



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

## **“TRATAMIENTO DE AGUAS ÁCIDAS MEDIANTE EL MÉTODO DE FLOCULACIÓN Y COAGULACIÓN APLICADO EN LA MINERÍA RETAMAS – 2025”**

**Tesis para optar el título profesional de:**

**Ingeniera de Minas**

**Autor:**

Cinthia Claudia Mariela Ayquipa Rujel

**Asesor:**

Dra. Elizabeth Catheline Mejia Narro

<https://orcid.org/0000-0003-3282-7582>

**Trujillo - Perú**

2025

**JURADO EVALUADOR**

Jurado 1	<b>ALFREDO MARTIN BERROSPI YTAHASHI</b>	
Presidente(a)	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	<b>JAIRO PINEDO TAQUIA</b>	
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	<b>Elizabeth Catheline Mejia Narro</b>	<b>70613342</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

## Informe de Similitud



Página 2 of 71 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::1:3277393207




### 11% Similitud general

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

#### Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Trabajos entregados

#### Fuentes principales

- 8%  Fuentes de Internet
- 5%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)



Página 2 of 71 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::1:3277393207

### **Dedicatoria**

**A mis padres:** por ser el pilar firme en cada paso de mi camino. Gracias por su amor incondicional y por enseñarme el valor del esfuerzo. Su apoyo constante ha sido mi mayor apoyo en los momentos más duros, y cada una de mis metas alcanzadas, lleva impreso su sacrificio y dedicación. Este logro también es suyo, con todo mi amor y gratitud.

### **Agradecimiento**

Agradezco profundamente a mis papás, quienes son el soporte más firme en cada etapa de mi vida, por su amor incondicional, su guía constante y por enseñarme, con su ejemplo, el valor del esfuerzo, la humildad y la perseverancia. Cada paso que he dado en este camino ha estado sostenido por su apoyo silencioso pero firme, por su constante respaldo en tiempos complicados y la seguridad con la que siempre creyeron en mí.

A mi sobrina Gia, mi pequeña gran inspiración, gracias por traer tanta luz a mi vida con tu ternura. Tu presencia ha sido un recordatorio constante de la belleza de la vida y de la importancia de seguir soñando. A toda mi familia, gracias por su cariño, por estar presentes a su manera, por sus palabras de ánimo y por brindarme siempre un lugar al que pertenecer. En cada uno de ustedes encontré razones para seguir adelante.

A mis amigos, gracias por su compañía sincera, por las conversaciones interminables, las risas que aliviaron el cansancio y por recordarme siempre que no estoy solo. Ustedes han sido un refugio emocional, una fuente constante de motivación y alegría, y parte esencial de este proceso.

Deseo manifestar mi sincera gratitud a la Dra. Elizabeth Catheline Mejia Narro por su invaluable orientación, apoyo y compromiso durante el desarrollo de esta tesis. Su experiencia, paciencia y constante disposición para compartir sus conocimientos fueron fundamentales para la culminación de este trabajo. A lo largo de este proceso, su guía no solo contribuyó a mi formación académica, sino que también me inspiró a seguir creciendo profesional y personalmente. Gracias por confiar en mí y por acompañarme en cada etapa de este proyecto.

## Índice de Contenido

Índice de Contenido .....	6
Índice de tablas .....	7
Índice de Figuras.....	8
Resumen .....	9
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>10</b>
1.1.    Realidad problemática .....	10
1.2.    Formulación del problema.....	17
1.3.    Objetivos.....	17
1.4.    Hipótesis .....	17
<b>CAPÍTULO II: METODOLOGÍA .....</b>	<b>19</b>
<b>CAPÍTULO III: RESULTADOS .....</b>	<b>25</b>
<b>CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>41</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>49</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>52</b>

### Índice de tablas

Tabla 1. Porcentaje de los metales en las muestras halladas .....	29
Tabla 2. Metales pesados con mayor concentrado en el agua residual .....	32

## Índice de Figuras

Figura 1. Proceso de coagulación y floculación .....	19
Figura 2. Promedio de la cantidad de mineral hallada en el agua ácida.....	26
Figura 3. Análisis químico del ph.....	30
Figura 4. Evaluación de la concentración antes y después del tratamiento con PAC ....	34
Figura 5. Implementación del tratamiento con Pac con un tiempo de 20min. ....	35
Figura 6. Porcentajes de minerales que producen acidez en la muestra de agua ácida..	37
Figura 7. Mejoría y disminución del Ph a través del tiempo con el método de jarras....	39

### Resumen

Esta investigación fue desarrollada con la finalidad de determinar un tratamiento adecuado para aguas ácidas, mediante la aplicación del método de floculación y coagulación en la actividad minera desarrollada en la región de La Libertad durante el año 2025. Este estudio se llevó a cabo conforme a los lineamientos establecidos por el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, en la unidad minera artesanal conocida como “Potacas”, ubicada en el distrito de Parcoy, provincia de Pataz, departamento de La Libertad. La finalidad principal fue reducir el impacto ambiental generado por las aguas contaminadas con alta acidez y metales pesados, producto del proceso de lixiviación en minería artesanal. La investigación se enmarca en un enfoque cuantitativo, con un diseño experimental, en el que se analizaron ocho muestras de agua extraídas directamente de las balsas de lixiviación. A través del tratamiento con floculación y coagulación, se logró una significativa reducción del nivel de acidez, pasando de un pH de 2 a un pH de 6, cumpliendo con los parámetros ambientales establecidos por la normativa vigente. Asimismo, se registró una disminución de hasta un 47% en la concentración de metales pesados, lo que demuestra la efectividad del tratamiento y su potencial para ser replicado en otras zonas mineras similares.

**Palabras Claves:** Tratamiento de aguas ácidas, floculación y coagulación, metales pesados, D. S. N.º 004-2017-MINAM

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

La minería sigue representando un motor clave para el desarrollo económico en diversas naciones, en especial aquellas con abundantes recursos naturales. No obstante, este sector también representa uno de los mayores generadores de impactos ambientales negativos, entre los cuales destaca la producción de aguas residuales altamente contaminadas. Según la investigación realizada de manera grupal por Wang et Al, (2021) mencionan que las aguas, comúnmente denominadas drenaje ácido de mina (DAM) o aguas residuales mineras, presentan una alta concentración de metales pesados, sólidos suspendidos y compuestos tóxicos como arsénico, cianuros y sulfatos, dichos elementos pueden generar impactos negativos significativos en los ecosistemas hídricos y en la salud de la población.

El estudio realizado por Talavera et Al, (2024) explica que la gestión deficiente de estos efluentes ha contribuido al surgimiento de conflictos socioambientales, especialmente en comunidades cercanas a zonas de extracción, debido a la contaminación del agua y al acceso desigual a recursos hídricos. Dichos efectos ponen en manifiesto la importancia de fortalecer los procesos de depuración y las normativas ambientales en el ámbito minero.

Según Bardales et Al, (2022) , en el Perú, país con una larga tradición minera, se han identificado múltiples pasivos ambientales relacionados con el manejo inadecuado de aguas residuales mineras, afectando principalmente a comunidades rurales que dependen del agua para consumo, agricultura y ganadería. Estudios recientes han documentado que estos pasivos son una fuente significativa de contaminación hídrica, con consecuencias directas en la salud pública y la biodiversidad local. Para abordar esta

problemática, el Estado peruano promulgó el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, que precisa los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los desechos líquidos generados por las actividades minero-metalúrgicas. Esta normativa busca garantizar que el vertimiento de aguas residuales cumpla con estándares que minimicen el impacto ambiental y protejan los cuerpos de agua receptores.

Según Choque (2023) se supo que a pesar de los avances en la regulación ambiental en el sector minero peruano, persisten importantes desafíos en la implementación y fiscalización de las normativas, especialmente en contextos de minería informal y de pequeña escala, donde los mecanismos de control ambiental suelen ser limitados y poco efectivos. Los métodos tradicionales empleados en el manejo de aguas residuales provenientes de la actividad minera, tales como la precipitación química y la neutralización, presentan limitaciones en términos de eficiencia, costos y sostenibilidad ambiental, lo que ha impulsado la investigación y desarrollo de alternativas tecnológicas más innovadoras, económicas y recomendables para no generar un impacto negativo en el medio ambiente.

Para la ejecución de esta investigación, se ha considerado como la contaminación de cuerpos de agua por aguas residuales generadas por actividades mineras ha sido objeto de estudio por su gran impacto ambiental, social y económico a nivel mundial. Por eso se tuvo en cuenta antecedentes internacionales que brindaron el soporte:

En el caso de Chile, Torres et al. (2023) reportaron una disminución notable en los niveles de metales como el hierro y el aluminio al aplicar técnicas de coagulación y floculación en el tratamiento del drenaje ácido de mina. Su estudio tuvo como propósito evaluar la efectividad de dichos métodos en la eliminación de metales pesados y en la mejora de la calidad del agua tratada.

En Noruega, Roca (2020) desarrolló una tesis en la Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología (NTNU), en la cual se analizó la eficiencia de los métodos de floculación, sedimentación y flotación aplicados al tratamiento del drenaje ácido de mina (DAM) en la zona de Killingdal, próxima al fiordo de Trondheim. El estudio tuvo como finalidad optimizar la remoción de sólidos suspendidos y minimizar tanto la cantidad como la carga contaminante del lodo producido. Los hallazgos demostraron que la aplicación de estas técnicas permitió alcanzar los estándares exigidos por la Agencia Noruega de Medio Ambiente para la descarga de aguas tratadas, elevando considerablemente la calidad del efluente.

En China, según Gong et Al, (2024) se mostró que la combinación de peroximonosulfato (PMS) con cal y poliacrilamida (PAM) reduce significativamente la turbidez del agua de 124,796 NTU a 71.4 NTU, y mejora la calidad del efluente, cumpliendo con los estándares de descarga establecidos. Se estudió la eficacia de un proceso combinado de oxidación química y coagulación-floculación para el tratamiento de las aguas ácidas generadas en la flotación plomo y zinc en la mina de Lanping. El objetivo fue eliminar partículas sólidas finas y reactivos de flotación presentes en el efluente.

En Sudáfrica, la investigación realizada por Momboyo (2021) evidenció que, empleando un tiempo de contacto de 28 minutos y un exceso de sulfato del 100%, fue posible alcanzar una recuperación de aluminio superior al 90%, disminuyendo la turbidez del agua de 6 NTU a 0 NTU y el color de 25.9 TCU a solo 0.8 TCU. Este enfoque de recuperación de coagulante no solo contribuye a mejorar la calidad del agua tratada, sino que también representa una alternativa ambientalmente sostenible para la gestión de desechos mineros. El estudio se enfocó en la elaboración de un coagulante a partir de

residuos del tratamiento de aguas, utilizando drenaje ácido de mina (DAM) como agente extractor, con el fin de analizar la factibilidad de recuperar aluminio (Al) y hierro (Fe) para generar un coagulante eficiente en el tratamiento de aguas residuales.

