



Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica

Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica

**Lixiviación de concentrado en medio ácido empleando sales oxidantes y clorurantes
para la extracción de cobre**

Tesis

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico

Autores

Angelo Martin Montero Muñoz

Marjhorie Yessenia Pastor Cristobal

Asesor

Dr. Joaquín José Abarca Rodríguez



Huacho - Perú

2026



Reconocimiento - No Comercial – Sin Derivadas - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Reconocimiento: Debe otorgar el crédito correspondiente, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o su uso. **No Comercial:** No puede utilizar el material con fines comerciales. **Sin Derivadas:** Si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado. **Sin restricciones adicionales:** No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.



UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN LICENCIADA

(Resolución de Consejo Directivo N° 012-2020-SUNEDU/CD de fecha 27/01/2020)

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA

INFORMACIÓN DE METADATOS

| DATOS DEL AUTOR (ES): | | |
|--------------------------------------------------------------------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| NOMBRES Y APELLIDOS | DNI | FECHA DE SUSTENTACIÓN |
| Marjhorie Yessenia Pastor Cristobal | 72879456 | 14 de abril del 2026 |
| Angelo Martin Montero Muñoz | 75118418 | 14 de abril del 2026 |
| DATOS DEL ASESOR: | | |
| NOMBRES Y APELLIDOS | DNI | CÓDIGO ORCID |
| Joaquín José Abarca Rodríguez | 15740291 | https://orcid.org/0000-0003-1004-3824 |
| DATOS DE LOS MIEMBROS DE JURADOS – PREGRADO/POSGRADO-MAESTRÍA-DOCTORADO: | | |
| NOMBRES Y APELLIDOS | DNI | CODIGO ORCID |
| José Vicente Nunja García | 15447556 | https://orcid.org/0000-0002-9633-8190 |
| Máximo Cisneros Tejeira | 23904230 | https://orcid.org/0000-0001-7953-9559 |
| Delicias Eufemia Natividad Huasupoma | 15740030 | https://orcid.org/0000-0001-5142-6392 |
| | | |
| | | |

Montero Muñoz Angelo Martin 2025 - 079435

Lixiviación de concentrado en medio ácido empleando sales oxidantes y clorurantes para la extracción de cobre

 Quick Submit

 Quick Submit

 Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::1:3411051203

Fecha de entrega

14 nov 2025, 12:48 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

14 nov 2025, 1:33 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS_MONTERO_MU_OZ_ANGELO_MARTIN.docx

Tamaño del archivo

1.3 MB

88 páginas

17.451 palabras

101.723 caracteres



Página 2 de 95 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::1:3411051203




13% 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

- 12%  Fuentes de Internet
- 4%  Publicaciones
- 8%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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 lo revise.

DEDICATORIA

A mis padres, Ada y Óscar, por su amor, esfuerzo y confianza incondicional. A mi familia, por su apoyo constante, y a mi pareja, por estar siempre a mi lado.

DEDICATORIA

A mis padres, Edith y Víctor, por su amor, sacrificio y constante apoyo. A mis padrinos, Ylda y Percy, y a toda mi familia, por ser mi motor y creer siempre en mí.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la fuerza para seguir adelante. Al ingeniero José Abarca por su guía, y a la ingeniera Delicias Natividad por sus consejos y confianza. También a mi familia por su constante respaldo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco al ingeniero José Abarca por su guía y enseñanzas, y a todos los docentes que formaron parte de mi camino profesional. A mi familia y a mi pareja, por su apoyo incondicional en cada paso de esta etapa.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---------------------------------------------------|----|
| DEDICATORIA | 5 |
| AGRADECIMIENTO..... | 6 |
| ÍNDICE GENERAL..... | 7 |
| ÍNDICE DE TABLA..... | 10 |
| ÍNDICE DE FIGURA | 11 |
| ANEXO | 12 |
| RESUMEN | 14 |
| ABSTRACT | 15 |
| INTRODUCCIÓN | 16 |
| CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 17 |
| 1.1 Descripción de la realidad problemática. | 17 |
| 1.2 Formulación del Problema. | 19 |
| 1.2.1 Problema General. | 19 |
| 1.2.2 Problemas Específicos. | 19 |
| 1.3 Objetivos de la Investigación | 20 |
| 1.3.1 Objetivo General..... | 20 |
| 1.3.2 Objetivo Especifico..... | 20 |
| 1.4 Justificación de la Investigación | 20 |
| 1.5 Delimitación del Estudio. | 23 |
| 1.5.1 Delimitación Temporal..... | 23 |
| 1.5.2 Delimitación Espacial..... | 23 |
| 1.5.3 Delimitación Teórica. | 23 |
| CAPITULO II MARCO TEÓRICO | 24 |
| 2.1. Antecedentes de la Investigación..... | 24 |

| | | |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------|----|
| 2.1.1. | Investigación Internacional. | 24 |
| 2.1.2. | Investigación Nacional. | 25 |
| 2.2. | Bases Teóricas. | 27 |
| 2.2.1. | Lixiviación de concentrado de cobre. | 27 |
| 2.2.2. | Variables de lixiviación. | 28 |
| 2.2.2.1. | Tiempo de lixiviación. | 29 |
| 2.2.2.2. | pH. | 30 |
| 2.2.2.3. | Concentración de soluciones lixiviantes. | 31 |
| 2.2.2.4. | Temperatura. | 32 |
| 2.2.2.5. | Granulometría. | 32 |
| 2.2.2.6. | Mineralogía. | 33 |
| 2.2.3. | Concentrado de cobre. | 34 |
| 2.2.4. | Tostación de mezcla de sales oxidantes y clorurantes. | 34 |
| 2.2.5. | Lixiviación de concentrado de cobre, plata y oro tostado. | 37 |
| 2.2.6. | Diseño factorial. | 40 |
| 2.3. | Definiciones conceptuales. | 42 |
| 2.4. | Hipótesis de la Investigación. | 44 |
| 2.4.1. | Hipótesis General. | 44 |
| 2.4.2. | Hipótesis Específicos. | 44 |
| 2.5. | Operacionalización de Variables e Indicadores. | 45 |
| CAPITULO III METODOLOGÍA | | 46 |
| 3.1. | Diseño metodológico. | 46 |
| 3.2. | Procedimiento para realizar las pruebas. | 48 |
| 3.3. | Población y muestra. | 50 |
| 3.4. | Técnicas e instrumentos de recolección de datos | 50 |

| | |
|------------------------------------------------------------|----|
| 3.5. Técnicas para el procesamiento de la información..... | 51 |
| CAPITULO IV RESULTADOS..... | 52 |
| 4.1. Análisis de resultados..... | 52 |
| 4.1.1. Condiciones experimentales..... | 52 |
| 4.1.2. Resultados de las pruebas..... | 53 |
| 4.2. Contratación de hipótesis..... | 58 |
| 4.2.1. Contratación de hipótesis general..... | 58 |
| 4.2.2. Contratación de hipótesis específico..... | 61 |
| CAPÍTULO V DISCUSIÓN..... | 63 |
| 5.1. Discusión de resultados..... | 63 |
| CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 65 |
| 6.1. Conclusiones..... | 65 |
| 6.2. Recomendaciones..... | 66 |
| CAPÍTULO VII REFERENCIAS..... | 67 |
| 7.1. Referencias bibliografía..... | 67 |
| ANEXOS..... | 83 |

ÍNDICE DE TABLA

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1 Forma, medio y mecanismo de lixiviación de minerales | 28 |
| Tabla 2 ANOVA de dos factores muestra la varianza explicada por cada factor, la interacción entre los factores y el error. | 41 |
| Tabla 3 Operacionalización de las variables e indicadores | 45 |
| Tabla 4 Intervalo de las pruebas a realizar de las dos variables | 52 |
| Tabla 5 Diseño de 4 pruebas variables y dos centrales | 53 |
| Tabla 6 Cinética de lixiviación de concentrado de cobre previo oxidación con ClNa y KNO_3 | 53 |
| Tabla 7 Resultado de las 6 pruebas experimentales realizados en la lixiviación de concentrado de cobre | 54 |
| Tabla 8 Resumen de las pruebas experimentales..... | 55 |
| Tabla 9 Análisis de la varianza para la ley de cobre en la solución en relación de KNO_3 y NaCl | 58 |
| Tabla 10 Análisis de varianza (ANOVA) para la recuperación de cobre en la lixiviación con sales oxidantes en un medio ácido | 60 |
| Tabla 11 Análisis de varianza del tiempo en la lixiviación de concentrado de cobre en medio ácido con sales oxidantes y clorurantes..... | 62 |

ÍNDICE DE FIGURA

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Variables de la lixiviación de minerales (Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 1988)..... | 29 |
| Figura 2 Curva de recuperación de cobre vs tiempo..... | 54 |
| Figura 3 Gráfico de contorno para la calidad de solución en relación KNO ₃ y NaCl..... | 55 |
| Figura 4 Grafica de superficie de la ley de cobre en relación de NaCl y KNO ₃ | 56 |
| Figura 5 Grafica de contorno para la recuperación de cobre en relación de NaCl y KNO ₃ .. | 56 |
| Figura 6 Grafica de superficie para la recuperación de cobre en relación de KNO ₃ y NaCl | 57 |
| Figura 7 Diagrama de Pareto en la ley de cobre en lixiviación de concentrado con NaCl y KNO ₃ | 59 |
| Figura 8 Diagrama de Pareto en la recuperación de cobre en la lixiviación con sales oxidantes | 60 |

ANEXO

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Anexo 1 localización..... | 84 |
| Anexo 2 Instrumentos para la toma de datos..... | 85 |
| Anexo 3 Matriz de consistencia..... | 86 |
| Anexo 4 Prueba de cinética de lixiviación del concentrado de cobre..... | 87 |
| Anexo 5 Resultado de las 6 pruebas de lixiviación de concentrado de cobre | 88 |
| Anexo 6 Fotos de la lixiviación de concentrado de cobre..... | 89 |

ABREVIATURA

| | |
|--------|------------------------------------------------------------------|
| ONU | : Onanismo de las Naciones Unidas |
| OECD | : Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos |
| CEPAL | : Comisión Económica para América Latina y el Caribe |
| PIB | : Producto interno bruto |
| MINEM | : Ministerio de energía y minas |
| OEFA | : Organismo de evaluación fiscalización ambiental |
| EDTA | : Ácido etilendiaminotetraacético |
| UNJFSC | : Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión |
| FIQyM | : Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica |
| EPIM | : Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica |
| CIyDTM | : Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico de Materiales |
| msnm | : Metros sobre el nivel del mar |
| pH | : Potencial de hidrogeno |
| M | : Molaridad mol/L |
| g/L | : Gramo por litro |
| mm | : Milímetro |
| % | : Porcentaje |
| & | : I |

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la influencia del cloruro de sodio (NaCl) y nitrato de potasio (KNO₃) como agentes clorurantes y oxidantes, respectivamente, en la lixiviación de concentrado sulfurado de cobre en medio ácido. La investigación fue de tipo experimental, utilizando un diseño factorial 2² con dos niveles y dos réplicas centrales, lo que permitió analizar el efecto individual y combinado de los reactivos sobre la recuperación de cobre. Las pruebas se realizaron empleando 234 g de concentrado con una ley de 17.49% Cu. El material fue previamente oxidado a 200 °C por 30 minutos, pulverizado a malla 200 (60%) y posteriormente sometido a lixiviación durante 72 horas en un medio ácido con pH 0.8 ajustado con H₂SO₄. Se realizaron también ensayos cinéticos durante 88 horas para evaluar la evolución de la recuperación en el tiempo. La concentración de cobre disuelto se determinó por iodometría. Los resultados mostraron que la mayor recuperación de cobre (65.81%) se obtuvo con 50 g/kg de KNO₃ y 100 g/kg de NaCl. El análisis estadístico (ANOVA) evidenció que tanto NaCl como KNO₃, así como su interacción, influyen significativamente ($p < 0.05$) en la recuperación y concentración de cobre. El tiempo también mostró un efecto positivo con $R^2 = 0.694$. Se concluye que la lixiviación en medio ácido con sales oxidantes y clorurantes es eficaz para la extracción de cobre, siendo necesario optimizar las condiciones de operación para maximizar los resultados metalúrgicos de forma eficiente y controlada.

Palabra clave: Lixiviación ácida, Concentrado de cobre, Agentes oxidantes y clorurantes, Recuperación de cobre

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the influence of sodium chloride (NaCl) and potassium nitrate (KNO₃) as chlorinating and oxidizing agents, respectively, in the leaching of copper sulfide concentrate in acid media. The research was experimental, using a 2² factorial design with two levels and two central replicates, which allowed analyzing the individual and combined effect of the reagents on copper recovery. The tests were carried out using 234 g of concentrate with a 17.49% Cu grade. The material was previously oxidized at 200 °C for 30 minutes, pulverized at 200 mesh (60%) and subsequently subjected to leaching for 72 hours in an acid medium with pH 0.8 adjusted with H₂SO₄. Kinetic tests were also performed for 88 hours to evaluate the evolution of recovery over time. The dissolved copper concentration was determined by iodometry. The results showed that the highest copper recovery (65.81%) was obtained with 50 g/kg KNO₃ and 100 g/kg NaCl. Statistical analysis (ANOVA) evidenced that both NaCl and KNO₃, as well as their interaction, significantly ($p < 0.05$) influence copper recovery and concentration. Time also showed a positive effect with $R^2 = 0.694$. It is concluded that acid leaching with oxidizing and chloride salts is effective for copper extraction, being necessary to optimize the operating conditions to maximize the metallurgical results in an efficient and controlled manner.

Keyword: Acid leaching, Copper concentrate, Oxidizing and chlorinating agents, Copper recovery

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de concentrados sulfurados de cobre mediante procesos hidrometalúrgicos ha cobrado creciente interés como alternativa a los métodos pirometalúrgicos tradicionales, debido a sus menores impactos ambientales y la posibilidad de recuperar metales valiosos de manera más eficiente. Sin embargo, la lixiviación de minerales sulfurados como la calcopirita presenta retos técnicos importantes, debido a su naturaleza refractaria y la formación de capas pasivantes durante el proceso. En este contexto, el uso de agentes oxidantes y clorurantes ha mostrado ser una estrategia prometedora para mejorar la disolución del cobre.

Diversos estudios han reportado que la incorporación de sales como nitrato de potasio (KNO_3) y cloruro de sodio (NaCl) en medios ácidos facilita la ruptura de la matriz sulfurosa, promoviendo la oxidación de los sulfuros y aumentando la eficiencia del proceso lixivante. No obstante, la eficiencia de esta técnica depende de factores clave como la concentración de los reactivos, el tiempo de reacción, el pH del medio y la temperatura.

En ese sentido, esta investigación se enfoca en evaluar la influencia de KNO_3 y NaCl sobre la lixiviación de concentrado sulfurado de cobre en medio ácido, aplicando un diseño factorial que permita analizar la interacción de variables y optimizar las condiciones operativas. El objetivo es determinar si esta combinación de sales mejora significativamente la recuperación de cobre, contribuyendo así al desarrollo de tecnologías más limpias, eficientes y sostenibles para el tratamiento de minerales complejos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática.

La lixiviación de concentrados de cobre en medio ácido con sales oxidantes y clorurantes enfrenta desafíos multifacéticos. A nivel internacional, la demanda creciente de cobre para energías renovables contrasta con las críticas a los métodos hidrometalúrgicos por su alto consumo de agua y generación de residuos ácidos, factores que tensionan los compromisos ambientales globales como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ONU, 2020); (OECD, 2022). Regionalmente, en América Latina, países como Chile y Perú enfrentan presiones para modernizar técnicas mineras, mientras la escasez hídrica y los conflictos socioambientales limitan la expansión de proyectos, especialmente en zonas áridas como la costa pacífica (CEPAL, 2021). En Perú, a nivel nacional, la dependencia económica de la minería (20% del PIB) choca con regulaciones ambiguas, como la Ley de Minería N° 27651, que no abordan eficazmente los riesgos de contaminación por lixiviantes, generando desconfianza en comunidades locales (MINEM, 2023).

Localmente, en Huacho (región Lima), la posible implementación de estas técnicas enfrenta resistencia por su impacto en ecosistemas frágiles, como los humedales de Santa María, vitales para la agricultura y biodiversidad. Estudios del OEFA (2023) alertan sobre riesgos de acidificación de suelos y contaminación de acuíferos, agravados por la cercanía a zonas residenciales. Además, la conflictividad social se intensifica por la percepción de marginalización en la toma de decisiones, evidenciada en protestas contra proyectos extractivos en distritos aledaños (Municipalidad de Huacho, 2022). Así, la técnica refleja un dilema entre desarrollo económico y sostenibilidad, exigiendo políticas que integren innovación tecnológica, participación comunitaria y protección de recursos críticos en contextos locales vulnerables.

En lo técnico, la lixiviación de concentrados de cobre en medio ácido utilizando sales oxidantes y clorurantes es un proceso que ha cobrado relevancia debido a la creciente demanda de cobre y la disminución de las reservas de minerales de alta ley. Este proceso se basa en la disolución de minerales de cobre mediante la aplicación de soluciones ácidas, donde se emplean agentes oxidantes para facilitar la extracción del metal. La lixiviación ácida, compuesta con ácido sulfúrico, ha demostrado ser efectiva, pero también presenta desafíos significativos, como la generación de subproductos tóxicos y la necesidad de un manejo adecuado de los residuos (Peralta, 2023). El uso de sales oxidantes, como el peróxido de hidrógeno, en combinación con ácidos, ha demostrado mejorar la eficiencia de la lixiviación. Investigaciones recientes han indicado que la combinación de ácido sulfúrico con peróxido de hidrógeno puede aumentar la solubilización del cobre, permitiendo recuperar hasta un 90% de este metal en condiciones óptimas (Núñez & Delgado, 2023; Ruiz-Sánchez & Lapidus, 2022). Además, el uso de soluciones de ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) ha sido explorado como una alternativa para la lixiviación de minerales oxidados, mostrando resultados prometedores en la extracción de cobre en medios básicos ("Obtención de iones cobre (II) desde mineral oxidado en presencia de solución de ácido etilendiaminotetraacético en medio básico", 2024). Sin embargo, la lixiviación ácida presenta desventajas significativas, como la producción de gases tóxicos y la generación de compuestos arsenicales durante el proceso, lo que plantea riesgos ambientales (Peralta, 2023).

