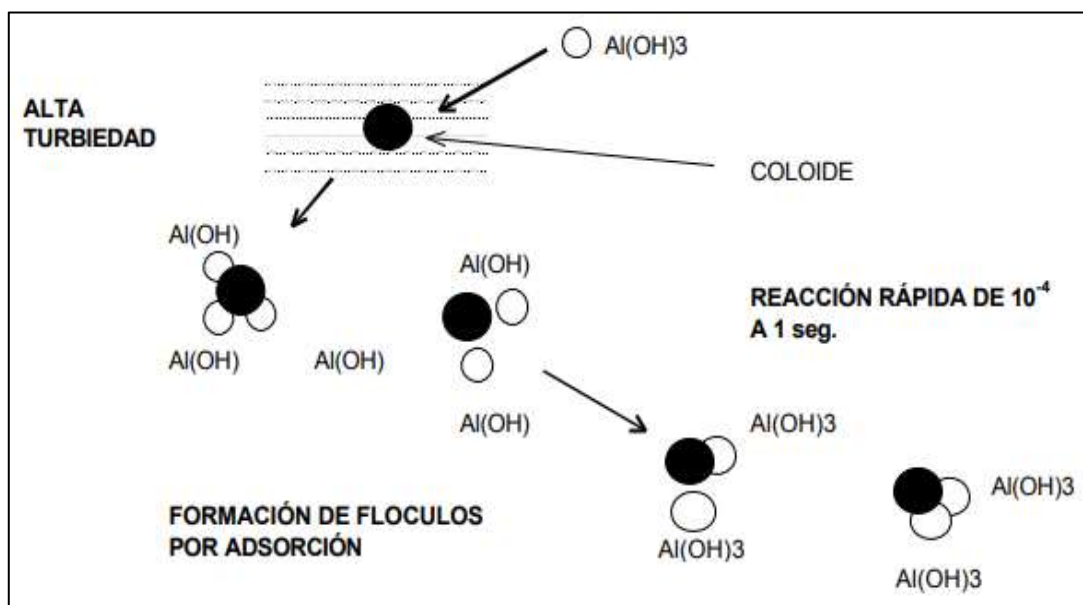
*Nota.* Extraído del proceso coagulación, floculación y sedimentación, citado por Coaquira (2021).

Por otro lado, Andia (2000) menciona que hay 2 tipos básicos de coagulación:

- a. **Coagulación por adsorción:** Cuando se aplica un coagulante a agua turbia con una alta concentración de partículas coloidales, los productos solubles de los coagulantes son absorbidos por los coloides y forman flóculos prácticamente de inmediato.

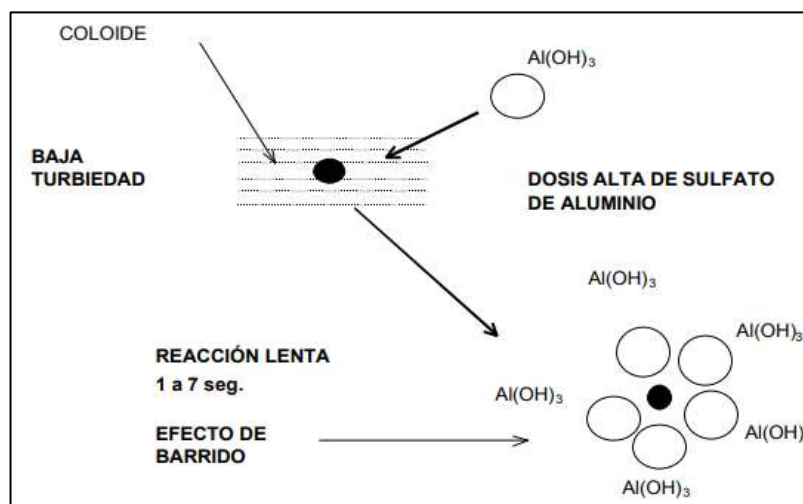
**Figura 3**

*Coagulación Por Adsorción.*



*Nota.* Extraído de la Evaluación de Plantas y Desarrollo Tecnológico, citado por Andia (Andia, 2000).

- b. **Coagulación por barrido:** Esto sucede cuando hay pocas partículas coloidales y el agua es clara (tiene baja turbidez); en este escenario, las partículas quedan atrapadas cuando un precipitado de cloruro férrico o sulfato de aluminio sobresatura.

**Figura 4***Coagulación por Barrido.*

*Nota.* Extraído de la Evaluación de Plantas y Desarrollo Tecnológico, citado por Andia (Andia, 2000).

- b. **Floculación:** La floculación es un proceso en el que se producen grandes aglomeraciones de partículas suspendidas o pequeñas aglomeraciones preexistentes como resultado de la coagulación mediante agitación o remoción suave (Ayangunna, 2016).

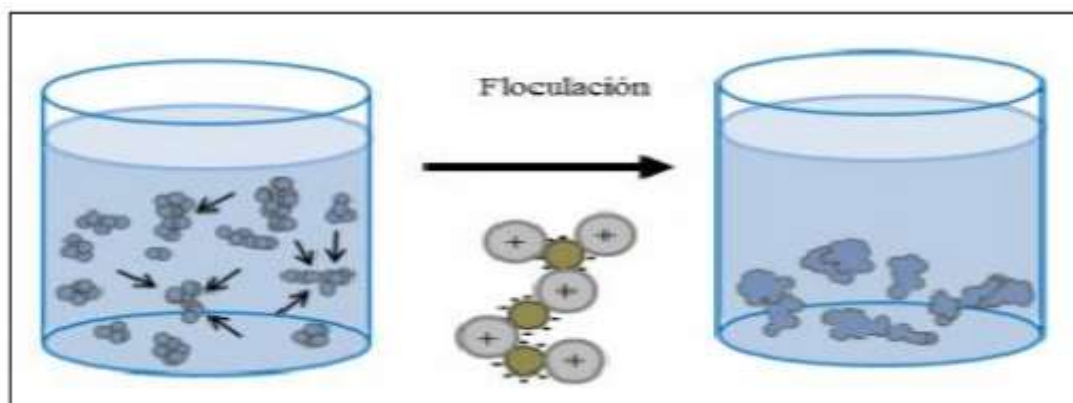
Es el método mediante el cual los coloides desestabilizados se aglomeran y forman grandes aglomerados. La floculación es el proceso de agitación lenta que provoca que las partículas pequeñas coaguladas se aglomeren y formen partículas más grandes y sedimentables. Una vez formados, los flóculos se eliminan fácilmente mediante sedimentación y posterior filtración. La interacción de las partículas se produce mediante agitación lenta utilizando un medio de mezcla mecánico o hidráulico. El propósito de la floculación es formar flóculos grandes, gruesos y tenaces para su posterior eliminación mediante sedimentación y filtración. El tamaño típico de los flóculos varía de 0,1 mm a casi 3 mm, dependiendo del tipo de eyector

utilizado. Si hay algas en grandes cantidades en el agua, los flóculos tendrán un aspecto fibroso. (Bratby, 1980).

El contacto de las partículas se facilita mediante el proceso de floculación, que provoca la agregación de flóculos y facilita su eliminación, principalmente mediante la clarificación y, finalmente, la filtración. Estas interacciones de partículas, que ocurren mucho más lentamente que durante la coagulación y, ocasionalmente, en tanques de floculación especiales, son el resultado de pequeñas interrupciones provocadas por la mezcla mecánica o de otro tipo. La mezcla hidráulica afecta estas interacciones de partículas en tanques de flujo ascendente con tolvas de fondo que aprovechan la capa de lodos. La velocidad de contacto de las partículas y la eficiencia de la agregación de partículas regulan la formación de flóculos. (Iwuozor, 2019).

### Figura 5

*Proceso de floculación.*



*Nota.* Extraído del proceso coagulación, floculación y sedimentación, citado por Coaquira (2021).

#### 2.2.11. El proceso de coagulación y floculación

Se deben añadir productos químicos durante el proceso de coagulación-floculación. Para crear flóculos, la primera etapa de clarificación

consiste en agitar rápidamente las partículas para desestabilizarlas. Para producir flóculos más grandes que sedimenten con mayor facilidad, el proceso de floculación implica aumentar la velocidad de mezclado. (Coaquira Madariaga , 2021).

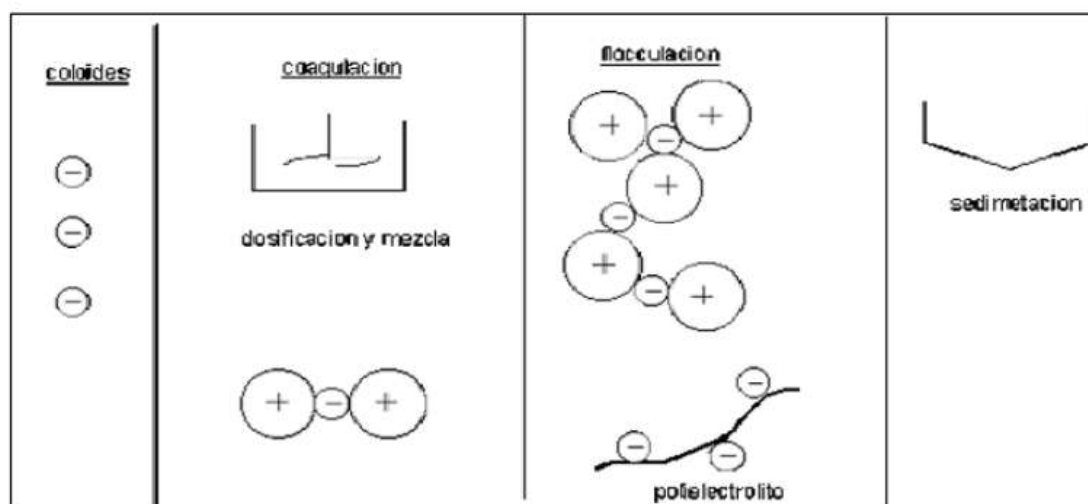
Si es posible, el agua debe examinarse exhaustivamente para determinar los contaminantes que más deben abordarse. El color o la turbidez suelen ser los contaminantes más importantes, pero en otras situaciones, el fósforo residual, el hierro, los virus, etc., pueden ser los factores más importantes. Naturalmente, la calidad final del agua deseada y, en consecuencia, la mejor combinación de variables de coagulación y floculación dependen de la aplicación específica. En ocasiones, las pruebas deben realizarse en agua o efluentes con propiedades desconocidas. En estas situaciones, el enfoque de la prueba es en gran medida el mismo, aunque no se pueda obtener una estimación previa del rango probable de variables del proceso. Los lodos son un ejemplo de una aplicación donde la calidad del efluente final no es el factor más importante. (Iwuozor, 2019).

El aparato estándar de prueba de jarra se utiliza para evaluar el rendimiento de un coagulante principal específico. Consiste básicamente en vasos de precipitados de vidrio de 600 mL o, idealmente, de 1 L colocados bajo una rejilla de agitación motorizada. No se recomienda utilizar vasos de precipitados con una capacidad inferior a 600 mL, ya que puede dificultar la aplicación precisa de los coagulantes, lo que da lugar a resultados irreproducibles. También son recomendables los vasos de precipitados altos y de alta capacidad cuando el requisito de prueba es la velocidad de sedimentación. Las superficies interiores de los vasos actúan como sitios de

adsorción para el polímero cuando se emplean polielectrolitos como coagulantes o coagulantes primarios. Los vasos de precipitados más pequeños y los fluidos de baja turbidez, donde la superficie coloidal total puede ser la misma, amplifican este impacto. (Iwuozor, 2019).

**Figura 6**

*Proceso de coagulación, floculación y sedimentación.*



*Nota.* Extraído de coagulación, floculación y sedimentación, citado por Coaquira (2021).

## 2.2.12. Tipos de coagulantes

### a. Coagulantes sintéticos

Estos coagulantes suelen emplearse en el tratamiento de aguas residuales de tipo industrial y doméstico, asimismo para la eliminación de metales pesados, fosfatos, aceites, grasas, etc.” (Nieto & Orellana, 2011). Los coagulantes químicos utilizados principalmente son: “sulfato de aluminio, aluminato de sodio, cloruro férrico, cloruro de aluminio, sulfato ferroso, sulfato férrico, polielectrolitos (Laines, Goñi, Howard, & Camacho, 2008).

## **b. Coagulantes naturales**

Estas sustancias, de origen vegetal o animal, funcionan de forma similar a los coagulantes artificiales. Reducen la turbidez inicial del agua cruda mediante la unión de partículas suspendidas que finalmente sedimentan por gravedad. Estos coagulantes se disuelven en el agua. La biodegradabilidad de los lodos generados y su seguridad para el consumo humano están garantizadas por su origen natural. También pueden aplicarse a la agricultura. Además, su uso trasciende los países subdesarrollados, abarcando el tratamiento de aguas residuales y el tratamiento tradicional de agua potable. (Llampi Pineda, 2023).

Algunos de los coagulantes utilizados en Latinoamérica incluyen el maíz, el trigo, la papa, la yuca y los cactus. Estos coagulantes se utilizaban para clarificar el agua. Actualmente, se están explorando muchos productos químicos naturales en todo el mundo. (Ledo, Lima, Duarte, & Pauto, 2009).

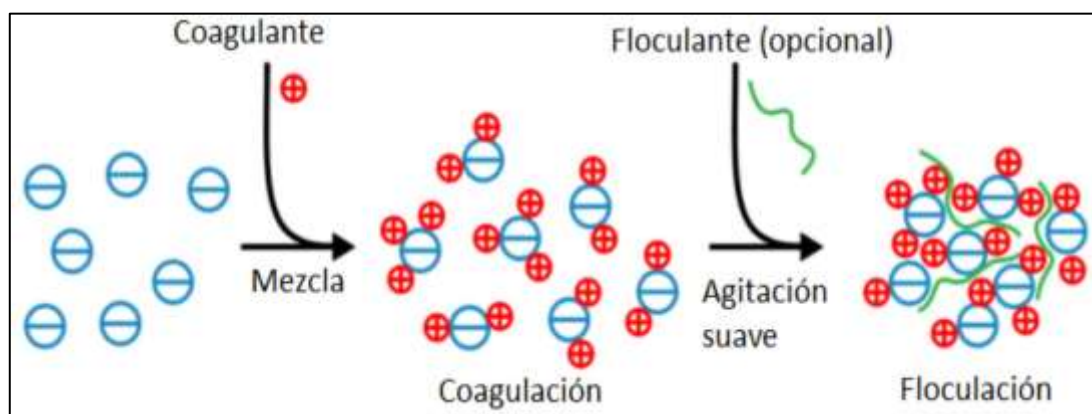
### **2.2.13. Mecanismos de coagulación y floculación**

La neutralización de carga, la formación de puentes, la reparación electrostática y la depuración son los principales mecanismos de coagulación y floculación que describen cómo interactúan diversos coagulantes con las partículas coloidales del agua. Cuando la dosis de coagulante en las muestras de aguas residuales es ideal, este adsorbe los coloides en suspensión mediante enlaces de hidrógeno, fuerzas de van der Waals, interacciones electrostáticas y otros mecanismos. Las partículas en suspensión adsorbidas se combinan y forman enormes flóculos como resultado de estos procesos,

que desestabilizan los coloides y las suspensiones y reorganizan la conformación del polímero adsorbido. (Bravo Gallardo, 2017).

### Figura 7

*Proceso de coagulación y floculación.*



*Nota.* Extraído de Coagulación-Floculación, citado por Matelco (2021).

#### 2.2.14. Pruebas de jarras.

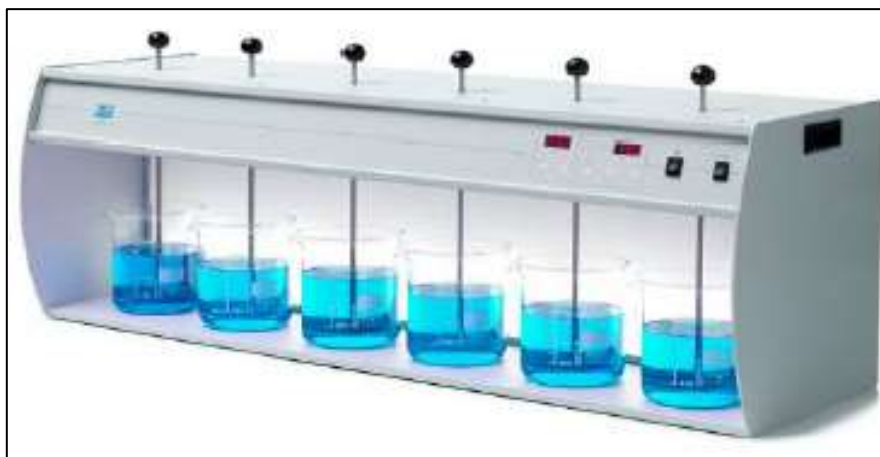
Es un método útil para simular procedimientos de tratamiento de aguas, que generalmente implican coagulación y floculación. Estos estudios de laboratorio permiten optimizar la dosificación de reactivos químicos para sedimentar sólidos en medios acuosos. Para mejorar el tratamiento de aguas residuales, esto se logra regulando la dosis de floculante y coagulante, lo que produce niveles variables de turbidez. (Llampi Pineda, 2023).