En Brasil, mediante Riveiro et Al, (2023) se evaluó el uso de coagulantes naturales derivados de fuentes vegetales para el tratamiento de aguas industriales, incluyendo las generadas en la minería. El objetivo fue comparar el desempeño de estos coagulantes naturales con los coagulantes químicos tradicionales en términos de eficiencia en la remoción de contaminantes y costos operativos. Los resultados indicaron que los coagulantes naturales, como los derivados de semillas de Moringa oleifera, mostraron una eficiencia comparable a los coagulantes químicos en la eliminación de turbidez y metales pesados, además de ser más sostenibles y económicos. La investigación pone en evidencia la viabilidad del uso de coagulantes de origen natural como opción eficaz para el tratamiento de efluentes industriales en Brasil.

Esto nos lleva a analizar también la influencia directa en nuestro país, debido a que no afecta solo a minerías artesanales e ilegales, sino también a diversas minas legales que se encuentran en diversos puntos del Perú, es por ello que se consideran los siguientes antecedentes nacionales:

En el contexto peruano, Aquino et al. (2021) llevaron a cabo una investigación centrada en analizar la capacidad de eliminación de plomo (II) presente en aguas residuales generadas por la Mina Carahuacra, situada en la provincia de Yauli – La Oroya. Para ello, se utilizó almidón extraído de la cáscara de papa (*Solanum tuberosum*) como un coagulante de origen natural. El propósito principal fue evaluar la efectividad de dicho compuesto en combinación con los procesos de coagulación, floculación y sedimentación. Según los resultados obtenidos, aplicando 500 ppm del coagulante y un

tiempo de coagulación de 3 minutos, se logró una reducción del 26.8% del plomo (II) presente en el agua tratada. Esta investigación resalta el valor de aprovechar materiales locales y naturales como una opción viable, sostenible y de bajo costo para el tratamiento de aguas residuales provenientes de la minería.

En Arequipa, Perú, mediante Chirre et Al, (2024) se evaluó la eficiencia de la coagulación-floculación en el tratamiento de aguas residuales mineras. El objetivo fue analizar la remoción de sólidos suspendidos y metales pesados utilizando como coagulante sulfato de aluminio y un polímero catiónico que serviría como floculante. Los resultados indicaron que el proceso alcanzó una remoción del 85% en sólidos suspendidos y una reducción significativa en la concentración de metales pesados, cumpliendo con los estándares ambientales establecidos. Este estudio destaca la aplicabilidad de los métodos convencionales de tratamiento en contextos mineros, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental en la región.

En la región de Tacna, Perú, Apaza et al. (2024) verificaron la eficacia del uso de semillas de Moringa oleifera y sulfato de aluminio como agentes coagulantes en el proceso de mejora de la calidad del agua del río Caplina. El objetivo fue comparar la eficacia de ambos coagulantes en la eliminación de turbidez en aguas residuales. Los resultados indicaron que ambos coagulantes lograron una remoción significativa de turbidez, con la Moringa oleífera alcanzando una eficiencia de hasta el 92.04%. La investigación evidencia que la Moringa oleifera puede ser una opción rentable y ecológica para el tratamiento de efluentes mineros en el contexto peruano.

La investigación se basa en uno de ríos que se encuentra cerca de la unidad artesanal minera llamada “Potacas”, ubicada en Retamas – Parcoy – La Libertad. Es por

eso que, para una mejor interpretación de los datos a presentar, debemos mencionar antecedentes locales:

En la región de La Libertad, Perú, Alanya (2024) llevó a cabo una investigación en la que se empleó sulfato de aluminio como coagulante y un polímero catiónico como agente floculante. Mediante ensayos de jarras orientados a determinar la dosis óptima de los reactivos, se logró una eficiencia en la remoción de turbidez de hasta el 94.4%, con resultados finales inferiores a 2 NTU, cumpliendo con los parámetros exigidos por la legislación ambiental del país. El estudio se centró en disminuir la turbidez de las aguas generadas por el drenaje minero de la compañía aurífera Retamas, con el propósito de evaluar la efectividad de los procesos de coagulación y floculación en la mejora de la calidad del efluente antes de su descarga al medio natural. Esta investigación resalta la utilidad de tecnologías convencionales de tratamiento aplicadas al contexto minero, promoviendo prácticas sostenibles en la zona

La investigación de Meza et Al, (2024) aplicó los procesos de coagulación y floculación para tratar efluentes lácteos en Moche, La Libertad. Se probaron tres dosis de floculante y coagulante, logrando con la dosis óptima una eliminación del 100% de sólidos suspendidos y 96.26% de fósforo total, cumpliendo normas ambientales internacionales. Aunque el estudio se enfocó en la industria láctea, los resultados son relevantes para el tratamiento de aguas residuales mineras. Esto indica que estas técnicas pueden ser efectivas para erradicar o disminuir los impactos ambientales de la minería ilegal en La Libertad.

Chávez et al. (2020) realizaron un estudio en Cajamarca enfocado en el tratamiento de aguas residuales mineras, utilizando sulfato de aluminio y policloruro de aluminio como floculantes. Los resultados mostraron que ambos compuestos lograron

eliminar más del 79% de metales pesados presentes, incluyendo cobre, hierro, manganeso y plomo. La combinación de estos floculantes redujo la turbidez a 10 NTU y mantuvo el pH dentro de los límites permitidos. Aunque el estudio no fue en La Libertad, sus resultados son aplicables para tratar aguas mineras en esa región. Esto contribuiría a mejorar la calidad del agua y cumplir con las normativas ambientales.

Para un mejor análisis y comprensión del tema de investigación, también se deben conocer conceptos básicos, que se presentarán a continuación:

Chia et al. (2020) sostienen que los métodos de coagulación y floculación desempeñan un rol clave en la depuración del agua, ya que permiten la remoción de sólidos suspendidos y diversos contaminantes. La coagulación implica una transformación química en la que se aplican sustancias como sales férricas o de aluminio, cuya función es neutralizar las cargas de las partículas, favoreciendo su agrupación. A continuación, en la etapa de floculación, se aplica una agitación controlada que estimula la formación de agregados de mayor tamaño, los cuales pueden ser retirados mediante sedimentación o filtración. Ambos procedimientos resultan esenciales para alcanzar estándares de calidad del agua exigidos por la legislación ambiental.

Mediante Singh et Al, (2020) se sabe que el tratamiento de aguas ácidas, como el drenaje ácido de minas, comprende métodos que neutralizan la acidez y eliminan contaminantes tóxicos, principalmente metales pesados. Las tecnologías incluyen procesos químicos como la neutralización con hidróxidos o carbonatos, tratamientos biológicos mediante microorganismos que degradan compuestos contaminantes y sistemas pasivos como humedales construidos. Estas acciones tienen como finalidad recuperar las condiciones del recurso hídrico y minimizar los efectos negativos vinculados a la actividad minera.

## 1.2. Formulación del problema

¿De qué manera el tratamiento de floculación y coagulación neutraliza las aguas acidas de las operaciones mineras en Retamas – La Libertad 2025?

## 1.3. Objetivos

OBJETIVO GENERAL: Determinar un tratamiento de aguas acidas mediante un método de Floculación y Coagulación aplicado en la Minería la Libertad-2025.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Analizar los elementos contaminantes de la acidez y el pH de las aguas ácidas en una Minera artesanal, La Libertad – 2025.
- Determinar el pH y elementos contaminantes con la muestra del tratamiento de floculación y Coagulación.
- Analizar las diferencias que existe entre la muestra sin tratamiento con la muestra del tratamiento.

## 1.4. Hipótesis

HIPÓTESIS GENERAL: Mediante investigaciones pasadas se deduce que el floculante PAC ayudará a que el agua regrese a su estado natural o lo más cercano a ello. Además, el color regresará a ser transparente y el nivel de pH ya no será ácido.

HIPÓTESIS ESPECÍFICAS:

- El uso del floculante PAC reducirá significativamente la turbidez del agua, aumentando su transparencia.

- La aplicación del PAC en el tratamiento del agua elevará el pH de niveles ácidos a valores neutros o cercanos a neutros (entre 6.5 y 8.5).
- El PAC disminuirá la concentración de sólidos suspendidos en el agua, acercándola a los estándares de calidad del agua natural.

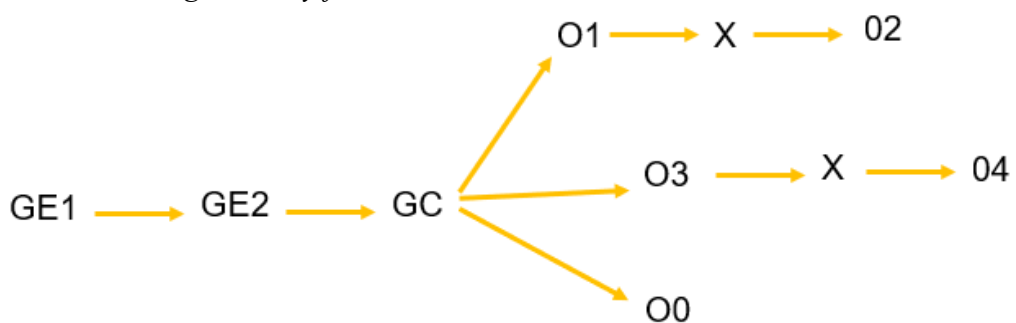
## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

### DISEÑO

De acuerdo con el método adoptado, esta investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo con un diseño de tipo experimental, con la finalidad de analizar relaciones causales entre variables en condiciones controladas. Tal como señalan Hernández et al. (2023), los diseños experimentales posibilitan modificar deliberadamente una o más variables independientes con el propósito de observar su impacto en las variables dependientes, reduciendo al mínimo la interferencia de factores externos al estudio. Para ello, es indispensable contar con dos grupos equivalentes: uno experimental, que recibe el tratamiento, en este aspecto se están considerando 8 muestras a tratar, y otro de control, que no lo recibe. En este estudio, se analiza la eficacia del uso combinado de policloruro de aluminio (PAC) y el hidróxido como estrategia accesible y sustentable para neutralizar el pH y tratar aguas ácidas generadas en operaciones mineras, específicamente en la unidad minera artesanal “Potacas”.

**Figura 1.**

*Proceso de coagulación y floculación*



*Nota:* Elaboración propia (2025)

Donde:

GE1: Floculación

GE2: Coagulación

GC: Los máximos permisibles para aguas de efluentes

O1; O2 : Tiempo, PH

O3; O4 : Tiempo PH

X: optimización

O0: Muestra sin tratar

## **POBLACIÓN**

El propósito central de esta investigación fue analizar las características del agua residual generada por las balsas de lixiviación situadas en la unidad minera artesanal denominada “Potacas”. Estas balsas contienen residuos derivados del procesamiento minero, y son fuente potencial de contaminación por metales pesados. Se definieron ocho ubicaciones clave para el monitoreo de muestras, elegidas en función de su accesibilidad y representatividad dentro de la zona directamente afectada por los desechos mineros. Desde estos puntos se recolectaron un total de ocho muestras de 5L cada una. Todas las muestras se recolectaron sin alteración de su composición química original, asegurando que los resultados reflejaran de forma precisa las condiciones reales del cuerpo de agua contaminado.