La necesidad de capturar y convertir estos gases en productos menos nocivos, como el ácido sulfúrico, es un desafío que debe ser abordado para hacer el proceso más sostenible (Peralta, 2023). Además, la lixiviación de minerales complejos, como la calcopirita, requiere condiciones controladas para evitar la formación de subproductos indeseables y maximizar la recuperación del cobre (Mendez-Velasco et al., 2023). Por otro lado, la investigación en

métodos alternativos, como la biolixiviación, está ganando como una forma de reducir el uso de reactivos tóxicos y mejorar la sostenibilidad del proceso (Bravo-Cuevas, 2024).

La biolixiviación utiliza microorganismos para extraer metales de los minerales, lo que puede ser una solución viable para la recuperación de cobre de manera más ecológica (Bravo-Cuevas, 2024). Sin embargo, la implementación de estos métodos aún enfrenta retos en términos de eficiencia y escalabilidad en comparación con los métodos tradicionales de lixiviación ácida.

La lixiviación de concentrados de cobre en medio ácido utilizando sales oxidantes y clorurantes es un proceso complejo que ofrece oportunidades para mejorar la recuperación de cobre, pero también presenta desafíos ambientales y técnicos que deben ser abordados. La investigación continúa en métodos alternativos y la optimización de las condiciones de lixiviación son esenciales para avanzar hacia prácticas más sostenibles en la extracción de cobre.

Teniendo la importancia de extraer el cobre mediante sales oxidantes y clorurantes como métodos alternativos, que sean más eficientes que los métodos tradicionales. En base a ello es necesario realizar un estudio sobre la lixiviación de concentrado de cobre en un medio ácido donde se emplearán sales oxidante y clorurante con la finalidad de ver en qué porcentaje se puede extraer de los sulfuros metálicos.

1.2 Formulación del Problema.

1.2.1 Problema General.

¿En qué medida la lixiviación de concentrados la mezcla de sales oxidantes y clorurantes influyen en la extracción de cobre?

1.2.2 Problemas Específicos.

¿Cómo la concentración de nitrato de potasio en la lixiviación de sales oxidantes y clorurantes influye en la extracción de cobre?

¿Cómo la concentración de cloruro de sodio en la lixiviación de sales oxidantes y clorurantes influye en la extracción de cobre?

¿En qué medida el tiempo en la lixiviación de sales oxidantes y clorurantes influye en la recuperación de cobre?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General.

Analizar en qué medida la lixiviación de concentrados en medio ácido empleando sales oxidantes y clorurantes influyen en la extracción de cobre.

1.3.2 Objetivo Especifico

Evaluar en qué medida la concentración de la mezcla de oxidantes y clorurantes influye en la extracción de cobre.

Evaluar en qué medida la concentración de cloruro de sodio en la lixiviación de sales oxidantes y clorurantes influye en la extracción de cobre.

Evaluar en qué medida el tiempo en la lixiviación de sales oxidantes y clorurantes influye en la recuperación de cobre.

1.4 Justificación de la Investigación

La investigación sobre la lixiviación de concentrado en medio ácido utilizando sales oxidantes y clorurantes para la extracción de cobre justifica su realización en múltiples dimensiones que abarcan la teoría, la práctica, la metodología, el impacto social, ambiental y económico, destacando su relevancia en el contexto actual de la minería y la necesidad de prácticas más sostenibles.

Justificación Teórica: Desde una perspectiva teórica, el estudio de la lixiviación de concentrados de cobre en soluciones ácidas, empleando sales oxidantes y clorurantes, resalta la importancia de comprender a profundidad cómo se llevan a cabo los procesos de extracción de metales desde los minerales. Este método se basa en reacciones químicas que facilitan la

disolución y posterior separación de los metales contenidos en la roca, convirtiéndose en una técnica esencial dentro de la metalurgia para aprovechar de manera eficiente los recursos minerales, y su optimización es crucial para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de la minería. Este estudio contribuirá al desarrollo de modelos teóricos que expliquen la cinética y la termodinámica del proceso de lixiviación, lo que puede abrir nuevas líneas de investigación en hidrometalurgia.

Por otra parte, el estudio contribuye a profundizar el conocimiento sobre los mecanismos químicos de la lixiviación ácida con sales oxidantes (ej. cloruro férrico) y clorurantes, un área con vacíos en la literatura respecto a la sinergia entre agentes y su eficiencia en minerales complejos (Herreros y otros, 2018). Además, integra enfoques de hidrometalurgia sostenible, alineados con teorías de economía circular y minimización de residuos (OECD, 2021), esenciales para transitar hacia modelos extractivos de baja huella ambiental.

Justificación Práctica: Desde un enfoque práctico, la investigación tiene el potencial de mejorar su extracción en soluciones la recuperación de cobre de fuentes mineralizados que actualmente son consideradas de baja ley o económicamente inviables. La aplicación de sales oxidantes y clorurantes por el medio del proceso donde se realizan la lixiviación podría aumentar significativamente en el rendimientos del medio de extracción, lo que podría resultar en un incremento de la capacidad de producción de metales. Además, este enfoque podría ser relevante para las operaciones mineras que buscan optimizar sus procesos y reducir pérdidas de material, llevando a una operación más eficiente y rentable.

Justificación Metodológica: En términos metodológicos, el estudio permitirá la implementación de técnicas analíticas que puedan ser evaluadas y ajustadas en función de los resultados obtenidos. Se podrá emplear un diseño experimental que utilice variables controladas para comparar diferentes condiciones de lixiviación, como la concentración de sales, temperatura, y tiempo de reacción. Esto no solo proporcionará datos significativos para

la mejora del proceso, sino que también podrá ser un modelo para futuros estudios sobre la lixiviación de otros metales o minerales en condiciones variadas.

Justificación Social: Desde la perspectiva social, mejorar la eficiencia en la extracción de cobre no solo beneficiará a las empresas mineras, sino que también puede repercutir positivamente en las comunidades locales. La generación de empleo, el estímulo a la economía local y la reducción del impacto ambiental son factores que pueden influir en la percepción pública de la minería. La investigación sobre métodos más eficientes y menos contaminantes es vital para fomentar una minería responsable que pueda coexistir con el desarrollo sostenible de las comunidades.

Justificación Ambiental: La lixiviación con sales oxidantes y clorurantes, se puede suponer una alternativa más amigable con el medio ambiente en comparación con métodos tradicionales que emplean productos químicos más tóxicos. Un proceso de lixiviación bien diseñado podría minimizar el uso de cianuros y otros agentes dañinos, reduciendo así la contaminación del suelo y del agua. Además, al mejorar la recuperación de metales de concentrados y residuos, se pueden disminuir el uso de ácidos, y evitar la generación de gases tóxicos que son generados en la pirometalurgia, el método se alinea con estándares internacionales como el Convenio de Minamata y la Agenda 2030 (ONU, 2015). Además, el uso de sales regenerables minimiza la dependencia de reactivos vírgenes, avanzando hacia una minería circular (CEPAL, 2022).

Justificación Económica: Desde un punto de vista económico, el estudio propone una solución que puede reducir los costos operativos de las empresas mineras. Una mayor eficiencia en la recuperación de cobre significa menores costos de producción por unidad, lo que puede traducirse en una mayor competitividad en el mercado global. Adicionalmente, al optimizar el uso de recursos y minimizar los desechos, se puede contribuir a una economía

circular en la industria minera, donde los recursos se utilizan de manera más sostenible y se aprovechan los subproductos del proceso.

1.5 Delimitación del Estudio.

1.5.1 Delimitación Temporal.

Esta investigación se llevó a cabo durante seis meses en el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico de Materiales, espacio perteneciente a la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, donde se realizaron todas las actividades experimentales.

1.5.2 Delimitación Espacial.

La investigación se desarrolló en el Perú, específicamente en la región Lima, provincia de Huaura, distrito de Huacho. El escenario principal fue la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, dentro de la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica, en la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica y su Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico de Materiales. Este lugar se ubica a una altitud de 35 msnm, con coordenadas geográficas aproximadas de 11.126075 de latitud sur y 77.609317 de longitud oeste, que sitúan con precisión el espacio donde se llevaron a cabo las actividades de investigación (Google Maps, 2013) (Maps, 2013)

1.5.3 Delimitación Teórica.

La delimitación teórica de la investigación sobre lixiviación de concentrados de cobre en medio ácido con sales oxidantes y clorurantes se centrará en las reacciones químicas que facilitan la extracción de cobre, sin incluir otros metales ni métodos alternativos. Se evaluarán los aspectos ambientales y sociales asociados, y se limitará a condiciones experimentales específicas, como temperatura y concentración, utilizando técnicas analíticas para medir la eficiencia del proceso.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1. Investigación Internacional.

Chen y otros (2022) en el trabajo efectuado respecto a “Lixiviación de Oro y Plata a partir de un Concentrado Complejo de Sulfuro en Soluciones de Tartrato de Cobre y Tiosulfato”, artículo publicado en Metals, es una investigación experimental, se realizó el tratamiento a menas que contenían los minerales de fuentes sulfuros de cobre, donde se evaluaron la concentración de tartrato, tiosulfato, cobre, temperatura y pH de la pulpa, se obtuvo como resultado la extracción del 74,50% Au y 36,33% Ag, con una recuperación promedio de 82.6%, 70.38% respectivamente. Concluyendo que el tartrato y el tiosulfato es eficiente y ecológico en la extracción de oro y plata, como alternativa segura y económica.

Méndez y otros (2023) en su artículo sobre “Lixiviación de calcopirita con ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) en medio oxidante” publicado en la revista La visión de la Universidad de Sonora inspira esta investigación, la cual se enmarca en un enfoque experimental. En ella se busca comprender, mediante la práctica y la observación, los procesos y resultados que permiten aportar nuevo conocimiento en el área de estudio, para minerales de cobre con presencia de calcopirita, bornita y calcosina con la finalidad de extraer cobre de la calcopirita mediante la lixiviación prologada por su estabilidad del mineral, mediante el EDTA y peróxido de hidrogeno. Como resultado se obtuvo una extracción del 20.04% de cobre y una disolución del hierro de 0.2% y un pH de 4.5 y una concentración de 0.0006M de EDTA. Concluyendo que una lixiviación controlada y baja concentración de EDTA permite una recuperación selectiva y eficiente de cobre.

Ruiz y Lapidus (2022) en su artículo respecto a “Cinética de lixiviación de calcopirita en medio acuoso de etilenglicol-peróxido de hidrógeno-ácido sulfúrico” publicado en la revista

ciencia de la tierra y materiales, con carácter de investigación experimental en ello se emplearon ácido sulfúrico, peróxido de hidrogeno y etilenglicol en una concentración de 0.7M, 1M, 3.5M respectivamente. Como resultado de la lixiviación de la calcopirita se obtuvo una recuperación más adecuada en una temperatura del orden de 10°C – 30°C, mientras que con un cambio de temperatura entre 40°C y 50°C se tiene una disminución en la lixiviación debido a que el peróxido de hidrogeno se descompone. Concluyendo que la temperatura afecta en la lixiviación de calcopirita (p. 58).

(Hernández y otros, 2020) en el artículo sobre “Caliche y agua de mar, fuentes de iones nitrato y cloruro para la lixiviación de calcopirita en medios ácidos” depositado en la revista Metals, es un trabajo experimental donde se evaluaron la lixiviación del cobre a partir de la calcopirita donde se consideraron las variables la concentración de nitrato, cloruro de fuente de agua de mar, temperatura, relación solida líquido, tamaño de partícula y ácido sulfúrico. Obteniendo el resultado del 50% de extracción de cobre con 0.7 M ácido sulfúrico y nitrato de sodio a 45°C. Concluyen que la lixiviación de calcopirita em medio acido, nitrato y cloruro permite una recuperación significativa de cobre utilizando recursos como el agua de mar y salmuera.

2.1.2. Investigación Nacional.

Huaracha (2021) En su trabajo sobre respecto a “Lixiviación de Concentrados Flotación de Cobre utilizando Sales Oxidantes Férricas y Medios Clorurantes” ste trabajo, disponible en el repositorio institucional de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, corresponde a una investigación de carácter experimental, desarrollada con el propósito de generar conocimiento aplicado en el área de estudio, para ello se emplearon concentrado de cobre con cloruro férrico y cloruro de sodio, los resultados obtenidos es factible la lixiviación de cobre obteniendo una recuperación de 62%, en un plazo de 72 horas, agregando 11g/L de

FeCl_3 y 2.5 g/L de NaCl. Las sales empleadas tienen efecto en la disolución de cobre y su recuperación (Díaz, 2023, p. 98).

Núñez y Delgado (2023) en su investigación realizada respecto a “Recuperación de cobre, zinc, oro y plata desde minerales polimetálicos por lixiviación en solución oxidante amoniacal” El estudio se encuentra publicado en la revista del Instituto de Investigación de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas, como parte de la difusión académica y científica en este campo especializado, el presente trabajo de investigación tiene con carácter experimental se llevaron el estudio a minerales mixto con cobre, plomo, zinc y plomo mediante el empleo de peróxido de hidrogeno y amoniaco a un pH entre 9 a 10. El resultado de En el proceso de lixiviación se alcanza una recuperación cercana al 90%, lo que refleja una eficiencia significativa en la extracción del metal para el oro, plata y cobre, para la precipitación de estos elementos se realizaron con polvo de zinc, lo que a nivel de costos tiene una ventaja competitiva con los métodos tradicionales. Concluyendo que la lixiviación mediante peróxido de hidrogeno y amoniaco es eficiente y económico para la extracción de metales preciosos y comunes.

Chipana (2021) desarrolló una investigación en la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, publicada en su repositorio institucional, cuyo objetivo fue evaluar la lixiviación de minerales refractarios de cobre en medio ácido es un proceso químico que disuelve selectivamente el metal, superando limitaciones mineralógicas para lograr una recuperación eficiente con NaCl– H_2SO_4 . Este estudio tiene un enfoque experimental a nivel laboratorio, se realizó bajo condiciones controladas: molienda de 30 minutos, pH 1,5 y reactivos con 95 % de pureza. Los ensayos de lixiviación en sulfuros primarios y secundarios alcanzaron en 12 días recuperaciones de 35,3 % con H_2SO_4 y 35,8 % con NaCl, confirmando La elevada capacidad de lixiviación del ion cloruro se debe al potencial oxidante generado en el sistema redox $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^+$. Se concluye que la combinación evaluada favorece la recuperación de cobre en minerales refractarios.

Catachura (2024) llevó a cabo en la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann una investigación aplicada al sector minero, orientada a evaluar la lixiviación simultánea de minerales cupríferos y auríferos del yacimiento Señor de Locumba. Para ello se utilizó ácido sulfúrico concentrado en combinación con sales oxidantes disueltas en agua de mar, con el propósito de determinar la eficiencia y viabilidad de este proceso en la recuperación de metales valiosos. El estudio, de tipo experimental con diseño factorial 2^k y tres réplicas en el centro, utilizó agitación controlada, manteniendo constante la granulometría, sólidos, rpm y tiempo. El análisis con STATGRAPHICS Centurión mostró recuperaciones máximas de 54,86 % de oro y 92,64 % de cobre. Se concluye que la adición de sales oxidantes permite lixiviar eficazmente ambos metales en un solo proceso.

2.2. Bases Teóricas.

2.2.1. Lixiviación de concentrado de cobre.

La lixiviación de minerales es una técnica hidrometalúrgica mediante la cual se disuelven los componentes de la roca para extraer de manera selectiva el metal de interés, como el oro o el cobre, de una roca o mineral mediante la disolución en una solución química. Este proceso se lleva a cabo en tanques o pilas, donde el mineral se expone a una solución de reactivos que disuelven el mineral objetivo (Sohn & Wadsworth, 2013).

La lixiviación en tanques se realiza en recipientes controlados, mientras que la lixiviación en pilas se realiza en grandes montículos de mineral que se riegan con la solución de lixiviación. La solución rica, que contiene el mineral disuelto, se separa del material sólido y se procesa para recuperar el mineral objetivo (Vignes, 2011).

Existen diferentes tipos de lixiviación, como la lixiviación ácida, la lixiviación alcalina y la lixiviación con cianuro, dependiendo del mineral que se esté procesando. La lixiviación

ácida se utiliza para minerales de cobre, mientras que la lixiviación con cianuro se utiliza para minerales de oro (Sohn & Wadsworth, 2013).

Tabla 1

Forma, medio y mecanismo de lixiviación de minerales (Delgado, 2023)

| Lixiviación | Dimensión | Indicadores |
|--------------------|------------------|-----------------------|
| Forma | • Dinámica | ✓ Agitación mecánica |
| | | ✓ Agitación neumática |
| | • Estática | ✓ In situ |
| | | ✓ Botadero |
| Medio | • Acido | ✓ Ácido sulfúrico |
| | | ✓ Ácido clorhídrico |
| | • Básico | ✓ Cianuro de sodio |
| | | ✓ Hidróxido de sodio |
| Mecanismo | • Químico | ✓ Acido |
| | | ✓ Básico |
| | | ✓ Neutro |
| | • Biológico | ✓ Bacterias |
| | | ✓ Hongos |

2.2.2. Variables de lixiviación.

La lixiviación de minerales por agitación consiste en extraer metales valiosos de los minerales mediante la disolución de estos en soluciones acuosas de reactivos químicos, bajo condiciones controladas de agitación. Las variables principales que influyen en este proceso incluyen el tipo y la composición del mineral, las características del reactivo lixivante (como

su concentración y el pH), las condiciones de agitación (velocidad y tiempo), la temperatura y factores auxiliares como la presión y la presencia de catalizadores. Estas variables deben optimizarse para maximizar la recuperación del metal deseado y minimizar costos y residuos (Ghosh & Ray, 1991).