Esta prueba se utiliza con mayor frecuencia para replicar escenarios de procesos de coagulación en una planta de tratamiento y evaluar la eficacia de los coagulantes. Permite determinar (aproximadamente) la dosis ideal de coagulante necesaria para tratar el agua y calcular el tipo y la dosis de coagulante, el pH ideal, la duración y la velocidad de agitación. (Chacon Ramos & Ramos Zavala, 2019).

Se añaden concentraciones de coagulante a recipientes de prueba que ya contienen muestras de agua con diferentes turbidez. Tras homogeneizar el medio con agitación rápida, los recipientes se agitan lenta y continuamente para estimular la formación de flóculos. Las muestras de agua se examinan cuando se produce sedimentación durante un período predeterminado. (López Hernández, Martínez Sánchez, & Hernández Cruz, 2019).

### Figura 8

*Prueba de jarras.*



*Nota.* Extraído de la Prueba de jarras, citado por Chacón y Ramos (2019).

El agua recolectada de diversas fuentes para uso doméstico o industrial presenta diferentes parámetros, los cuales se analizan en un laboratorio. Posteriormente, se utiliza el aparato de prueba de jarra para tratarla con diversas dosis. Este procedimiento a pequeña escala permite obtener las condiciones ideales para el tratamiento del agua, que posteriormente se pueden escalar a nivel industrial. Es posible modificar parámetros como el volumen de la muestra, el tiempo de agitación y la velocidad de agitación (en rpm), que puede ser rápida o lenta. Normalmente, estos sistemas cuentan con seis unidades de agitación que contienen seis jarras llenas de muestras líquidas. Tras agitarlas bajo controles específicos, se dejan sedimentar. A

continuación, se realizan los estudios necesarios, incluyendo mediciones de turbidez, y se comparan tras la recolección de las muestras para su análisis. (Aguilar, Sáez, Lloréns, Soler, & Ortuño, 2022).

#### **a. Agitación rápida**

Optimizar los tiempos de tratamiento y retención de agua en las plantas de tratamiento también es necesario para mejorar el tratamiento de las aguas residuales. Esto se logra mediante el uso de agitación rápida para acortar el tiempo de retención del agua. Optimizar la agitación reduce significativamente el tiempo de retención y/o tratamiento de las aguas residuales, ya que los tiempos de procesamiento más largos resultan en mayores volúmenes de almacenamiento de agua. (Llampi Pineda, 2023).

#### **b. Agitación lenta**

Para determinar si la reacción o influencia del floculante requiere más tiempo para interactuar con las partículas, crear el flóculo y precipitar los sólidos en suspensión, con frecuencia es necesario caracterizar primero las aguas residuales. En este caso, el proceso requiere una agitación gradual, lo que favorece la agregación de partículas. Sin embargo, esto también conlleva mayores volúmenes de almacenamiento y períodos de procesamiento del agua más prolongados. (Llampi Pineda, 2023).

#### **2.2.15. Floculante Súperfloc A-110**

Según Puertas y Torres (2015) es un floculante aniónico ampliamente utilizado en diversos procesos industriales, incluyendo el tratamiento de aguas residuales, especialmente en la minería. Se utiliza para aglutinar partículas finas suspendidas en líquidos, facilitando su sedimentación y reduciendo la

turbidez del agua. Los floculantes como el Súperfloc A-110 son esenciales en la floculación, un proceso que tiene como objetivo mejorar la remoción de sólidos suspendidos en aguas residuales de diversos orígenes, incluidos los relaves mineros. Con beneficios tales como:

- Altamente eficaz en remoción de sólidos y efectivo en un amplio rango de pH sin modificar el sistema.
- Posee gran estabilidad en su almacenamiento.
- Altas velocidades de sedimentación.

El Súperfloc A-110 es un polímero de alto peso molecular que actúa como un agente floculante aniónico, lo que significa que tiene una carga negativa que facilita la atracción de las partículas de carga opuesta presentes en el agua. Este floculante es particularmente eficaz para tratar aguas con una alta concentración de partículas finas y coloidales, que son comunes en las aguas residuales de minería (Taylor & Wilson, 2018).

Una de las principales ventajas del Súperfloc A-110 es su capacidad para formar flóculos grandes y densos que se pueden separar fácilmente del agua mediante sedimentación. Este tipo de floculante es ideal para procesos de tratamiento en los cuales las partículas en suspensión tienen un tamaño pequeño y una carga negativa, como ocurre en muchos sistemas de aguas de relaves mineros (Miller, 2017).

En la minería, las aguas residuales generadas por los relaves mineros contienen una alta turbidez debido a la presencia de partículas finas suspendidas. El uso de floculantes como el Súperfloc A-110 permite reducir la turbidez y facilitar la sedimentación de los sólidos suspendidos, mejorando la calidad del agua tratada y permitiendo su reutilización o disposición segura.

Estos floculantes son aplicados en etapas tempranas del tratamiento de aguas residuales, ayudando a coagular las partículas y formando flóculos más grandes y fácilmente sedimentables (Simons & Hughes, 2018).

**Tabla 2**

*Propiedades del Floculante Aniónico SUPERFLOC A-110.*

| Propiedades típicas          | Superfloc A-110 HMV     |
|------------------------------|-------------------------|
| Carácter químico             | Poliacrilamida Aniónica |
| Apariencia                   | Polvo granular blanco   |
| Carga relativa               | Baja                    |
| Peso molecular               | Muy alto                |
| Densidad a granel (kg/L)     | 0.78                    |
| pH Solución al 0.5% (25°C)   | 7.0-9.0                 |
| Viscosidad a 25°C (cp/mPa.s) |                         |
| 0.10%                        | 200                     |
| 0.25%                        | 400                     |
| 0.50%                        | 950                     |

*Nota.* Ficha técnica "Kemira" Superfloc Serie A-100 HMW PAMs aniónica seca, citado por Puertas y Torres (2015).

**a. Ventajas y desventajas:**

El Súperfloc A-110 ofrece varias ventajas en el tratamiento de aguas residuales de relaves mineros:

- Su capacidad para formar flóculos densos y grandes es clave para mejorar la sedimentación.
- Es eficaz incluso en aguas con alta concentración de partículas finas y coloidales, lo que es común en las aguas de relaves mineros.
- El floculante es relativamente seguro para el medio ambiente cuando se utiliza de manera adecuada.

Sin embargo, también presenta algunas desventajas:

- Aunque es eficaz, el Súperfloc A-110 puede ser más costoso que otros floculantes en términos de dosificación.

- Una dosis inadecuada puede no ser eficaz o puede generar residuos adicionales que deben ser tratados.

#### **2.2.16. Floculante Súperfloc RH 4832**

El Súperfloc RH 4832 es un floculante catiónico de alto peso molecular utilizado principalmente en el tratamiento de aguas residuales, especialmente en industrias como la minería, donde las aguas residuales contienen altas concentraciones de partículas finas y coloidales. Este floculante juega un papel clave en el proceso de floculación, en el cual se agregan compuestos químicos al agua para promover la agregación de partículas suspendidas y facilitar su sedimentación (Anderson, 2020).

El Súperfloc RH 4832 es un polímero de carga catiónica, lo que significa que tiene una carga positiva. Esta característica le permite interactuar eficazmente con partículas de carga negativa, como las arcillas y metales pesados comunes en las aguas de relaves mineros. A través de este mecanismo de adsorción de partículas de carga negativa, el floculante facilita la formación de flóculos más grandes y densos que pueden ser fácilmente sedimentados (Patel & Kumar, 2019).

El Súperfloc RH 4832 se utiliza de manera común en el tratamiento de aguas residuales generadas por los relaves mineros. Las aguas de relaves contienen partículas finas que son difíciles de eliminar mediante procesos convencionales de tratamiento. Estas partículas, como arcillas y metales pesados, tienen una carga negativa, lo que hace que el Súperfloc RH 4832 sea ideal debido a su carga catiónica, ya que facilita la coagulación y floculación de estas partículas (Patel & Kumar, 2019).

En el tratamiento de aguas de relaves, el Súperfloc RH 4832 se utiliza para reducir la turbidez y remover los sólidos suspendidos, mejorando la calidad del agua tratada. Además, es eficaz en la reducción de metales pesados y otros contaminantes presentes en las aguas residuales, lo que permite un tratamiento más completo y seguro antes de la disposición o reutilización de estas aguas (Anderson, 2020).

El mecanismo de acción del Súperfloc RH 4832 se basa en la neutralización de las cargas de las partículas suspendidas en el agua. Las partículas finas, que son generalmente negativas, se agrupan al entrar en contacto con el floculante catiónico, que tiene una carga positiva. Esta interacción provoca que las partículas se aglomeren formando flóculos más grandes, que luego pueden sedimentarse más fácilmente. Este proceso mejora significativamente la remoción de sólidos suspendidos y la reducción de turbidez en aguas residuales de relaves mineros (Johnson, 2019).

### Tabla 3

*Ventajas y desventajas del floculante Súperfloc RH 4832.*

| Ventajas                                                                                                                                                                                                    | Desventajas                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Alta eficiencia en floculación: El Súperfloc RH 4832 facilita la aglomeración de partículas finas y coloidales en aguas residuales de relaves mineros, mejorando la sedimentación y reduciendo la turbidez. | El Costo elevado: El Súperfloc RH 4832 puede ser más costoso que otros floculantes, lo que podría aumentar los costos operativos en su aplicación. |
| Remoción de metales pesados: Este floculante catiónico es eficaz no solo en la remoción de sólidos suspendidos, sino                                                                                        | Requiere control de dosificación preciso: Una dosificación incorrecta del floculante podría generar flóculos                                       |

también en la eliminación de metales pequeños e ineficaces, afectando la pesados como el arsénico y el plomo, eficiencia del tratamiento. que son comunes en las aguas de relaves.

Mejora la calidad del agua tratada: Al remover los sólidos suspendidos y los contaminantes, el agua tratada es de mejor calidad y puede ser reutilizada o dispuesta de forma más segura. Generación de lodos adicionales: El proceso de floculación puede generar más lodos, los cuales deben ser tratados o dispuestos adecuadamente, lo que aumenta la carga operativa.

Eficiencia en aguas con alta turbidez: El Súperfloc RH 4832 es especialmente adecuado para aguas con alta concentración de partículas finas y coloides, típicas en relaves mineros. Sensibilidad a las condiciones del agua: La efectividad del floculante puede depender de factores como el pH, la temperatura y la concentración de iones, lo que requiere ajustes en las condiciones de operación.

---

*Nota.* Evaluación de la eficiencia del floculante Súperfloc RH 4832, citado por Yates & García (2018).

Entonces, el Súperfloc RH 4832 es un floculante catiónico eficaz para el tratamiento de aguas residuales de relaves mineros, especialmente en la reducción de turbidez y la remoción de sólidos suspendidos. Su capacidad para interactuar con partículas de carga negativa lo convierte en una opción ideal para las condiciones específicas de las aguas de relaves, proporcionando un tratamiento más eficiente y mejorando la calidad del agua tratada. Sin embargo, su uso debe ser cuidadosamente controlado para maximizar su eficiencia y minimizar los costos operativos (Yates & García, 2018).

### **2.3. MARCO CONCEPTUAL.**

#### **2.3.1. Floculación**

La aglomeración de partículas desestabilizadas en microfloculos, que se adhieren entre sí para formar floculos, se conoce como floculación. Como resultado, las partículas disueltas en el agua presentan una mayor densidad, lo que les permite sedimentar y clarificar el agua. (Hernandez Nuños, 2001).

#### **2.3.2. Coagulación**

Es el proceso de combinar materiales coloidales o finamente divididos que flotan en el agua mezclando el líquido con un coagulante apropiado. (Tejada Mayta, 2017).

#### **2.3.3. Sedimentación**

Es la separación de partículas sólidas en suspensión de un líquido; se realiza por sedimentación gravitacional. También se llama asentamiento (2017).

#### **2.3.4. Prueba de jarras**

La prueba de jarra es la forma más precisa de replicar tanto el proceso real como la química de la claridad. Es posible comparar diferentes combinaciones químicas en circunstancias hidráulicas idénticas con una sencilla configuración de vasos de precipitados y paletas. (Respreto Osorno , 2009).

#### **2.3.5. Relaves**

El agua decantada liberada de los estanques de relaves generalmente satisface los requisitos de metales disueltos, pH, partículas suspendidas e incluso contenido de cianuro. (2017).



### 2.3.6. Muestra de agua

Porción de agua representativa de un cuerpo acuoso en un tiempo y lugar específico (Tejada Mayta, 2017).



## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación es experimental multifactorial categórico, que consta de dos factores experimentales. El primer factor corresponde a los floculantes que se emplearan, compuesto por dos niveles y son: Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832.

#### 3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación es experimental, ya que se busca manipular la variable (los floculantes) para observar sus efectos en una variable dependiente (la turbidez y los sólidos suspendidos en las aguas residuales de relaves mineros). Este tipo de investigación permite evaluar la causalidad y establecer relaciones directas entre el tratamiento con los floculantes y los cambios en la calidad del agua (Hernández & Fernández, 2010).

#### 3.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de la investigación es explicativo. El propósito es explicar cómo los floculantes afectan la turbidez y los sólidos suspendidos en las aguas

residuales de relaves mineros, comparando su eficacia en función de las dosis aplicadas.

### **3.4. ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN**

El enfoque de la investigación es cuantitativo, ya que se medirá la turbidez y los sólidos suspendidos mediante herramientas objetivas y estandarizadas de medición (como la nefelometría para turbidez y el método gravimétrico para sólidos suspendidos).

### **3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.5.1. Población**

Es el conjunto total de elementos o unidades que comparten características similares y que son objeto de estudio (Hernández & Fernández, 2018). En el presente estudio, la población está constituida por todas las aguas residuales de relaves mineros generadas en el Proyecto La Mística de la Cooperativa Minera Señor de Ananea. Estas aguas provienen de los procesos de extracción y tratamiento de minerales en la mina, y contienen sólidos suspendidos y turbidez que requieren tratamiento para su remoción y sedimentación. La población incluye todas las muestras de agua residual generadas durante las operaciones mineras, tanto en diferentes periodos del año como en diversos puntos del proceso.

#### **3.5.2. Muestra**

La muestra es un subconjunto de la población. Dado que no es práctico ni posible analizar toda la población, se selecciona una muestra representativa de esta para realizar los experimentos, análisis o pruebas (Hernández &

Fernández, 2018). En este caso, la muestra para la presente investigación está conformada por 40 litros de agua con lodo (pulpa) recolectados en el ingreso de la poza desarenadora de la Cooperativa Minera Señor de Ananea, Las muestras son las aguas residuales generadas durante los días 21,22,23,24 y 25 de las ultimas semanas de julio Estas muestras representan un volumen específico de las aguas residuales con sólidos suspendidos y turbidez que se desea tratar y evaluar con los floculantes.

### 3.6. MATERIALES Y EQUIPOS

Los materiales y equipos utilizados en la presente investigación fueron los siguientes.

#### a. Materiales

- Matraz aforado de 100 ml.
- Matraz Erlenmeyer.
- Vasos de precipitados.
- Pipetas volumétricas.
- Pera de goma.
- Probeta 1000 ml.
- Agitador de vidrio.
- Bandejas metálicas
- Pastilla magnética
- Baldes de plástico de 20 L.
- Cronómetro
- Guantes tipo látex
- Rotulador.
- Cinta masking.
- Libreta de apuntes.
- Cinta masking.
- Cooler de Tecnopor.
- Papel toalla.
- Mandil.
- Guantes.

#### b. Equipos

- Equipo de Prueba de Jarras.
- Bomba de vacío Gast.
- Mufla.

- Desecador al seco Ovens Medic 300 °C.
- Cámaras de sedimentación.
- Agitador magnético.
- Destilador.
- Congeladora.
- Balanza analítica.
- Turbidímetro.
- Medidor de conductividad eléctrica, pH y temperatura.
- GPS.
- Cámara fotográfica.
- Equipo de cómputo.
- EPPs.

**c. Reactivos e Insumos:**

- Muestra de agua (pulpa).
- Agua destilada.
- Disolventes.
- Superfloc A-110.
- Súperfloc RH 4832.

### 3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

Para evaluar la eficacia de los floculantes Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832 en la sedimentación de turbidez y sólidos totales en suspensión en las aguas residuales de relaves mineros , se emplearon diversas técnicas e instrumentos, los cuales permitieron la obtención de datos precisos y consistentes.