Posteriormente, las muestras fueron transportadas en condiciones seguras y en el menor tiempo posible al Laboratorio de Aguas de la Universidad Nacional de Trujillo,

donde se llevaron a cabo las pruebas físico-químicas correspondientes. En dicho laboratorio, se contó con infraestructura, equipos especializados y supervisión técnica calificada, lo cual garantizó la confiabilidad de los datos obtenidos. Entre los parámetros analizados se incluyeron pH y concentraciones específicas de metales pesados.

Complementariamente, se realizó una evaluación detallada en el laboratorio químico metalúrgico “El Trébol S.A.C.”, con el fin de cuantificar con mayor precisión la presencia de elementos metálicos peligrosos en el agua residual. La información obtenida fue procesada y organizada utilizando herramientas informáticas como Microsoft Excel, lo que permitió elaborar tablas y gráficos descriptivos.

Los resultados revelaron una concentración considerable de metales pesados, destacando principalmente la presencia de hierro, cobre, manganeso y silicio, cuyos niveles superaron los límites establecidos por la normativa ambiental vigente. Esta composición química explicaría el característico color verdoso observado en el agua, atribuible a la presencia de compuestos férricos y cúpricos en solución. La presencia de estos elementos no solo modifica las propiedades estéticas del agua, sino que implica un alto riesgo toxicológico para el ser humano y el ecosistema. A partir de estos hallazgos, se concluye que el agua analizada no es apta para ningún uso doméstico, agrícola ni recreativo, debido a su alta toxicidad y potencial bioacumulativo, por lo que su tratamiento urgente resulta indispensable para evitar daños mayores en la zona de influencia.

## CONTROL DE MEDICIONES

Para realizar el procedimiento, se tomaron dos vasos de precipitado por muestra, en donde se colocaron agua de mina con sus respectivos neutralizadores, obteniéndose las fórmulas:

### **Ecuación 1.** *Primer coagulante usado*

*AGUA DE MINA + PAC ... (1)*

### **Ecuación 2.** *Segundo coagulante usado*

*AGUA DE MINA + +NaOH ... (2)*

En el primer experimento (1), se procedió a tomar una muestra de agua ácida a la cual se le incorporó 1 ml de policloruro de aluminio (PAC) utilizando una micropipeta, aplicando el método de jarras durante un periodo de 15 minutos. Esta prueba tuvo como propósito identificar la dosis óptima del coagulante que pudiera generar una mejora en las características del agua tratada.

En una segunda prueba (2), se repitió el procedimiento inicial, pero en esta ocasión se utilizó una dosis excesiva de hidróxido. A pesar de seguir el mismo protocolo, los resultados obtenidos no mostraron mejoras significativas en comparación con la primera muestra tratada con PAC.

Ambas muestras fueron dejadas en reposo por un periodo de siete días, durante el cual se aplicó la técnica de observación sistemática para registrar los cambios en el pH de cada una. Este seguimiento permitió evaluar la variación de acidez entre las dos soluciones y facilitó la comparación de la efectividad de ambos compuestos. A partir del

análisis realizado, se concluyó que el empleo de PAC fue la opción de tratamiento más eficiente, ya que evidenció una mejora significativa en las condiciones del agua tratada con este coagulante.

## **ANÁLISIS DE DATOS**

Se llevará a cabo una comparación entre ambas muestras utilizando gráficos elaborados en Microsoft Excel, lo cual permitirá visualizar de forma clara la capacidad del tratamiento para neutralizar el agua ácida, e incluso evaluar si, en condiciones óptimas, esta podría llegar a ser apta para el consumo humano. Asimismo, mediante la construcción de tablas organizadas en el mismo programa, se podrá mantener un registro sistemático del experimento, facilitando el orden, análisis y seguimiento detallado de los datos obtenidos durante el proceso.

## **ASPECTOS ÉTICOS**

El estudio incorpora principios éticos fundamentales como la beneficencia, la equidad y la independencia. El enfoque de beneficencia se refleja en la finalidad del estudio, que busca analizar la efectividad de los métodos de coagulación y floculación en la neutralización del agua ácida, con la intención de explorar su posible reaprovechamiento en operaciones mineras, especialmente en el tratamiento de pozas de lixiviación. Esta propuesta podría traducirse en un avance importante para la eficiencia operativa de la empresa minera situada en La Libertad.

Respecto al principio de no causar daño, se asegura que las prácticas experimentales no impliquen perjuicios materiales ni pongan en peligro al equipo participante, gracias a la aplicación de protocolos de prevención y medidas de seguridad debidamente establecidos. Además, el estudio respeta los derechos de propiedad

intelectual, ya que toda la información utilizada proveniente de fuentes externas ha sido debidamente referenciada utilizando el formato APA, asegurando así una correcta atribución de los contenidos y evitando el plagio.

### **CAPÍTULO III: RESULTADOS**

#### **3.1. Analizar los elementos contaminantes de la acidez de las aguas ácidas en una Minera artesanal, La Libertad – 2025.**

Durante el análisis inicial de las muestras de agua residual, se logró identificar la presencia de una diversidad considerable de metales pesados y elementos químicos contaminantes, cuya concentración se encuentra registrada de forma mucho más minuciosa en las tablas 1,2,3,4,5,6,7 y 8. Estos compuestos, en su mayoría derivados de procesos de lixiviación y residuos mineros, representan no solo una amenaza directa para el medio ambiente acuático y terrestre, sino que además comprometen totalmente la posibilidad de reutilización del recurso hídrico. La elevada toxicidad asociada a estos metales convierte el agua en una sustancia inviable para cualquier uso humano, agrícola o industrial, debido a los riesgos que implica para el ser humano y los ecosistemas.

En este contexto, se ha elaborado un gráfico explicativo que permite visualizar con mayor claridad el promedio de las concentraciones específicas de cada metal contenido en las ocho muestras, previo a la aplicación de cualquier método de tratamiento o neutralización.

Esta representación gráfica cumple una función fundamental en el estudio, ya que facilita la interpretación comparativa de los datos cuantitativos obtenidos y permite identificar cuáles son los elementos más críticos que deben ser tratados con mayor prioridad.

**Figura 2.**

*Promedio de la cantidad de mineral hallada en el agua ácida*



*Nota:* Elaboración propia (2025)

**Interpretación:** El análisis químico evidencia que el silicio es el elemento con mayor concentración en la muestra de agua ácida, lo cual contribuye de manera determinante a su inutilidad para cualquier tipo de uso ambientalmente responsable, especialmente en lo que respecta a la mitigación del impacto ecológico. Del mismo modo, se identificó una concentración elevada de hierro, elemento que figura entre los contaminantes más relevantes en contextos mineros por su impacto en la modificación de las propiedades fisicoquímicas del recurso hídrico. Por otro lado, el manganeso también fue identificado en proporciones considerables; este metal no solo incide en el cambio de

color del agua, sino que además puede generar un sabor metálico y desagradable, afectando aún más su calidad. Finalmente, el cobre fue otro de los contaminantes encontrados, el cual, aunque en menores proporciones que el silicio o el hierro, provoca alteraciones adversas en los ecosistemas acuáticos y representa un riesgo para la biota local si no es debidamente tratado. A partir de los datos, se ha decidido trabajar considerando únicamente dos cifras decimales, lo que explica que algunos valores registrados en los parámetros analizados reflejen cantidades mínimas o aparentemente poco significativas. No obstante, estos niveles, aunque reducidos, son relevantes en términos de impacto ambiental acumulativo.

El marco normativo que regula los niveles de metales pesados en cuerpos de agua fija límites máximos aceptables con el propósito de proteger la salud de la población y preservar el entorno natural. En el caso del Perú, la Ley N.º 31189 y su respectivo reglamento refuerzan las acciones orientadas a la prevención, mitigación y atención médica frente a los daños provocados por la exposición a metales pesados. Asimismo, la Ley General de Aguas y el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA, que contiene el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, establecen parámetros específicos para controlar estos contaminantes en los recursos hídricos. En este contexto, se reconoce que los metales identificados permiten comprender mejor el estado actual del proyecto de investigación y su evolución. Los análisis y gráficos obtenidos durante el estudio evidencian que las aguas residuales analizadas exceden los límites establecidos, por lo que no cumplen con los estándares requeridos para ser aptas para el consumo humano. Estos resultados reflejan una situación crítica que requiere medidas correctivas urgentes, tanto a nivel ambiental como sanitario.

Los metales descubiertos nos brindan una comprensión más amplia y detallada del avance del proyecto de investigación. Cada hallazgo metálico representa una pieza clave para interpretar con mayor exactitud el rumbo que sigue el estudio. Estos elementos permiten identificar patrones, conexiones y resultados que enriquecen el análisis general. Además, facilitan la evaluación objetiva del progreso alcanzado en las distintas etapas del proyecto. Gracias a su presencia, se puede establecer una relación más clara entre los objetivos planteados y los logros obtenidos. Los metales encontrados actúan como indicadores del nivel de desarrollo científico alcanzado. También ayudan a validar las hipótesis planteadas y a orientar futuras líneas de investigación. Su análisis técnico contribuye a fortalecer la base metodológica del estudio. En conjunto, proporcionan datos concretos y verificables que sustentan el trabajo realizado. Por todo ello, su descubrimiento es esencial para visualizar con claridad el estado y proyección de la investigación.