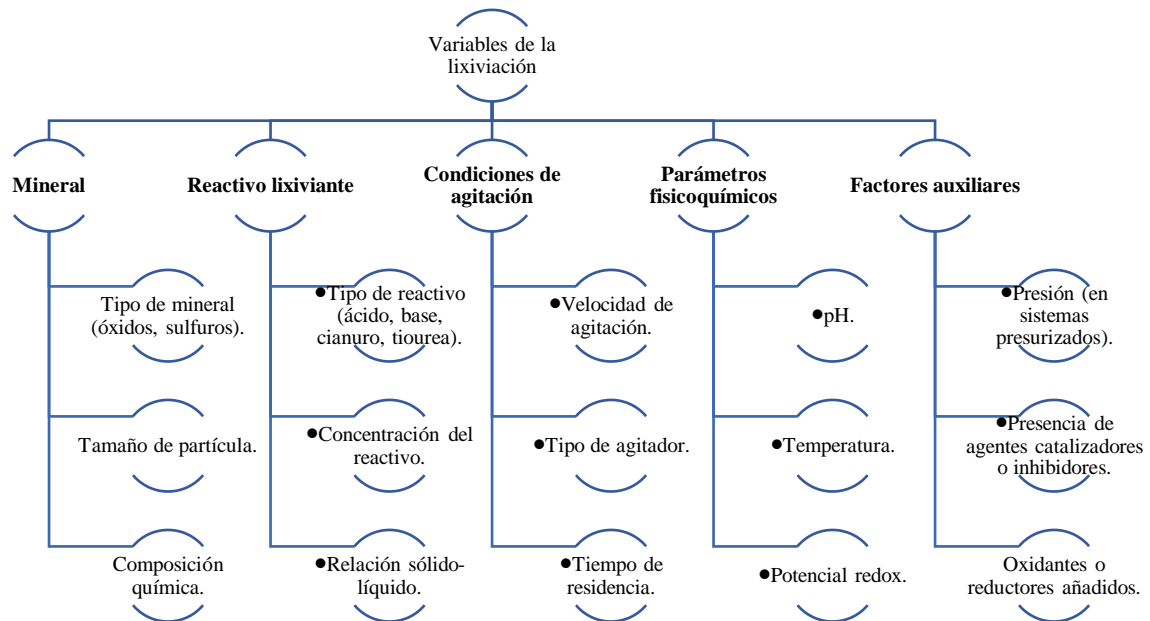


Figura 1: Variables de la lixiviación de minerales (Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 1988).

2.2.2.1. Tiempo de lixiviación.

El tiempo de lixiviación son Condiciones ideales para lograr una extracción eficiente de cobre a partir de minerales mediante el proceso de lixiviación por agitación en generalmente se encuentra en el rango de 4 a 6 horas. Los autores indican que se obtuvo una extracción de cobre óptima del 63.9% con una agitación mecánica a 400 rpm durante 3 horas a temperatura ambiente (Hernández y otros, 2019). Por otra parte, los mejores resultados se obtuvieron con un tiempo de lixiviación de 4 horas (Zheng y otros, 2023), mientras que en los experimentos realizados con un tiempo de lixiviación de 6 horas se llegaron al 90% de recuperación (Hosseinzadeh y otros, 2021). En los realizados los autores encontraron que se logró una extracción de cobre óptima bajo los parámetros de lixiviación óptimos (Bai y otros, 2018).

El periodo de lixiviación más adecuado para obtener una extracción eficiente de cobre a partir de sus minerales mediante este proceso por agitación generalmente se encuentra en el rango de 4 a 6 horas, dependiendo de las condiciones específicas del proceso.

2.2.2.2. pH.

El pH constituye un factor determinante en la lixiviación de minerales de cobre, ya que influye directamente en la eficiencia del proceso de extracción. En el caso de minerales oxidados como la cuprita y la crisocola, un medio ácido moderado (pH entre 1 y 3), generalmente obtenido con ácido sulfúrico, resulta favorable para disolver el cobre en forma de iones cúpricos (Cu^{2+}). Por otro lado, la lixiviación de minerales sulfurados, como la calcopirita y la calcocita, requiere condiciones más extremas, con un pH inferior a 1 y la presencia de agentes oxidantes como el ion férrico (Fe^{3+}) que facilitan la oxidación del cobre. Si bien la disminución del pH incrementa la velocidad de disolución, también conlleva un mayor consumo de ácido, lo que plantea un balance entre eficiencia y costo operativo (*Schlesinger y otros, 2011*).

El rango de pH más adecuado para la lixiviación de minerales de cobre suele situarse entre valores de 1 y 2, lo que garantiza condiciones favorables para la disolución del metal (*Conić y otros, 2020*). Un pH cercano a 1.03 marca el punto a partir del cual la extracción de cobre mediante lixiviación alcanza una mayor eficiencia en el proceso (*Toro N. y otros, 2021*). El pH más adecuado para la lixiviación de minerales de cobre no es un valor fijo, ya que puede variar según factores como el tipo de mineral tratado, la presencia de impurezas y otras condiciones del proceso (*Oliveira y otros, 2014*). Por ello, resulta fundamental mantener un control riguroso del pH a lo largo del proceso de lixiviación, ya que de este modo se optimiza la eficiencia en la extracción del cobre (*oizhanova y otros, 2023*).

El rango de pH considerado más adecuado para la lixiviación de minerales de cobre suele ubicarse entre 1 y 2, lo que favorece la disolución eficiente del metal, pero puede variar dependiendo de las características específicas del mineral y del proceso de lixiviación.

2.2.2.3. Concentración de soluciones lixiviantes.

La cantidad de ácido sulfúrico empleada durante la lixiviación de minerales de cobre constituye un factor crucial que afecta la eficiencia del proceso. Si bien una mayor concentración de ácido puede impulsar aun una mayor recuperación de cobre puede lograrse, este incremento suele ir acompañado de un mayor consumo de ácido por parte de las soluciones de lixiviación impurezas del mineral, lo que puede afectar negativamente la rentabilidad del proceso. Un estudio cinético puede ayudar a determinar la concentración óptima de ácido sulfúrico para maximizar la lixiviación de cobre y minimizar el consumo de ácido, mejorando la economía del proceso (*Guiachetti Torres, 2011*).

En la práctica, La concentración de ácido sulfúrico empleada en el proceso de lixiviación de minerales de cobre representa un parámetro decisivo que condiciona tanto la disolución del metal como la eficiencia global del proceso suele estar entre 100 y 200 g/L (*Schlesinger y otros, 2011*). Sin embargo, la concentración óptima debe determinarse mediante pruebas de laboratorio para evaluar la tasa de lixiviación, mediante la eficiencia de recuperación del cobre, la pureza obtenida del metal y la cantidad de ácido sulfúrico consumido durante el proceso.

La concentración típica de ácido sulfúrico en la lixiviación de minerales de cobre varía entre 10 g/L y 50 g/L, dependiendo del tipo de mineral y las condiciones operativas (oxidado o sulfurado) (*Habashi F. , 1997*), Mientras que para minerales oxidados (como malaquita o crisocola), se utilizan concentraciones moderadas de ácido sulfúrico, generalmente entre 2 g/L y 20 g/L (*Guiachetti Torres, 2011*). Por otra parte, para minerales sulfurados (como

calcopirita), se requieren concentraciones más altas de ácido sulfúrico, típicamente entre 30 g/L y 50 g/L (*Lkhamtogmid y otros, 2018*), o procesos adicionales como biooxidación.

2.2.2.4. Temperatura.

El incremento de la temperatura suele mejorar el proceso de lixiviación, ya que favorece la disolución y recuperación del cobre, ya que aumenta la cinética de disolución a una temperatura entre 30°C a 50°C tiene la reacción química de superficie, mientras que la difusión por los poros de mineral se encuentran entre 50°C a 70°C (*Ekmekyapar y otros, 2012*). A temperaturas más altas, los minerales de cobre que no se lixivian a temperaturas más bajas pueden comenzar a disolverse (*Mubarak, 2020*). Sin embargo, a temperaturas demasiado altas, la lixiviación puede no ser tan favorable, ya que puede afectar negativamente otros aspectos del proceso (*Roy y otros, 2016*).

La agitación desempeña un papel clave en la lixiviación de cobre, pues al mejorar la mezcla de la pulpa incrementa la velocidad de disolución del metal al mejorar el contacto entre el mineral y el lixivante (*Ntakamutshi y otros, 2017*). En algunos casos, la cinética de lixiviación no se ve muy afectada por la agitación, lo que sugiere que otros factores como la temperatura son más importantes (*Bidari & Aghazadeh, 2015*).

Por tanto, la temperatura como la agitación son parámetros clave que afectan la lixiviación de minerales de cobre, y deben optimizarse cuidadosamente para lograr una extracción eficiente.

2.2.2.5. Granulometría.

El tamaño de partícula del mineral durante la lixiviación de cobre influye directamente en la velocidad de reacción, la permeabilidad del lecho y la recuperación final del metal. A continuación, se describen los aspectos clave y los parámetros de tamaño de partícula que afectan la recuperación del cobre, junto con una referencia bibliográfica relevante (*Toro N. y otros, 2021*).

Tamaño óptimo de partícula. En la lixiviación en pilas, el tamaño de partícula típico varía entre 0.5 mm y 25 mm. Partículas más pequeñas (menores a 0.5 mm) pueden causar problemas de permeabilidad, mientras que partículas más grandes (mayores a 25 mm) reducen la recuperación (*Hosseinzadeh & Hosseini, 2018*). En la lixiviación por agitación (tanques), el tamaño de partícula suele ser mucho más fino, generalmente menor a 0.074 mm (malla 200), para maximizar la superficie de contacto.

Recuperación en función del tamaño. Las partículas menores a 1 mm pueden alcanzar recuperaciones superiores al 90% en condiciones óptimas, mientras que las partículas entre 1 mm y 10 mm pueden tener recuperaciones del 70% al 90%, dependiendo de la mineralogía y las condiciones de operación, y las partículas mayores a 10 mm suelen tener recuperaciones inferiores al 50%, debido a la limitada superficie de contacto (*Kang y otros, 2021*).

El tamaño de partícula del mineral constituye un factor determinante que influye en la eficiencia del proceso de lixiviación del cobre, y debe optimizarse junto con otros factores como la temperatura, la concentración del lixivante y la agitación para lograr una extracción de cobre eficiente.

2.2.2.6. Mineralogía.

La mineralogía del mineral ejerce una influencia decisiva en la lixiviación de cobre con ácido sulfúrico. Ajustar el consumo de ácido según las características mineralógicas del lecho y el nivel de extracción previsto resulta fundamental para definir la viabilidad del proceso (*Guiachetti Torres, 2011*); (*Elera & Romero, 2015*). El ácido sulfúrico presenta selectividad con respecto a la ganga, Sin embargo, minerales de carácter calcáreo, como los carbonatos de calcio, así como los óxidos e hidróxidos de hierro, tienden a provocar reacciones secundarias que compiten con la disolución del cobre y elevan el consumo de reactivos (*Mamani, 2019*). Algunas reacciones secundarias, como la generación de sulfato férrico, contribuyen favorablemente en la disolución de minerales cupríferos sulfurados, entre ellos la calcosina

(*Guiachetti, 2011*). Los carbonatos, Al interactuar con el ácido sulfúrico, se forma sulfato de calcio sólido, el cual puede obstaculizar el contacto entre la solución lixivante y las especies de cobre solubles (*Mamani, 2019*). Dependiendo de la mineralogía, la lixiviación alcalina con hidróxido de amonio puede ser una alternativa en presencia de altos consumidores de ácido, Contribuyendo a la recuperación del cobre en forma de complejo tetra-amina de cobre (*Mamani, 2019*).

2.2.3. Concentrado de cobre.

El concentrado de cobre se produce a partir de minerales de cobre extraídos de minas (*Delbeke & Rodriguez, 2014*). El proceso de producción de concentrado de cobre no implica la fundición del mineral, sino más bien la concentración del cobre a través de procesos de molienda y flotación (*Delbeke & Rodriguez, 2014*). La composición y las características del concentrado de cobre dependen principalmente de la ubicación geográfica y la antigüedad del yacimiento minero (*Delbeke & Rodriguez, 2014*). Algunos de los principales productores de concentrado de cobre a nivel mundial son Chile, Estados Unidos y Perú (*Jose-Luis y otros, 2019*). Además, el contenido de cobre en los concentrados puede variar, generalmente entre el 20-40% (*Pietrzyk & Tora, 2018*). Sin embargo, la tendencia actual es hacia la explotación de minerales de cobre de menor ley, lo que aumenta los requisitos energéticos para la concentración del mineral (*Lu y otros, 2023*). Por último, el concentrado de cobre a menudo contiene otros elementos "penalizados", como el arsénico, que deben ser removidos antes del procesamiento final del cobre (*Long y otros, 2012*); (*Lane D. y otros, 2016*).

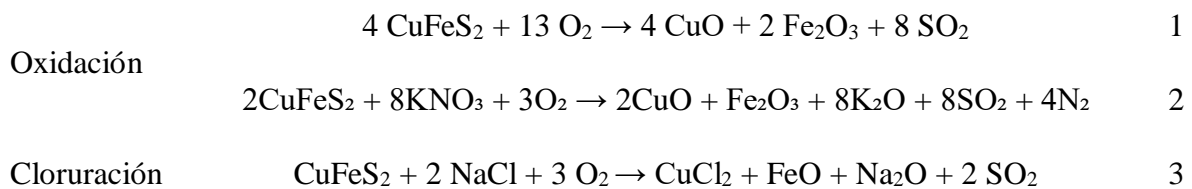
2.2.4. Tostación de mezcla de sales oxidantes y clorurantes.

La tostación es un proceso pirometalúrgico que utiliza mezclas de sales oxidantes (como el nitrato de potasio) y clorurantes (como el cloruro de sodio) para tratar minerales sulfurados de cobre (*Nyamjargal y otros, 2018*).

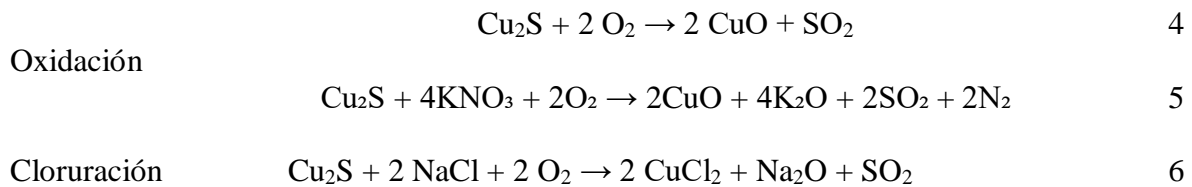
La tostación es un proceso en la metalurgia del cobre, que implica el calentamiento de minerales sulfurados en presencia de aire u oxígeno para convertirlos en óxidos o sulfatos. Esta transformación facilita la extracción del cobre mediante procesos posteriores como la fundición o la lixiviación (Schlesinger y otros, 2011).

La adición de sales oxidantes y clorurantes a la tostación puede mejorar la eficiencia del proceso y facilitar la extracción del cobre. El nitrato de potasio (KNO_3) actúa como oxidante (Nyamjargal y otros, 2018), mientras que el cloruro de sodio (NaCl) actúa como clorurante (Imideev y otros, 2014).

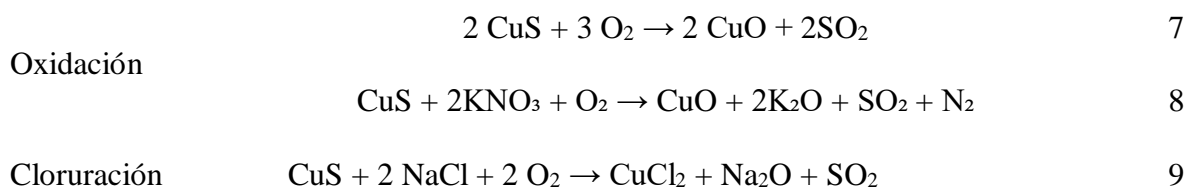
Calcopirita (CuFeS_2)



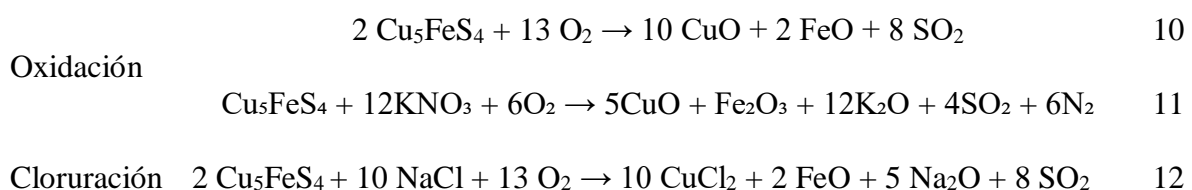
Calcocita (Cu_2S)



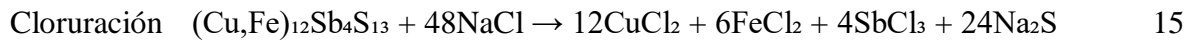
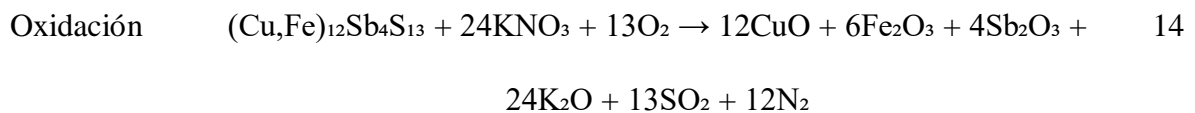
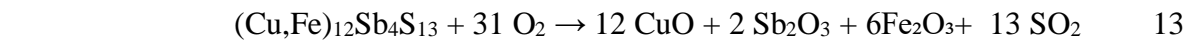
Covelita (CuS)



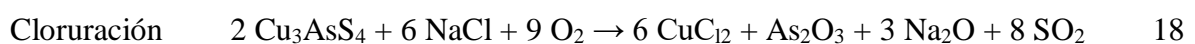
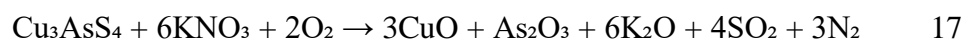
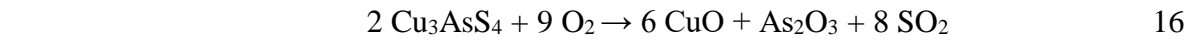
Bornita (Cu_5FeS_4)



Tetraedrita ($\text{Cu,Fe}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$)



Enargita (Cu_3AsS_4)



2.2.4.1. Tostación oxidante con nitrato de potasio.

En la tostación de minerales sulfuros de cobre, el uso de nitrato de potasio durante la tostación de minerales de cobre tiene varios efectos en el proceso. Ayuda a disolver el nitrato de potasio en el mineral de cobre durante la tostación a baja temperatura (Hampe, 1891), mejorando la lixiviación del cobre en concentrados de sulfuro de cobre, como la calcopirita, mediante la tostación a baja temperatura con cloruros de potasio, sin necesidad de una tostación oxidante a alta temperatura (Nyamjargal y otros, 2018), este facilita la lixiviación de oro y plata a partir de residuos producidos por la lixiviación de cobre blanco tostado (Wilkomirsky y otros, 2010); (Filippou y otros, 2007), ayudando a neutralizar el filtrado durante la recuperación de cobre y hierro a partir de cenizas de pirita tostadas (Zhang y otros, 2021). Además, se utiliza en combinación con otros agentes oxidantes, como clorato de potasio, nitrato de sodio y nitrito de sodio, para aumentar la lixiviación de cobre durante la tostación (Siddique, 2008).