#### 3.7.1. Técnicas

Para llevar a cabo el estudio sobre el tratamiento y sedimentación de la turbidez en las aguas residuales de relaves mineros utilizando los floculantes Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832, se emplearon diversas técnicas de recolección de datos que permitieron observar y registrar de manera precisa las variaciones en las variables dependientes e

independientes. Las siguientes técnicas fueron aplicadas durante la investigación:

- ❖ **Floculación y Sedimentación:** Se empleó la técnica de floculación, en la que se añadieron diferentes dosis de los floculantes a las muestras de agua residual. Esta técnica facilitó la aglomeración de los sólidos suspendidos, formando flóculos que luego fueron sometidos a sedimentación. El proceso permitió observar la eficacia de cada floculante en la remoción de los sólidos y la reducción de la turbidez del agua.
- ❖ **Observación Directa:** Se realizó observación directa de las muestras de aguas residuales antes y después de la aplicación de los floculantes. La observación permitió registrar los cambios en la turbidez y la formación de flóculos durante el proceso de sedimentación. Este registro se realizó de manera continua para evaluar la efectividad de los floculantes en tiempo real.
- ❖ **Medición de Turbidez:** Para evaluar la eficacia de los floculantes, se utilizó la medición de turbidez en las muestras de agua antes y después del tratamiento. La turbidez es un indicador directo de la cantidad de sólidos suspendidos en el agua, y su reducción es uno de los principales objetivos de la floculación.
- ❖ **Determinación de Sólidos Suspendidos:** Se utilizó la determinación gravimétrica de los sólidos suspendidos en las muestras tratadas. Esta técnica permitió cuantificar la cantidad de sólidos que fueron removidos del agua durante el proceso de floculación y sedimentación, proporcionando un dato cuantitativo sobre la eficiencia de los floculantes en la remoción de sólidos.

❖ **Recolección de Muestras:** Se llevaron a cabo diversas muestras representativas de aguas residuales en diferentes momentos del proceso experimental (antes del tratamiento, durante la floculación y al finalizar la sedimentación). Estas muestras se utilizaron para analizar los efectos del tratamiento a lo largo del tiempo y para garantizar que los resultados reflejaran correctamente la variabilidad de las aguas residuales en el proyecto.

### 3.7.2. Instrumentos

Para la medición y análisis de los parámetros relevantes en el estudio, se emplearon diversos instrumentos de precisión que facilitaron la recolección de datos fiables y consistentes. Los instrumentos utilizados fueron los siguientes:

- ❖ **Nefelómetro o Turbidímetro:** El nefelómetro o turbidímetro fue utilizado para medir la turbidez de las muestras de agua antes y después del tratamiento. Este instrumento permitió obtener lecturas exactas de turbidez en unidades de NTU (Nephelometric Turbidity Units), un parámetro esencial para evaluar la eficacia de los floculantes en la reducción de la turbidez.
- ❖ **Balanza Analítica:** Se utilizó una balanza analítica para pesar con alta precisión los floculantes aplicados y los sólidos suspendidos en las muestras de agua. La balanza fue crucial para asegurar la exactitud en la dosificación de los floculantes y en la medición de la cantidad de sólidos removidos después de la sedimentación.
- ❖ **Frascos de Vidrio y Vasos de Precipitación:** Se utilizaron frascos de vidrio y vasos de precipitación para recolectar las muestras de agua,

realizar el proceso de sedimentación y observar visualmente la cantidad de sólidos removidos. Estos instrumentos permitieron realizar una observación directa de la sedimentación de los flóculos.

- ❖ **Centrífuga:** La centrífuga simuló el proceso natural de sedimentación en un tiempo reducido, lo que permitió observar más rápidamente la efectividad de los floculantes y su capacidad para formar y separar los flóculos de los sólidos suspendidos.
- ❖ **Pipetas y Probetas Graduadas:** Se utilizaron pipetas y probetas graduadas para medir con precisión las cantidades de floculantes y las muestras de agua. Estos instrumentos garantizan una dosificación exacta de los floculantes en cada ensayo experimental, lo que es esencial para mantener la consistencia y la validez de los resultados obtenidos.

### 3.8. LUGAR DE ESTUDIO

El estudio se realizó en el Proyecto La Mística de la Cooperativa Minera Señor de Ananea, ubicada en el distrito de Ananea, en la provincia de San Antonio de Putina, región de Puno, Perú. Esta área corresponde a una zona minera donde se lleva a cabo la extracción y procesamiento de minerales, generando grandes volúmenes de aguas residuales de relaves mineros, las cuales fueron el foco principal del tratamiento mediante floculantes.

Ubicación geopolítica:

Departamento : Puno.  
Provincia : San Antonio de Putina.  
Distrito : Ananea.  
C. Poblado : Ananea.

**Figura 9**

*Ubicación del proyecto de investigación, Cooperativa Minera Señor de Ananea.*



*Nota.* Google Earth.

A continuación, se presentan las coordenadas que ubican la zona de tratamiento de aguas residuales dentro de la planta de procesamiento de la Cooperativa Minera Señor de Ananea, que es responsable de la gestión y tratamiento de los residuos generados en las actividades mineras.

**Tabla 4**

*Coordenadas del lugar de estudio - Cooperativa Minera Señor de Ananea.*

| Código | Lugar                               | Coordenadas |            |
|--------|-------------------------------------|-------------|------------|
|        |                                     | Este        | Norte      |
| P-01   | Cooperativa Minera Señor de Ananea. | 444597.00   | 8377447.00 |

### 3.9. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

**Objetivo 1: Caracterizar la concentración inicial de la turbidez y sólidos totales en suspensión de las aguas residuales de los relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea.**

Para cumplir el presente objetivo se siguió un procedimiento detallado que permitió la caracterización de estas concentraciones iniciales el cual es esencial para establecer una base de comparación antes de realizar el tratamiento con los floculantes y evaluar la eficiencia del proceso.

#### **a. Recolección de Muestras:**

En primer lugar, se procedió a la recolección de muestras de aguas residuales de relaves mineros provenientes de. Las muestras fueron obtenidas del ingreso de la poza desarenadora. La recolección se realizó utilizando recipientes limpios y estériles para evitar cualquier tipo de contaminación. Las muestras fueron tomadas en el mes de julio de 2025, y se aseguraron de representar adecuadamente las condiciones de las aguas residuales del proyecto.

#### **b. Medición de la Turbidez Inicial:**

Una vez recolectadas las muestras de agua, se procedió con la medición de la turbidez de cada muestra utilizando un nefelómetro. Este equipo permitió medir la turbidez en unidades NTU (Nephelometric Turbidity Units), las cuales son estándares internacionales para medir la concentración de partículas en suspensión en un líquido.

- **Método:** El nefelómetro mide la cantidad de luz dispersada por las partículas suspendidas en el agua, lo que permite obtener una lectura precisa de la turbidez de cada muestra.

- **Frecuencia de medición:** Se midió la turbidez de todas las muestras de agua antes de realizar el tratamiento con los floculantes, para establecer un valor base con el cual comparar los resultados posteriores.

**c. Determinación de los Sólidos Suspendidos Iniciales**

Para la determinación de los sólidos suspendidos en las aguas residuales, se utilizó el método gravimétrico. Este proceso permitió cuantificar los sólidos que permanecen en suspensión en las muestras de agua antes de su tratamiento.

**Procedimiento:**

- Se filtraron volúmenes conocidos de cada muestra de agua a través de un filtro de papel de baja retención.
- El filtro con los sólidos atrapados se secó en un horno a 105°C durante un tiempo determinado (aproximadamente 24 horas) para evaporar el agua.
- Después de secar, el filtro se pesó en una balanza analítica para determinar la masa de los sólidos suspendidos en cada muestra de agua.

**d. Registro de Datos Iniciales:**

Una vez realizadas las mediciones de turbidez y sólidos suspendidos, se registraron los valores obtenidos para cada muestra. Estos datos iniciales fueron esenciales para determinar el nivel de contaminación de las aguas residuales antes de aplicar el tratamiento con los floculantes.

**Datos registrados:**

- Turbidez inicial en unidades NTU.
- Sólidos suspendidos iniciales en mg/L.

**Objetivo 2: Determinar la dosis óptima de los floculantes Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832 para la remoción de la turbidez y sólidos totales en suspensión de las aguas residuales de relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea.**

Para cumplir el presente objetivo se empleó la prueba de jarras, que es una técnica estándar para evaluar la eficacia de los floculantes en diferentes concentraciones.

**a. Preparación de las soluciones de Floculantes:**

Se prepararon soluciones de los floculantes Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832 con una concentración del 2% en agua destilada. Esta concentración fue elegida como base para todas las dosis probadas en los ensayos. Se utilizaron pipetas para medir con precisión las dosis de los floculantes que se añadirían a las muestras de agua.

**b. Dosis Aplicadas:**

Se aplicaron las siguientes dosis de floculantes a las muestras de aguas residuales, utilizando una solución de 2% para asegurar una distribución homogénea:

**Tabla 5**

*Dosis para los ensayos de prueba de jarras con la adición del coagulante de Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832.*

| Floculante de Superfloc A-110 y RH 4832 |                   |            |                          |                        |                       |
|-----------------------------------------|-------------------|------------|--------------------------|------------------------|-----------------------|
| N° de ensayo                            | Concentración (%) | Dosis (ml) | Cantidad de Muestra (ml) | Agitación Rápida (RPM) | Agitación Lenta (RPM) |
| 1                                       | 2                 | 5          | 500                      | 250                    | 18                    |
| 2                                       | 2                 | 10         | 500                      | 250                    | 18                    |
| 3                                       | 2                 | 12         | 500                      | 250                    | 18                    |
| 4                                       | 2                 | 15         | 500                      | 250                    | 18                    |
| 5                                       | 2                 | 20         | 500                      | 250                    | 18                    |
| 6                                       | 2                 | 25         | 500                      | 250                    | 18                    |
| 7                                       | 2                 | 30         | 500                      | 250                    | 18                    |

Estas dosis fueron elegidas para evaluar el rango de efectividad del floculante en relación con la remoción de turbidez y sólidos suspendidos. La dosis mínima de 5 ml se utilizó para determinar si una cantidad baja de floculante podría generar efectos significativos, mientras que la dosis máxima de 25 ml permitirá evaluar la efectividad del floculante en concentraciones más altas

#### **c. Agitación y floculación:**

Una vez añadidos los floculantes a las muestras de agua, se procedió con la agitación en el equipo de test de jarras. Este paso es fundamental para distribuir de manera uniforme el floculante en el agua y asegurar que se forme una aglomeración eficiente de los sólidos suspendidos. Para ello, se emplearon dos tipos de agitación:

- ❖ Agitación rápida a 250 RPM durante 1 minuto, para asegurar que el floculante se distribuya rápidamente en toda la muestra de agua.
- ❖ Agitación lenta a 18 RPM durante 25 minutos, lo cual permite que los flóculos formados se aglomeren de manera efectiva sin que se rompan.

#### **d. Sedimentación:**

Después de la agitación, se dejó reposar la muestra durante un período de 30 minutos para que los flóculos formados se sedimentaran en el fondo de los vasos de precipitación. Este proceso de sedimentación permitió observar la eficiencia del floculante en la remoción de turbidez y sólidos suspendidos, así como la cantidad de sólidos que permanecieron en suspensión después del tratamiento.

**e. Medición de Turbidez y Sólidos Suspendidos:**

Una vez finalizado el proceso de sedimentación, se midió la turbidez de las muestras utilizando un nefelómetro para evaluar la reducción de la turbidez en las aguas tratadas. Además, se realizó la determinación gravimétrica de los sólidos suspendidos para cuantificar los sólidos removidos del agua tras el tratamiento.

**f. Análisis de Resultados:**

Se analizaron los resultados obtenidos de las mediciones de turbidez y sólidos suspendidos para cada una de las dosis aplicadas. El objetivo principal fue identificar la dosis más eficiente de los floculantes en términos de remoción de turbidez y sólidos suspendidos. Se determinó cuál de las dosis produjo la mayor reducción de turbidez y la mayor remoción de sólidos, lo que permitió establecer la dosis óptima para cada floculante.

**Objetivo 3: Determinar el porcentaje de remoción de turbidez y sólidos totales en suspensión de las aguas residuales de relaves mineros tratadas con los floculantes Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832 en la Cooperativa Señor de Ananea.**

Para cumplir el presente objetivo se realizó los siguientes pasos:

**a. Preparación de las muestras:**

Las muestras de agua residual fueron recolectadas de la poza desarenadora de la Cooperativa Minera Señor de Ananea, tal como se hizo en el procedimiento anterior ítem 3.9.1. Las muestras fueron tratadas con las dosis de floculantes previamente establecidas (Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832), siguiendo el mismo procedimiento de agitación

rápida (250 RPM por 1 minuto) y agitación lenta (18 RPM por 25 minutos).

Después de la agitación, las muestras fueron dejadas en reposo durante 30 minutos para permitir la sedimentación de los flóculos.

**b. Medición de Turbidez Inicial:**

Antes de la aplicación de los floculantes, se midió la turbidez de cada muestra de agua utilizando un nefelómetro. La turbidez inicial (sin tratamiento) se registró en unidades de NTU (Nephelometric Turbidity Units), para establecer un valor base con el cual se compararon los resultados posteriores al tratamiento.

**c. Medición de Sólidos Suspendidos Iniciales:**

Se realizaron mediciones de los sólidos suspendidos en las muestras de agua antes de la aplicación de los floculantes. Este procedimiento consistió en filtrar un volumen conocido de cada muestra a través de un filtro de papel de baja retención y pesar los sólidos que quedaron atrapados en el filtro. Los sólidos suspendidos iniciales se determinaron utilizando la técnica gravimétrica.

**d. Tratamiento con floculantes:**

Se aplicaron las dosis de floculantes Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832 a las muestras de agua, como se describió en el procedimiento para determinar la dosis óptima. Luego de la floculación y sedimentación, se procedió con las mediciones de turbidez y sólidos suspendidos.

**e. Medición de Turbidez Final:**

Después del proceso de sedimentación, se midió la turbidez de las muestras tratadas utilizando el nefelómetro. Estas mediciones permitieron observar la reducción de la turbidez en cada muestra después de ser

tratada con los floculantes. Los valores de turbidez final se compararon con los valores iniciales para cuantificar la remoción de turbidez

**f. Medición de Sólidos Suspendidos Finales:**

Las muestras tratadas fueron filtradas nuevamente para determinar los sólidos suspendidos finales. Se siguió el mismo procedimiento gravimétrico utilizado para las mediciones iniciales, y se registró el peso de los sólidos suspendidos en las muestras después del tratamiento.

**g. Cálculo del Porcentaje de Remoción:**

Con los valores de turbidez y sólidos suspendidos iniciales y finales obtenidos, se calculó el porcentaje de remoción utilizando las siguientes fórmulas:

**Porcentaje de remoción de turbidez:**

$$\text{Remoción de turbidez (\%)} = \left( \frac{\text{Turbidez inicial} - \text{Turbidez final}}{\text{Turbidez inicial}} \right) \times 100$$

**Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos:**

$$\text{Remoción de sólidos suspendidos (\%)} = \left( \frac{\text{Sólidos suspendidos iniciales} - \text{Sólidos suspendidos finales}}{\text{Sólidos suspendidos iniciales}} \right) \times 100$$

**h. Comparación de Eficiencia de los Floculantes:**

Una vez calculados los porcentajes de remoción para turbidez y sólidos suspendidos, se compararon los resultados entre los floculantes Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832. Esta comparación permitió determinar cuál de los dos floculantes fue más eficiente en la reducción de turbidez y sólidos suspendidos en las aguas residuales de relaves mineros.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. RESULTADOS

##### 4.1.1. Concentración inicial de la turbidez y sólidos totales en suspensión de las aguas residuales de los relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea.

Al realizar los análisis de las aguas (pulpa) de la poza de desarenadora de lodos, presentaron los siguientes resultados:

**Tabla 6**

*Resultados de la turbidez de las aguas residuales de los relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea.*

| Parámetro | Unidad de medida | Numero de repeticiones |       |      |      |      | Promedio |
|-----------|------------------|------------------------|-------|------|------|------|----------|
|           |                  | R1                     | R2    | R3   | R4   | R5   |          |
| Turbidez  | NTU              | 9890                   | 10100 | 9800 | 9870 | 9900 | 9912     |

En la tabla 6, se observa los resultados de la turbidez de las aguas residuales de los relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea. En donde, los datos encontrados de turbidez en las muestras de aguas residuales provenientes del chute hacia la poza desarenadora refleja un promedio de 9912.3 NTU, manifestando una alta concentración de partículas suspendidas

en el agua. Este fenómeno es común en los procesos de minería, particularmente en la extracción de oro mediante métodos gravimétricos en placeres auríferos, donde el agua utilizada para disgregar y transportar el material mineralizado arrastra sedimentos finos, como arcillas, limos y grava. Estas partículas, al no ser adecuadamente separadas, permanecen suspendidas en el agua, lo que genera altos niveles de turbidez. A pesar de las técnicas de sedimentación implementadas, la cantidad significativa de sólidos finos y la naturaleza de las operaciones mineras en esta región explican el elevado valor de turbidez observado en las muestras, que supera los límites recomendados para aguas residuales.