**Tabla 1.**

*Porcentaje de los metales en las muestras halladas*

PARÁMETRO	RESULTADOS	PORCENTAJE
SILICIO	4.85	44%
HIERRO	1.58	14%
COBRE	0.98	9%
MANGANESO	0.96	9%
ALUMINIO	0.91	8%
PLOMO	0.46	4%
PLATA	0.33	3%
ARSÉNICO	0.24	2%
MERCURIO	0.22	2%
ESTAÑO	0.16	1%
ESTRONCIO	0.07	1%
CADMIO	0.06	1%
ANTIMONIO	0.04	0%
CERIO	0.04	0%
CROMO	0.03	0%
SELENIO	0.02	0%
ORO	0.02	0%
MOLIBDENO	0.01	0%
NIQUEL	0.01	0%
COBALTO	0.01	0%
BERILIO	0.01	0%
LITIO	0.00	0%
BARIO	0.00	0%
<b>TOTAL</b>	<b>11.01</b>	<b>100%</b>

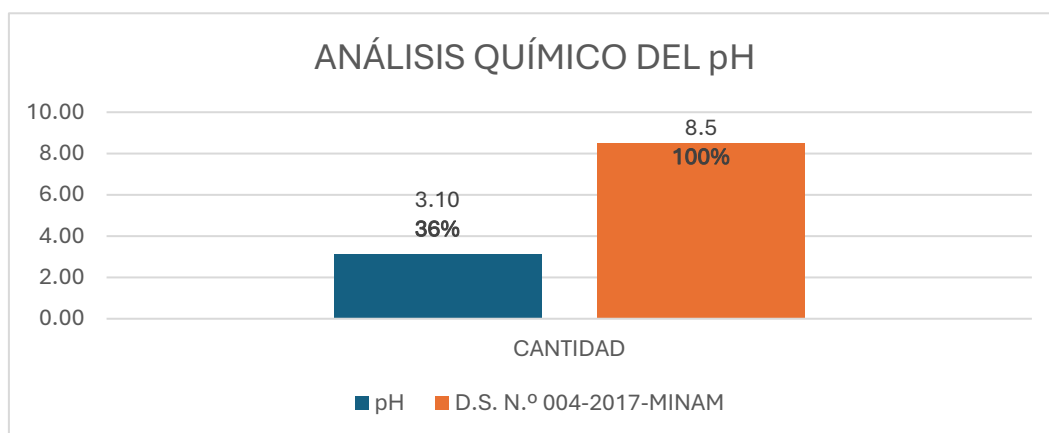
*Nota:* Elaboración propia (2025)

**Interpretación:** La tabla presentada fue fundamental para la elaboración de la figura 2 y permitió obtener una visión más precisa respecto a la presencia de metales pesados. Gracias a la información contenida en ella, se logró organizar y representar de manera gráfica los datos recopilados durante el estudio. Esto facilitó los resultados y el reconocimiento de patrones relevantes. Además, la tabla permitió establecer comparaciones entre distintos puntos de muestreo o variables analizadas. Su contenido contribuyó a fortalecer el análisis técnico y respaldar las conclusiones obtenidas. También sirvió como base para determinar si los niveles de metales pesados superan los límites

establecidos por la normativa peruana. La claridad de los datos plasmados en la figura resultante mejora la comunicación de los hallazgos. Aporta así una herramienta visual útil para la toma de decisiones informadas. En conjunto, la tabla y la figura 2 se complementan para brindar una perspectiva más completa del problema. Esta herramienta resulta clave para analizar cómo los metales pesados afectan tanto al medio ambiente como al bienestar de las personas.

**Figura 3.**

*Análisis químico del ph*



*Nota:* Elaboración propia (2025)

**Interpretación:** En la Figura, se infiere que el valor promedio de pH de las muestras de agua recolectadas en la unidad minera artesanal "Potacas" es de 3.1 antes de aplicar cualquier tipo de tratamiento con coagulantes o floculantes. Este valor representa un incumplimiento significativo de aproximadamente el 36% respecto al estándar mínimo requerido. Cabe destacar que, según los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA) establecidos en el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, el rango permitido de pH para cuerpos de agua oscila entre 6.5 y 8.5, lo cual asegura condiciones aceptables tanto para la vida acuática como para potenciales usos domésticos e industriales.

Este resultado preliminar indica que el agua residual presenta un nivel de acidez considerable; sin embargo, existe la posibilidad de que, mediante la aplicación de tecnologías de tratamiento avanzado actualmente en etapa de investigación y desarrollo, este tipo de agua pueda ser acondicionada hasta alcanzar niveles aptos para su potabilización, contribuyendo así a su reutilización sostenible en contextos mineros o incluso en otras actividades.

### 3.2. Disminuir el pH y la concentración de Metales Pesados del agua ácida, mediante un tratamiento de Coagulación -Floculación

Tomando como referencia los cuatro elementos identificados con mayor concentración en la primera evaluación, se procedió a realizar un nuevo análisis en el laboratorio químico metalúrgico “El Trébol SAC”, esta vez luego de haber dejado reposar las muestras por un periodo de siete días. Esta segunda evaluación permitió observar la evolución de los parámetros bajo condiciones de reposo, obteniéndose así promedios de resultados actualizados que reflejan posibles cambios en la composición química del agua residual durante ese intervalo de tiempo.

**Tabla 2.**

*Metales pesados con mayor concentrado en el agua residual*

PARÁMETRO	SIMBOLO	UNIDADES	RESULTADOS
Cobre	Cu	mg/L	0.486
Hierro	Fe	mg/L	0.827
Magnesio	Mn	mg/L	0.451
Silicio	Si	mg/L	2.7451

*Nota:* Elaboración propia (2025)

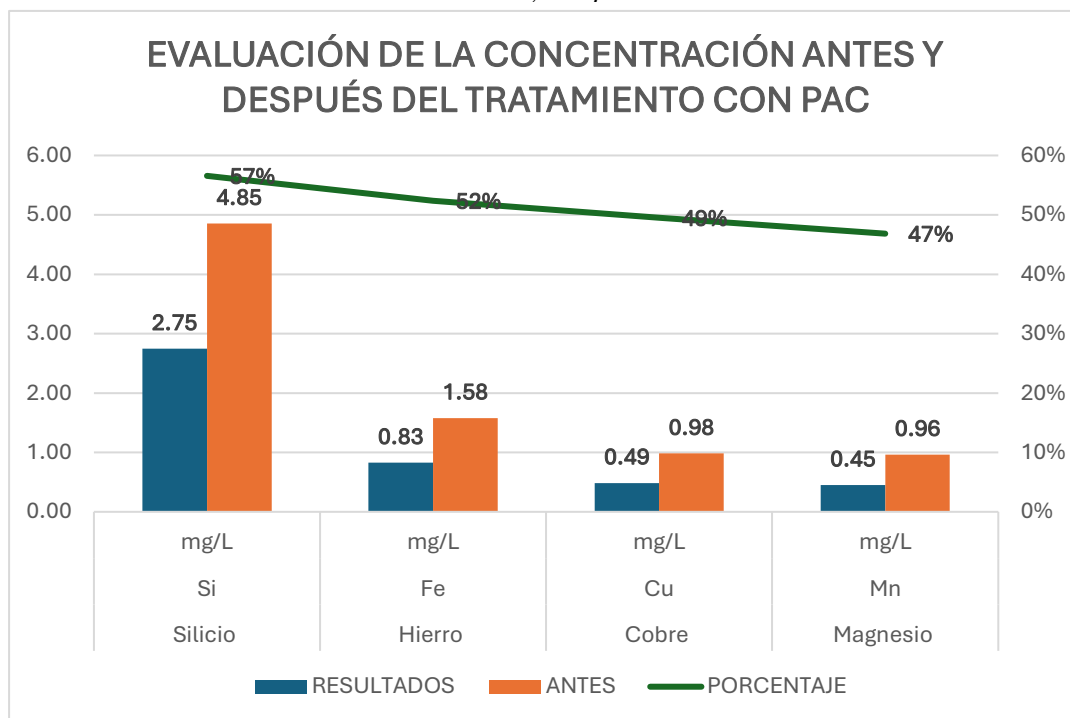
**Interpretación:** La tabla expone los niveles de acidez asociados a los minerales presentes en la muestra de agua ácida obtenida en la zona evaluada. También se presentan los datos obtenidos luego de aplicar el tratamiento basado en coagulación y floculación. Esta comparación evidencia una reducción significativa en las concentraciones de metales clave involucrados en la contaminación del agua, como el cobre (Cu), hierro (Fe), magnesio (Mg) y silicio (Si). Los resultados no solo demuestran la eficiencia del método

utilizado, sino que también aportan fundamentos técnicos para analizar su influencia ambiental. Asimismo, permiten comprobar si se cumplen los parámetros exigidos por la legislación actual en cuanto a la calidad del agua, lo cual resulta fundamental para su posible reutilización o disposición adecuada.

Resulta imprescindible tener en cuenta el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, el cual regula los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) aplicables al recurso hídrico. Esta disposición legal fija los valores límite permitidos para distintos contaminantes, entre ellos metales pesados como arsénico, cadmio, cobre, hierro, mercurio y plomo. Su aplicación permite verificar si el agua tratada se ajusta a los criterios ambientales exigidos, con el fin de resguardar tanto la salud humana como la integridad del ecosistema. Estos resultados confirman que el procedimiento implementado fue efectivo, logrando cumplir con el objetivo central del estudio, que consistía en disminuir el impacto ambiental causado por la fuerte concentración de metales en el agua ácida. La comparación entre los datos iniciales y posteriores al tratamiento permite demostrar que el método aplicado tiene potencial para ser considerado una alternativa viable y sostenible en contextos de remediación minera. Además, es indispensable establecer programas de monitoreo continuo para asegurar que los niveles de metales pesados se mantengan dentro de los límites permisibles a lo largo del tiempo, evitando así riesgos futuros para las comunidades y ecosistemas circundantes. Este enfoque preventivo es clave para la gestión ambiental responsable y la protección a largo plazo del agua.

**Figura 4.**

*Evaluación de la concentración antes y después del tratamiento con PAC*



*Nota:* Elaboración propia (2025)

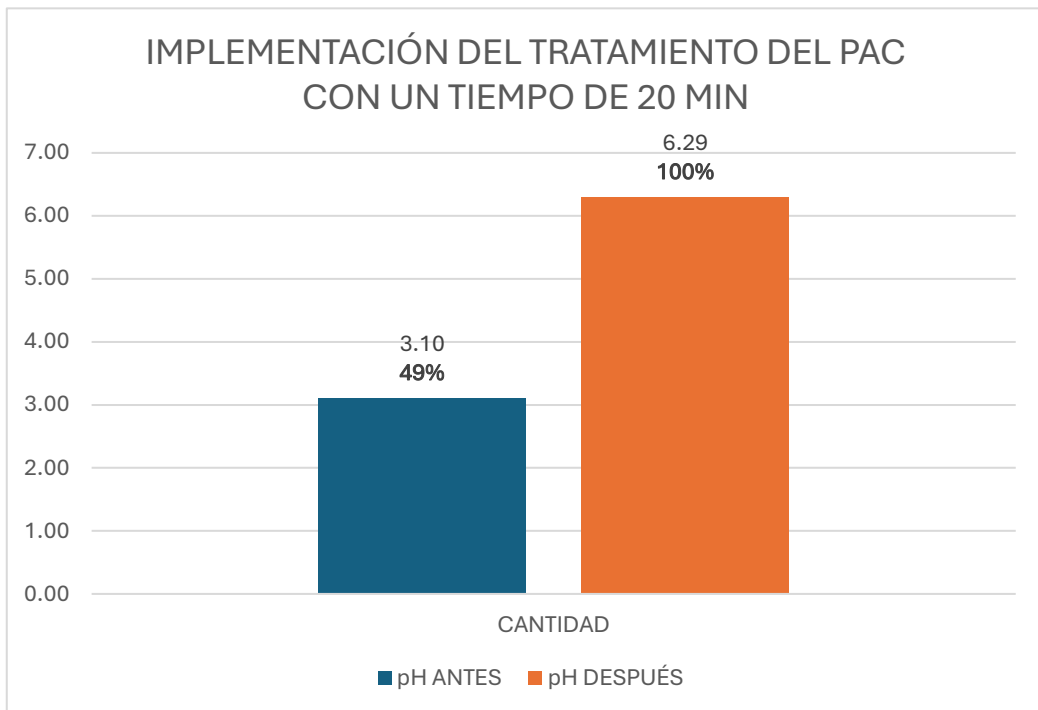
**Interpretación:** La figura refleja la mejora lograda claramente mediante los porcentajes presentados, que muestran un progreso significativo que oscila entre el 47% y el 57%. Estos valores indican un avance notable en los indicadores evaluados, demostrando que el método de floculación y coagulación ha tenido un impacto positivo. Esta variación porcentual permite cuantificar de manera precisa el grado de mejora alcanzado en el proceso o tratamiento aplicado. Además, al observar estos resultados, es posible identificar el mejoramiento en el silicio, el hierro, el cobre y el magnesio que son los metales con mayor concentración.