Por lo tanto, el nitrato de potasio se utiliza comúnmente como agente oxidante y fundente durante la tostación de los minerales de cobre, lo que potencia el proceso de lixiviación y favorece una mayor recuperación de los metales valiosos.

2.2.4.2. Tostación clorurante con cloruro de sodio.

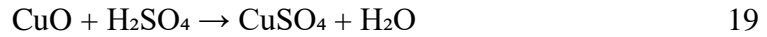
En la tostación de concentrados de cobre con cloruro de sodio (NaCl) tiene un conjunto de efectos que permite el beneficios, como la mejora la lixiviación del cobre a partir de concentrados de sulfuro de cobre, como la calcopirita, mediante la tostación a baja temperatura con cloruros de sodio, sin necesidad de una tostación oxidante a alta temperatura (Ashcroft, 1933); (Lu y otros, 2014); (Imideev y otros, 2014). Este facilita la extracción sincronizada de níquel, cobre y cobalto a partir de matas de níquel-cobre de baja ley mediante tostación con cloruro de amonio (NH₄Cl) y lixiviación con agua. Por otra parte, mejora la eficiencia de la lixiviación de cobre, níquel y cobalto a partir de escorias de fundición de cobre mediante tostación con cloruro de sodio y lixiviación con cloruro férrico (Anand y otros, 1981); (Zhong y otros, 2024), de igual manera permite la extracción eficiente de plata y cobre a partir de polvos de sinterización mediante el proceso de tostación con cloración (Long y otros, 2021).

La tostación de concentrados de cobre con cloruros, como el cloruro de sodio o el cloruro de amonio, mejora significativamente la lixiviación y recuperación de los metales valiosos, como el cobre, níquel, cobalto y plata.

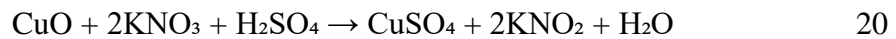
2.2.5. Lixiviación de concentrado de cobre, plata y oro tostado.

La lixiviación de minerales tostados que contienen óxidos de cobre y la combinación de ácido sulfúrico, cloruro de sodio y nitrato de potasio en presencia de cloruro de cobre favorece la disolución y formación de complejos estables, optimizando la lixiviación y recuperación eficiente de minerales cupríferos es un proceso complejo que involucra múltiples reacciones químicas. Estas reacciones dependen de las especies presentes, el pH del medio, la temperatura y la concentración de los reactivos. A continuación, se describen las posibles reacciones químicas que pueden ocurrir durante este proceso.

La reacción en la lixiviación del óxido de cobre (CuO) con ácido sulfúrico. El óxido de cobre reacciona con el ácido sulfúrico para formar sulfato de cobre (CuSO₄) y agua (Schlesinger y otros, 2011).



Oxidación del cobre por acción del nitrato de potasio (KNO₃). El nitrato de potasio actúa como un oxidante, esto favorece una extracción más eficiente frente a sulfuros, con menor tiempo de reacción y menor consumo de reactivos. La reacción de oxidación puede ser representada como:



El nitrato de potasio se reduce a nitrito de potasio (KNO₂) mientras que el óxido de cobre se oxida a sulfato de cobre.

Lixiviación de cloruro de cobre (CuCl₂) con ácido sulfúrico. El cloruro de cobre puede reaccionar con el ácido sulfúrico para formar sulfato de cobre y cloruro de hidrógeno (Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 1988):

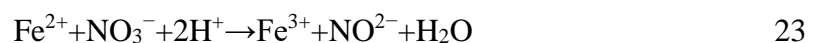


Formación de complejos de cobre con iones cloruro. En presencia de cloruro de sodio (NaCl), el ion cloruro (Cl⁻) puede formar complejos solubles con el cobre disuelto (Cotton y otros, 1999).



Este complejo tetraclorocuprato (II) es altamente soluble y facilita la extracción de cobre en medios clorurados.

Oxidación de hierro. Si el mineral contiene óxidos de hierro (como Fe₂O₃), el nitrato de potasio puede oxidar el hierro ferroso (Fe²⁺) a férrico (Fe³⁺) (Fletcher & Neumeier, 1991):



El ion férrico (Fe^{3+}) puede actuar como un agente oxidante adicional para el cobre metálico (Dutrizac & Macdonald, 1974):



2.2.5.1. Lixiviación de concentrado de cobre con ácido sulfúrico pretratamiento con cloruro de sodio.

La lixiviación de concentrados de cobre con ácido sulfúrico y cloruro de sodio como pretratamiento ha demostrado ser efectiva para mejorar la extracción de cobre. El pretratamiento de calcopirita con un sistema de medios de ácido sulfúrico y cloruro de sodio (15 kg/t de H_2SO_4 y 25 kg/t de NaCl con 15 días de curado) resultó en una extracción de cobre del 80% (Quezada y otros, 2021), mientras que el pretratamiento de un concentrado de bornita con la incorporación previa de una mezcla de cloruro de sodio y ácido sulfúrico potencia la disolución del cobre durante el proceso de lixiviación (Navarro y otros, 2020).

La cantidad de ácido sulfúrico presente en la solución de lixiviación constituye un parámetro esencial que influye directamente en la disolución y recuperación del cobre debe ser lo suficientemente alta (al menos 40 g/L) para lograr una lixiviación selectiva de elementos penalizantes de los concentrados de cobre (Lane D. J. y otros, 2016); (Senanayake, 2009), mientras que la lixiviación de cobre, zinc y plomo de relaves sulfurosos se ve afectada por la concentración de ácido sulfúrico y cloruro de sodio (Schueler y otros, 2021). El pretratamiento con ácido sulfúrico y cloruro de sodio seguido de lixiviación en medio cloruro también se ha estudiado para concentrados de sulfuro de cobre (Herreros & Viñals, 2007); (Hernández y otros, 2019).

El pretratamiento de concentrados de cobre cloruro de sodio y la lixiviación con ácido sulfúrico ha demostrado de representar una estrategia eficaz para optimizar el proceso de lixiviación y lograr una mayor extracción de cobre.

2.2.5.2. Lixiviación de concentrado de cobre con ácido sulfúrico pretratamiento con nitrato de potasio

El pretratamiento de concentrados de cobre con nitrato de potasio (KNO_3) y la lixiviación con ácido sulfúrico (H_2SO_4) puede mejorar la lixiviación del cobre. El pretratamiento de un mineral de calcopirita con una mezcla de KNO_3 y H_2SO_4 antes de la lixiviación resultó en una disolución de cobre del 23% antes de la lixiviación. (Quezada y otros, 2020); (Quezada Reyes y otros, 2020). Además, el estudio realizado por varias investigaciones sobre los efectos de un apretamiento en aglomerado con ácido sulfúrico, cloruro de sodio y nitrato de potasio, son parámetros que permite obtener mejores resultados (Neira y otros, 2021).

Por lo tanto, el pretratamiento de concentrados de cobre con nitrato de potasio ha demostrado ser una estrategia efectiva para mejorar la lixiviación y extracción de cobre.

2.2.6. Diseño factorial.

El ANOVA de dos factores, también conocido como ANOVA factorial, es una técnica estadística que se utiliza para analizar la influencia de dos o más variables independientes (factores) sobre una variable dependiente. Es una extensión del ANOVA de un factor, que solo analiza la influencia de una variable independiente. El ANOVA de dos factores permite identificar efectos principales de cada factor y también interacciones entre los factores (Cáceres, 1994).

El ANOVA de dos factores se utiliza para determinar si existen diferencias significativas entre las medias de los grupos para cada factor, o si existe una interacción significativa entre los factores. La tabla ANOVA de dos factores muestra la varianza explicada por cada factor, la interacción entre los factores y el error (Cáceres, 1994).

Tabla 2

ANOVA de dos factores muestra la varianza explicada por cada factor, la interacción entre los factores y el error.

| Fuente de Variación | Grados de Libertad | Suma de Cuadrados | Media Cuadrática | Estadístico F | Valor p |
|------------------------|--------------------|-------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|---------------------|
| Factor A | (a-1) | SSA | $MSA = \frac{SSA}{(a - 1)}$ | $F_{_A} = \frac{MSA}{MSE}$ | $p_{_A}$ |
| Factor B | (b-1) | SSB | $MSB = \frac{SSB}{(b - 1)}$ | $F_{_B} = \frac{MSB}{MSE}$ | $p_{_B}$ |
| Interacción A*B | (a-1)(b-1) | SSAB | $MSAB = \frac{SSAB}{(a - 1)(b - 1)}$ | $F_{_{AB}} = \frac{MSAB}{MSE}$ | $p_{_{AB}}$ |
| Error | N-ab | SSE | $MSE = \frac{SSE}{(N - ab)}$ | | |
| Total | N-1 | SST | | | |

Nota: Donde, a: Número de niveles del factor A, b: Número de niveles del factor B, N: Número total de observaciones (Urias & Salvador, 2014).

2.3. Definiciones conceptuales.

- a. **Cinética de Lixiviación:** La cinética de lixiviación estudia la velocidad a la que se disuelven los metales en la solución ácida, influenciada por factores como la concentración de ácido, oxidantes, clorurantes, temperatura y tamaño de partícula del concentrado (Ray & Ray, 2018).
- b. **Efecto de la Temperatura:** La temperatura influye en la velocidad de las reacciones químicas, acelerando la disolución de los metales y mejorando la eficiencia de la lixiviación (Ray & Ray, 2018).
- c. **Efecto del Tamaño de Partícula:** El tamaño de partícula del concentrado determina la superficie de contacto sólido-líquido, influyendo en la cinética de disolución, recuperación de cobre, consumo de reactivos y eficiencia global del proceso de lixiviación (ITGE, 1991).
- d. **Extracción de Metales:** La extracción de metales se refiere al proceso de separación de los metales disueltos en la solución de lixiviación, generalmente mediante técnicas de precipitación, cementación o electrodeposición (Ghosh & Ray, 1991).
- e. **Implicaciones Ambientales:** La lixiviación ácida puede generar residuos ácidos y metales pesados, por lo que es fundamental considerar las implicaciones ambientales del proceso y aplicar medidas de control para minimizar la contaminación (Álvarez, 2024).
- f. **Influencia de la Concentración de Ácido:** La concentración de ácido en la solución de lixiviación influye directamente en la velocidad de disolución de los metales, pero también puede afectar la estabilidad de los complejos metálicos formados con los clorurantes (Palacios, 2002).

- g. **Influencia de la Concentración de Clorurantes:** La concentración de clorurantes, como el cloruro de sodio, afecta la formación de complejos con los metales nobles, aumentando su solubilidad y mejorando la extracción (Palacios, 2002).
- h. **Influencia de la Concentración de Oxidantes:** La concentración de oxidantes, como el cloruro férrico, determina la eficiencia de la oxidación de los metales, impactando la velocidad de disolución y la recuperación final (Ray & Ray, 2018).
- i. **Lixiviación Ácida:** La lixiviación ácida es un proceso hidrometalúrgico que utiliza soluciones ácidas para disolver metales valiosos de minerales o concentrados. En este caso, se utiliza un medio ácido con sales oxidantes y clorurantes para disolver cobre, plata y oro (Habashi F. , 2017).
- j. **Métodos de Análisis Químico:** Los métodos de análisis químico, como la espectrofotometría de absorción atómica (AAS) o la espectrometría de emisión atómica de plasma (ICP-OES), se utilizan para determinar la concentración de los metales en la solución de lixiviación y evaluar la eficiencia del proceso (Harris, 2001).
- k. **Optimización del Proceso de Lixiviación:** La optimización del proceso de lixiviación implica encontrar las condiciones óptimas de concentración de ácido, oxidantes, clorurantes, temperatura y tamaño de partícula para maximizar la recuperación y extracción de los metales (Fernández, 2007).
- l. **Recuperación de Metales:** La recuperación de metales se refiere a la cantidad de cobre, plata y oro que se extrae del concentrado y se recupera en la solución de lixiviación (Fernández, 2007).
- m. **Sales Clorurantes:** Las sales clorurantes, como el cloruro de sodio (NaCl), se utilizan para generar cloro in situ, formando complejos con los metales nobles como el oro, lo que aumenta su solubilidad en la solución ácida (Palacios, 2002).

- n. **Sales Oxidantes:** Las sales oxidantes, como el cloruro férrico (FeCl_3) y el nitrato de sodio (NaNO_3), son compuestos que promueven la oxidación de los metales, facilitando su disolución en la solución ácida (Chahua, 2014).
- o. **Termodinámica de Lixiviación:** La termodinámica de lixiviación analiza la espontaneidad y el equilibrio de las reacciones químicas que ocurren durante la disolución de los metales, determinando la viabilidad del proceso⁴ (Sahoo y otros, 2023).

2.4. Hipótesis de la Investigación.

2.4.1. Hipótesis General.

Realizando una lixiviación de concentrados en medio ácido con sales oxidantes y clorurantes influye en la recuperación y extracción de cobre.

2.4.2. Hipótesis Específicos.

En la lixiviación de concentrados la concentración de las mezclas oxidantes y clorurantes influye en la extracción de cobre.

La concentración de cloruro de sodio en la lixiviación de concentrado empleando sales oxidantes y clorurantes influye en la extracción de cobre.

El tiempo tiene un efecto en la lixiviación con sales oxidantes y clorurantes en la recuperación de cobre.

2.5. Operacionalización de Variables e Indicadores.

La operación de estudio analiza variables sobre “Lixiviación de concentrado en medio ácido empleando sales oxidantes y clorurantes para la extracción de cobre”, se ha detallado en la tabla 1.

Tabla 3

Operacionalización de las variables e indicadores

| Variable | Concepto | Dimensiones | Indicador |
|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------------------------|
| Independiente | | | |
| Lixiviación de concentrado con sales oxidantes y clorurantes | Proceso hidrometalúrgico que utiliza soluciones ácidas con sales oxidantes y clorurantes para disolver el cobre del concentrado (Delgado, 2023). | - Factores | - Concentrado de mezcla - Temperatura - Tiempo |
| Dependiente | | | |
| Extracción de cobre | Es el producto de la lixiviación, mediante la disolución del cobre de los minerales mediante soluciones químicas, generalmente soluciones ácidas o alcalinas (González y otros, 2000) | - Eficiencia | - Extracción - Recuperación |
| Intervinientes | | | |
| Condiciones | Son aquellos que influyen en la extracción de cobre mediante lixiviación. Es decir, factores importantes para que este proceso funcione de manera eficiente (kumar y otros, 2018). | - Físico - Químico | - Agitación - Reactivos - pH |

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. Diseño metodológico.

3.1.1. Tipo de investigación.

La investigación sobre lixiviación de concentrados de cobre con sales oxidantes y clorurantes se clasifica como aplicada, pues busca optimizar la extracción metálica, respondiendo a una necesidad concreta de la industria minera mediante la aplicación práctica del conocimiento científico (Hernandez-Sampieri & Mendoza Torres, 2018). Su objetivo es mejorar la eficiencia de los procesos de lixiviación, lo cual repercute de manera directa en los niveles de producción de cobre y en la rentabilidad de las operaciones mineras.

3.1.2. Nivel de investigación.

Se trata de una investigación de tipo explicativo, basada en un diseño factorial de dos variables, que se ubica en el nivel explicativo por su interés en comprender las relaciones de causa y efecto entre ellas. Este enfoque metodológico permite evaluar no solo la influencia individual de cada factor, sino también los efectos combinados que pueden ejercer sobre la variable dependiente, ofreciendo una visión más completa del fenómeno en estudio, proporcionando información más profunda que un diseño con una sola variable. Al manipular y controlar las variables independientes, el investigador puede determinar con mayor precisión la influencia de cada factor y su interacción, lo que permite explicar con mayor exactitud el fenómeno en estudio (Hernández Sampieri y otros, 2014); (Cohen & Gómez Rojas, 2019).

3.1.3. Diseño de la investigación.

El diseño experimental estructura la investigación al controlar variables y analizar sus efectos, garantizando validez y confiabilidad en los resultados, lo que permite establecer relaciones causa-efecto y optimizar procesos metalúrgicos el estudio "Lixiviación de concentrado en medio ácido empleando sales oxidantes y clorurantes para la extracción de

cobre" se basa en un enfoque sistemático que manipula variables independientes, como la concentración de ácido, el tipo y cantidad de sales oxidantes/clorurantes, la temperatura y el tiempo de reacción, para evaluar su efecto en la eficiencia de extracción de cobre. Este diseño utiliza un modelo factorial o similar, permitiendo analizar interacciones entre variables mediante experimentos controlados, réplicas y aleatorización, mientras que los datos se procesan con herramientas estadísticas como ANOVA para identificar las condiciones óptimas del proceso (Hernández Sampieri y otros, 2014).