**Tabla 7**

*Resultados de los Sólidos Totales en Suspensión de las aguas residuales de los relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea.*

| Parámetro | Unidad<br>de<br>medida | Numero de repeticiones |        |        |        |        | Promedio |
|-----------|------------------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|----------|
|           |                        | R1                     | R2     | R3     | R4     | R5     |          |
| Turbidez  | NTU                    | 117462                 | 119000 | 116000 | 117200 | 118500 | 117632   |

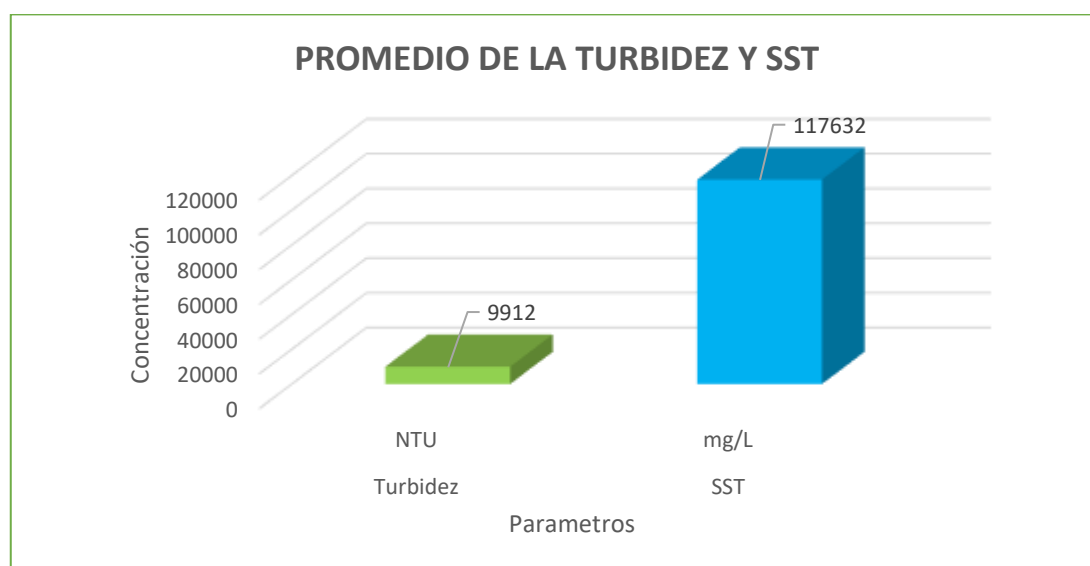
En la tabla 7, se observa los resultados de los Sólidos Totales en Suspensión de las aguas residuales de los relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea. En donde, se obtuvo un promedio de 117632 mg/L este valor elevado se debe principalmente a la alta cantidad de sólidos finos que se encuentran suspendidos en el agua como resultado de las operaciones mineras. Durante el proceso de lavado del mineral aurífero, grandes volúmenes de agua son utilizados para separar las partículas de oro de la grava y otros materiales no valiosos. Estos sólidos, especialmente los más

pequeños como el limo y la arcilla, permanecen en suspensión debido a la agitación y a la falta de una separación eficiente. A pesar de los esfuerzos de sedimentación en las pozas, la carga de sólidos en suspensión es alta, lo que explica la elevada concentración de SST observada en las muestras. Este alto nivel de sólidos suspendidos contribuye directamente a la turbidez del agua y a la dificultad de realizar un tratamiento efectivo, ya que estos sólidos dificultan tanto el proceso de sedimentación como la filtración posterior.

### Figura 10

*Promedio de Turbidez y Sólidos Totales en Suspensión en Aguas*

*Residuales d*



La Figura 10, representa gráficamente el promedio de Turbidez y Sólidos Totales en Suspensión en Aguas Residuales , en donde se observa valores elevados de turbidez (9912 NTU) y sólidos totales en suspensión (117632.4 mg/L). La turbidez, que mide la dispersión de la luz causada por las partículas en suspensión, se encuentra en niveles muy altos debido a la presencia de finos minerales como arcillas, gravas y limo, que no se han sedimentado completamente. Esta alta turbidez es indicativa de un proceso de

sedimentación ineficiente en la poza desarenadora, lo que también se refleja en el elevado nivel de SST. Los sólidos en suspensión en estas aguas incluyen partículas que no se han separado correctamente durante el tratamiento, lo que subraya la necesidad de optimizar los procesos de floculación y sedimentación para reducir estos valores, mejorar la calidad del agua residual y facilitar su reutilización en las operaciones mineras.

#### **4.1.2. Dosis óptima de los floculantes Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832 para la remoción de la turbidez y totales en suspensión de las aguas residuales de relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea.**

En las siguientes tablas se presentan las dosis óptimas determinadas para la remoción de turbidez y sólidos totales en suspensión, utilizando los floculantes Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832. El ensayo se realizó empleando diversas concentraciones de floculante, bajo condiciones controladas de mezcla y sedimentación: se aplicó una agitación rápida a 250 rpm durante 1 minuto para garantizar una distribución homogénea del floculante en toda la muestra, seguida de una agitación lenta a 18 rpm durante 25 minutos para permitir la formación y consolidación de los flóculos sin que estos se fragmenten, y finalmente, se dejó sedimentar la muestra durante 30 minutos para facilitar la decantación de los sólidos suspendidos.

##### **✓ Floculante Súperfloc A-110:**

A continuación, se detallan los resultados obtenidos con el floculante Súperfloc A-110, utilizados para identificar la dosis óptima en la remoción de turbidez y sólidos totales en suspensión en las aguas residuales de relaves mineros de la Cooperativa Minera Señor de Ananea.

**Tabla 8**

*Dosis óptima del floculante Súperfloc A-110 para la remoción de turbidez en aguas residuales de relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea.*

| N° de<br>tratamiento | Concentración              |            | pH   | Turbidez<br>inicial<br>(NTU) | Turbidez<br>final<br>(NTU) |
|----------------------|----------------------------|------------|------|------------------------------|----------------------------|
|                      | del Súperfloc<br>A-110 (%) | Dosis (ml) |      |                              |                            |
| 1                    | 2                          | 5          | 6.96 | 9912                         | 3042                       |
| 2                    | 2                          | 10         | 6.96 | 9912                         | 2761                       |
| 3                    | 2                          | 12         | 6.96 | 9912                         | 2569                       |
| 4                    | 2                          | 15         | 6.96 | 9912                         | 2504                       |
| 5                    | 2                          | 20         | 6.96 | 9912                         | 2492                       |
| 6                    | 2                          | 25         | 6.96 | 9912                         | 2394                       |
| 7                    | 2                          | 30         | 6.96 | 9912                         | 2394                       |

La tabla 8, presenta los resultados experimentales correspondientes a la determinación de la dosis óptima del floculante Súperfloc A-110 para la remoción de turbidez en aguas residuales de relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea. Se emplearon seis tratamientos con dosificación progresiva de 5 a 25 ml, manteniendo constante la concentración del floculante en 2 % y un pH de 6.96. Los resultados indican una reducción progresiva de la turbidez, desde 3042 NTU hasta 2394 NTU, frente a una turbidez inicial constante de 9912 NTU. Aunque se evidencia una mejora gradual en la calidad del agua, los niveles finales de turbidez siguen siendo elevados, lo que sugiere que la eficiencia del floculante es limitada bajo las condiciones específicas de operación. Esta baja eficiencia puede estar influenciada por las características físicas del agua con lodo, como su alta densidad, elevado contenido de sólidos y gravedad específica, así como por factores ambientales como las bajas temperaturas predominantes en la zona.

Estos resultados concuerdan con la realidad actual de la cooperativa que actualmente se utiliza este floculante evidenciando la poca eficacia, por lo que el proceso de mezcla y reacción del floculante con los contaminantes podría estar siendo afectado por un tiempo insuficiente de maduración, lo que limita su capacidad de formar flóculos estables y promover una sedimentación efectiva.

**Tabla 9**

*Dosis óptima del floculante Súperfloc A-110 para la remoción de SST en aguas residuales de relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea.*

| N° de<br>tratamiento | Concentración<br>del Súperfloc<br>A-110 (%) |  | Dosis (ml) | pH   | SST<br>INICIAL<br>(mg/L) | SST<br>FINAL<br>(mg/L) |
|----------------------|---------------------------------------------|--|------------|------|--------------------------|------------------------|
|                      |                                             |  |            |      |                          |                        |
| 1                    | 2                                           |  | 5          | 6.96 | 117632                   | 38101.3                |
| 2                    | 2                                           |  | 10         | 6.96 | 117632                   | 34772.1                |
| 3                    | 2                                           |  | 12         | 6.96 | 117632                   | 32490.3                |
| 4                    | 2                                           |  | 15         | 6.96 | 117632                   | 32186.7                |
| 5                    | 2                                           |  | 20         | 6.96 | 117632                   | 31713.8                |
| 6                    | 2                                           |  | 25         | 6.96 | 117632                   | 31264.1                |
| 7                    | 2                                           |  | 30         | 6.96 | 117632                   | 31832.3                |

La tabla 9, presenta los resultados de la evaluación del floculante Súperfloc A-110 en la remoción de sólidos suspendidos totales (SST) bajo las mismas condiciones de concentración (2 %), pH (6.96) y volumen de dosificación (5 a 25 ml). Inicialmente, las muestras presentaban un contenido muy elevado de SST (117632 mg/L), y tras la aplicación del floculante, se obtuvo una reducción gradual hasta 31264.1 mg/L. Si bien se observa una tendencia decreciente en los valores de SST a medida que aumenta la dosis, los resultados finales indican que persiste una alta carga de sólidos en

suspensión, lo cual refleja una eficiencia limitada del floculante en este tipo de aguas residuales con alta carga de partículas y propiedades fisicoquímicas complejas. Por otro lado, estos datos nos ayudan a entender la situación actual de la cooperativa ya que es probable que las condiciones de baja temperatura en la zona, sumadas a un inadecuado tiempo de maduración del floculante antes de su aplicación, estén comprometiendo la formación de flóculos densos y sedimentables. Esto sugiere que, si bien el floculante genera cierta mejora, no es suficiente para cumplir con los estándares de clarificación requeridos, y se hace necesario optimizar el protocolo de aplicación o evaluar alternativas más eficientes para el tratamiento de estos efluentes mineros.

✓ **Floculante Súperfloc RH 4832:**

Seguidamente, se detallan los resultados obtenidos con el floculante Súperfloc RH 4832, utilizados para identificar la dosis óptima en la remoción de turbidez y sólidos totales en suspensión en las aguas residuales de relaves mineros de la Cooperativa Minera Señor de Ananea.

**Tabla 10**

*Dosis óptima del floculante Súperfloc RH 4832 para la remoción de turbidez en aguas residuales de relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea.*

| N° de tratamiento | Concentración del Súperfloc RH 4832 (%) | Dosis (ml) | pH   | Turbidez inicial (NTU) | Turbidez final (NTU) |
|-------------------|-----------------------------------------|------------|------|------------------------|----------------------|
| 1                 | 2                                       | 5          | 6.96 | 9912                   | 2650                 |
| 2                 | 2                                       | 10         | 6.96 | 9912                   | 1150                 |
| 3                 | 2                                       | 12         | 6.96 | 9912                   | 863                  |
| 4                 | 2                                       | 15         | 6.96 | 9912                   | 774                  |
| 5                 | 2                                       | 20         | 6.96 | 9912                   | 493                  |
| 6                 | 2                                       | 25         | 6.96 | 9912                   | 163                  |
| 7                 | 2                                       | 30         | 6.96 | 9912                   | 197                  |

La tabla 10, muestra los resultados obtenidos al evaluar la eficacia del floculante Súperfloc RH 4832 en la remoción de turbidez de las aguas residuales provenientes de relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea. A pesar de mantener una concentración constante del 2 % y un pH de 6.96, se observa una disminución significativa de la turbidez a medida que se incrementa la dosis de floculante, reduciendo los valores de 2650 NTU (con 5 ml) hasta 163 NTU (con 25 ml), frente a una turbidez inicial de 9912 NTU. Este resultado evidencia una mejora sustancial en comparación al floculante A-110, indicando que el RH 4832 muestra una mayor capacidad de clarificación bajo las mismas condiciones experimentales. Sin embargo, dada la complejidad del agua residual (alta carga de sólidos y baja temperatura ambiental), es importante destacar que esta eficiencia in situ favorece mucho un adecuado tiempo de maduración del floculante antes de su aplicación, lo cual es determinante para la formación de flóculos efectivos en entornos mineros fríos como Ananea. Actualmente en otras cooperativas, este producto ha demostrado buen desempeño, y los resultados en esta tabla sugieren que, bajo una correcta preparación y aplicación, el RH 4832 representa una alternativa más eficaz para la remoción de turbidez en estas condiciones operativas para el tratamiento de las aguas residuales provenientes de relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea.

**Tabla 11**

*Dosis óptima del floculante Súperfloc RH 4832 para la remoción de SST en aguas residuales de relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea.*

| N° de<br>tratamiento | Concentración<br>del Súperfloc<br>RH 4832 (%) |  | Dosis (ml) | pH   | SST<br>INICIAL<br>(mg/L) | SST<br>FINAL<br>(mg/L) |
|----------------------|-----------------------------------------------|--|------------|------|--------------------------|------------------------|
|                      |                                               |  |            |      |                          |                        |
| 1                    | 2                                             |  | 5          | 6.96 | 117632                   | 32454.7                |
| 2                    | 2                                             |  | 10         | 6.96 | 117632                   | 18927.9                |
| 3                    | 2                                             |  | 12         | 6.96 | 117632                   | 15645.3                |
| 4                    | 2                                             |  | 15         | 6.96 | 117632                   | 13583.4                |
| 5                    | 2                                             |  | 20         | 6.96 | 117632                   | 9951.9                 |
| 6                    | 2                                             |  | 25         | 6.96 | 117632                   | 9329.7                 |
| 7                    | 2                                             |  | 30         | 6.96 | 117632                   | 9631.8                 |

En la Tabla 11 se presentan los datos correspondientes a la remoción de sólidos suspendidos totales (SST) empleando el floculante Súperfloc RH 4832. Se parte de una carga inicial muy elevada de SST (117632 mg/L), y al aumentar la dosis de floculante de 5 ml a 25 ml, se obtiene una reducción sustancial en la concentración de sólidos, disminuyendo de 32454.7 mg/L hasta 9329.7 mg/L. Esta reducción progresiva demuestra una eficiencia considerable del RH 4832 en la decantación de sólidos en suspensión, superando los resultados obtenidos con el floculante A-110. A pesar de las condiciones desfavorables asociadas a la densidad del agua con lodo y las bajas temperaturas de la zona, el floculante ha logrado estabilizar y sedimentar una parte significativa de los sólidos presentes. No obstante, su desempeño óptimo parece estar fuertemente condicionado al tiempo de maduración previo a la aplicación, el cual permitiría una activación completa del polímero floculante y una interacción más efectiva con las partículas

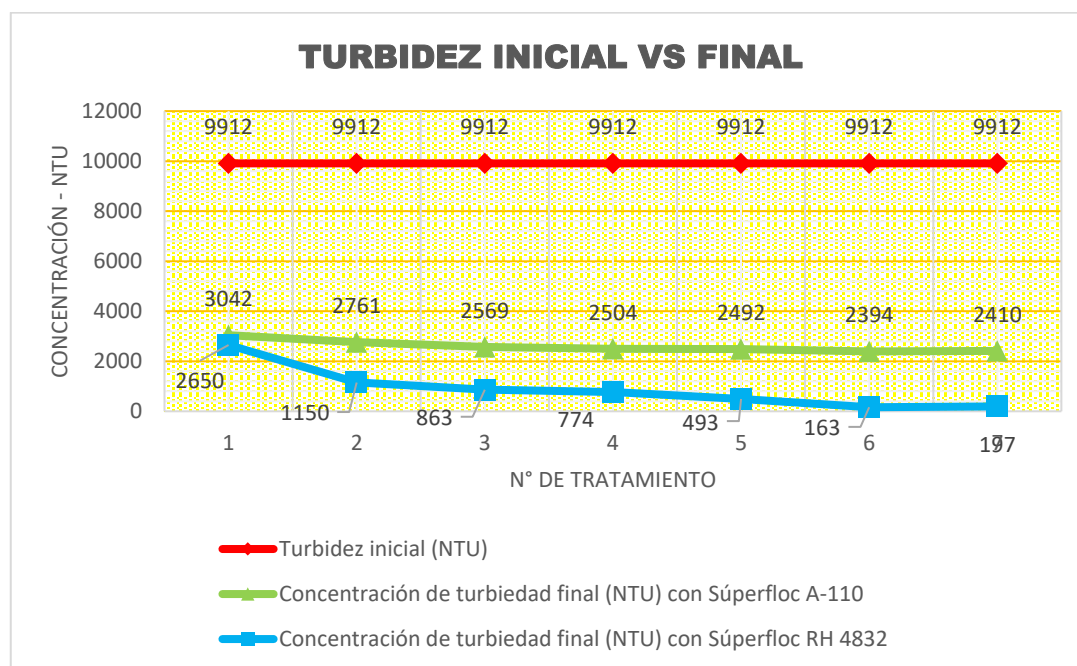
suspendidas. Estos resultados refuerzan la necesidad de controlar adecuadamente los parámetros operacionales para maximizar la eficiencia del tratamiento en contextos mineros de alta complejidad como el de la Cooperativa Señor de Ananea.