Antes de influir el tratamiento, medimos el pH con el multiparámetro para ver la cantidad de ácido que se encontró en dicha agua acida, para confirmar los resultados que nos brindó el laboratorio en donde se mandaron a analizar las muestras. El tratamiento

de aguas acidas de floculación y coagulación se implementó en el agua acida, donde se hizo una medida con la micropipeta para medir la cantidad del tratamiento químico floculación – coagulación, que debe ser menor de 1 ml, esta medición dependerá de la cantidad de agua acida(litros) que se dará el tratamiento. Después del tratamiento de Pac, que fue el método más efectivo, se obtuvo un resultado a corto tiempo de 30 minutos donde se obtuvo un ph elevado de 6.29

**Figura 5.**

*Implementación del tratamiento con Pac con un tiempo de 20min.*



*Nota:* Elaboración propia (2025)

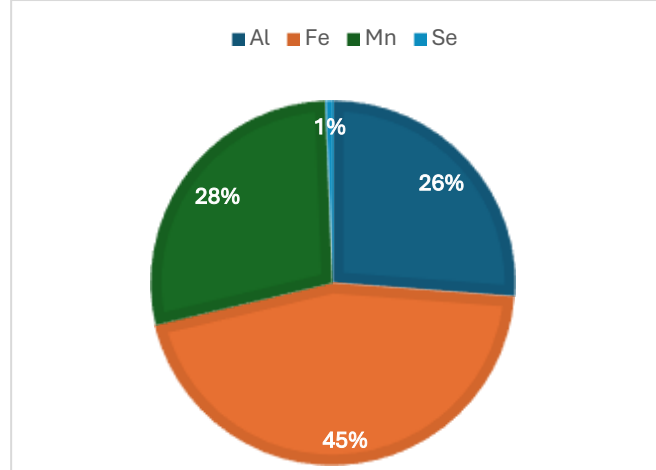
**Interpretación:** La figura muestra claramente la mejora obtenida al adicionar PAC y aplicar el método de jarras al agua ácida por 20 minutos, evidenciando un avance significativo en la calidad del agua. Este proceso no solo permitió mejorar las condiciones iniciales, sino que también contribuyó a la estandarización del tratamiento, asegurando que los resultados cumplan con las normativas establecidas por el Estado Peruano. El uso

de PAC evidenció alta eficacia en estabilizar los niveles de pH y disminuir la presencia de sustancias contaminantes, lo cual refuerza su papel como una herramienta valiosa en la restauración de cuerpos hídricos. Esta estrategia permite un control más preciso del tratamiento, posibilitando la regulación de parámetros como dosis y condiciones para alcanzar mejores resultados. La validación obtenida a través del análisis gráfico respalda su viabilidad como una alternativa técnica accesible y de bajo costo frente al problema de aguas ácidas contaminadas. Este logro representa un paso clave en la protección del entorno natural y la salud de las comunidades cercanas a zonas con pasivos ambientales. Asimismo, la formalización del procedimiento favorece su implementación en otras experiencias similares, fomentando la difusión de prácticas responsables y sostenibles.

A lo largo del desarrollo del estudio y con base en las propiedades químicas de los metales identificados en la muestra de agua ácida, se identificó que la acidez observada está asociada principalmente a la presencia de no metales, los cuales suelen influir significativamente en el pH del agua. En este caso particular, según los datos registrados, el único no metal detectado fue el selenio, elemento conocido por su capacidad para generar compuestos ácidos en medios acuosos. No obstante, es importante resaltar que ciertas sales metálicas también pueden contribuir a aumentar la acidez del medio, razón por la cual se consideró relevante incluir en el análisis a elementos como el hierro, aluminio y manganeso, cuya participación en procesos de oxidación y disolución puede influir directamente en la acidificación del agua. Para complementar esta evaluación y facilitar una mejor interpretación de los datos, se elaboró un gráfico explicativo que representa el porcentaje de participación de dichos elementos en la muestra tratada con PAC (policloruro de aluminio), lo cual permite visualizar con mayor claridad la influencia relativa de cada uno en el comportamiento químico de la solución evaluada.

**Figura 6.**

*Porcentajes de minerales que producen acidez en la muestra de agua ácida*



*Nota:* Elaboración propia (2025)

**Interpretación:** La figura también revela la proporción de no metales responsables de la generación de ácidos en la muestra analizada, destacando que el aluminio (Al) contribuye con un 26%, el hierro (Fe) con un 45%, el manganeso (Mn) con un 28%, y el selenio (Se) con un 1%. Lo que nos permite entender que al reducir la proporción de estos metales en las muestras, podemos reducir la acidez y por ende tener una agua dentro de la normativa.

### **3.3. Analizar las diferencias que existe entre las muestras sin tratamiento con las muestras del tratamiento de floculación y coagulación**

Desde una perspectiva visual y cualitativa, los cambios observados tras el tratamiento de las muestras fueron notablemente evidentes, tanto en la muestra tratada con PAC (1) como en la que se utilizó hidróxido (2). El agua ácida original se caracterizaba por presentar un color verdoso intenso, acompañado de un olor penetrante y desagradable, características comunes asociadas a la disolución de metales pesados en el agua.

Luego de aplicar el tratamiento con policloruro de aluminio (PAC) como agente coagulante y floculante en la muestra (1), se evidenció una transformación significativa en el aspecto del agua: el color cambió de verde a un tono amarillento más claro, y la turbidez inicial disminuyó progresivamente. Con el paso de los días, el sistema mostró una mejora notable en su estabilidad, donde se observó una clara sedimentación de sólidos en el fondo del vaso de precipitado, indicando la formación y decantación exitosa de los flóculos.

Este comportamiento sugiere que el proceso de coagulación-floculación fue efectivo, ya que permitió separar las partículas contaminantes en suspensión. Además, como se demostró en apartados anteriores, el tratamiento con PAC contribuyó al incremento del pH del agua tratada, acercándolo a niveles más neutros, lo cual refuerza la eficacia del procedimiento como alternativa con el objetivo de contrarrestar la acidez del agua contaminada.

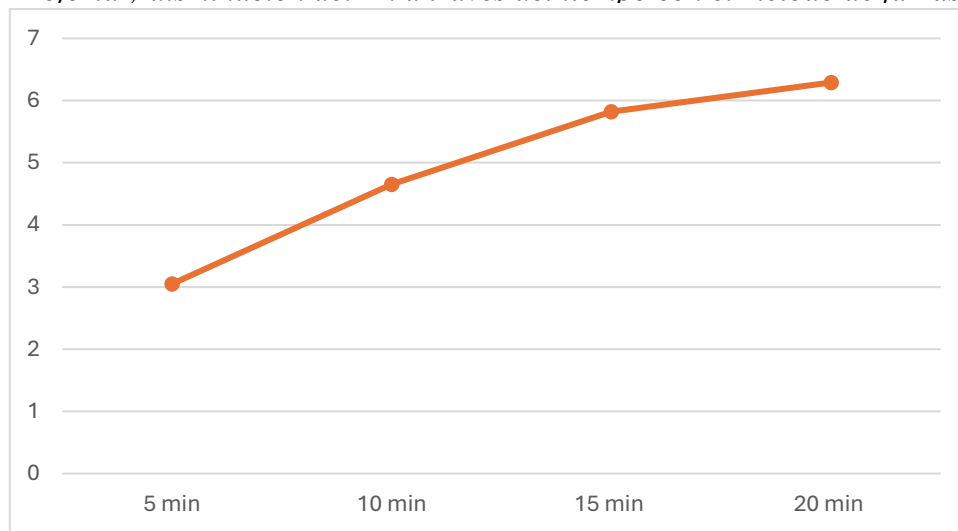
En comparación, la muestra tratada con hidróxido también mostró cambios, aunque estos fueron menos estables visualmente, y se percibió un exceso de reactivo en

solución, lo que podría comprometer su viabilidad en aplicaciones sostenibles a largo plazo.

Para la optimización del ph, se empleó el método de jarras en donde a través del análisis de tiempo se realizó la comparación y se hizo notar la mejoría del agua acida.

**Figura 7.**

*Mejoría y disminución del Ph a través del tiempo con el método de jarras*



*Nota:* Elaboración propia (2025)

**Interpretación:** La figura ilustra cómo evolucionó el nivel de acidez en las muestras durante la aplicación del método de jarras a lo largo del tiempo. Después de los primeros 5 minutos, el pH se mantuvo en un valor de 3, indicando un ambiente todavía bastante ácido. Al transcurrir 10 minutos, el pH aumentó a 4.7, mostrando una clara tendencia hacia la neutralización. Luego, a los 15 minutos, el pH alcanzó 5.9, acercándose a condiciones menos ácidas y más estables. Finalmente, después de 20 minutos de tratamiento, el pH llegó a 6.3, evidenciando un notable incremento en las condiciones del recurso hídrico y acercándose a un rango aceptable según los estándares ambientales. Este incremento progresivo del pH a lo largo del tiempo confirma la efectividad del proceso

de coagulación y floculación aplicado, que permite neutralizar gradualmente la acidez del agua ácida. Además, estos resultados aportan información valiosa para determinar el tiempo óptimo de tratamiento necesario para alcanzar los niveles deseados, permitiendo estructurar estrategias de remediación con mayor eficacia y precisión.

En cuanto al uso del hidróxido (2) como agente de tratamiento, se pudo comprobar que también generando resultados visiblemente efectivos. Aunque el color del agua tratada conservó un ligero tono verdoso, este presentaba una notable diferencia en comparación con el aspecto original del agua ácida, lo cual indica una mejoría significativa en su composición. Asimismo, se evidenció la acumulación de un sedimento sólido en la parte inferior del contenedor, similar al obtenido en la muestra tratada con PAC (1), aunque en este caso el sedimento presentó un color marrón, lo que sugiere diferencias en la composición del flóculo generado. Esta transformación física representa una evidencia clara de las transformaciones químicas generadas a lo largo del tratamiento de neutralización, lo cual respalda la eficacia parcial del hidróxido en la remoción de contaminantes presentes en la muestra.