3.1.4. Enfoque de la investigación.

El estudio adopta un enfoque mixto, combinando métodos cualitativos y cuantitativos para obtener una visión más completa y precisa del fenómeno investigado, para el estudio "Lixiviación de concentrado en medio ácido empleando sales oxidantes y clorurantes para la extracción de cobre", en enfoque combina métodos cualitativos y cuantitativos con el fin de obtener una comprensión integral del proceso. Desde la perspectiva cuantitativa, se realizan experimentos controlados para medir variables clave como la eficiencia de extracción de cobre, la concentración de reactivos y las condiciones óptimas de pH y temperatura, utilizando análisis estadísticos para interpretar los datos. Paralelamente, el enfoque cualitativo permite explorar aspectos relacionados con las interacciones químicas, las observaciones experimentales y las posibles mejoras al proceso, a través de la revisión bibliográfica, la interpretación de resultados inesperados y las entrevistas con expertos en metalurgia. Esta integración de métodos facilita una visión más completa y robusta del fenómeno estudiado, optimizando tanto la comprensión teórica como la aplicabilidad práctica de la lixiviación en medio ácido (Hernández Sampieri y otros, 2014).

3.2. Procedimiento para realizar las pruebas

3.2.1. Preparación de la Muestra

Cuarteo: Se realiza un cuarteo para obtener una muestra representativa de 250 gramos del concentrado de cobre original.

Caracterización: Se realiza una caracterización completa del concentrado, incluyendo:

Densidad del concentrado: Determina la masa por unidad de volumen del concentrado.

Densidad aparente: Mide la densidad del material en su estado natural, considerando los espacios vacíos.

Humedad: Se determina el porcentaje de agua presente en el concentrado.

Análisis de malla: Se lleva a cabo un análisis granulométrico con el fin de identificar cómo se distribuye el tamaño de las partículas en la muestra.

Análisis químico: Se analiza la composición química del concentrado, identificando el contenido de cobre y la presencia de otros elementos de importancia en el proceso.

3.2.2. Tostación

Objetivo: La tostación es un proceso térmico que se realiza para transformar el concentrado de cobre en una forma más reactiva para la lixiviación.

Procedimiento: Se calienta la muestra a altas temperaturas en presencia de aire u oxígeno para oxidar los sulfuros de cobre y convertirlos en óxidos.

3.2.3. Lixiviación

Objetivo: La lixiviación es el proceso de disolución del cobre de la muestra tostada en una solución ácida.

Procedimiento: Se coloca la muestra tostada en una solución ácida que contiene sales oxidantes y clorurantes.

- Sales oxidantes: Se utilizan para oxidar el cobre presente en la muestra, convirtiéndolo en iones de cobre solubles.

- Sales clorurantes: Se utilizan para formar complejos clorados de cobre, lo que aumenta la solubilidad del cobre en la solución ácida.

Variables: Es importante controlar las variables del proceso de lixiviación, como la concentración de ácido, la temperatura, el tiempo de reacción y la agitación, para optimizar la extracción de cobre.

3.2.4. Análisis de la Solución y el Relave

Solución: Después de la lixiviación, se analiza la solución para determinar:

- Concentración de cobre: Se determina la cantidad de cobre disuelto en la solución.
- Concentración de otros elementos: Se determina la concentración de otros elementos presentes en la solución, como hierro, arsénico, etc.
- pH: Se mide el pH de la solución para evaluar su acidez.

Relave: Se realiza un análisis del relave (el material sólido que no se disuelve en la solución de lixiviación) para determinar:

- Contenido de cobre: Se determina la cantidad de cobre que no se logró extraer en la lixiviación.
- Composición química: Se determina la composición química del relave para identificar otros elementos presentes.

3.2.5. Procesamiento de Datos

Análisis de los resultados: Se analizan los resultados de la lixiviación para determinar la eficiencia de la extracción de cobre.

Cálculo de la recuperación: Se calcula el porcentaje de cobre extraído en relación con el contenido original de cobre en la muestra.

Optimización: Se analizan los resultados para identificar las condiciones óptimas de lixiviación que maximizan la extracción de cobre.

3.2.6. 6. Repetición

Repetir el proceso: Es importante repetir el proceso de lixiviación con diferentes variaciones en las condiciones para confirmar los resultados y optimizar el proceso.

3.2.7. Consideraciones adicionales

Seguridad: Es fundamental trabajar con las medidas de seguridad adecuadas al manejar ácidos, sales oxidantes y clorurantes, así como al trabajar con temperaturas elevadas.

Equipos: Se requiere equipo de laboratorio adecuado para realizar las pruebas de caracterización, tostación, lixiviación y análisis de la solución y el relave.

Documentación: Es fundamental llevar un registro minucioso de los procedimientos, resultados y observaciones, garantizando así la reproducibilidad del proceso y la adecuada trazabilidad de los datos obtenidos Población y muestra.

3.2.8. Población de la investigación.

La población de la muestra es el concentrado producido en la empresa Virgen del Rosario, de la producción del mes de agosto del 2024, Situado en la región Áncash, dentro de la provincia de Yungay y específicamente en el distrito de Matacoto.

3.2.9. Muestra de la investigación.

La muestra para cada investigación se realizó con 250 gramos de acuerdo el diseño factorial con dos centrales y con replicas se tiene 12 muestras de 250 gramos, siendo un total de 3000 gramos y los otros análisis y caracterización a realizar se consideró 5000 gramos de muestra.

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.3.1. Técnicas para emplear la recolección de datos

La técnica principal para la recolección de datos en esta investigación experimental sobre la lixiviación ácida de concentrado de cobre con sales oxidantes y clorurantes, se empleará la observación directa en un entorno controlado, en un reactor de laboratorio, para

registrar variables como la temperatura, la presión, la concentración de reactivos, el tiempo de reacción, y la formación de subproductos. La observación indirecta se utilizará para analizar las muestras de concentrado, las soluciones de lixiviación y los residuos sólidos (Medina y otros, 2023).

3.3.2. Descripción de los instrumentos para la recolección de datos

En este estudio experimental enfocado en la lixiviación ácida de minerales de cobre, se emplearán las fichas estructuradas, que son herramientas esenciales para organizar la información recopilada. Se utilizarían fichas de datos para registrar las mediciones obtenidas durante los experimentos; y fichas de observación para registrar las observaciones realizadas durante el proceso (Paitán y otros, 2014).

3.4. Técnicas para el procesamiento de la información.

Para el análisis de los datos obtenidos en el diseño factorial de dos variables aplicado en la investigación de lixiviación de concentrado de cobre, se requieren técnicas estadísticas que permitan evaluar la influencia de las sales oxidantes y clorurantes sobre la extracción de cobre. Mediante el Análisis de Varianza (ANOVA) esta herramienta facilita identificar si existen diferencias estadísticamente significativas en la extracción de cobre al comparar los distintos niveles de las variables independientes. El ANOVA permite evaluar el efecto principal de cada variable (sales oxidantes y clorurantes) y la interacción entre ellas, lo que proporciona información primordial sobre la influencia de cada factor y sus combinaciones en la extracción de cobre (Quevedo & Pérez, 2014).

Además del ANOVA, la regresión permite modelar la relación entre la extracción de cobre y las variables independientes. Esta técnica estima su influencia, predice resultados bajo distintas condiciones y revela interacciones, facilitando la comprensión del efecto combinado de los factores sobre la eficiencia de extracción (Fouad, 2024).

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. Análisis de resultados

4.1.1. Condiciones experimentales.

En las pruebas se emplearon muestra de concentrado sulfuro de cobre con una ley de 17.49% con un peso aproximadamente de 234 g, los que se mezclaron con las dosis de los agentes clorurante y oxidantes de acuerdo el diseño factorial los que se llevaron a una tostación para su oxidación a una temperatura de 200°C por un espacio de media hora, posteriormente se llevo a una pulverizado pasante a la malla 200 el 60% los que se llevaron a una lixiviación acida con 1.33 L de agua en un medio acido a un pH de 0.8 mediante ácido sulfúrico durante 72 horas en un agitador mecánico, posteriormente se filtró y se analizaron las soluciones.

Por otra parte, se realizaron una lixiviación para ver la cinética de lixiviación en un periodo de 88 horas con un tiempo progresivo de muestreo, 4,8,16, 32, 64 y 88 horas. El análisis de la solución se realizó por el método de iodometría por volumetría.

En las pruebas experimentales se realizaron por el diseño factorial con dos variables de los cuales se emplearon nitrato de potasio y cloruro de sodio 2ⁿ, de los cuales para dos variables se tiene 4 pruebas.

Tabla 4

Intervalo de las pruebas a realizar de las dos variables

| | Min | Max | Central | Min | Max | Central |
|-----------------------------|-----|-----|---------|-----|-----|---------|
| KNO₃ g/kg | - | + | 0 | 50 | 100 | 75 |
| NaCl g/kg | - | + | 0 | 100 | 200 | 150 |

En la tabla 4 se detalla los parámetros de las variables a realizar las pruebas de lixiviación los mínimos, centrales y máximo para el nitrato de potasio y cloruro de sodio.

Tabla 5
Diseño de 4 pruebas variables y dos centrales

| N° | X ₁ | X ₂ | Z ₁ (KNO ₃ g/kg) | Z ₂ (NaCl g/kg) |
|----|----------------|----------------|----------------------------------------|----------------------------|
| 1 | - | - | 50 | 100 |
| 2 | + | - | 100 | 100 |
| 3 | - | + | 50 | 200 |
| 4 | + | + | 100 | 200 |
| 5 | 0 | 0 | 75 | 150 |
| 6 | 0 | 0 | 75 | 150 |

Las pruebas realizadas en las pruebas experimentales en la tabla 5 se tiene 4 pruebas donde se varia las en contenido de la dosis de nitrato de potasio y cloruro de sodio y las dos centrales el promedio de la dosis mínimo y máximo.

4.1.2. Resultados de las pruebas

Cinética de lixiviación de concentrado de cobre tratado mediante una oxidación previo con una mezcla de cloruro de sodio y nitrato de potasio. El pH al final se encuentra entre 3.4 en promedio.

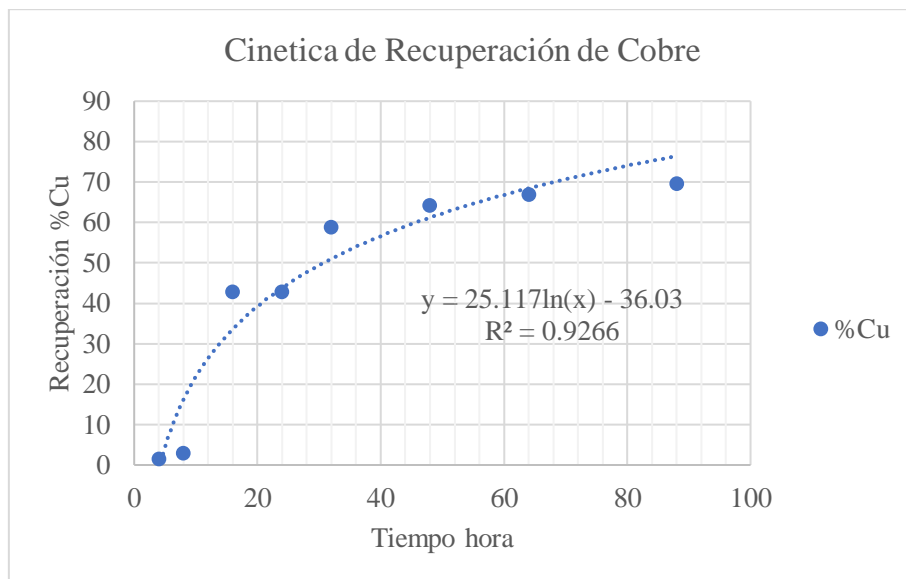
Tabla 6
Cinetica de lixiviación de concentrado de cobre previo oxidación con ClNa y KNO₃.

| N° | Tiempo h | Densidad g/cm ³ | Cu g/L | %Cu |
|----|----------|----------------------------|--------|-------|
| 1 | 4 | 1.0012 | 0.45 | 1.46 |
| 2 | 8 | 1.0015 | 0.89 | 2.89 |
| 3 | 16 | 1.0019 | 13.17 | 42.81 |
| 4 | 24 | 1.0020 | 13.17 | 42.81 |
| 5 | 32 | 1.0130 | 18.11 | 58.86 |
| 6 | 48 | 1.0180 | 19.76 | 64.21 |
| 7 | 64 | 1.0148 | 20.58 | 66.88 |
| 8 | 88 | 1.1643 | 21.40 | 69.56 |

En la tabla 6 se detalla los análisis de la densidad de la solución en relación al tiempo y la concentración y recuperación del cobre. A medida que pasa el tiempo crecen las 3 condiciones.

Figura 2

Curva de recuperación de cobre vs tiempo



En la curva de recuperación del cobre en relación del tiempo, crece en el tiempo, representado por una ecuación logarítmica representado por $Y(\text{Recup. Cu}) = 25.117\ln(\text{hora}) - 36.03$, y el coeficiente de correlación al cuadrado $R^2 = 0.9266$.

Tabla 7

Resultado de las 6 pruebas experimentales realizados en la lixiviación de concentrado de cobre

| N° | Tiempo h | Densidad g/cm ³ | %Cu | Cu g/L | %Cu |
|----|----------|----------------------------|--------|--------|-------|
| 1 | 72:21 | 1.134 | 1.8120 | 20.55 | 65.81 |
| 2 | 72:16 | 1.143 | 1.4806 | 16.93 | 54.19 |
| 3 | 72:07 | 1.089 | 0.7768 | 8.46 | 27.10 |
| 4 | 72:39 | 1.040 | 0.9296 | 9.67 | 30.97 |
| 5 | 72:01 | 1.058 | 1.6003 | 16.93 | 54.19 |
| 6 | 72:05 | 1.024 | 1.6641 | 17.05 | 54.58 |

En la lixiviación de concentrado de cobre con sales oxidantes y clorurantes en la tabla 7 se tiene una mejor recuperación en a la prueba 1 en un tiempo de 72.21 horas del 65.81% de extracción de cobre con una concentración de cobre de 20.55 g/L en la solución con una densidad de solución de 1.134 g/cm³. Seguida de las pruebas centrales 6 y 5 con una recuperación del orden de 54.58%, 54.19% respectivamente con leyes de 17.05 g/L, 16.93 g/L

con una densidad de solución del orden de 1.024 g/cm³, 1.058 g/cm³ en un periodo de tiempo de 72.05 horas, 72.01 hora.

Tabla 8
Resumen de las pruebas experimentales

| N° | X ₁ | X ₂ | Z ₁ (KNO ₃ g/kg) | Z ₂ (NaCl g/kg) | Cu g/L | Recup. %Cu |
|----------|----------------|----------------|-------------------------------------------|-------------------------------|-----------|---------------|
| 1 | - | - | 50 | 100 | 20.55 | 65.81 |
| 2 | + | - | 100 | 100 | 16.93 | 54.19 |
| 3 | - | + | 50 | 200 | 8.46 | 27.10 |
| 4 | + | + | 100 | 200 | 9.67 | 30.97 |
| 5 | 0 | 0 | 75 | 150 | 16.93 | 54.19 |
| 6 | 0 | 0 | 75 | 150 | 17.05 | 54.58 |

La recuperación y la ley de cobre en la solución en la tabla 8 se tiene la mejor recuperación en el experimento 1 con las condiciones de una dosis de nitrato de potasio de 50 g/kg, 100 g/kg de cloruro de sodio obteniendo 20.55 g/L de cobre con una recuperación del 65.81% seguido en la prueba de la prueba 6 y las pruebas 2 y 5.