**✚ Comparación de la dosis óptima de los floculantes Súperfloc A-110 y RH 4832 para la remoción de turbidez y SST en aguas residuales de relaves mineros:**

La comparación entre los floculantes Súperfloc A-110 y RH 4832 tiene como objetivo evaluar su eficacia en la remoción de turbidez y sólidos suspendidos totales (SST) en aguas residuales provenientes de relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea. Ambos productos fueron ensayados bajo las mismas condiciones experimentales, utilizando diferentes dosificaciones con concentración constante del 2 % y pH controlado. A través del análisis de los valores iniciales y finales de turbidez (NTU) y SST (mg/L), se identificó la tendencia de remoción y la dosis más eficiente para cada floculante. Esta evaluación gráfica permite visualizar de forma comparativa el comportamiento de ambos agentes floculantes, destacando su capacidad de clarificación y eficiencia en condiciones ambientales reales caracterizadas por bajas temperaturas y alta carga de sólidos. Los resultados permiten determinar cuál de los dos floculantes presenta un mejor desempeño en el tratamiento de este tipo de efluentes mineros y cuál sería más recomendable en términos operativos y técnicos para su aplicación en campo.

**Figura 11**

*Comparación de la dosis óptima de los floculantes Súperfloc A-110 y RH 4832 para la remoción de turbidez en aguas residuales de relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea.*

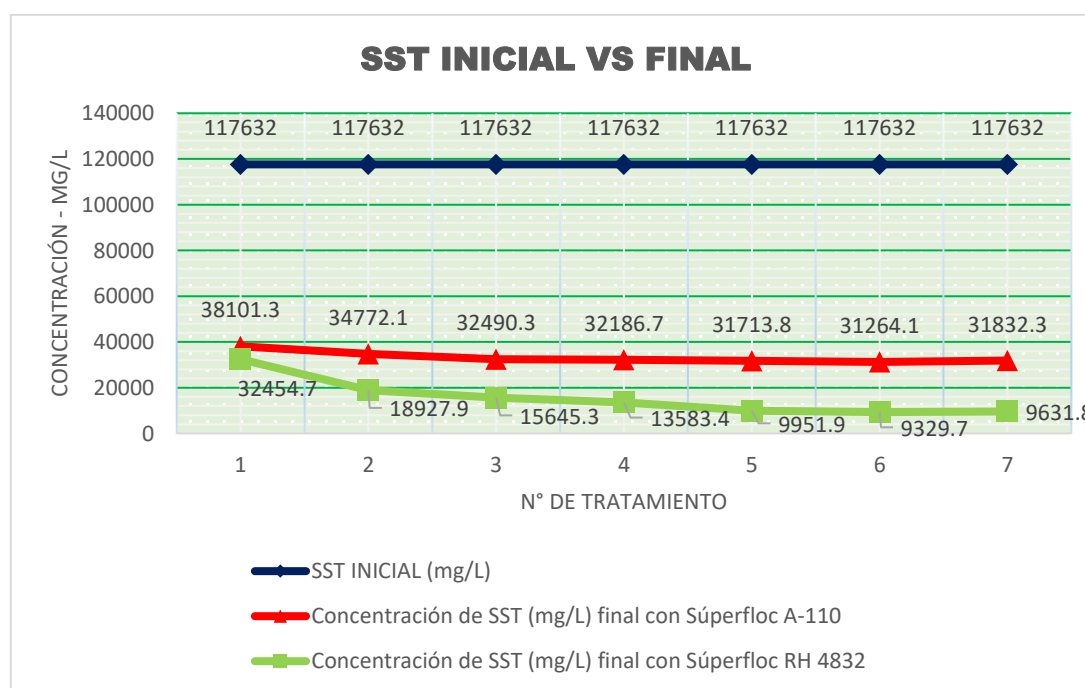


La Figura 11 muestra la comparación gráfica de la remoción de turbidez en aguas residuales de relaves mineros al aplicar los floculantes Súperfloc A-110 y RH 4832. La línea roja horizontal representa la turbidez inicial constante (9912 NTU) en todos los tratamientos, mientras que las líneas verde y celeste indican los valores finales obtenidos utilizando los floculantes Súperfloc A-110 y RH 4832, respectivamente. Se observa que el floculante RH 4832 presenta una reducción de turbidez significativamente más pronunciada en comparación con A-110, especialmente a partir del tratamiento 2, alcanzando un valor mínimo de 163 NTU en el tratamiento 6. Por otro lado, A-110 muestra una tendencia descendente más moderada, llegando a 2394 NTU como mínimo. Esta visualización evidencia que el RH 4832 tiene una mayor eficiencia en la clarificación del agua bajo las mismas condiciones operativas,

probablemente por una mejor formación y sedimentación de flóculos, siempre que se respete un adecuado tiempo de maduración. La gráfica respalda los hallazgos experimentales que indican que RH 4832 es más efectivo que A-110 en la remoción de turbidez en entornos mineros de alta carga y baja temperatura.

### Figura 12

*Comparación de la dosis óptima de los floculantes Súperfloc A-110 y RH 4832 para la remoción de los SST en aguas residuales de relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea.*



La figura 12 representa la remoción de sólidos suspendidos totales (SST) para ambos floculantes, comparando los valores iniciales constantes (117632 mg/L) con las concentraciones finales alcanzadas tras cada tratamiento. La línea azul permanece constante como referencia de SST inicial, mientras que las líneas roja y verde muestran los resultados obtenidos con A-110 y RH 4832, respectivamente. Se aprecia que el floculante RH 4832 logra una remoción más eficiente y progresiva de SST, disminuyendo desde 32454.7 mg/L hasta

9329.7 mg/L. En contraste, el floculante A-110, aunque también presenta una reducción de SST, alcanza un valor mínimo más alto (31264.1 mg/L). Esta diferencia refleja una mayor capacidad del RH 4832 para aglomerar y sedimentar partículas sólidas en suspensión, lo cual es crucial en el tratamiento de aguas con alta densidad y contenido de lodos. La figura pone en evidencia la superioridad operativa del RH 4832 en condiciones mineras reales, reafirmando que la eficiencia de un floculante no solo depende de su composición, sino también de su correcta preparación, maduración y adaptación a las características del medio.

#### **4.1.3. Porcentaje de remoción de la turbidez y sólidos totales en suspensión de las aguas residuales de relaves mineros tratadas con los floculantes Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832 en la Cooperativa Señor de Ananea.**

Con el propósito de evaluar cuantitativamente la eficiencia de los floculantes Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832 en el tratamiento de aguas residuales de relaves mineros, se calculó el porcentaje de remoción tanto de la turbidez como de los sólidos totales en suspensión (SST) en cada uno de los tratamientos aplicados, con la siguiente formula:

$$\% \text{ Remocion} = \frac{\text{Concentracion inicial} - \text{Concentracion final}}{\text{Concentracion inicial}} * 100$$

Este análisis nos permite expresar en términos porcentuales la capacidad de cada floculante para reducir las concentraciones iniciales de contaminantes, proporcionando una métrica comparativa objetiva del desempeño de ambos productos. La determinación de estos porcentajes es fundamental para establecer la eficacia real del proceso de floculación, identificar la dosis óptima más eficiente y validar la viabilidad operativa de

cada floculante en contextos mineros como el de la Cooperativa Señor de Ananea, caracterizados por aguas con alta carga de sólidos, condiciones de baja temperatura y propiedades fisicoquímicas complejas. A continuación, se presentan los resultados obtenidos, los cuales reflejan las diferencias de eficiencia entre ambos floculantes en función de la dosis aplicada.

➤ **Floculante Súperfloc A-110:**

A continuación, se presentan los porcentajes de remoción obtenidos a partir de los valores iniciales y finales tras la aplicación del floculante Súperfloc A-110, en el tratamiento de aguas residuales de relaves mineros de la Cooperativa Minera Señor de Ananea, específicamente en lo referido a la reducción de turbidez y sólidos totales en suspensión (SST).

**Tabla 12**

*Porcentaje de remoción de turbidez en aguas residuales de relaves mineros tratadas con el floculante Súperfloc A-110 en la Cooperativa Señor de Ananea.*

| N° de tratamiento | Concentración del Súperfloc A-110 (%) | Dosis (ml) | pH   | Turbidez inicial (NTU) | Turbidez final (NTU) | Porcentaje de remoción (%) |
|-------------------|---------------------------------------|------------|------|------------------------|----------------------|----------------------------|
| 1                 | 2                                     | 5          | 6.96 | 9912                   | 3042                 | 69.31                      |
| 2                 | 2                                     | 10         | 6.96 | 9912                   | 2761                 | 72.14                      |
| 3                 | 2                                     | 12         | 6.96 | 9912                   | 2569                 | 74.08                      |
| 4                 | 2                                     | 15         | 6.96 | 9912                   | 2504                 | 74.74                      |
| 5                 | 2                                     | 20         | 6.96 | 9912                   | 2492                 | 74.86                      |
| 6                 | 2                                     | 25         | 6.96 | 9912                   | 2394                 | 75.85                      |
| 7                 | 2                                     | 30         | 6.96 | 9912                   | 2394                 | 75.85                      |

La tabla 12, expone los porcentajes de remoción de turbidez obtenidos tras la aplicación de diferentes dosis del floculante Súperfloc A-110 en aguas

residuales de relaves mineros. Se observa una mejora progresiva de la eficiencia conforme se incrementa la dosis de 5 ml a 25 ml, alcanzando un valor máximo de remoción de 75.85 % en el tratamiento 6. Desde el primer tratamiento (69.31 %) hasta el último, la ganancia en eficiencia es sostenida pero moderada, con aumentos entre 1 % y 3 % por cada incremento en la dosis. Estos resultados indican que, si bien el floculante A-110 logra reducir notablemente la turbidez, su capacidad de remoción se estabiliza alrededor del 75 %, lo que sugiere una eficiencia limitada en alcanzar niveles bajos de turbidez residual. Esta tendencia puede estar relacionada con las condiciones específicas del agua tratada (alta carga de sólidos, densidad elevada y baja temperatura), que dificultan la formación de flóculos suficientemente densos para una sedimentación completa.

**Tabla 13**

*Porcentaje de remoción de los SST en aguas residuales de relaves mineros tratadas con el floculante Súperfloc A-110 en la Cooperativa Señor de Ananea.*

| N° de tratamiento | Concentración del Súperfloc A-110 (%) | Dosis (ml) | pH   | SST INICIAL (mg/L) | SST FINAL (mg/L) | Porcentaje de remoción (%) |
|-------------------|---------------------------------------|------------|------|--------------------|------------------|----------------------------|
| 1                 | 2                                     | 5          | 6.96 | 117632             | 38101.3          | 67.61                      |
| 2                 | 2                                     | 10         | 6.96 | 117632             | 34772.1          | 70.44                      |
| 3                 | 2                                     | 12         | 6.96 | 117632             | 32490.3          | 72.38                      |
| 4                 | 2                                     | 15         | 6.96 | 117632             | 32186.7          | 72.64                      |
| 5                 | 2                                     | 20         | 6.96 | 117632             | 31713.8          | 73.04                      |
| 6                 | 2                                     | 25         | 6.96 | 117632             | 31264.1          | 73.42                      |
| 7                 | 2                                     | 30         | 6.96 | 117632             | 31832.2          | 72.93                      |

La tabla 13, los porcentajes de remoción de sólidos suspendidos totales (SST) tras la aplicación del floculante Súperfloc A-110. Al igual que en la turbidez, se observa una mejora progresiva en la eficiencia conforme aumenta la dosis, pasando del 67.61 % en el tratamiento 1 al 73.42 % en el tratamiento 6. No obstante, la tasa de incremento es leve, lo que evidencia que, aun con mayores volúmenes de floculante, la capacidad de remoción de SST se encuentra cerca de su límite operativo bajo estas condiciones. A pesar de superar el umbral del 70 % a partir del tratamiento 3, los valores finales de SST siguen siendo elevados en términos absolutos, reflejando la dificultad del A-110 para consolidar partículas finas y densas en un medio con alta concentración de sólidos. Estos resultados sugieren que el floculante A-110, si bien funciona, no alcanza una remoción óptima para cumplir con estándares más exigentes de clarificación, y requeriría ajustes en el protocolo de aplicación o una posible sustitución por un producto más eficiente.

✓ **Floculante Súperfloc RH 4832:**

A continuación, se presentan los porcentajes de remoción obtenidos a partir de los valores iniciales y finales tras la aplicación del floculante Súperfloc RH 4832, en el tratamiento de aguas residuales de relaves mineros de la Cooperativa Minera Señor de Ananea, enfocados en la eficiencia de reducción de turbidez y sólidos totales en suspensión (SST).

**Tabla 14**

*Porcentaje de remoción de turbidez en aguas residuales de relaves mineros tratadas con el floculante Súperfloc RH 4832 en la Cooperativa Señor de Ananea.*

| N° de tratamiento | Concentración del Súperfloc RH 4832 (%) | Dosis (ml) | pH   | Turbidez inicial (NTU) | Turbidez final (NTU) | Porcentaje de remoción (%) |
|-------------------|-----------------------------------------|------------|------|------------------------|----------------------|----------------------------|
| 1                 | 2                                       | 5          | 6.96 | 9912                   | 2650                 | 73.26                      |
| 2                 | 2                                       | 10         | 6.96 | 9912                   | 1150                 | 88.40                      |
| 3                 | 2                                       | 12         | 6.96 | 9912                   | 863                  | 91.29                      |
| 4                 | 2                                       | 15         | 6.96 | 9912                   | 774                  | 92.19                      |
| 5                 | 2                                       | 20         | 6.96 | 9912                   | 493                  | 95.03                      |
| 6                 | 2                                       | 25         | 6.96 | 9912                   | 163                  | 98.36                      |
| 7                 | 2                                       | 30         | 6.96 | 9912                   | 197                  | 98.01                      |

En la tabla 14, se observa el porcentaje de remoción de turbidez en aguas residuales de relaves mineros tratadas con el floculante Súperfloc RH 4832 en la Cooperativa Señor de Ananea. En donde, se muestra una mejora significativa y progresiva en la remoción de turbidez con el floculante Súperfloc RH 4832, al aumentar la dosis de 5 ml a 25 ml. El porcentaje de remoción se incrementa de 73.26 % en el tratamiento 1 hasta un valor máximo de 98.36 % en el tratamiento 6, reflejando una alta eficacia del producto. A partir del tratamiento 3 (12 ml), los porcentajes superan el 90 %, lo que indica una eficiencia sostenida incluso con dosis moderadas. Este comportamiento confirma que RH 4832 posee una capacidad superior de clarificación, formando flóculos más densos y estables que permiten una sedimentación más efectiva de las partículas responsables de la turbidez, incluso en condiciones operativas adversas como las presentes en Ananea. La marcada

eficiencia del tratamiento 6 posiciona a RH 4832 como un floculante altamente recomendable para la remoción de turbidez en aguas con alta carga sólida.

**Tabla 15**

*Porcentaje de remoción de los SST en aguas residuales de relaves mineros tratadas con el floculante Súperfloc RH 4832 en la Cooperativa Señor de Ananea.*

| N° de tratamiento | Concentración del Súperfloc RH 4832 (%) | Dosis (ml) | pH   | SST INICIAL (mg/L) | SST FINAL (mg/L) | Porcentaje de remoción (%) |
|-------------------|-----------------------------------------|------------|------|--------------------|------------------|----------------------------|
| 1                 | 2                                       | 5          | 6.96 | 117632             | 32454.7          | 72.41                      |
| 2                 | 2                                       | 10         | 6.96 | 117632             | 18927.9          | 83.91                      |
| 3                 | 2                                       | 12         | 6.96 | 117632             | 15645.3          | 86.70                      |
| 4                 | 2                                       | 15         | 6.96 | 117632             | 13583.4          | 88.45                      |
| 5                 | 2                                       | 20         | 6.96 | 117632             | 9951.9           | 91.54                      |
| 6                 | 2                                       | 25         | 6.96 | 117632             | 9329.7           | 92.07                      |
| 7                 | 2                                       | 30         | 6.96 | 117632             | 9631.8           | 91.81                      |

La tabla 15 presenta los resultados del porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales (SST) con el floculante RH 4832, mostrando un rendimiento altamente eficiente que mejora progresivamente desde 72.41 % en el tratamiento 1 hasta 92.07 % en el tratamiento 6. A diferencia del comportamiento observado con el floculante A-110, RH 4832 logra superar el umbral del 80 % desde el tratamiento 2 (10 ml), lo que evidencia su alta capacidad de aglomeración y decantación de sólidos finos en suspensión. La eficiencia de remoción alcanza su punto óptimo con una dosis de 25 ml, demostrando que, además de ser efectivo para reducir la turbidez, este floculante responde de forma sobresaliente ante cargas elevadas de sólidos. Estos resultados confirman que, con un adecuado tiempo de maduración y

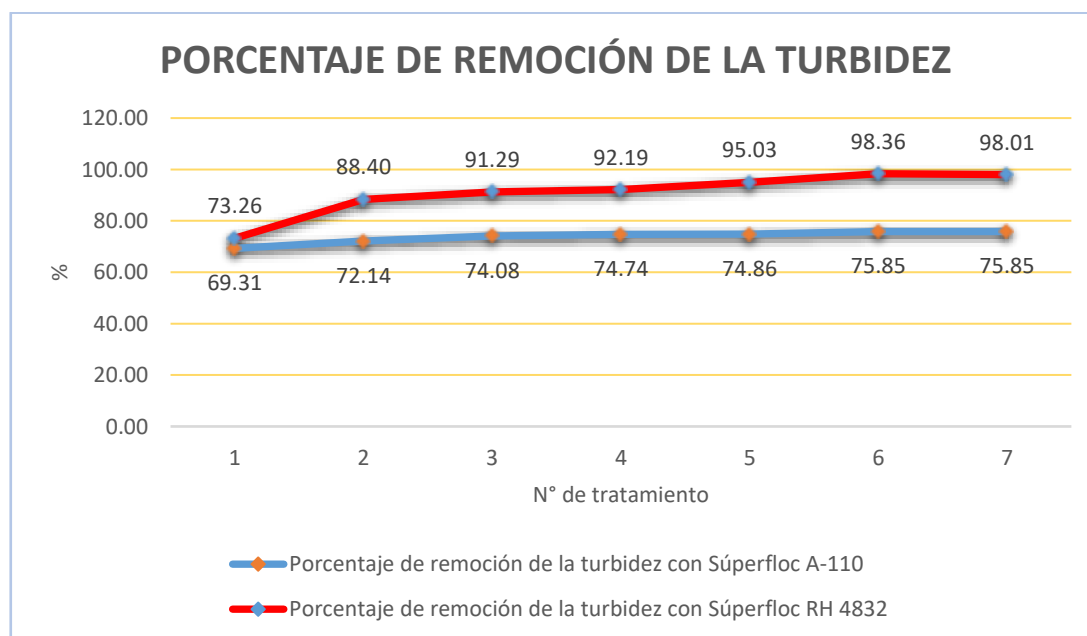
mezcla, el RH 4832 es una alternativa técnicamente sólida para mejorar el tratamiento de aguas residuales en operaciones mineras de alta complejidad.