En conjunto, estos hallazgos permiten concluir que el hidróxido también contribuye de manera positiva al tratamiento del agua ácida, aunque con algunas diferencias visuales y químicas respecto al método basado en PAC.

## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Esta investigación se centró en analizar el nivel de eficacia de un método del tratamiento de coagulación y floculación para aguas ácidas generadas por actividades mineras en La Libertad en el 2025. Según Meza et Al, (2024), sabemos que estos procesos son esenciales para la eliminación de sólidos suspendidos y metales pesados, mejorando significativamente la calidad físico-química del agua. La coagulación y floculación facilitan la precipitación de contaminantes, contribuyendo a la protección ambiental y a la potabilización del recurso hídrico. Este enfoque resulta ser una alternativa económica, eficiente y sostenible para mitigar la contaminación en zonas mineras. La investigación demuestra que la integración de ambas técnicas optimiza la remediación del agua ácida, promoviendo la restauración de ecosistemas afectados por la minería.

Con respecto al primer objetivo, este estudio se centró en analizar los contaminantes que contribuyen a la acidez del agua en una minera artesanal de La Libertad en el 2025. Mediante Cortez et Al, (2022), Se analizó el desempeño del proceso de neutralización de aguas con acidez elevada utilizando lechada de cal, aplicado en una operación minera de pequeña escala, se aplicó un tratamiento combinado de coagulación y floculación para neutralizar el pH y reducir metales en aguas ácidas. La metodología replicó el método de jarras, logrando elevar el pH de 2.63 a 6 en 20 minutos, acercándose a los límites ambientales permitidos. Entre los elementos identificados con mayor presencia se encontraron el silicio, el hierro y el cobre, los cuales comprometen las propiedades del recurso hídrico y suponen posibles amenazas tanto para el ecosistema como para la salud humana.

El segundo propósito de este estudio fue disminuir tanto el nivel de acidez como la presencia de metales pesados en aguas contaminadas por operaciones mineras,

utilizando un tratamiento de coagulación y floculación. De acuerdo con González et al. (2022), este procedimiento ha demostrado ser eficiente en la eliminación de elementos como cobre, hierro, plomo y zinc en ambientes acuáticos altamente ácidos. Si bien el uso de cal es una práctica común para neutralizar el pH, puede dar lugar a la formación de residuos lodosos que requieren una gestión adecuada para evitar consecuencias ambientales. Asimismo, la prueba de jarras ha sido una herramienta clave para establecer las cantidades apropiadas de agentes coagulantes y floculantes, permitiendo reducir la turbidez y los sólidos suspendidos en un periodo inferior a una hora. Este enfoque también presenta ventajas en zonas rurales con acceso limitado a tecnología avanzada, posicionándose como una alternativa eficiente y sostenible en el tratamiento de aguas residuales derivadas de procesos mineros.

El tercer objetivo de esta investigación fue comparar las diferencias entre muestras sin tratamiento y tratadas con policloruro de aluminio (PAC) aplicando técnicas de coagulación y floculación. Según Gong et Al, (2024), estas técnicas resultan altamente efectivas para mejorar la calidad de aguas residuales ácidas generadas en la minería de plomo y zinc. El estudio utilizó un método integrado de oxidación química junto con coagulación-floculación, logrando reducir significativamente la turbidez y los sólidos suspendidos, y elevar el pH del agua hacia valores más neutros. Los autores reportaron una clarificación notable, con la eliminación de contaminantes pesados y una mejora sustancial en la transparencia del agua. Además, la combinación de coagulantes y floculantes favorece la sedimentación rápida de los sólidos, lo que facilita su manejo en sistemas de tratamiento. Esta solución es especialmente útil en condiciones extremas de pH, donde otros métodos convencionales pueden fallar o resultar ineficientes. Del mismo modo, se destaca que esta técnica resulta factible tanto desde el punto de vista operativo

como en términos de costos, especialmente para minería artesanal o en zonas rurales con recursos limitados. En comparación con otras alternativas, como la precipitación química, adsorción con carbón activado o tratamientos biológicos, la coagulación-floculación integrada presenta ventajas claras en cuanto a eficiencia, costo y manejo de residuos.

## **LIMITACIONES**

A lo largo del desarrollo de la presente investigación surgieron diferentes restricciones que condicionaron el proceso. En primer lugar, se observó una escasez de investigaciones previas sobre el tema, lo cual es comprensible debido a su carácter innovador y la limitada aplicación en la minería artesanal. Asimismo, el acceso restringido a ciertas fuentes documentales y sitios web que exigían permisos especiales dificultó la obtención de información completa. También se identificó que parte de la información disponible estaba en idiomas distintos al español, lo que representó un obstáculo adicional. Finalmente, una de las restricciones más importantes fue la ausencia de datos específicos en algunos estudios, como la falta de ciertos parámetros fisicoquímicos en los análisis de aguas residuales, lo que impactó en la consistencia para alcanzar plenamente los objetivos planteados.

## **IMPLICACIONES Y ESTUDIOS FUTUROS**

Este estudio plantea diversas consecuencias importantes tanto para el sector extractivo como para la protección ambiental. En primer lugar, la implementación adecuada del tratamiento evaluado podría contribuir de manera significativa a mejorar las condiciones del recurso hídrico en áreas afectadas por actividades mineras, lo que resulta esencial para preservar los ecosistemas acuáticos y garantizar el acceso a agua limpia para las poblaciones cercanas. Además, incorporar esta alternativa tecnológica puede

promover una minería más responsable, disminuyendo los efectos negativos sobre el entorno natural y facilitando el cumplimiento de las normativas ambientales vigentes, cada vez más exigentes.

Otro aspecto relevante es la potencial reducción de los gastos vinculados al tratamiento de aguas residuales en el transcurso del tiempo. Aunque la inversión inicial para implementar el método puede ser considerable, la eficiencia del proceso de floculación y coagulación podría traducirse en ahorros económicos al reducir la carga contaminante. Además, el cumplimiento de las regulaciones ambientales es fundamental; las empresas mineras en La Libertad y otras regiones deben ajustarse a estrictas normativas, y la utilización de este método puede facilitar dicho cumplimiento, evitando sanciones y mejorando la imagen corporativa.

En cuanto a investigaciones futuras, se identifican varias áreas que podrían fortalecer el conocimiento y perfeccionar la aplicación del proceso de floculación y coagulación en el tratamiento de aguas ácidas en la minería. Es necesario optimizar parámetros como la dosis de coagulantes y floculantes, tiempos de mezcla y condiciones de pH, con el fin de reducir costos y tiempos operativos. También es recomendable evaluar nuevos coagulantes y floculantes, preferentemente de origen natural o biodegradables, que podrían brindar soluciones más sostenibles y efectivas.

Además, es crucial llevar a cabo estudios a largo plazo para verificar la eficacia continua del método en la reducción de contaminantes, así como analizar los posibles efectos ambientales de los subproductos generados. La integración de este proceso con otras técnicas de tratamiento, como la adsorción, precipitación química y filtración, podría aumentar la eficiencia y ofrecer soluciones más integrales. Extender la

investigación a distintas regiones mineras con variadas condiciones geográficas y químicas permitirá validar y comparar la efectividad del método en distintos contextos.

Como sugerencia final, sería valioso analizar las repercusiones sociales y económicas que genera la aplicación de esta tecnología en las poblaciones cercanas, considerando tanto la opinión de los ciudadanos respecto a la mejora en la calidad del agua como los posibles beneficios financieros asociados a una gestión más eficiente del recurso hídrico en el contexto minero. En síntesis, el tratamiento de aguas ácidas mediante floculación y coagulación en la minería de La Libertad en 2025 representa una alternativa prometedora hacia una minería más sostenible y ambientalmente responsable, aunque se requiere investigación continua y un enfoque multidisciplinario para optimizar el método y maximizar sus beneficios a largo plazo.

## **CONCLUSIONES**

En relación con el objetivo central, hacia el año 2025, el tratamiento de aguas ácidas provenientes de la minería en la región de La Libertad ha adoptado un enfoque más completo y eficaz. Este proceso se fundamenta en el uso de policloruro de aluminio (PAC) como coagulante, destacando su elevada efectividad en la optimización de la calidad del agua. La metodología contempla tanto la estabilización del pH como la reducción de metales disueltos —como hierro, zinc y cobre— presentes en el efluente. A diferencia de técnicas tradicionales, esta alternativa se ajusta a las particularidades de las fuentes hídricas en zonas altoandinas, donde se enfrentan condiciones de alta acidez, mineralización y variabilidad térmica. Además, la aplicación de PAC cumple con las exigencias ambientales de la normativa peruana y permite obtener resultados notables en un corto período, optimizando el tiempo de tratamiento. Su implementación también es

viable en contextos rurales, ya que no requiere infraestructura compleja. Por estas razones, se considera una alternativa sostenible, replicable y ambientalmente responsable para enfrentar los desafíos de la contaminación hídrica en la minería regional.

En segundo lugar, identificando el primer objetivo específico, durante el análisis de las aguas ácidas provenientes de procesos mineros en la región, se determinó que los elementos más predominantes y preocupantes en su composición eran el silicio y el hierro, los cuales se encontraban en concentraciones elevadas. Esta presencia significativa de metales y metaloides reflejaba una condición de alta toxicidad, haciendo que el agua fuera completamente inadecuada para cualquier tipo de uso humano, agrícola o ambiental antes de ser tratada. No obstante, al aplicar policloruro de aluminio (PAC) como agente floculante, se observó una mejora sustancial en diversos parámetros físico-químicos. El PAC permitió la agregación y posterior remoción de partículas contaminantes, disminuyendo la concentración de metales disueltos y la turbidez del agua. Estas transformaciones evidencian la capacidad del tratamiento para restituir parcialmente la calidad del recurso hídrico. Además, los resultados obtenidos respaldan el uso de este coagulante como una herramienta eficaz en contextos de alta carga metálica, ofreciendo una opción correcta para el tratamiento de efluentes mineros en regiones con condiciones similares.

En tercer lugar, analizando el segundo objetivo específico, Se registró una mejora significativa en la disminución de la acidez y en la reducción de la concentración de minerales presentes en el agua tratada. Específicamente, el pH aumentó de un nivel altamente ácido de aproximadamente 2 hasta alcanzar un valor cercano a la neutralidad, alrededor de 7, lo cual evidencia que, cuando se aplica un tratamiento adecuado y a gran

escala, el proceso puede ser sostenible y económicamente factible. Entre los minerales inicialmente detectados en mayor concentración destacan el cobre, el hierro y el manganeso, aunque su presencia fue superada en magnitud por el silicio, que se encontraba en niveles especialmente elevados. Tras la aplicación del tratamiento, Se evidenció una disminución significativa en los niveles de silicio, lo cual confirma la efectividad del tratamiento aplicado para remover este elemento ampliamente presente. Estos resultados sugieren que el método empleado no solo es efectivo para neutralizar la acidez, sino también para disminuir la carga mineral, mejorando considerablemente la calidad del recurso hídrico.