Figura 3
Gráfico de contorno para la calidad de solución en relación KNO₃ y NaCl

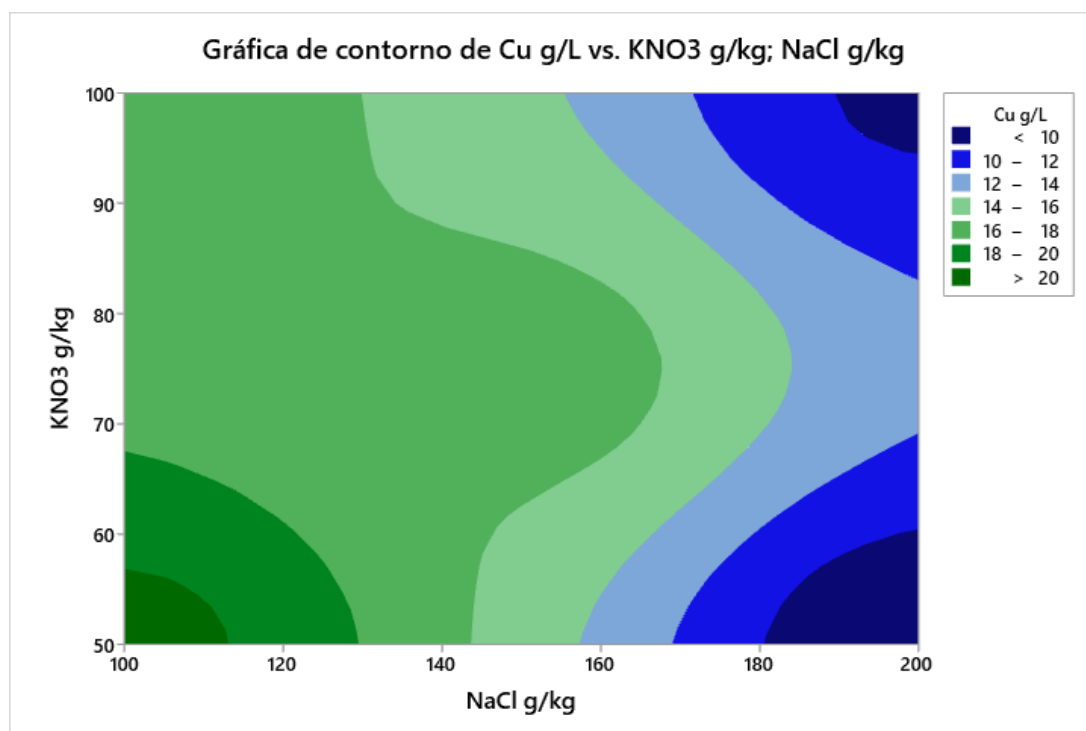
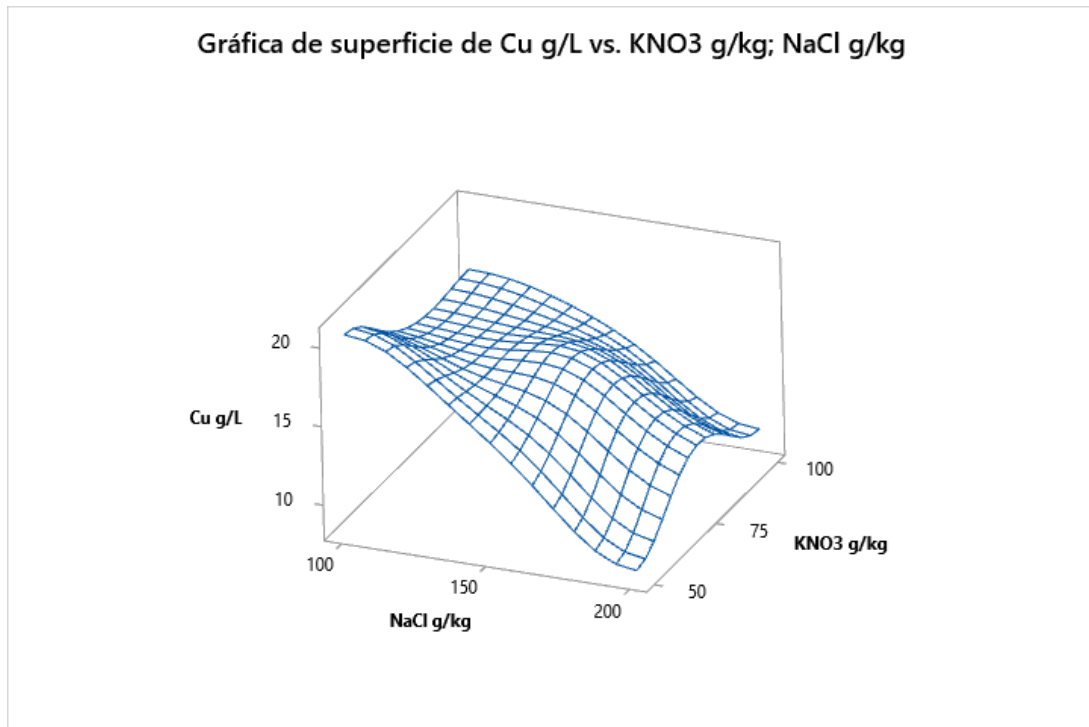


Figura 4

Grafica de superficie de la ley de cobre en relación de NaCl y KNO3



En la figura 3 y 4 la ley de cobre g/L para que sea superior a 20 g/L debe de estar dosis inferior a 110 g/kg de cloruro de sodio y de menor a 80 g/kg de KNO3.

Figura 5

Grafica de contorno para la recuperación de cobre en relación de NaCl y KNO3

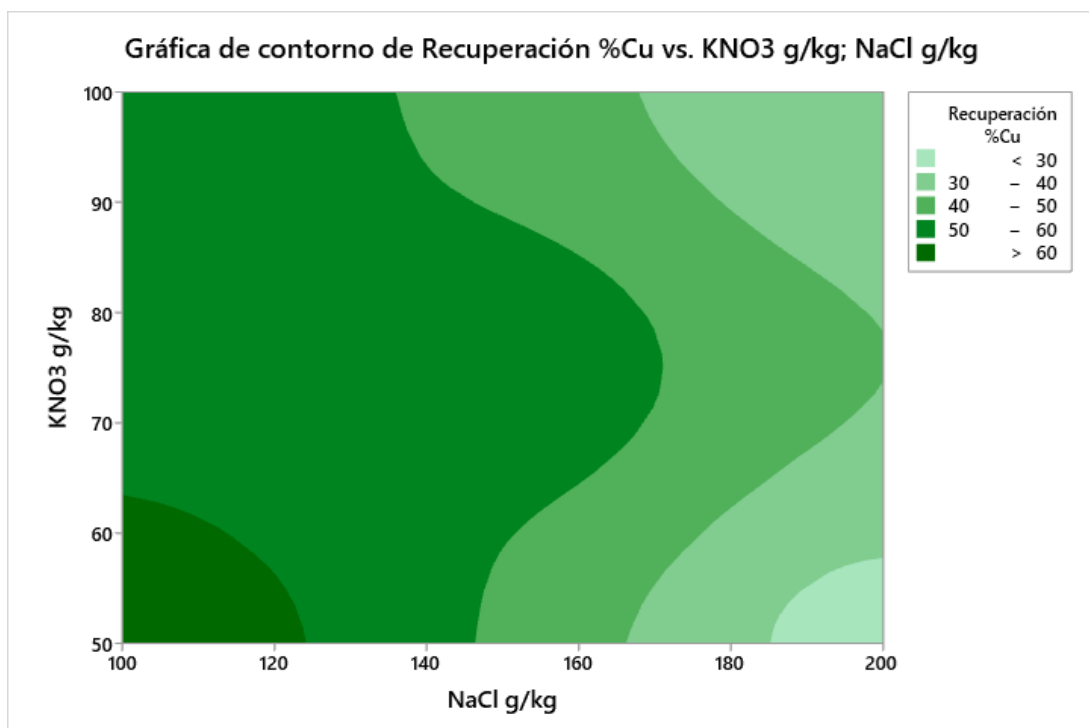
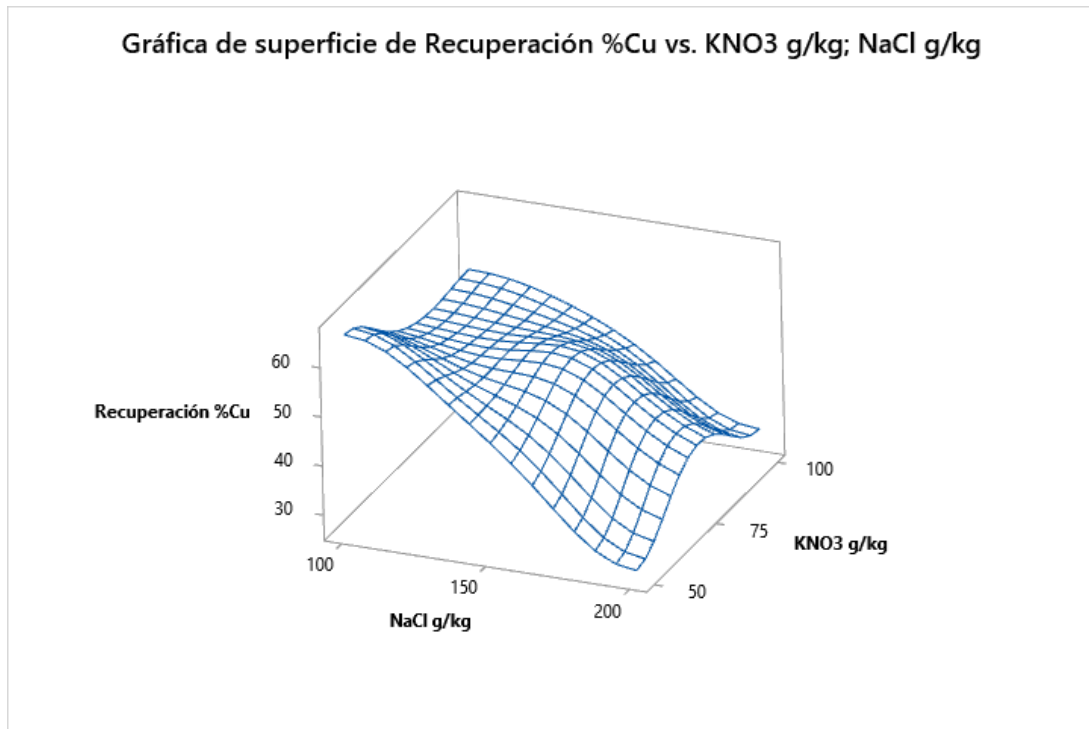


Figura 6

Grafica de superficie para la recuperación de cobre en relación de KNO_3 y $NaCl$



Para la recuperación del cobre en la lixiviación en la figura 5 y 6 para una recuperación superior a 60% es necesario una menor a 125 g/kg de cloruro de sodio y 62 g/kg de nitrato de potasio.

4.2. Contrastación de hipótesis.

4.2.1. Contrastación de hipótesis general.

Ha: Realizando una lixiviación de concentrados en medio ácido con sales oxidantes y clorurantes influye en la recuperación y extracción de cobre.

Ho: Realizando una lixiviación de concentrados en medio ácido con sales oxidantes y clorurantes **no** influye en la recuperación y extracción de cobre.

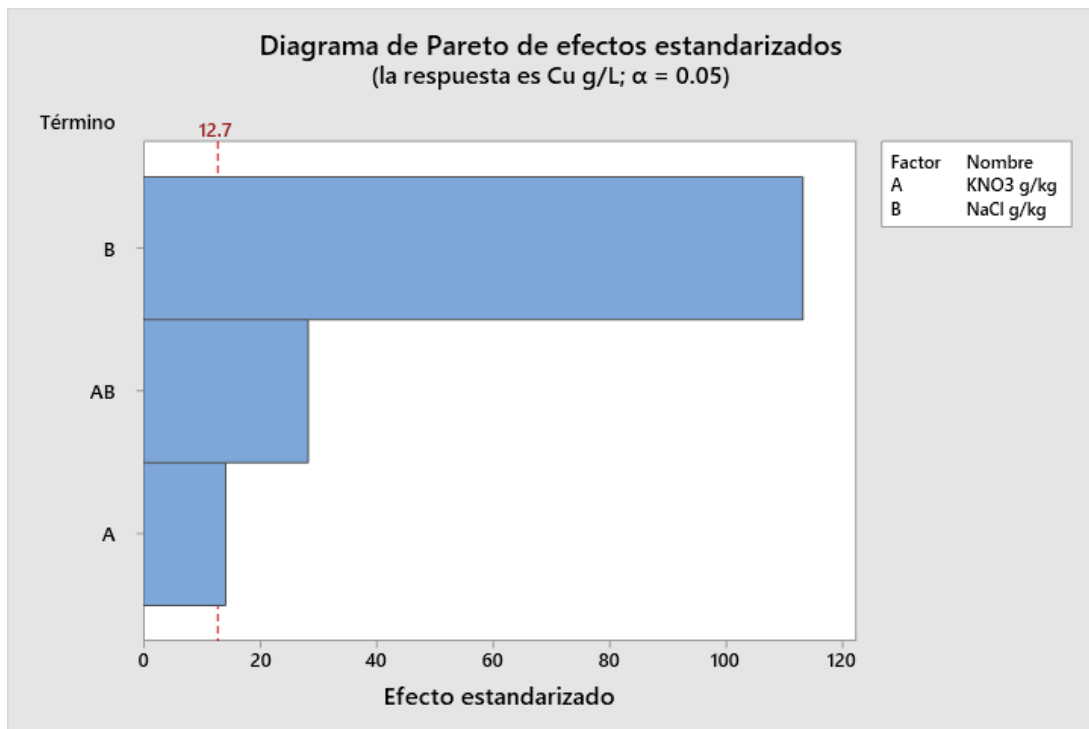
Tabla 9

Análisis de la varianza para la ley de cobre en la solución en relación de KNO₃ y NaCl

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|---------------------------------|-----------|------------------|------------------|----------------|----------------|
| Modelo | 4 | 113.529 | 28.3822 | 3883.50 | 0.012 |
| Lineal | 2 | 95.009 | 47.5046 | 6500.00 | 0.009 |
| KNO ₃ g/kg | 1 | 1.462 | 1.4617 | 200.00 | 0.045 |
| NaCl g/kg | 1 | 93.548 | 93.5476 | 12800.00 | 0.006 |
| Interacciones de 2 términos | 1 | 5.847 | 5.8467 | 800.00 | 0.022 |
| KNO ₃ g/kg*NaCl g/kg | 1 | 5.847 | 5.8467 | 800.00 | 0.022 |
| Curvatura | 1 | 12.673 | 12.6728 | 1734.00 | 0.015 |
| Error | 1 | 0.007 | 0.0073 | | |
| Total | 5 | 113.536 | | | |

Figura 7

Diagrama de Pareto en la ley de cobre en lixiviación de concentrado con NaCl y KNO₃



En la figura 7 y tabla 9 las variables de estudio cloruro de sodio, nitrato de potasio y la mezcla influyen significativamente en la ley de cobre en g/L, teniendo mayor influencia el cloruro de sodio, seguido por la mezcla de cloruro de sodio y nitrato de potasio ya que los valores de p calculado son menores a lo establecido de 0.05 estadísticamente para una confiabilidad del 95%. Mientras que en el diagrama de Pareto las barras superan el valor de 12.7.

En base a los resultados la hipótesis nula se rechaza y la hipótesis alternativa predetermina.

Tabla 10

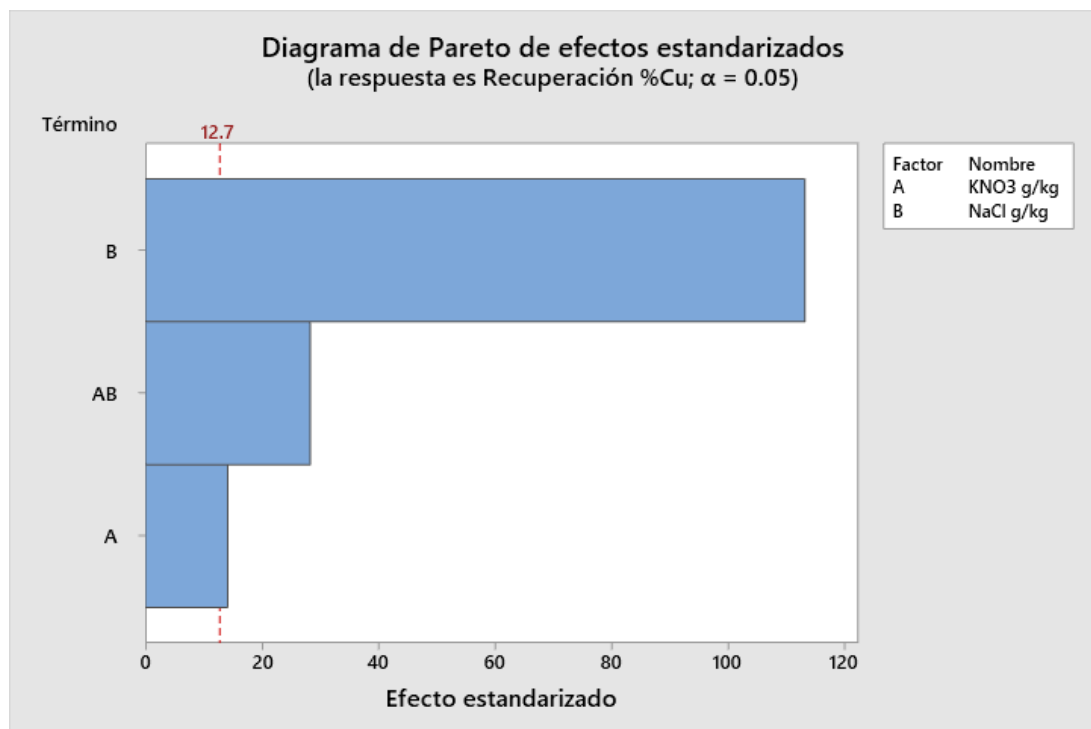
Análisis de varianza (ANOVA) para la recuperación de cobre en la lixiviación con sales oxidantes en un medio ácido

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|-----------------------------|----|-----------|-----------|----------|---------|
| Modelo | 4 | 1163.86 | 290.966 | 3883.50 | 0.012 |
| Lineal | 2 | 974.01 | 487.004 | 6500.00 | 0.009 |
| KNO3 g/kg | 1 | 14.98 | 14.985 | 200.00 | 0.045 |
| NaCl g/kg | 1 | 959.02 | 959.023 | 12800.00 | 0.006 |
| Interacciones de 2 términos | 1 | 59.94 | 59.939 | 800.00 | 0.022 |
| KNO3 g/kg*NaCl g/kg | 1 | 59.94 | 59.939 | 800.00 | 0.022 |
| Curvatura | 1 | 129.92 | 129.918 | 1734.00 | 0.015 |
| Error | 1 | 0.07 | 0.075 | | |
| Total | 5 | 1163.94 | | | |

Nota: Procesado con minitab 19.

Figura 8

Diagrama de Pareto en la recuperación de cobre en la lixiviación con sales oxidantes



Nota: Procesado con minitab los datos obtenidos de pruebas experimentales

En la tabla 10 y figura 8 las variables de estudio el cloruro de sodio, nitrato de potasio como medio clorurante y oxidante, los valores obtenidos tanto para cloruro de sodio, nitrato de

potasio y la mezcla de ambos son inferiores al valor de p de 0.05, teniendo una secuencia del efecto en primer lugar el cloruro de sodio, seguida de la mezcla cloruro de sodio y nitrato de potasio, seguida por el nitrato de potasio, del mismo modo en el diagrama de Pareto las barras son superiores a 1.27, lo que indica tiene efecto significativo en la recuperación de cobre en un medio ácido los agentes oxidantes y clorurantes compuesta por cloruro de sodio y nitrato de potasio.

En base a ellos predetermina la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula.

4.2.2. Contrastación de hipótesis específico.

Ha: En la lixiviación de concentrados la concentración de las mezclas oxidantes y clorurantes influye en la extracción de cobre.

Ho: En la lixiviación de concentrados, la concentración de las mezclas oxidantes y clorurantes **no** influye en la extracción de cobre.