**🚦 Comparación del porcentaje de remoción de turbidez y sólidos suspendidos totales (SST) con los floculantes Súperfloc A-110 y RH 4832 en aguas residuales de relaves mineros:**

Con el fin de identificar el floculante más eficiente en el tratamiento de aguas residuales de relaves mineros, se realizó una comparación del porcentaje de remoción de turbidez y sólidos suspendidos totales (SST) utilizando los productos Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832 en condiciones experimentales controladas. Ambos floculantes fueron aplicados en igual concentración (2 %) y bajo las mismas condiciones de pH, mezcla y sedimentación, a distintas dosis. Esta comparación permite evaluar de manera objetiva la eficacia relativa de cada floculante frente a la carga contaminante inicial, expresada en términos porcentuales. Los gráficos presentados a continuación sintetizan el comportamiento de cada producto respecto a la reducción de turbidez y SST, permitiendo identificar cuál de ellos ofrece un mejor rendimiento para su aplicación en el contexto específico de la Cooperativa Minera Señor de Ananea, caracterizado por condiciones ambientales frías y una alta carga de sólidos. Esta información es clave para la toma de decisiones operativas orientadas a optimizar el proceso de tratamiento y mejorar la calidad del efluente tratado.

**Figura 13**

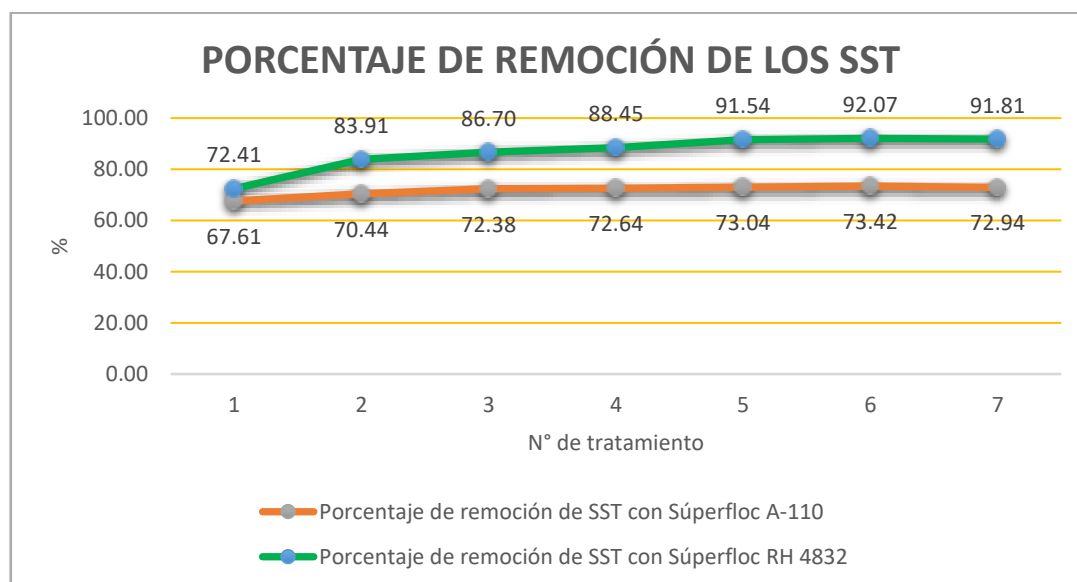
*Comparación del porcentaje de remoción de turbidez empleando los floculantes Súperfloc A-110 y RH 4832 en aguas residuales de relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea.*



La figura 13, muestra la comparación del porcentaje de remoción de turbidez alcanzado con ambos floculantes a lo largo de seis tratamientos con incrementos de dosis. Se evidencia que el floculante RH 4832 supera consistentemente a A-110 en todos los tratamientos, logrando una remoción más eficiente. Mientras que Súperfloc A-110 alcanza un máximo de 75.85 % en el tratamiento 6, el RH 4832 supera el 90 % a partir del tratamiento 3 y culmina con 98.36 %, mostrando una tendencia creciente más marcada. Esta diferencia destaca la mayor capacidad del RH 4832 para formar flóculos eficaces y sedimentables, incluso en aguas con alta carga de turbidez. En consecuencia, la gráfica confirma que el RH 4832 es considerablemente más efectivo que el A-110 en la clarificación del agua residual bajo las condiciones de Ananea.

**Figura 14**

*Comparación del porcentaje de remoción de SST con los flocculantes Súperfloc A-110 y RH 4832 en aguas residuales de relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea.*



La figura 14 representa el comportamiento del porcentaje de remoción de SST, nuevamente comparando los flocculantes A-110 y RH 4832. Al igual que en la turbidez, el RH 4832 muestra un rendimiento superior en todos los tratamientos, comenzando en 72.41 % y alcanzando un máximo de 92.07 %. En cambio, el A-110, aunque mejora progresivamente, mantiene porcentajes más bajos, oscilando entre 67.61 % y 73.42 %. La diferencia se acentúa desde el segundo tratamiento, lo cual refuerza la evidencia de que el RH 4832 presenta una eficiencia más alta en la remoción de sólidos suspendidos, incluso sin modificar la concentración del producto. Esta gráfica reafirma la superioridad técnica del RH 4832 para el tratamiento de efluentes con alta carga sólida, posicionándolo como el flocculante más adecuado en este contexto operativo.

## 4.2. DISCUSIONES

Con respecto, a la concentración inicial de la turbidez y sólidos totales en suspensión de las aguas residuales de los relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea, en nuestra investigación los resultados obtenidos evidencian que las aguas residuales de los relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea presentan concentraciones iniciales extremadamente elevadas de turbidez (9912 NTU) y sólidos totales en suspensión (117632 mg/L), lo que confirma una carga contaminante considerable asociada a la actividad minera. Esta caracterización coincide con los valores reportados por estudios similares como el de Quispe (2021), quien encontró la turbidez superior a los 8000 NTU y concentraciones de SST por encima de 100000 mg/L en efluentes de relaves en operaciones mineras ubicadas en zonas altoandinas. Asimismo, Mamani y Huanca (2018) reportó que la presencia de partículas coloidales y sedimentos finos generados durante el procesamiento del mineral contribuye a altos niveles de turbidez, afectando la eficiencia de los procesos de clarificación. Estos antecedentes respaldan los hallazgos del presente trabajo, y refuerzan la necesidad de implementar tecnologías de tratamiento eficientes para enfrentar la problemática de la alta carga sólida en los relaves mineros de la zona. Además, se debe considerar que las condiciones climáticas frías propias de la región de Ananea podrían ralentizar los procesos naturales de decantación, incrementando la persistencia de estas características fisicoquímicas en el cuerpo receptor si no se realiza un tratamiento adecuado.

Con respecto a la dosis óptima de los floculantes Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832 para la remoción de la turbidez y sólidos totales en suspensión de las aguas residuales de relaves mineros de la Cooperativa

Señor de Ananea, los resultados obtenidos permiten concluir que el floculante RH 4832 presenta una mayor eficacia operativa en comparación con el A-110, bajo las mismas condiciones experimentales. La evaluación comparativa muestra que, para el caso de la turbidez, el RH 4832 alcanzó una reducción mucho más significativa, llegando hasta 163 NTU frente a un valor mínimo de 2394 NTU con el A-110. En cuanto a los sólidos suspendidos totales (SST), el RH 4832 también superó al A-110, logrando disminuir las concentraciones de 32454.7 mg/L a 9329.7 mg/L, mientras que el A-110 solo alcanzó una reducción hasta 31264.1 mg/L. Este hallazgo concuerda con lo reportado por Tejada (2017), quien observó una eficiencia superior del RH 4832 en procesos de tratamiento de efluentes mineros con alta carga de sólidos, atribuyendo su rendimiento a la estructura aniónica y alto peso molecular que favorece la formación de flóculos compactos y sedimentables. Por otro lado, López, Martínez y Hernández (2019), quien reportó remociones de turbidez superiores al 95 % con RH 4832 en condiciones controladas de mezcla y maduración, confirmando la sensibilidad del proceso a la preparación previa del floculante. En cambio, Quispe (2021), destacó que en relaves de características similares en zonas altoandinas, el RH 4832 logró un desempeño más estable y reproducible que otros floculantes, siempre que se aplicaran tiempos de maduración mínimos de 60 minutos. De este modo, se confirma que el RH 4832 no solo se adapta mejor a las condiciones físicas y climáticas de Ananea, sino que también cumple con los criterios técnicos necesarios para su aplicación eficiente en campo. En consecuencia, se determina que la dosis óptima más efectiva es de 25 ml de RH 4832, tanto para la remoción de turbidez como de SST, consolidándose como una

alternativa superior al Súperfloc A-110 para el tratamiento de este tipo de aguas residuales mineras.

Con respecto, al porcentaje de remoción de la turbidez y sólidos totales en suspensión de las aguas residuales de relaves mineros tratadas con los floculantes Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832 en la Cooperativa Señor de Ananea, de acuerdo a los resultados en nuestra investigación, se evidenció que el floculante RH 4832 alcanzó una remoción más eficiente que el A-110 en ambos parámetros, logrando hasta un 98.36 % de remoción de turbidez y un 92.07 % de remoción de SST, frente al 75.85 % y 73.42 %, respectivamente, alcanzados por el A-110. Estos resultados coinciden con lo reportado por Vásquez (2020), donde el uso de floculantes aniónicos con características similares al RH 4832 permitió remociones superiores al 90 % en efluentes mineros con alta carga de sólidos, siempre que se respetara un adecuado tiempo de maduración del polímero. A nivel nacional, Flores (2021) demostró que, en operaciones mineras del sur del Perú, la eficiencia de remoción con floculantes comerciales mejoró sustancialmente cuando se optimizó el proceso de mezcla rápida y lenta, así como el tiempo de sedimentación, alcanzando valores superiores al 85 % en turbidez. Asimismo, en un contexto regional, Mamani y Quispe (2018) reportó en Puno que el floculante RH 4832 mostró mejor rendimiento que otros productos convencionales en relaves con características similares, especialmente bajo condiciones de baja temperatura. En conjunto, estos antecedentes respaldan la eficacia del RH 4832 observada en nuestra investigación, reafirmando su idoneidad para tratar aguas residuales mineras en zonas altoandinas como Ananea.

## CONCLUSIONES

**PRIMERA:** El uso de los floculantes Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832 en la sedimentación de sólidos totales en suspensión (SST) y la reducción de turbidez en aguas residuales de relaves mineros de la Cooperativa Minera Señor de Ananea. Se llega a la conclusión que el floculante RH 4832 demostró mayor eficacia operativa, logrando una remoción máxima de turbidez de 98.36 % y de SST de 92.07 % con una dosis de 25 ml. En cambio, el floculante A-110 presentó remociones máximas de 75.85 % en turbidez y 73.42 % en SST.

**SEGUNDA:** Respecto a la caracterización de la concentración inicial de la turbidez y sólidos totales en suspensión de las aguas residuales de los relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea, se llega a la conclusión que se encontraron valores muy elevados para la turbidez alcanzo los 9912 NTU y para los sólidos totales en suspensión alcanzo los 117632 mg/L, estos valores superan ampliamente los límites permitidos para aguas industriales, lo que justifica la necesidad de aplicar tecnologías de tratamiento efectivas para su manejo.

**TERCERA:** Con respecto a la dosis óptima para cada floculante fue determinada experimentalmente bajo condiciones estandarizadas. En donde, el Súperfloc A-110 alcanzo una mejor eficiencia con 25 ml logrando una turbidez final de 2394 NTU y SST de 31264.1 mg/L. Sin embargo, el Súperfloc RH 4832 fue más eficiente alcanzando con la misma dosis una turbidez final de



163 NTU y SST de 9329.7 mg/L. Por lo tanto, se concluye que la dosis óptima y más eficaz es de 25 ml de RH 4832, bajo las condiciones operativas de la zona de estudio.

**CUARTA:** Finalmente, en cuanto al porcentaje de remoción de turbidez y SST confirma la superioridad técnica del floculante RH 4832 frente al A-110. El RH 4832 logró una remoción de turbidez de hasta 98.36 % y de SST de 92.07 %, mientras que el A-110 alcanzó un 75.85 % en turbidez y 73.42 % en SST. Estos resultados evidencian que el RH 4832 es más adecuado para aplicaciones en ambientes de alta carga de sólidos y bajas temperaturas, como los que caracterizan a la Cooperativa Señor de Ananea.



### RECOMENDACIONES

**PRIMERA:** A los futuros investigadores se les recomienda realizar pruebas piloto en condiciones reales de operación, incluyendo variaciones de caudal, temperatura y carga contaminante, para validar la eficacia del floculante Súperfloc RH 4832 a escala industrial en el tratamiento de aguas residuales de relaves mineros.

**SEGUNDA:** A los futuros investigadores se les recomienda evaluar el comportamiento de los floculantes en combinación con coagulantes naturales o químicos, a fin de optimizar la eficiencia de sedimentación, reducir costos operativos y minimizar la generación de lodos secundarios.

**TERCERA:** Para los futuros estudios se recomienda investigar el tiempo óptimo de maduración del floculante RH 4832, ya que los resultados indican que este factor influye significativamente en la formación de flóculos estables y, por tanto, en la eficiencia de remoción.