Para concluir, respecto al cuarto objetivo específico, el contraste entre las muestras de agua previas y posteriores al tratamiento reveló cambios relevantes que fueron más allá de las simples modificaciones en su composición química. Los cambios en las características físicas, como el color y el olor del agua, fueron evidentes y reflejaron una mejora considerable en su calidad general. Estos indicios visuales y olfativos no solo confirman la efectividad del proceso de coagulación-floculación, sino que también sugieren que, al complementarse con etapas adicionales de potabilización, el agua tratada podría alcanzar los estándares requeridos para su uso en consumo humano y otras aplicaciones domésticas o industriales. Por lo tanto, el tratamiento propuesto no solo contribuye a la restauración ambiental, sino que también abre la posibilidad de reutilizar un recurso hídrico previamente contaminado, lo que representa un avance importante en la gestión sostenible del agua en zonas afectadas por la minería.

Asimismo, resulta relevante subrayar que esta estrategia integral no solo optimiza las condiciones del recurso hídrico, sino que también ayuda a reducir los efectos negativos

de la minería sobre el entorno, fomentando una gestión responsable que favorece tanto a las poblaciones cercanas como al equilibrio de los ecosistemas. El éxito del tratamiento con PAC abre la puerta para futuras investigaciones que exploren su aplicación en otras zonas afectadas por aguas ácidas, así como la combinación con tecnologías complementarias para optimizar aún más el proceso y garantizar un manejo ambiental integral.

## REFERENCIAS

Alanya J. (2024). *Reducción de la turbidez en aguas del drenaje minero en la empresa aurífera retamas mediante coagulación y floculación 2022-2023*. Repositorio Institucional Continental. <https://acortar.link/Vs6Qyu>

Apaza F. et Al, (2024). *Evaluación de la eficiencia de las semillas de Moringa oleífera y sulfato de aluminio como coagulantes para la mejora de la calidad del agua del río Caplina, Tacna*. Ciencia y educación (ISSN: 2790-8402). <https://zenodo.org/records/12770708>

Aquino K. y Tovar M. (2021). *Eficiencia de remoción del plomo (II) de aguas residuales mineras utilizando almidón de cáscara de papa (Solanum tuberosum) como coagulante natural*. Repositorio institucional de la Universidad Nacional del Centro del Perú (UNCP). <https://acortar.link/Vc6wKS>

Bardales A. y Vilcazán E. (2022). *Sistemas de tratamiento de aguas ácidas de los pasivos ambientales mineros en el Perú*. Repositorio institucional UPN. <https://acortar.link/z4khIB>

Chávez C. y Salazar E. (2020). *Eficiencia del floculante sulfato de aluminio y polifloc (policloruro de aluminio) en la remoción de metales y depuración de aguas residuales de una empresa minera en Cajamarca, 2019*. Repositorio institucional UPN. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/23840>

Chia Y. et Al, (2020). *Tecnología de coagulación-floculación en el tratamiento de agua y aguas residuales*. IGI Global. <https://www.igi-global.com/gateway/chapter/242025>

Chirre J. et Al, (2024). *Evaluación De La Eficiencia Coagulante De La Semilla De Moringa (Moringa Oleífera) Para El Tratamiento De Agua Del Río Churín, Distrito De Pachangara, Lima, Perú.* Tchequímica. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.tchequimica.com/archivos\\_jornal/2024/46/04\\_Chirinos\\_pgs\\_19\\_25.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.tchequimica.com/archivos_jornal/2024/46/04_Chirinos_pgs_19_25.pdf)

Choque V. (2023). *La minería artesanal en Perú: consecuencias medioambientales.* Revistas Científicas Complutenses. <https://acortar.link/ApPDih>

Cortez L. y Paz C. (2023). *Eficiencia de neutralización de aguas ácidas de mina con lechada de cal en una minera artesanal, La Libertad – 2021.* Repositorio Institucional UPN. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/34743>

Gong X. et Al, (2024). *Cocoagulación-floculación por oxidación química para el tratamiento de aguas residuales por flotación de mineral de óxido de plomo y zinc de la mina Lanping.* Revista Problemas fisicoquímicos del procesamiento de minerales. <https://acortar.link/f59z6u>

González D. et Al, (2022). *Tratamiento de aguas residuales de la industria galvanoplástica mediante humedales intensificados a nivel microcosmos.* Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo y Práctica. <https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2022.15.3.80492>

Hernández R. y Mendoza C. (2023). *Metodología de la Investigación. Las Rutas Cuantitativa, Cualitativa y Mixta.* McGraw-Hill. <https://acortar.link/hn2ch9>

Meza F. y Morales D. (2024). *Influencia de un sistema de coagulación y floculación en la remoción de sólidos suspendidos totales y fósforo total de efluentes lácteos, Moche - La Libertad, 2022.* Repositorio Institucional UPN. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/37740>

Momboyo A. (2021). *Acid mine drainage treatment by coagulation process using a synthesized sulphate-based coal fly ash coagulant*. Repositorio Wits University. <https://acortar.link/f59z6u>

Ribeiro T. et Al, (2023). *Coagulantes magnéticos naturales para el tratamiento de aguas residuales de la industria del reciclaje de plástico*. MDPI. <https://www.mdpi.com/2073-4441/15/7/1276>

Roca H. (2020). *Tratamiento del drenaje ácido de minas mediante floculación, sedimentación y flotación*. NTNU OPEN. <https://acortar.link/Q4OIAF>

Singh S. y Khanam S. (2020). *Conservación simultánea de agua y energía en procesos no isotérmicos: un estudio de caso de una central térmica*. ScienceDirect. <https://acortar.link/rnhw02>

Talavera I. et Al, (2024). *Inversión minera y conflictos socioambientales en el Perú, 2004 – 2023*. Waynarroque - Revista de ciencias sociales aplicadas. <https://acortar.link/ewVNOb>

Torres K. et Al, (2023). *Uso potencial de precipitados del drenaje ácido de minas (DAM) como adsorbentes de arsénico*. MDPI. <https://acortar.link/ODWiZ1>

Wang H. et Al, (2021). *Preparación de ceramsite a partir de lodos municipales y su aplicación en el tratamiento de aguas: una revisión*. ScienceDirect. <https://surl.li/lhelqw>

## ANEXOS

**ANEXO 1. Matriz de Consistencia Interna “TRATAMIENTO DE AGUAS ÁCIDAS MEDIANTE EL MÉTODO DE FLOCULACIÓN Y COAGULACIÓN APLICADO EN LA MINERÍA RETAMAS – 2025”**

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	MÉTODO
<p><b>Propósito</b></p> <p>Determinación del aumento del pH de las aguas residuales producidas por el efecto minero, con el tratamiento de floculación y coagulación</p> <p><b>Enunciado Interrogativo</b></p> <p>¿De qué manera el tratamiento de floculación y coagulación neutraliza las aguas acidas de las operaciones mineras en Retamas – La Libertad 2025?</p>	<p><b>Objetivo Principal</b></p> <p>Determinar un tratamiento de aguas acidas mediante un método de Floculación y Coagulación aplicado en la Minería la Libertad-2025</p> <p><b>Objetivos Secundarios</b></p> <p>Analizar los elementos contaminantes de la acidez y el pH de las aguas ácidas en una Minera artesanal, La Libertad - 2025</p> <p>Determinar el pH y elementos contaminantes con la muestra del tratamiento de floculación y Coagulación.</p> <p>Analizar las diferencias que existe entre las muestras sin tratamiento con las muestras del tratamiento.</p>	<p><b>H1:</b> Los tratamientos de coagulación neutraliza las aguas acidas de las operaciones mineras la libertad.</p> <p><b>H2:</b> El tratamiento de floculación neutraliza las aguas acidas de las operaciones mineras la libertad.</p>	<p><b>Variable 1</b></p> <p>Tratamiento de Aguas Acidas</p> <p><b>INDICADORES 1</b></p> <p>pH</p> <p>Concentración de minerales</p> <p>N.º 004-2017-MINAM</p> <p><b>Variable 2</b></p> <p>Método de Floculación y Coagulación</p> <p><b>INDICADORES 2</b></p> <p>Floculante PAC</p> <p>Floculante Dioxido</p> <p>Muestras de agua</p>	<p><b>Diseño</b></p> <p>Estudio Pre- experimental</p> <p><b>Población</b></p> <p>Aguas acidas de las operaciones mineras</p> <p><b>Muestra</b></p> <p>La muestra fue sacada de una mina Artesanal llamada “Potacas” ubicada en Retamas – La Libertad.</p> <p><b>Técnica:</b> Observación</p> <p><b>Enfoque:</b> Cuantitativa</p> <p><b>Instrumentos:</b> Fichas de Laboratorio</p>

TRATAMIENTO DE AGUAS ÁCIDAS MEDIANTE  
EL MÉTODO DE FLOCULACIÓN Y COAGULACIÓN  
APLICADO EN LA MINERÍA RETAMAS – 2025

**ANEXO 2.** *Anexo 2. Matriz de Operacionalización de las Variables “TRATAMIENTO DE AGUAS ÁCIDAS MEDIANTE EL MÉTODO DE FLOCULACIÓN Y COAGULACIÓN APLICADO EN LA MINERÍA RETAMAS – 2025*

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA
Método Coagulación y Floculación	Son procesos esenciales para separar y eliminar los sólidos suspendidos en el agua y el tratamiento de aguas residuales, el proceso de floculación es precedido por la coagulación, por eso se suele hablar de los procesos de coagulación-floculación. (Ibañez,2017).	Son métodos empleados en el tratamiento de aguas residuales, que permiten salvar las aguas contaminadas por el proceso minero.	Coagulación  Floculación	Gramo /litro	Razón
Neutralización de las aguas ácidas	La adición de sustancias para neutralizar el agua, tal que no sea ácida ni tampoco básica. reacción entre un ácido y una base (Torralba, 2013).	Es el proceso químico en donde se busca que el pH de las aguas alteradas se encuentre en el punto neutro y pueda usarse de manera correcta y limpia.	Evaluación del proceso del pH neutro.	Escala de Mohs	Ordinal