En la tabla 9 figura 7 la mezcla o interacción de dos términos para el cloruro de sodio y nitrato de potasio el valor de p tiene un valor de 0.022 inferior a 0.05, mientras que la barra AB del diagrama de Pareto es superior a 12.7 para la ley de cobre en la solución. Mientras que para la recuperación de cobre en la tabla 10 y figura 8 en la interacción de 2 términos nitrato de potasio y cloruro de sodio se obtuvo un valor de 0.022 inferior a 0.05 predeterminada para una confiabilidad de 95% estadísticamente. Este indica tiene influencia significativamente la mezcla de los dos componentes en el proceso de lixiviación de concentrado de cobre, lo que nos permite rechazar la hipótesis nula.

Ha: El cloruro de sodio en la lixiviación de concentrado empleando sales oxidantes y clorurantes influye en la extracción de cobre.

Ho: El cloruro de sodio en la lixiviación de concentrado empleando sales oxidantes y clorurantes **no** influye en la extracción de cobre.

El cloruro de sodio de acuerdo la tabla 9 y 10 para la ley recuperación de cobre en la solución se obtiene un valor de p 0.06 menor al valor que se establece de 0.05 de igual manera en la figura 7 y 8 para la ley y recuperación del cobre la barra de B tiene mayor valor a las otras barras y es superior de 12.7, esto indica que el cloruro de sodio tiene una mayor influencia en la ley y recuperación en la lixiviación de concentrado de cobre con sales clorurantes y oxidantes en un medio ácido. Para ello la hipótesis nula se rechaza y se acepta la hipótesis alternativa.

Ha: El tiempo tiene un efecto en la lixiviación con sales oxidantes y clorurantes en la recuperación de cobre.

Ho: El tiempo **no** tiene un efecto en la lixiviación con sales oxidantes y clorurantes en la recuperación de cobre.

| Modelo | R | R ² |
|--------|-------|----------------|
| 1 | 0.833 | 0.694 |

Tabla 11

Análisis de varianza del tiempo en la lixiviación de concentrado de cobre en medio ácido con sales oxidantes y clorurantes

| Predictor | Estimador | EE | t | p |
|------------------|-----------|-------|------|-------|
| Constante | 15.855 | 9.517 | 1.67 | 0.147 |
| Tiempo h | 0.784 | 0.212 | 3.69 | 0.010 |

R: 0.833, R²: 0.694

En la tabla 11 para un coeficiente de correlación de 0.833, el tiempo en horas tiene un valor de p calculado es de 0.010 inferior al valor de p de 0.05, esto indica que el tiempo afecta en la lixiviación de concentrado de cobre con sales clorurante y oxidante en un medio ácido en la recuperación de cobre. Con los resultados se rechaza la hipótesis nula y se valida la hipótesis alternativa.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5.1. Discusión de resultados.

Los resultados experimentales obtenidos en la lixiviación de concentrado de cobre previamente oxidado mediante sales clorurantes y oxidantes (NaCl y KNO_3) en medio ácido muestran una clara influencia de las condiciones de operación sobre la eficiencia del proceso.

En primer lugar, la cinética de lixiviación evidenció un incremento sostenido en la recuperación de cobre conforme transcurría el tiempo, alcanzando una recuperación del 69.56% a las 88 horas. La curva de recuperación se ajustó a una ecuación logarítmica con un alto grado de correlación ($R^2 = 0.9266$), lo cual indica un comportamiento típico de lixiviación controlada por difusión o reacción química superficial. Este resultado es coherente con lo reportado por (Ruiz-Sánchez & Lapidus, 2022), quienes también observaron un comportamiento sensible al tiempo en sistemas con oxidantes en medio ácido.

Respecto a las variables del diseño factorial, se determinó que la mejor recuperación de cobre (65.81%) se obtuvo en la prueba con 50 g/kg de KNO_3 y 100 g/kg de NaCl , lo cual corresponde a los niveles mínimos de ambas variables. Este hallazgo sugiere que altas concentraciones de NaCl y KNO_3 no necesariamente mejoran la extracción, posiblemente por efectos inhibitorios o la saturación de agentes activos. De hecho, pruebas con concentraciones máximas (100 g/kg KNO_3 y 200 g/kg NaCl) arrojaron menores recuperaciones (30.97%), indicando que existe una interacción negativa cuando ambos reactivos están presentes en concentraciones elevadas. Estos hallazgos son consistentes con lo planteado por (Hernández y otros, 2020), quienes observaron que la dosificación adecuada de agentes clorurantes y oxidantes es crucial para la eficiencia del proceso.

El análisis de varianza (ANOVA) confirmó estadísticamente que tanto el NaCl como el KNO_3 , así como su interacción, influyen significativamente en la recuperación y

concentración del cobre en solución, con valores de $p < 0.05$ para todos los efectos principales e interacción. En particular, el NaCl mostró mayor impacto, con valores de F más altos y p más bajos, lo cual respalda que el agente clorurante desempeña un papel más preponderante que el oxidante en este sistema. Este comportamiento también ha sido reportado por Huaracha (2021), quien logró una recuperación del 62% utilizando NaCl y FeCl_3 como sistema oxidante-clorurante. Las figuras de superficie y contorno ratifican gráficamente lo observado: las condiciones óptimas para maximizar la recuperación (>60%) y la concentración de Cu (>20 g/L) se encuentran en zonas de dosificación moderada de ambos reactivos, evitando excesos que podrían generar pasivación o formación de complejos no solubles.

En cuanto al efecto del tiempo, se demostró mediante regresión lineal que este factor tiene una influencia significativa sobre la recuperación de cobre ($p = 0.010$, $R = 0.833$, $R^2 = 0.694$). Esto indica que, si bien las condiciones químicas del medio son importantes, el tiempo de residencia también resulta crucial para permitir la disolución completa del cobre contenido en el concentrado oxidado.

Finalmente, la contrastación de hipótesis confirmó que tanto las sales oxidantes y clorurantes como su concentración y el tiempo de lixiviación tienen un efecto significativo sobre la extracción de cobre. En todos los casos, se rechazó la hipótesis nula y se aceptó la hipótesis alternativa con un nivel de confianza del 95%, lo que valida experimentalmente la propuesta de investigación.

Los resultados sugieren que la lixiviación ácida de concentrados sulfurados de cobre tratados previamente con agentes oxidantes y clorurantes es efectiva, siempre que se controlen cuidadosamente las variables de concentración y tiempo. Estas condiciones permiten optimizar la recuperación de cobre, posicionando esta alternativa como una vía viable para el tratamiento de concentrados complejos, en línea con los trabajos internacionales de (Chen y otros, 2022) y nacionales como el de (Núñez & Delgado, 2023).

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones.

En base a los resultados obtenidos de la investigación se llegaron a las siguientes conclusiones:

La presente investigación demostró que la lixiviación de concentrado sulfurado de cobre en medio ácido, empleando una mezcla de sales oxidantes (nitrato de potasio) y clorurantes (cloruro de sodio), influye significativamente en la recuperación y extracción del cobre. Los análisis estadísticos (ANOVA) y de regresión permitieron validar la hipótesis alternativa, estableciendo que tanto la concentración de los reactivos como el tiempo de lixiviación afectan de manera directa la eficiencia del proceso. Se concluye que este método representa una alternativa viable y eficiente para el tratamiento de concentrados de cobre, contribuyendo a optimizar la recuperación metálica en condiciones controladas.

La combinación de cloruro de sodio (NaCl) y nitrato de potasio (KNO₃) en la lixiviación ácida de concentrado sulfurado de cobre tiene un efecto significativo sobre la extracción de cobre, siendo el cloruro de sodio el agente con mayor influencia, como lo evidencian los valores de $p < 0.05$ y los coeficientes F elevados en el análisis de varianza. Por tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa respecto a su influencia.

Se comprobó que las concentraciones de los agentes oxidantes y clorurantes afectan directamente la recuperación de cobre. Las mejores condiciones se obtuvieron con dosis moderadas (50 g/kg de KNO₃ y 100 g/kg de NaCl), alcanzando hasta un 65.81% de recuperación. En consecuencia, se valida la hipótesis alternativa que afirma que la concentración de las mezclas influye significativamente en el proceso.

El tiempo de lixiviación tuvo un efecto positivo sobre la recuperación de cobre, con una tendencia creciente y estadísticamente significativa ($p = 0.010$). A mayor tiempo, mayor

recuperación, con un coeficiente de correlación $R = 0.833$. Esto confirma la hipótesis alternativa de que el tiempo tiene un efecto en la lixiviación con sales oxidantes y clorurantes.

La interacción entre las concentraciones de KNO_3 y $NaCl$ mostró también un efecto estadísticamente significativo ($p = 0.022$), lo que indica que su combinación debe optimizarse cuidadosamente. Esta interacción contribuye tanto a la concentración de cobre en solución como a su porcentaje de recuperación, lo cual respalda la hipótesis alternativa planteada en la investigación.

6.2. Recomendaciones

Se recomienda emplear concentraciones moderadas de cloruro de sodio (100 g/kg) y nitrato de potasio (50 g/kg), ya que estas condiciones demostraron ser las más eficientes para maximizar la recuperación de cobre sin generar efectos inhibitorios ni desperdicio de reactivos. Dosis elevadas no necesariamente mejoran el rendimiento y podrían afectar negativamente la eficiencia del proceso.

Dado que la recuperación de cobre mostró una tendencia creciente con el tiempo, se sugiere realizar la lixiviación por un periodo mínimo de 72 horas, extendiéndose hasta 88 horas cuando sea viable, para lograr una extracción más completa. Sin embargo, también se debe considerar el balance costo-beneficio entre recuperación adicional y tiempo de operación.

Se recomienda incorporar herramientas estadísticas como el diseño factorial y el análisis de varianza (ANOVA) en futuras optimizaciones de proceso, ya que permiten identificar de manera cuantitativa el efecto individual y combinado de las variables operativas sobre los resultados metalúrgicos, facilitando una toma de decisiones técnica y sustentada.

CAPÍTULO VII

REFERENCIAS

7.1. Referencias bibliografía

- Álvarez, T. (2024). *La minería en Guerrero y sus impactos ambientales y sociales: Tres grandes mineras: Capela, Los Filos y Media Luna. Comunicacion Científica*. Ediciones Comunicación Científica, S. A. de C. V. https://www.google.com.pe/books/edition/La_miner%C3%ADa_en_Guerrero_y_sus_impactos_a/bLT6EAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1
- Anand, S., Das, R. P., & Jena, P. K. (1981). Reduction-roasting and ferric chloride leaching of copper converter slag for extracting copper, nickel and cobalt values. *Hydrometallurgy*, 7(3), 243-252. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0304-386X\(81\)90005-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0304-386X(81)90005-0)
- Ashcroft, E. A. (1933). Sulfate Roasting of Copper ORES and Economic Recovery of Electrolytic Copper from Chloride Solutions. *Iopscience Transactions of The Electrochemical Society*, 63(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.1149/1.3493817>
- Bai, S., Fu, X., Li, C., & Wen, S. (2018). Process improvement and kinetic study on copper leaching from low-grade cuprite ore. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 54(2), 300-310. <https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-dc27f57c-c9f8-438c-b6a4-bde27e53bf1e>
- Bidari, E., & Aghazadeh, V. (2015). Investigation of Copper Ammonia Leaching from Smelter Slags: Characterization, Leaching and Kinetics. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 46(5), 2305–2314. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11663-015-0394-y>

- Cáceres, R. (1994). *Estadística multivariante y no paramétrica con SPSS: Aplicación a las ciencias de la salud*. Ediciones Díaz de Santos.
https://www.google.com.pe/books/edition/Estad%C3%ADstica_multivariante_y_no_param%C3%A9trica/GxhpROT-HB0C?hl=es-419&gbpv=1&dq=anova+de+dos+factores&pg=PA53&printsec=frontcover
- Catachura, R. (2024). Evaluación de lixiviación de minerales cupríferos y auríferos en medio ácido con sales oxidantes en agua de mar, en Minera Señor de Locumba Ite – Tacna. *Ingeniero metalurgista*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna.
<https://repositorio.unjbg.edu.pe/items/711a2cfb-1201-45ee-a705-ccab7672c5d8>
- CEPAL. (2021). *Recursos naturales y conflictos socioambientales en América Latina*.
<https://www.cepal.org>
- CEPAL. (2022). *Economía circular en la minería latinoamericana*. <https://www.cepal.org>
- Chahua, G. (2014). Optimización del proceso de lixiviación en medio ácido de concentrados sulfurados de cobre. *Ingeniero Metalurgico*. UNJFSC.
<https://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/912>
- Chen, J., Xie, F., Wang, W., Fu, Y., & Wang, J. (2022). Leaching of Gold and Silver from a Complex Sulfide Concentrate in Copper-Tartrate-Thiosulfate Solutions. *Metals*, 12(7), 2075-4701. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/met12071152>
- Chipana, F. (2021). Lixiviación en medio de cloruro de sodio y ácido sulfúrico para la recuperación de cobre desde minerales refractarios. *Ingeniero metalurgista*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna.
<https://repositorio.unjbg.edu.pe/items/04be1d92-f079-4b50-8ec5-a84338a1a2b6>

- Cohen, N., & Gómez Rojas, G. (2019). *Metodología de la investigación, ¿para qué? : La producción de los datos y los diseños*. Editorial Teseo. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://biblioteca.clacso.edu.ar/clacso/se/20190823024606/Metodologia_para_que.pdf
- Conić, V., Stanković, S., Marković, B., Božić, D., Stojanović, J., & Sokić, M. (2020). Investigation of the optimal technology for copper leaching from old flotation tailings of the copper mine bor (Serbia). *Metallurgical and Materials Engineering*, 26(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.30544/514>
- Cotton, F. A., Wilkinson, G., Murillo, C. A., & Bochmann, M. (1999). *Advanced Inorganic Chemistry*. Wiley. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.eng.uc.edu/~beaucag/Cla sses/AdvancedMaterialsThermodynamics/Books/Cotton%20F.,%20Wilkinson%20G., %20Murillo%20C.,%20Bochmann%20M.%20-%20Advanced%20inorganic%20chemistry-John%20Wiley%20&%20Sons
- Delbeke, K., & Rodriguez, P. (2014). *Copper Concentrates*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://internationalcopper.org/wp-content/uploads/2021/11/copper-concentrates-2014.pdf
- Delgado, A. (2023). *Hidrometalurgia del cobre en Río Tinto: 1725-1954*. . Editorial de la Universidad de Huelva. https://www.google.com.pe/books/edition/Hidrometalurgia_del_cobre_en_R%C3%A Do_Tinto/YrbmEAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1
- Diaz, p. (2023). *Lixiviación de minerales sulfurados*. San Marcos.

- Dutrizac, J., & Macdonald, R. (1974). *Ferric ion as a leaching medium*.
<https://www.semanticscholar.org/paper/Ferric-ion-as-a-leaching-medium-Dutrizac-Macdonald/f0898937703aa3a5b5082e53355703948df76f13>
- Ekmekyapar, A., Aktaş, E., Künkül, A., & Demirkiran, N. (2012). Investigation of Leaching Kinetics of Copper from Malachite Ore in Ammonium Nitrate Solutions. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 43(4), 764–772.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11663-012-9670-2>
- Elera, J., & Romero, C. (2015). Influencia del ácido sulfúrico sobre la extracción de cobre durante la lixiviación de un mineral sulfurado de baja ley en presencia de arsénico. *Pregrado*. Elera Torres, Jahang Karlo, Lamyegue.
<https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/133>
- Fernández, S. (2007). *Optimización del proceso de lixiviación clorurante en medio ácido oxidante de concentrados sulfurados de cobre*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNMS_bad725c63c9784aabf1a06c6245ca22c
- Filippou, D., St-Germain, P., & Grammatikopoulos, T. (2007). Recovery of Metal Values from Copper—Arsenic Minerals and Other Related Resources. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 28(4), 247-298. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/08827500601013009>
- Fletcher, A., & Neumeier, L. (1991). *Leaching Sulfidation-partitioned Chalcopyrite to Selectively Recover Copper*. Estados Unidos: U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines.

https://www.google.com.pe/books/edition/Leaching_Sulfidation_partitioned_Chalcop/tYeMQY2c2BgC?hl=es-419&gbpv=0

Fouad, S. (2024). *Análisis de regresión: Dominar el arte del análisis de regresión, predecir, analizar y decidir*. Mil millones de conocimientos [Spanish].
https://www.google.com.pe/books/edition/An%C3%A1lisis_de_regresi%C3%B3n/7RPzEAAAQBAJ?hl=es&gbpv=1

Ghosh, A., & Ray, H. (1991). *Principles of Extractive Metallurgy*. Wiley.
https://www.google.com.pe/books/edition/Principles_of_Extractive_Metallurgy/IlkrE8x2JrIC?hl=es-419&gbpv=1

Ghosh, A., & Ray, H. (1991). *Principles of Extractive Metallurgy*. New Age International.
https://www.google.com.pe/books/edition/Principles_of_Extractive_Metallurgy/IlkrE8x2JrIC?hl=es-419&gbpv=1&dq=extractive+metallurgy&pg=PA3&printsec=frontcover

González, L. F., Pérez, A. B., Verdeja, L. F., & Martínez, J. S. (2000). *Metalurgia Extractiva* (Vol. II). Editorial Síntesis, S.A.