**CUARTA:** A los futuros investigadores se les recomienda explorar el impacto de la temperatura en la eficiencia del proceso de floculación, considerando que, en zonas altoandinas como Ananea, las bajas temperaturas pueden afectar la cinética de agregación de partículas y la tasa de sedimentación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, M. I., Sáez, J., Lloréns, M., Soler, A., & Ortuño, J. F. (2022). *Tratamiento físicoquímico de aguas residuales (1a Edición ed.)*. Universidad de Murcia.
- Alanya Camasca, J. D. (2024). *Reducción de la turbidez en aguas del drenaje minero en la empresa aurífera retamas mediante coagulación y floculación 2022-2023*. Huancayo.
- Alvarez, J., & García, M. (2020). *Tratamiento de aguas de relaves mineros: Floculación y sedimentación de sólidos suspendidos*. Revista de Gestión y Tecnología en Minería.
- Anderson, M. (2020). *Mejoras en el tratamiento de aguas de relaves con floculantes catiónicos*. Water Pollution Control.
- Andía, Y. (2000). *Evaluación de Plantas y Desarrollo Tecnológico*. Lima, Perú. SEDAPAL.
- Ayangunna, R. (2016). *Coagulación-floculación: Tratamiento de aguas residuales industriales mediante polvo de semilla de tamarindo*. Revista Internacional de Investigación ChemTech.
- Bratby, J. (1980). *Coagulación y floculación: con énfasis en agua y aguas residuales*.
- Bravo Gallardo, M. A. (2017). *Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales*. Bogota.
- Camacho, F., López, A., & Fernández, M. (2019). *Evaluación de floculantes químicos para la sedimentación de aguas residuales mineras en la*



*región de Potosí. Potosí - Bolivia : Revista Boliviana de Ingeniería Ambiental.*

*Chacon Ramos, I. M., & Ramos Zavala, C. T. (2019). Optimización de parámetros para remoción de turbidez, DBO5 Y DQO mediante procesos de coagulación/floculación de aguas residuales domésticas empleando organoarcilla. Lima.*

*Coaquira Madariaga , M. Y. (2021). Tratamiento físico-químico con lechada de cal y superfloc A-110 para la remoción de la turbidez y SST del efluente de la UOM SA. Lima -Perú.*

*Contreras, K., Contreras, J., Corti, M., De Sousa, J., Durán, M., & Escalante, M. (2008). El agua un recurso para preservar. Tesis, Mérida.*

*De Echave, J. (2016). La minería ilegal en Perú. Nueva Sociedad.*

*EEA. (2021). Mining waste and water pollution in Europe. European Environment Agency. Obtenido de <https://www.eea.europa.eu/publications/mining-waste-and-water-pollution>*

*Enríquez Mamani, V. (2021). Riesgos ambientales establecidos por las empresas mineras de la región Puno. Tesis Doctoral. , Universidad Nacional del Altiplano., Puno.*

*EPA. (2016). Gestión y eliminación de residuos mineros.*

*Flores, J. M., & Pérez, L. A. (2021). Eficiencia de floculación química para la sedimentación de aguas residuales mineras en la región de Junín. Universidad Nacional del Centro del Perú, Junín.*

- González, E., & Benítez, L. (2021). *Clarificación de aguas residuales mineras mediante floculación química en la región del Pilcomayo, Paraguay. Pilcomayo - Paraguay: Revista Paraguaya de Recursos Naturales.*
- GORE. (2021). *Diagnóstico ambiental y gestión de residuos mineros en la región Puno. Gobierno Regional de Puno, Puno - Perú.*
- Hach, L. (2017). *Manual de técnicas para el tratamiento de aguas residuales. Hach Company.*
- Hernandez Nuños, A. (2001). *Depuración y desinfección de aguas residuales. 5ª ed. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1151 p. Colección Senior nº 9. ISBN: 84-380-0190-4.*
- Hernández, R., & Fernández, C. (2010). *Metodología de la investigacion. Obtenido de [https://www.esup.edu.pe/descargas/dep\\_investigacion/Metodologia%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%205ta%20Edici%C3%B3n.pdf](https://www.esup.edu.pe/descargas/dep_investigacion/Metodologia%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%205ta%20Edici%C3%B3n.pdf)*
- Hernández, R., & Fernández, C. (2018). *Metodología de la investigación. Mexico: McGRAW-HILL.*
- Huamán Ramos, C. R., & Choque Mamani , J. F. (2022). *Evaluación del tratamiento de aguas residuales mineras con floculantes en la provincia de Lampa, Puno. Lampa, Puno.*
- Huamán, C. R., & Choque, J. F. (2022). *Evaluación del tratamiento de aguas residuales mineras con floculantes en la provincia de Lampa, Puno. Universidad Nacional del Altiplano, Lampa - Perú.*
- Huanca Salazar, R. A., Quispe Poma, M. L., & García Torres , P. H. (2020). *Optimización del tratamiento de aguas residuales mineras mediante*



- floculación en la provincia de Carabaya, Puno. Carabaya: Revista Científica de Ingeniería Ambiental.*
- Iwuozor, K. (2019). Perspectivas y desafíos del uso de la coagulación-floculación: Método en el tratamiento de Efluentes. Revista Avanzada de Química.*
- Johnson, R. (2019). Mecanismos de acción del floculante Súperfloc RH 4832 en la minería. Chemical Engineering Journal.*
- Laines, J., Goñi, J., Howard, A., & Camacho, W. (2008). Mezclas con potencial coagulante para tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario. Interciencia., 33.*
- Ledo, P., Lima, R., Duarte, M., & Pauto, J. (2009). Estudio comparativo de sulfato de aluminio y semillas de Moringa oleifera para la depuración de aguas con baja Turbiedad. Universidad Federal do Rio Grande do Norte. Brasil. Centro de Tecnología, 3-12.*
- Llampi Pineda, S. L. (2023). Influencia del pH en la reducción de turbidez con Superfloac A-110 en aguas residuales de mineral aurífero, en Minera Mosoqminas, Ananea – Región Puno. Región Puno. Obtenido de <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/19398?show=full>*
- López Hernández, J., Martínez Sánchez, S., & Hernández Cruz, R. (2019). Detección de coliformes totales y termotolerantes en sistemas de agua potable en zonas rurales del estado de Oaxaca. Oaxaca - Mexico: Journal of Mexican Public Health.*
- Mamani Ramos , G. S., & Quispe Huanca, R. M. (2018). Aplicación de floculantes para el tratamiento de aguas residuales mineras en la*



*provincia de Azángaro, Puno. Universidad Nacional del Altiplano, Azángaro, Puno.*

*Matelco. (12 de marzo de 2021). Obtenido de Coagulación-Floculación: <https://www.matelco.es/control-de-la-carga-organica-en-agua-potable-segunda-parte/coagulacion-floculacion-sedimentacion/>*

*Méndez, R. (2018). Turbidez en aguas residuales mineras: Impacto ambiental y métodos de tratamiento. Revista de Ingeniería Ambiental.*

*Miller, P. (2017). Evaluación de floculantes en la minería: Casos de aplicación del Súperfloc A-110.*

*MINAM. (2022). Gestión ambiental en minería: Informe anual 2022. Lima - Perú.*

*Moscoso Cavallini, J., & Egocheaga Young, L. (2004). Avances del inventario regional de la situación de las aguas residuales domésticas en America Latina. Lima: Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, Canada. Canada. Obtenido de <https://fddocuments.ec/document/avances-del-inventario-regional-de-la-situacinde-las-aguas-y-uso-de-las-aguas.html?page=1>*

*Moscoso Cavallini, J., & Egocheaga Young, L. (2004). Avances del inventario regional de la situación de las aguas residuales domésticas en America Latina. Lima: Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, Canada. Canada.*

*Nieto, C., & Orellana, V. (2011). Aplicación del quitosano como promotor de floculación para disminuir la carga contaminante. Universidad Politécnica Salesiana.*



- Patel, V., & Kumar, P. (2019). *Tratamiento de aguas residuales mineras con floculantes catiónicos: Estudio de caso con Súperfloc RH 4832.*
- Pérez, J., Gómez, F., & Martínez, A. (2019). *Evaluación de la calidad del agua en relaves mineros y métodos de tratamiento. Revista de Tecnología Ambiental.*
- Porto, J. P., & Gardey, A. (2010). *Definicion.de. Obtenido de <https://definicion.de/agua/>*
- Puertas Rodríguez , E. E., & Torres Velásquez, C. S. (2015). *Estudio comparativo de los procesos: coagulaciónfloculación, filtración y su combinación, para determinar el proceso más eficiente en la clarificación de agua utilizadas en el vivero vitivinícola de la Autoridad Autónoma de Majes. Tesis de Pregrado, Arequipa - Perú.*
- Quispe Loayza, L. (2021). *Evaluación del sistema de captación y distribución de agua potable en el distrito de Pichacani – Puno. Puno: Revista Científica del Altiplano.*
- Quispe Pérez, M. L., Piñas Rivera, L. C., Del Valle Gonzále, J. R., & Aguirre Chávez, F. (2020). *Aplicaciones tecnológicas de tratamientos de aguas residuales. México: Nosótrica Ediciones.*
- Ramírez, F. J., & Huamán, C. R. (2018). *Aplicación de floculantes en el tratamiento de aguas residuales mineras de la región de Lima. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.*
- Respreto Osorno , H. A. (2009). *evaluación del proceso de coagulación – floculación de una planta de tratamiento de agua potable.*



- Rodríguez, C., & Martínez, P. (2020). *Tratamiento de aguas residuales mineras con floculantes poliméricos en la cuenca del río Magdalena. Colombia: Ingeniería y Ciencia.*
- Silva, R., Santos, J., & Oliveira, M. (2018). *Uso de floculantes orgánicos en el tratamiento de efluentes mineros del estado de Minas Gerais. Brasil: Revista Brasileira de Engenharia Ambiental,.*
- Simons, K., & Hughes, R. (2018). *Eficiencia de floculantes en el tratamiento de aguas de relaves mineros. Water Research Journal.*
- Taylor, S., & Wilson, H. (2018). *loculantes en el tratamiento de aguas residuales mineras.*
- Tejada Mayta, R. (2017). *Tratamiento y sedimentación de la turbidez con cal en las aguas residuales de los relaves mineros de la unidad operativa minera Santiago - B. Tesis de Pregrado, Puno - Perú.*
- Tejada Mayta, R. (2017). *Tratamiento y sedimentación de la turbidez con cal en las aguas residuales de los relaves mineros de la unidad Operativa Minera Santiago - B. Puno.*
- Torres, A. E., & Mendoza, G. R. (2019). *Evaluación de floculantes químicos para el tratamiento de aguas residuales mineras en la región de Cajamarca. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.*
- Vásquez, M. L., Quispe, R. F., & García, P. H. (2020). *Optimización del tratamiento de aguas residuales de relaves mineros mediante floculación en la región de Arequipa. Arequipa: Revista Peruana de Ingeniería Ambiental.*
- Vilca Quispe , J. M., & Poma Huamán, L. R. (2021). *Eficiencia de la floculación química en la clarificación de aguas residuales mineras en la provincia*



*de Melgar, Puno. Melgar, Puno.: Revista Peruana de Ingeniería Ambiental.*

*Yates, A., & García, R. (2018). Evaluación de la eficiencia del floculante Súperfloc RH 4832 en el tratamiento de aguas de relaves mineros. Mineral Processing Journal.*

*Younger, P., Banwart, S., & Hedin, R. (2002). Mine Water: Hydrology, Pollution, Remediation. Springer.*

*Zhao, J., Yang, L., & Li, S. (2015). Efectos de los sólidos suspendidos sobre la vida acuática y la calidad del agua en ríos impactados por la minería. Contaminación ambiental.*



# ANEXOS



## ANEXO 1 MATRIZ DE CONSISTENCIA

TRATAMIENTO DE LA TURBIDEZ MEDIANTE FLOCULANTES INORGÁNICOS EN AGUAS RESIDUALES DE RELAVES MINEROS DE LA COOPERATIVA MINERA SEÑOR DE ANANEA 2025

| PROBLEMA GENERAL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | OBJETIVO GENERAL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | HIPÓTESIS GENERAL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES                                                                                                                                                                                    | METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>¿Cómo es el uso de los floculantes Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832 para la sedimentación de sólidos totales en suspensión y la reducción de la turbidez en las aguas residuales de relaves mineros de la Cooperativa Minera Señor de Ananea?</p> <p><b>Problemas Específicos</b></p> <p>1) ¿Cuál es la concentración inicial de la turbidez y sólidos totales en suspensión de las aguas residuales de los relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea?</p> <p>2) ¿Cuál será la dosis óptima de los floculantes Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832 para la remoción de la turbidez y sólidos totales en suspensión de las aguas residuales de relaves mineros de la</p> | <p>Evaluar el uso de los floculantes Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832 para la sedimentación de sólidos totales en suspensión y la reducción de la turbidez en las aguas residuales de relaves mineros de la Cooperativa Minera Señor de Ananea.</p> <p><b>Objetivos Específicos</b></p> <p>1) Caracterizar la concentración inicial de la turbidez y sólidos totales en suspensión de las aguas residuales de los relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea.</p> <p>2) Determinar la dosis óptima de los floculantes Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832 para la remoción de la turbidez y sólidos totales en suspensión de las aguas residuales de relaves mineros de la</p> | <p>La eficacia del uso de los floculantes Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832 para la sedimentación de sólidos totales en suspensión y la reducción de la turbidez en las aguas residuales de relaves mineros de la Cooperativa Minera Señor de Ananea es óptima.</p> <p><b>Hipótesis Específica</b></p> <p>1) La concentración inicial de la turbidez y sólidos totales en suspensión de las aguas residuales de los relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea, son elevados.</p> <p>2) La dosis óptima de los floculantes Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832 permitirá remover la turbidez y sólidos totales en suspensión de las aguas residuales de relaves mineros de la Cooperativa Señor de Ananea.</p> | <p><b>Variable Independiente</b></p> <p>Floculante: Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832.</p> <p><b>Variable Dependiente</b></p> <p>Tratamiento y sedimentación de la turbidez y sólidos totales en suspensión.</p> | <p><b>Tipo de investigación.</b> La investigación es experimental, ya que se busca manipular la variable (los floculantes) para observar sus efectos en una variable dependiente (la turbidez y los sólidos suspendidos en las aguas residuales de relaves mineros).</p> <p><b>Enfoque de la investigación</b><br/>El enfoque de la investigación es cuantitativo, ya que se medirá la turbidez y los sólidos suspendidos mediante herramientas objetivas y estandarizadas de medición (como la nefelometría para turbidez y el método gravimétrico para sólidos suspendidos).</p> <p><b>Diseño de la investigación</b><br/>El diseño de la investigación es experimental multifactorial categórico, que consta de dos factores experimentales.</p> |



|                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                          |  |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|
| Cooperativa Señor de Ananea?<br>3) ¿Cuál es el porcentaje de remoción de la turbidez y sólidos totales en suspensión de las aguas residuales de relaves mineros tratadas con los floculantes Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832 en la Cooperativa Señor de Ananea? | Cooperativa Señor de Ananea.<br>3) Determinar el porcentaje de remoción de la turbidez y sólidos totales en suspensión de las aguas residuales de relaves mineros tratadas con los floculantes Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832 en la Cooperativa Señor de Ananea | 3) El porcentaje de remoción de la turbidez y sólidos totales en suspensión de las aguas residuales de relaves mineros tratadas con los floculantes Súperfloc A-110 y Súperfloc RH 4832 en la Cooperativa Señor de Ananea, será significativamente alto. |  |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|

## ANEXO 2.



## LAQUAMEQ E.I.R.L.

LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO AMBIENTAL

**INFORME DE RESULTADOS N°: LQ – 10225A****DATOS DEL SERVICIO****SOLICITANTE** : DARWIN RONALD CRUZ SUCARI**PROYECTO** : TRATAMIENTO DE LA TURBIDEZ MEDIANTE FLOCULANTES INORGÁNICOS EN AGUAS RESIDUALES DE RELAVEZ MINEROS DE LA COOPERATIVA MINERA SEÑOR DE ANANEA 2025**DATOS DEL ENSAYO**

**Producto** : Relaves  
**Numero de muestras** : 05  
**Fecha de análisis** : 14/10/2025  
**Muestreado por** : El cliente

**Código, ubicación, fecha de muestreo:**

| Código | C.P./Dist. /Prov./ Depart.                | Ubicación |            | Fecha de muestreo |
|--------|-------------------------------------------|-----------|------------|-------------------|
|        |                                           | Este      | Norte      |                   |
| R1     | Ananea/ Ananea/San Antonio de Putina/Puno | 444597.00 | 8377447.00 | 13/10/2025        |
| R2     | Ananea/ Ananea/San Antonio de Putina/Puno | 444597.00 | 8377447.00 | 13/10/2025        |
| R3     | Ananea/ Ananea/San Antonio de Putina/Puno | 444597.00 | 8377447.00 | 13/10/2025        |
| R4     | Ananea/ Ananea/San Antonio de Putina/Puno | 444597.00 | 8377447.00 | 13/10/2025        |
| R5     | Ananea/ Ananea/San Antonio de Putina/Puno | 444597.00 | 8377447.00 | 13/10/2025        |

**MÉTODO DE ENSAYO**

| N° | PARÁMETRO                     | UNIDAD | MÉTODO                                    |
|----|-------------------------------|--------|-------------------------------------------|
| 1  | Turbidez                      | NTU    | Método Nefelométrico                      |
| 2  | Sólidos totales en suspensión | mg/L   | SM 2540 C Sólidos totales secados a 105°C |



Jr. Deústua N° 522 Barrio 28 de Julio. Puno – San Román – Juliaca  
www.laquameq.com – Cel. 920869679 - 979265920



## LAQUAMEQ E.I.R.L. LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO AMBIENTAL

### RESULTADOS

| Nº | PARÁMETRO                     | UNIDAD | R1     | R2     | R3     | R4     | R5     |
|----|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1  | Turbidez                      | NTU    | 9890   | 10100  | 9800   | 9870   | 9900   |
| 2  | Sólidos totales en suspensión | mg/L   | 117462 | 119000 | 116000 | 117200 | 118500 |

### OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.

Fecha de emisión  
21 – 10 – 2025

  
**LAQUAMEQ E.I.R.L.**  
LABORATORIO Y EQUIPOS  
Ing. Karín Kelly Quispe Quispe  
CIP. 194084  
GERENTE

Jr. Deústua N° 522 Barrio 28 de Julio. Puno – San Román – Juliaca  
www.laquameq.com – Cel. 920869679 - 979265920



## LAQUAMEQ E.I.R.L.

LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO AMBIENTAL

### INFORME DE RESULTADOS N°: LQ – 10225B

#### DATOS DEL SERVICIO

**SOLICITANTE** : DARWIN RONALD CRUZ SUCARI

**PROYECTO** : TRATAMIENTO DE LA TURBIDEZ MEDIANTE FLOCULANTES INORGÁNICOS EN AGUAS RESIDUALES DE RELAVEZ MINEROS DE LA COOPERATIVA MINERA SEÑOR DE ANANEA 2025

#### DATOS DEL ENSAYO

**Producto** : Relaves  
**Numero de muestras** : 07  
**Fecha de análisis** : 27/10/2025  
**Muestreado por** : El cliente