**ANEXO 3.** *Parámetros de la muestra 01 obtenidos en el laboratorio químico metalúrgico “EL TRÉBOL” SAC.*

<b>PARÁMETRO</b>	<b>SÍMBOLO</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>RESULTADOS</b>
ALUMINIO	Al	mg/L	0.9102
ANTIMONIO	Sb	mg/L	0.0420
ARSÉNICO	As	mg/L	0.2360
BARIO	Ba	mg/L	0.0011
BERILIO	Be	mg/L	0.0065
CADMIO	Cd	mg/L	0.0540
CERIO	Ce	mg/L	0.0321
COBALTO	Co	mg/L	0.0077
COBRE	Cu	mg/L	0.9760
ORO	Au	mg/L	0.0120
CROMO	Cr	mg/L	0.0210
ESTAÑO	Sn	mg/L	0.1100
ESTRONCIO	Sr	mg/L	0.0760
HIERRO	Fe	mg/L	1.5660
LITIO	Li	mg/L	0.0031
MANGANESO	Mn	mg/L	0.9760
MERCURIO	Hg	mg/L	0.2130
MOLIBDENO	Mo	mg/L	0.0093
NIQUEL	Ni	mg/L	0.0076
PLATA	Ag	mg/L	0.3210
PLOMO	Pb	mg/L	0.4530
SELENIO	Se	mg/L	0.0217
SILICIO	Si	mg/L	4.8532

**ANEXO 4.** *Parámetros de la muestra 02 obtenidos en el laboratorio químico metalúrgico “EL TREBOL” SAC.*

PARÁMETRO	SÍMBOLO	UNIDADES	RESULTADOS
ALUMINIO	Al	mg/L	0.894
ANTIMONIO	Sb	mg/L	0.062
ARSÉNICO	As	mg/L	0.254
BARIO	Ba	mg/L	0.002
BERILIO	Be	mg/L	0.0066
CADMIO	Cd	mg/L	0.042
CERIO	Ce	mg/L	0.0345
COBALTO	Co	mg/L	0.0054
COBRE	Cu	mg/L	0.968
ORO	Au	mg/L	0.015
CROMO	Cr	mg/L	0.012
ESTAÑO	Sn	mg/L	0.13
ESTRONCIO	Sr	mg/L	0.065
HIERRO	Fe	mg/L	1.431
LITIO	Li	mg/L	0.0043
MANGANESO	Mn	mg/L	0.912
MERCURIO	Hg	mg/L	0.221
MOLIBDENO	Mo	mg/L	0.0085
NIQUEL	Ni	mg/L	0.0067
PLATA	Ag	mg/L	0.351
PLOMO	Pb	mg/L	0.462
SELENIO	Se	mg/L	0.0199
SILICIO	Si	mg/L	4.8641

**ANEXO 5.** *Parámetros de la muestra 03 obtenidos en el laboratorio químico metalúrgico “EL TRÉBOL” SAC.*

<b>PARÁMETRO</b>	<b>SÍMBOLO</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>RESULTADOS</b>
ALUMINIO	Al	mg/L	0.9207
ANTIMONIO	Sb	mg/L	0.055
ARSÉNICO	As	mg/L	0.251
BARIO	Ba	mg/L	0.0009
BERILIO	Be	mg/L	0.0071
CADMIO	Cd	mg/L	0.054
CERIO	Ce	mg/L	0.0258
COBALTO	Co	mg/L	0.0094
COBRE	Cu	mg/L	0.973
ORO	Au	mg/L	0.021
CROMO	Cr	mg/L	0.035
ESTAÑO	Sn	mg/L	0.18
ESTRONCIO	Sr	mg/L	0.062
HIERRO	Fe	mg/L	1.693
LITIO	Li	mg/L	0.0049
MANGANESO	Mn	mg/L	0.931
MERCURIO	Hg	mg/L	0.225
MOLIBDENO	Mo	mg/L	0.0105
NIQUEL	Ni	mg/L	0.0082
PLATA	Ag	mg/L	0.35
PLOMO	Pb	mg/L	0.43
SELENIO	Se	mg/L	0.0221
SILICIO	Si	mg/L	4.8636

**ANEXO 6.** *Parámetros de la muestra 04 obtenidos en el laboratorio químico metalúrgico “EL TRÉBOL” SAC.*

<b>PARÁMETRO</b>	<b>SÍMBOLO</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>RESULTADOS</b>
ALUMINIO	Al	mg/L	0.9205
ANTIMONIO	Sb	mg/L	0.036
ARSÉNICO	As	mg/L	0.293
BARIO	Ba	mg/L	0.0028
BERILIO	Be	mg/L	0.0052
CADMIO	Cd	mg/L	0.063
CERIO	Ce	mg/L	0.062
COBALTO	Co	mg/L	0.0086
COBRE	Cu	mg/L	0.993
ORO	Au	mg/L	0.019
CROMO	Cr	mg/L	0.014
ESTAÑO	Sn	mg/L	0.17
ESTRONCIO	Sr	mg/L	0.068
HIERRO	Fe	mg/L	1.561
LITIO	Li	mg/L	0.0049
MANGANESO	Mn	mg/L	0.982
MERCURIO	Hg	mg/L	0.243
MOLIBDENO	Mo	mg/L	0.008
NIQUEL	Ni	mg/L	0.0069
PLATA	Ag	mg/L	0.328
PLOMO	Pb	mg/L	0.471
SELENIO	Se	mg/L	0.0221
SILICIO	Si	mg/L	4.8736

**ANEXO 7.** *Parámetros de la muestra 05 obtenidos en el laboratorio químico metalúrgico “EL TRÉBOL” SAC.*

PARÁMETRO	SÍMBOLO	UNIDADES	RESULTADOS
ALUMINIO	Al	mg/L	0.92
ANTIMONIO	Sb	mg/L	0.04
ARSÉNICO	As	mg/L	0.239
BARIO	Ba	mg/L	0.0015
BERILIO	Be	mg/L	0.0074
CADMIO	Cd	mg/L	0.059
CERIO	Ce	mg/L	0.0297
COBALTO	Co	mg/L	0.0089
COBRE	Cu	mg/L	0.999
ORO	Au	mg/L	0.019
CROMO	Cr	mg/L	0.048
ESTAÑO	Sn	mg/L	0.29
ESTRONCIO	Sr	mg/L	0.085
HIERRO	Fe	mg/L	1.593
LITIO	Li	mg/L	0.0035
MANGANESO	Mn	mg/L	0.985
MERCURIO	Hg	mg/L	0.221
MOLIBDENO	Mo	mg/L	0.0106
NIQUEL	Ni	mg/L	0.0089
PLATA	Ag	mg/L	0.34
PLOMO	Pb	mg/L	0.462
SELENIO	Se	mg/L	0.0226
SILICIO	Si	mg/L	4.8542

**ANEXO 8.** Parámetros de la muestra 06 obtenidos en el laboratorio químico metalúrgico “EL TRÉBOL” SAC.

<b>PARÁMETRO</b>	<b>SÍMBOLO</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>RESULTADOS</b>
ALUMINIO	Al	mg/L	0.9111
ANTIMONIO	Sb	mg/L	0.0430
ARSÉNICO	As	mg/L	0.2840
BARIO	Ba	mg/L	0.0016
BERILIO	Be	mg/L	0.0074
CADMIO	Cd	mg/L	0.0600
CERIO	Ce	mg/L	0.0296
COBALTO	Co	mg/L	0.0084
COBRE	Cu	mg/L	0.9980
ORO	Au	mg/L	0.0250
CROMO	Cr	mg/L	0.0320
ESTAÑO	Sn	mg/L	0.0400
ESTRONCIO	Sr	mg/L	0.0680
HIERRO	Fe	mg/L	1.5930
LITIO	Li	mg/L	0.0045
MANGANESO	Mn	mg/L	0.9800
MERCURIO	Hg	mg/L	0.2430
MOLIBDENO	Mo	mg/L	0.0110
NIQUEL	Ni	mg/L	0.0094
PLATA	Ag	mg/L	0.3350
PLOMO	Pb	mg/L	0.4620
SELENIO	Se	mg/L	0.0294
SILICIO	Si	mg/L	4.7993

**ANEXO 9.** *Parámetros de la muestra 07 obtenidos en el laboratorio químico metalúrgico “EL TRÉBOL” SAC.*

<b>PARÁMETRO</b>	<b>SÍMBOLO</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>RESULTADOS</b>
ALUMINIO	Al	mg/L	0.9153
ANTIMONIO	Sb	mg/L	0.0210
ARSÉNICO	As	mg/L	0.1850
BARIO	Ba	mg/L	0.0016
BERILIO	Be	mg/L	0.0071
CADMIO	Cd	mg/L	0.0640
CERIO	Ce	mg/L	0.0382
COBALTO	Co	mg/L	0.0094
COBRE	Cu	mg/L	0.9600
ORO	Au	mg/L	0.0100
CROMO	Cr	mg/L	0.0350
ESTAÑO	Sn	mg/L	0.2600
ESTRONCIO	Sr	mg/L	0.0834
HIERRO	Fe	mg/L	1.5940
LITIO	Li	mg/L	0.0065
MANGANESO	Mn	mg/L	0.9420
MERCURIO	Hg	mg/L	0.1820
MOLIBDENO	Mo	mg/L	0.0076
NIQUEL	Ni	mg/L	0.0083
PLATA	Ag	mg/L	0.2840
PLOMO	Pb	mg/L	0.4920
SELENIO	Se	mg/L	0.0254
SILICIO	Si	mg/L	4.8553

**ANEXO 10.** *Parámetros de la muestra 08 obtenidos en el laboratorio químico metalúrgico “EL TRÉBOL” SAC.*

<b>PARÁMETRO</b>	<b>SÍMBOLO</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>RESULTADOS</b>
ALUMINIO	Al	mg/L	0.9064
ANTIMONIO	Sb	mg/L	0.0210
ARSÉNICO	As	mg/L	0.1890
BARIO	Ba	mg/L	0.0014
BERILIO	Be	mg/L	0.0060
CADMIO	Cd	mg/L	0.0580
CERIO	Ce	mg/L	0.0311
COBALTO	Co	mg/L	0.0079
COBRE	Cu	mg/L	0.9890
ORO	Au	mg/L	0.0070
CROMO	Cr	mg/L	0.0150
ESTAÑO	Sn	mg/L	0.0910
ESTRONCIO	Sr	mg/L	0.0640
HIERRO	Fe	mg/L	1.6010
LITIO	Li	mg/L	0.0074
MANGANESO	Mn	mg/L	0.9960
MERCURIO	Hg	mg/L	0.2470
MOLIBDENO	Mo	mg/L	0.0103
NIQUEL	Ni	mg/L	0.0113
PLATA	Ag	mg/L	0.3140
PLOMO	Pb	mg/L	0.4570
SELENIO	Se	mg/L	0.0219
SILICIO	Si	mg/L	4.8604

REPORTE DE FOTOGRAFICO



Medida del pH del agua residual después del tratamiento con PAC



Muestra del agua residual con PAC



Muestra del agua residual con tratamiento de hidróxido



Balsas de Lixiviación



Ingreso a Bocamina “Potacas”