**Código, ubicación, fecha de muestreo:**

| Código | C.P./Dist. /Prov./ Depart.                | Ubicación |            | Fecha de muestreo |
|--------|-------------------------------------------|-----------|------------|-------------------|
|        |                                           | Este      | Norte      |                   |
| T – 1  | Ananea/ Ananea/San Antonio de Putina/Puno | 444597.00 | 8377447.00 | 27/10/2025        |

#### MÉTODO DE ENSAYO

| N° | PARÁMETRO                     | UNIDAD      | MÉTODO                                    |
|----|-------------------------------|-------------|-------------------------------------------|
| 1  | Turbidez                      | NTU         | Método Nefelométrico                      |
| 2  | Sólidos totales en suspensión | mg/L        | SM 2540 C Sólidos totales secados a 105°C |
| 3  | Potencial de hidrogeno        | Unid. de pH | SM 4500 - H                               |



Jr. Deústua N° 522 Barrio 28 de Julio. Puno – San Román – Juliaca  
www.laquameq.com – Cel. 920869679 - 979265920



## RESULTADOS

### LAQUAMEQ E.I.R.L. LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO AMBIENTAL

| Código<br>A-110 | Turbidez<br>(NTU) | pH   | Sólidos totales en<br>suspensión (mg/L) |
|-----------------|-------------------|------|-----------------------------------------|
| T - 1           | 3042              | 6.96 | 38101.3                                 |
| T - 2           | 2761              | 6.96 | 34772.1                                 |
| T - 3           | 2569              | 6.96 | 32490.3                                 |
| T - 4           | 2504              | 6.96 | 32186.7                                 |
| T - 5           | 2492              | 6.96 | 31713.8                                 |
| T - 6           | 2394              | 6.96 | 31264.1                                 |
| T - 7           | 2410              | 6.96 | 31832.3                                 |

## OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió

Fecha de emisión  
31 - 10 - 2025

LAQUAMEQ E.I.R.L.  
LABORATORIO Y EQUIPOS  
Ing. Karen Kelly Quispe Quispe  
CIP. 194084  
GERENTE

Jr. Deústua N° 522 Barrio 28 de Julio. Puno – San Román – Juliaca  
www.laquameq.com – Cel. 920869679 - 979265920

**LAQUAMEQ E.I.R.L.**  
LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO AMBIENTAL**INFORME DE RESULTADOS N°: LQ – 10225C****DATOS DEL SERVICIO****SOLICITANTE** : DARWIN RONALD CRUZ SUCARI**PROYECTO** : TRATAMIENTO DE LA TURBIDEZ MEDIANTE FLOCULANTES INORGÁNICOS EN AGUAS RESIDUALES DE RELAVEZ MINEROS DE LA COOPERATIVA MINERA SEÑOR DE ANANEA 2025**DATOS DEL ENSAYO****Producto** : Relaves  
**Numero de muestras** : 07  
**Fecha de análisis** : 27/10/2025  
**Muestreado por** : El cliente**Código, ubicación, fecha de muestreo:**

| Código | C.P./Dist. /Prov./ Depart.                | Ubicación |            | Fecha de muestreo |
|--------|-------------------------------------------|-----------|------------|-------------------|
|        |                                           | Este      | Norte      |                   |
| T – I  | Ananea/ Ananea/San Antonio de Putina/Puno | 444597.00 | 8377447.00 | 27/10/2025        |

**MÉTODO DE ENSAYO**

| N° | PARÁMETRO                     | UNIDAD      | MÉTODO                                    |
|----|-------------------------------|-------------|-------------------------------------------|
| 1  | Turbidez                      | NTU         | Método Nefelométrico                      |
| 2  | Sólidos totales en suspensión | mg/L        | SM 2540 C Sólidos totales secados a 105°C |
| 3  | Potencial de hidrogeno        | Unid. de pH | SM 4500 - H                               |





## RESULTADOS

### LAQUAMEQ E.I.R.L. LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO AMBIENTAL

| Código<br>RH 4832 | Turbidez<br>(NTU) | pH   | Sólidos totales en<br>suspensión (mg/L) |
|-------------------|-------------------|------|-----------------------------------------|
| T - 1             | 2650              | 6.96 | 32454.7                                 |
| T - 2             | 1150              | 6.96 | 18927.9                                 |
| T - 3             | 863               | 6.96 | 15645.3                                 |
| T - 4             | 774               | 6.96 | 13583.4                                 |
| T - 5             | 493               | 6.96 | 9951.9                                  |
| T - 6             | 163               | 6.96 | 9329.7                                  |
| T - 7             | 197               | 6.96 | 9631.8                                  |

## OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió

Fecha de emisión  
31 - 10 - 2025

  
**LAQUAMEQ E.I.R.L.**  
LABORATORIO EQUIPOS  
*Ing. Karen Kelly Quispe Quispe*  
CIP. 194084  
GERENTE

## ANEXO 3.

### Panel fotográfico



**Fotografía 1.** Circuito de pozas de la cooperativa minera Señor de Ananea.



**Fotografía 2.** Observación en campo de las operaciones de mina de la Cooperativa Señor de Ananea.



**Fotografía 3.** Visita para la coordinación de toma de muestras de las operaciones de mina de la Cooperativa Señor de Ananea.



**Fotografía 4.** Muestras de agua con lodo (pulpa) para el análisis de SST y turbiedad de la cooperativa minera Señor de Ananea.



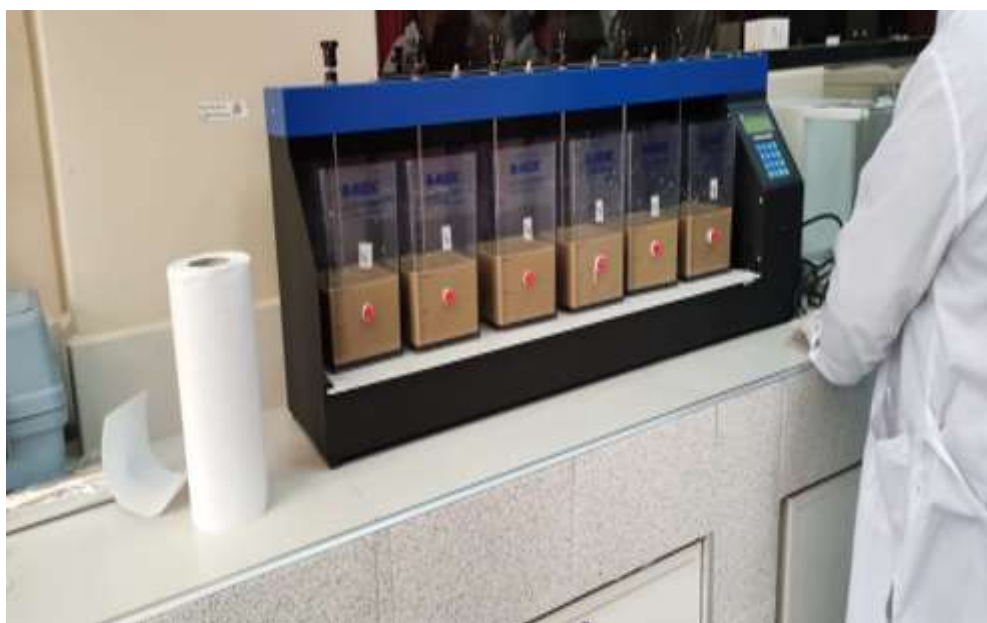
**Fotografía 5.** Área de dosificación del floculante de la cooperativa minera Señor de Ananea.



**Fotografía 6.** Homogenización de las muestras de agua con lodo (lodo) de la cooperativa minera Señor de Ananea.



**Fotografía 7.** Pruebas de optimización de dosificación de floculante.



**Fotografía 8.** Operación de equipo de pruebas de jarras.

## VALIDACION DE INSTRUMENTO

### TRATAMIENTO DE LA TURBIDEZ MEDIANTE FLOCULANTES INORGÁNICOS EN AGUAS RESIDUALES DE RELAVES MINEROS DE LA COOPERATIVA MINERA SEÑOR DE ANANEA 2025

#### OPINIÓN DE EXPERTO

#### I. DATOS DEL EXPERTO

|                             |                           |
|-----------------------------|---------------------------|
| NOMBRE DEL VALIDADOR:       |                           |
| ESPECIALIDAD DEL VALIDADOR: |                           |
| AUTOR DEL INSTRUMENTO:      | DARWIN RONALD CRUZ SUCARI |

#### II. PUNTOS DE VALIDACION

| DIMENSIONES        | INDICADORES                                         | DEFICIENTE | REGULAR  | BUENA    | MUY BUENA | EXCELENTE |
|--------------------|-----------------------------------------------------|------------|----------|----------|-----------|-----------|
|                    |                                                     | 0 – 20%    | 21 – 40% | 41 – 60% | 61 – 80%  | 81–100%   |
| 1. CLARIDAD        | Esta formulado con lenguaje apropiado               |            |          |          |           | 98%       |
| 2. OBJETIVIDAD     | Esta expresado en base a la realidad local          |            |          |          |           | 95%       |
| 3. ACTUALIDAD      | Adecuado al avance de la ciencia                    |            |          |          |           | 94%       |
| 4. ORGANIZACIÓN    | Existe una organización lógica                      |            |          |          |           | 98%       |
| 5. SUFICIENCIA     | Comprende los aspectos en calidad y calidad         |            |          |          |           | 97%       |
| 6. INTENCIONALIDAD | Adecuado para la mejora de las unidades de estudio  |            |          |          |           | 95%       |
| 7. CONSISTENCIA    | Basado en aspectos teóricos - científicos           |            |          |          |           | 96%       |
| 8. COHERENCIA      | Entre los índices indicadores y las dimensiones     |            |          |          |           | 96%       |
| 9. METODOLOGIA     | La estrategia responde al propósito del diagnostico |            |          |          |           | 94%       |

#### III. OPINION DE APLICATIBILIDAD:

- El instrumento cumple puntualmente con los requisitos para su aplicación..... ✖
- El instrumento no cumple puntual mente con los requisitos para su aplicación..... ○

#### IV. PROMEDIO DE VALORACION:

95.88%

### VALIDACION DE INSTRUMENTO

TRATAMIENTO DE LA TURBIDEZ MEDIANTE FLOCULANTES INORGÁNICOS EN AGUAS RESIDUALES DE  
RELAVES MINEROS DE LA COOPERATIVA MINERA SEÑOR DE ANANEA 2025

#### OPINIÓN DE EXPERTO

##### I. DATOS DEL EXPERTO

|                             |                           |
|-----------------------------|---------------------------|
| NOMBRE DEL VALIDADOR:       |                           |
| ESPECIALIDAD DEL VALIDADOR: |                           |
| AUTOR DEL INSTRUMENTO:      | DARWIN RONALD CRUZ SUCARI |

##### II. PUNTOS DE VALIDACION

| DIMENSIONES        | INDICADORES                                         | DEFICIENTE | REGULAR  | BUENA    | MUY BUENA | EXCELENTE |
|--------------------|-----------------------------------------------------|------------|----------|----------|-----------|-----------|
|                    |                                                     | 0 – 20%    | 21 – 40% | 41 – 60% | 61 – 80%  | 81–100%   |
| 1. CLARIDAD        | Esta formulado con lenguaje apropiado               |            |          |          |           | 98%       |
| 2. OBJETIVIDAD     | Esta expresado en base a la realidad local          |            |          |          |           | 95%       |
| 3. ACTUALIDAD      | Adecuado al avance de la ciencia                    |            |          |          |           | 94%       |
| 4. ORGANIZACIÓN    | Existe una organización lógica                      |            |          |          |           | 98%       |
| 5. SUFICIENCIA     | Comprende los aspectos en calidad y calidad         |            |          |          |           | 97%       |
| 6. INTENCIONALIDAD | Adecuado para la mejora de las unidades de estudio  |            |          |          |           | 95%       |
| 7. CONSISTENCIA    | Basado en aspectos teóricos - científicos           |            |          |          |           | 96%       |
| 8. COHERENCIA      | Entre los índices indicadores y las dimensiones     |            |          |          |           | 96%       |
| 9. METODOLOGIA     | La estrategia responde al propósito del diagnostico |            |          |          |           | 94%       |

##### III. OPINION DE APLICATIBILIDAD:

- El instrumento cumple puntualmente con los requisitos para su aplicación..... ☒
- El instrumento no cumple puntual mente con los requisitos para su aplicación..... ○

##### IV. PROMEDIO DE VALORACION:

95.88%

## VALIDACION DE INSTRUMENTO

TRATAMIENTO DE LA TURBIDEZ MEDIANTE FLOCULANTES INORGÁNICOS EN AGUAS RESIDUALES DE  
RELAVES MINEROS DE LA COOPERATIVA MINERA SEÑOR DE ANANEA 2025

## OPINIÓN DE EXPERTO

## I. DATOS DEL EXPERTO

|                             |                              |
|-----------------------------|------------------------------|
| NOMBRE DEL VALIDADOR:       | Ruth Carmen Gutierrez Condon |
| ESPECIALIDAD DEL VALIDADOR: | Ing. Sanitario y Ambiental   |
| AUTOR DEL INSTRUMENTO:      | DARWIN RONALD CRUZ SUCARI    |

## II. PUNTOS DE VALIDACION

| DIMENSIONES         | INDICADORES                                         | DEFICIENTE | REGULAR  | BUENA    | MUY BUENA | EXCELENTE |
|---------------------|-----------------------------------------------------|------------|----------|----------|-----------|-----------|
|                     |                                                     | 0 – 20%    | 21 – 40% | 41 – 60% | 61 – 80%  | 81 – 100% |
| 10. CLARIDAD        | Esta formulado con lenguaje apropiado               |            |          |          |           | 97 %      |
| 11. OBJETIVIDAD     | Esta expresado en base a la realidad local          |            |          |          |           | 97 %      |
| 12. ACTUALIDAD      | Adecuado al avance de la ciencia                    |            |          |          |           | 99 %      |
| 13. ORGANIZACIÓN    | Existe una organización lógica                      |            |          |          |           | 98 %      |
| 14. SUFICIENCIA     | Comprende los aspectos en calidad y calidad         |            |          |          |           | 95 %      |
| 15. INTENCIONALIDAD | Adecuado para la mejora de las unidades de estudio  |            |          |          |           | 96 %      |
| 16. CONSISTENCIA    | Basado en aspectos teóricos - científicos           |            |          |          |           | 99 %      |
| 17. COHERENCIA      | Entre los índices indicadores y las dimensiones     |            |          |          |           | 95 %      |
| 18. METODOLOGIA     | La estrategia responde al propósito del diagnostico |            |          |          |           | 95 %      |

## III. OPINION DE APPLICABILIDAD:

- El instrumento cumple puntualmente con los requisitos para su aplicación..... ☒
- El instrumento no cumple puntual mente con los requisitos para su aplicación..... ☐

## IV. PROMEDIO DE VALORACION:

96.77%

  
Ruth Carmen Gutierrez Condon  
INGENIERA EN SANITARIO Y AMBIENTAL  
CIP. 281710



### ANEXO 1 FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

### AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital ☒

Fecha de entrega: 18 - 12 - 2025

#### 1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: DARWIN RONALD CRUZ SUCARI

Dirección: COMUNIDAD CHAUPÍ COMPUYO

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 73460907

Teléfono: 992586755 email: cruzsucari@gmail.com

Nombres y Apellidos: \_\_\_\_\_

Dirección: \_\_\_\_\_

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: \_\_\_\_\_

Teléfono: \_\_\_\_\_ email: \_\_\_\_\_

Facultad y/o Escuela de Posgrado: FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Escuela Profesional o Mención: ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

Título o Grado Académico a optar: INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL

Asesor: Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación ☐ Tesis ☒ Trabajo de Suficiencia Profesional ☐ Trabajo Académico ☐

Título: TRATAMIENTO DE LA TURBIDEZ MEDIANTE FLOCULANTES INORGÁNICOS EN AGUAS

RESIDUALES DE RELAVES MINEROS DE LA COOPERATIVA MINERA SEÑOR DE

ANANEA 2025

Palabras claves, (3 a 5 términos): RELAVES MINEROS, FLOCULANTES, SEDIMENTACIÓN, TURBIDEZ, SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV <sup>1, 2</sup>?

1

<sup>1</sup> Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entre otros relacionados.

<sup>2</sup> Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



### 2. Referencia de tesis:

☐ Bachiller ☒ Título ☐ 2da Especialidad ☐ Maestría ☐ Doctorado

### 3. Licencias:

#### a) Licencia estándar:

**Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.**

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

**Autorizo su publicación (marque con una X)**

- ☒ Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- ☐ Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): \_\_\_\_\_
- ☐ No autorizo.

#### b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

**¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?**

**Sí:** significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

**No:** significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

☐ Sí autorizo

☒ No autorizo

**Jurisdicción de su Licencia**

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción "internacional" o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción "internacional" emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción "internacional" goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral.** Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

☐ Internacional☒ Nacional

Línea de investigación: SANEAMIENTO AMBIENTAL - P22

Firma de Autor



huella digital

18 - 12 - 2025

Fecha