Guiachetti Torres, D. A. (2011). *Consumo de Ácido Sulfúrico y Cinética de Lixiviación de un Mineral Oxidado de Cobre*. Universidad de Chile.
<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104139>

Guiachetti, D. (2011). Consumo de ácido sulfúrico y cinética de lixiviación de un mineral oxidado de cobre. *Tesis de licenciatura*. Universidad de Chile. chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/104139/cf-guiachetti_dt.pdf?sequence=5

Habashi, F. (1997). *Handbook of Extractive Metallurgy* (Vol. 2). ILEY-VCH.
https://www.academia.edu/26158094/Handbook_of_Extractive_Metallurgy_Vol_2_Fathi_Habashi

Habashi, F. (2017). *Principles of Extractive Metallurgy*. Routledge.
https://www.google.com.pe/books/edition/Principles_of_Extractive_Metallurgy/0IIPAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=EXTRACTIVE+METALLURGY&pg=PA452&printsec=frontcover

Hampe, W. (1891). *Analysis of grey copper ore, etc.*
<https://doi.org/https://doi.org/10.1039/AN8911600151>

Harris, D. (2001). *Análisis químico cuantitativo*. Reverte.
https://www.google.com.pe/books/edition/An%C3%A1lisis_qu%C3%ADmico_cuantitativo/RFRfxIDEp9EC?hl=es-419&gbpv=1&dq=principios+de+an%C3%A1lisis+instrumental+skoog+6+edici%C3%B3n+pdf&printsec=frontcover

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw Hill España.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008>

Hernández, P. C., Dupont, J., Herreros, O. O., Jimenez, Y. P., & Torres, C. M. (2019). Accelerating Copper Leaching from Sulfide Ores in Acid-Nitrate-Chloride Media Using Agglomeration and Curing as Pretreatment. *Minerals*, 9(4), Article 4.
[https://doi.org/9\(4\),250](https://doi.org/9(4),250). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/min9040250>

- Hernández, P., Gahona, G., Martínez, M., Toro, N., & Castillo, J. (2020). Caliche and Seawater, Sources of Nitrate and Chloride Ions to Chalcopyrite Leaching in Acid Media. *Metals*, *10*(4), 551. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/met10040551>
- Hernandez-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Interamericana.
- Herreros, O., & Viñals, J. (2007). Leaching of sulfide copper ore in a NaCl–H₂SO₄–O₂ media with acid pre-treatment. *Hydrometallurgy*, *89*(3), 260-268. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2007.07.011>
- Herreros, O., Vinals, J., & Quiñones, J. (2018). Kinetics of copper dissolution from sulfide minerals in acidic chloride media. *Hydrometallurgy*, *91*(1-4), 32-39. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2017.12.005>.
- Hosseinzadeh, M., & Hosseini, M. R. (2018). Investigation and optimization of influencing parameters on the copper extraction from a low-grade oxide deposit by acid leaching. *Metallurgical Research & Technology*, *305*(8), 116. <https://doi.org/https://doi.org/10.1051/metal/2018084>
- Hosseinzadeh, M., & Hosseini, M. R. (2020). Investigation and optimization of influencing parameters on the copper extraction from a low-grade oxide deposit by acid leaching. *Metallurgical Research & Technology*, *10*(4), 551. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/met10040551>
- Hosseinzadeh, M., Entezari Zarandi, A., Pasquier, L.-C., & Azizi, A. (2021). Kinetic Investigation on Leaching of Copper from a Low-Grade Copper Oxide Deposit in Sulfuric Acid Solution: A Case Study of the Crushing Circuit Reject of a Copper Heap Leaching. *Journal of Sustainable Metallurgy*, *7*(3), 1154–1168. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s40831-021-00408-5>

- Huaracha, J. (2021). lixiviaci3n de concentrado en medio 1cido empleando sales oxidantes y clorurantes para la extracci3n de cobre, plata y oro. *Tesis pre grado*. Universidad Nacional de San Agust3n de Arequipa, Arequipa. <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/2037e23a-9f4d-4ca2-8708-d937c0be9d42/content>
- Imideev, V. A., Aleksandrov, P. V., Medvedev, A. S., & Bazhenova, O. V. (2014). Nickel Sulfide Concentrate Processing Using Low-Temperature Roasting with Sodium Chloride. *Metallurgist*, 58(5), 353–359. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11015-01>
- Instituto Tecnol3gico GeoMinero de Espa1a. (1988). *Miner1a Qu1mica*. Madrid: Artes graficos MV S.A.
- ITGE. (1991). *Miner1a qu1mica*. Instituto Tecnol3gico Geominero de Espa1a . https://www.google.com.pe/books/edition/Miner%C3%ADa_qu%C3%ADmica/29xW6aOhcXgC?hl=es-419&gbpv=1
- Jose-Luis, P., Abadias, A., Valero, A., Valero, A., & Reuter, M. (2019). The energy needed to concentrate minerals from common rocks: The case of copper ore. *Energy*, 181, 494-503. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.05.145>
- Kang, C., Ji, S., Pabst, T., Choi, K., Khan, M., Kumar, R., . . . Kim, D. (2021). Copper Extraction from Oxide Ore of Almalıyk Mine by H₂SO₄ in Simulated Heap Leaching: Effect of Particle Size and Acid Conce. *Minerals*, 11(9), 1020. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/min11091020>
- kumar, D., Sujay, B. L., Avinash, & B., & Yakshil. (2018). *Extractive Metallurgy: Processes and applications*. PHI Learning Pvt. Ltd. https://www.google.com.pe/books/edition/EXTRACTIVE_METALLURGY/WrBGD

wAAQBAJ?hl=es-

419&gbpv=1&dq=EXTRACTIVE+METALLURGY&pg=PA170&printsec=frontcover

Lane, D. J., Cook, N. J., Grano, S. R., & Ehrig, K. (2016). Selective leaching of penalty elements from copper concentrates: A review. *Minerals Engineering*, 98, 110-121. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mineng.2016.08.006>

Lane, D., Cook, N., Grano, S., & Ehrig, K. (2016). Selective leaching of penalty elements from copper concentrates: A review. *Minerals Engineering*, 98, 110-121. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mineng.2016.08.006>

Lkhamtognid, N., Ganbat, B., Gunchin, B., & Dashdendev, B. (2018). Effect of Roasting Temperature for Copper Leaching of Sulfide Concentrate by Combined Methods. *Open Journal of Applied Sciences*, 8(12). <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2409431>

Long, G., Peng, Y., & Bradshaw, D. (2012). A review of copper–arsenic mineral removal from copper concentrates. *Minerals Engineering*, 36-38, 179-186. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mineng.2012.03.032>

Long, H., Chen, K., Xu, C., Li, H., Xie, H., Yin, S., . . . Ma, A. (2021). Efficient Recycling of Silver and Copper from Sintering Dust by Chlorination Roasting Process. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 46(7), 6663–6672. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s13369-020-05291-y>

Lu, S., Xia, Y., Huang, C., Wu, G., Peng, J., Ju, S., & Zhang, L. (2014). Removing chlorine of CuCl residue from zinc hydrometallurgy by microwave roasting. *Journal of Central South University*, 21(4), 1290–1295. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11771-014-2065-6>

- Lu, T., Chen, W., Ma, Y., Qian, Q., & Jia, J. (2023). Environmental impacts and improvement potentials for copper mining and mineral processing operations in China. *Journal of Environmental Management*, 342, 118178. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118178>
- Mamani, A. (2019). Lixiviación de Minerales Finos Oxidados de Cobre. *Tesis de pregrado*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú.}. chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.unjbg.edu.pe/server/api/core/bitstreams/5da451f7-469c-4d65-9b27-931e85da1638/content
- Maps, G. (2013). 11°07'33.9"S 77°36'33.0"W - Google Maps. <https://www.google.com/maps/place/11%C2%B007'33.9%22S+77%C2%B036'33.0%22W/@-11.1260833,-77.6091667,17z/data=!3m1!4b1!4m4!3m3!8m2!3d-11.1260833!4d-77.6091667?hl=es&entry=ttu>
- Medina, M., Rojas, R., Bustamante, W., & Loaiza, R. (2023). *Metodología de la investigación: Técnicas e instrumentos de investigación*. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú S.A.C. <https://doi.org/DOI:https://doi.org/10.35622/inudi.b.080>
- Mendez-Velasco, C., Choque, D., Fuentes-Rubio, J., & Robledo, M. (2023). Lixiviación de calcopirita con ácido etilendiaminotetraacético (edta) en medio oxidante. *Epistemus*, 17(34). <https://doi.org/https://doi.org/10.36790/epistemus.v17i34.274>
- MINEM. (2023). *Anuario Minero 2022*. Ministerio de Energía y Minas del Perú. . <https://www.minem.gob.pe>
- MINEM. (2023). *Impacto ambiental de tecnologías mineras en Perú*. Ministerio de Energía y Minas. <https://www.minem.gob.pe>

- Mubarak, Y. (2020). Leaching of Copper Ores: Effects of Operating Variables. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8, 670-674.
<https://doi.org/DOI:10.30534/ijeter/2020/31882020>
- Municipalidad de Huacho. (2022). *nforme de conflictos socioambientales en la provincia de Huaura*. <https://www.munihuacho.gob.pe>
- Navarro, P., Vargas, C., Bahamonde, F., Gómez, M., Espinoza, D., Sepúlveda, R., & Castillo, J. (2020). Effect of Pre-Treatment with Sodium Chloride/Sulfuric Acid on the Bornite Concentrate Leaching in Chloride Medium. *Metals*, 10(12), 1674.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/met10121674>
- Neira, A., Pizarro, D., Quezada, V., & Velásquez-Yévenes, L. (2021). Pretreatment of Copper Sulphide Ores Prior to Heap Leaching: A Review. *Metals*, 11(7), 1067.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/met11071067>
- Ntakamutshi, P. T., Kime, M.-B., Mwema, M. E., Ngenda, B. R., & Kaniki, T. A. (2017). Agitation and column leaching studies of oxidised copper-cobalt ores under reducing conditions. *Minerals Engineering*, 111, 47-54.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mineng.2017.06.001>
- Núñez, A., & Delgado, E. (2023). Recuperación de cobre, zinc, oro y plata desde minerales polimetálicos por lixiviación en solución oxidante amoniacal. *Revista del instituto de investigación de la facultad de minas metalurgia y ciencias geográficas*, 26(51), e25263. [https://doi.org/ https://doi.org/10.15381/iigeo.v26i51.25263](https://doi.org/https://doi.org/10.15381/iigeo.v26i51.25263)
- Nyamjargal, L., Batdemberel, G., Burmaa, G., & Burmaa, D. (2018). Effect of Roasting Temperature for Copper Leaching of Sulfide Concentrate by Combined Methods. *Open Journal of Applied Sciences*, 8(12), 545-553.
<https://doi.org/https://doi.org/10.4236/ojapps.2018.812044>

- OECD. (2021). Minerals policy perspectives 2021. *OECD Publishing*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1787/9789264307452-en>
- OECD. (2022). *Global outlook on resource efficiency and climate*. OECD Publishing.
- OEFA. (2023). *Evaluación de riesgos ambientales en la región Lima*. Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental: <https://www.oefa.gob.pe>
- OEFA. (2023). *Guía técnica para el manejo de residuos mineros*. Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. <https://www.oefa.gob.pe>
- oizhanova, A., Kenzhaliyev, B., Magomedov, D., Kamalov, E., Yerdenova, M., Bakrayeva, A., & Abdyldayev, N. (2023). Study of Factors Affecting the Copper Ore Leaching Process. *ChemEngineering*, 7(3).
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/chemengineering7030054>
- Oliveira, D., Sobral, L., Olson, G., & Olson, S. (2014). Acid leaching of a copper ore by sulphur-oxidizing microorganisms. *Hydrometallurgy*, 147-148, 223-227.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2014.05.019>
- ONU. (2015). *Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. .
<https://www.un.org>
- ONU. (2020). *Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future*. <https://www.resourcepanel.org/reports/resource-efficiency-and-climate-change>
- Paitán, H., mejía, E., ÑAupas, H., nova, E., & villagomez, A. (2014). *Metodología de la investigación*. Colombia: EDICIONES DE LA U LTDA.
https://www.google.com.pe/books/edition/Metodolog%C3%ADa_de_la_investigaci%C3%B3n/LzKbDwAAQBAJ?hl=es&gbpv=1

- Palacios, S. (2002). Lixiviación de menas auríferas con sales oxidantes en medio ácido mediante el proceso severo. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 5(9).
<https://doi.org/https://doi.org/10.15381/iigeo.v5i9.661>
- Pietrzyk, S., & Tora, B. (2018). Trends in global copper mining – a review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 427(1), 012002.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1088/1757-899X/427/1/012002>
- Quevedo Urías, H., & Pérez Salvador, B. (2014). *Estadística para Ingeniería y Ciencias*. México: Grupo Editorial Patria.
https://www.google.com.pe/books/edition/Estad%C3%ADstica_para_Ingenier%C3%ADa_y_Ciencias/jvLhBAAAQBAJ?hl=es&gbpv=0
- Quezada Reyes, V. A., Roca, A., V., R., Benavente, O., Cruells Cadevall, M., Keith, B., & Melo, E. (2020). Effect of pretreatment prior to leaching on a chalcopyrite mineral in acid media using NaCl and KNO₃. *Ciència Dels Materials i Química Física*.
<https://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/181521>
- Quezada, V., Roca, A., Benavente, O., Cruells, M., & Melo, E. (2021). The Effects of Sulphuric Acid and Sodium Chloride Agglomeration and Curing on Chalcopyrite Leaching. *Metals*, 11(6), 873. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/met11060873>
- Quezada, V., Roca, A., Benavente, O., Cruells, M., Keith, B., & Melo, E. (2020). Effect of pretreatment prior to leaching on a chalcopyrite mineral in acid media using NaCl and KNO₃. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(5), 10316-10324.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.07.055>
- Ray, H. S., & Ray, S. (2018). *Kinetics of Metallurgical Processes*. Springer.
https://www.google.com.pe/books/edition/Kinetics_of_Metallurgical_Processes/415q

DwAAQBAJ?hl=es-

419&gbpv=1&dq=kinetics+in+extractive+metallurgy&pg=PA118&printsec=frontcover

Roy, S., Sarkar, S., Datta, A., & Rehani, S. (2016). Importance of mineralogy and reaction kinetics for selecting leaching methods of copper from copper smelter slag. *Separation Science and Technology*, 51(1), 135-146.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1080/01496395.2015>

Ruiz-Sánchez, A., & Lapidus, G. (2022). Cinética de lixiviación de calcopirita en medio acuoso de etilenglicol-peróxido de hidrógeno-ácido sulfúrico. *Tópicos de investigación en ciencias de la tierra y materiales*, 9(9), 53-58.
<https://doi.org/https://doi.org/10.29057/aactm.v9i9.9420>

Sahoo, S., Kumar, M., & Karak, S. (2023). *Fundamentals of Metallurgical Thermodynamics*. Springer Nature Singapore.
https://www.google.com.pe/books/edition/Fundamentals_of_Metallurgical_Thermodyna/X2HjEAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1

Schlesinger, M., King, M., Sole, K., & Davenport, W. (2011). *Extractive Metallurgy of Copper*. Elsevier Ltd. All rights reserved. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://metals.ir/Panel/Attachments/636706421462346444.pdf

Schueler, T. A., de Aguiar, P. F., Vera, Y. M., & Goldmann, D. (2021). Leaching of Cu, Zn, and Pb from Sulfidic Tailings Under the Use of Sulfuric Acid and Chloride Solutions. *Journal of Sustainable Metallurgy*, 7(4), 1523–1536.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s40831-021-00446-z>

- Senanayake, G. (2009). A review of chloride assisted copper sulfide leaching by oxygenated sulfuric acid and mechanistic considerations. *Hydrometallurgy*, 98(1), 21-32.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2009.02.010>
- Siddique, I. (2008). *Extraction for economic utilization of indigenous copper ores by using hydrometallurgical techniques*. University of Education Lahore.
<http://repository.pastic.gov.pk/jspui/handle/123456789/10844>
- Sohn, H. Y., & Wadsworth, M. E. (2013). *Rate Processes of Extractive Metallurgy*. Springer Science & Business Media.
https://books.google.com.pe/books?id=SK3bBwAAQBAJ&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Toro, N., Ghorbani, Y., Turan, M. D., Robles, P., & Gálvez, E. (2021). Gangues and Clays Minerals as Rate-Limiting Factors in Copper Heap Leaching: A Review. *Metals*, 11(10). [https://doi.org/ https://doi.org/10.3390/met11101539](https://doi.org/https://doi.org/10.3390/met11101539)
- Toro, N., Ghorbani, Y., Turan, M., Robles, P., & Gálvez, E. (2021). Gangues and Clays Minerals as Rate-Limiting Factors in Copper Heap Leaching: A Review. *Metals*, 11(10), 1539. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/met11101539>
- Urias, H., & Salvador, B. (2014). *Estadística para Ingeniería y Ciencias*. Grupo Editorial Patria.
https://www.google.com.pe/books/edition/Estad%C3%ADstica_para_Ingenier%C3%ADa_y_Ciencias/jvLhBAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=anova+de+dos+factores&pg=PA338&printsec=frontcover
- Vignes, A. (2011). *Extractive Metallurgy 2*. ISTE Ltd and John Wiley & Sons, Inc.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/9781118616932.fmatter>

- Wilkomirsky, I., Rojas, N., & Balladares, E. (2010). Gold and Silver Cyanidation from a Residue Produced by Leaching Dead-Roasted Copper White Metal. *Canadian Metallurgical Quarterly*, 49(1), 29-37.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1179/cmq.2010.49.1.29>
- Zhang, H., Chen, G., Cai, X., Fu, J., Liu, M., Zhang, P., & Yu, H. (2021). The leaching behavior of copper and iron recovery from reduction roasting pyrite cinder. *Journal of Hazardous Materials*, 420, 126561.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126561>
- Zheng, C., Jiang, K., Cao, Z., Northwood, D., Waters, K., Wang, H., . . . Ma, H. (2023). Agitation Leaching Behavior of Copper–Cobalt Oxide Ores from the Democratic Republic of the Congo. *Minerals*, 13(6), 743.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/min13060743>
- Zhong, P., Mu, W., Sun, W., Zhou, Y., Yang, R., Wang, Q., . . . Luo, S. (2024). Efficient Extraction of Ni, Cu and Co from Mixed Oxide–Sulfide Nickel Concentrate by Sodium Chloride Roasting: Behavior, Mechanism and Kinetics. *Metallurgical and Materials Transactions* , 55, 1896–1909. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11663-024-03074-6>

ANEXOS

Anexo 1 localización



Anexo 3 Matriz de consistencia.

| | Problema | Objetivo | Hipótesis | Variable | Dimensión | Metodología |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Generales | ¿En qué medida la lixiviación de concentrados en medio ácido de sales oxidantes y clorurantes influyen en la extracción de cobre? | Analizar en qué medida la lixiviación de concentrados en medio ácido empleando sales oxidantes y clorurantes influyen en la extracción de cobre. | Realizando una lixiviación de concentrados en medio ácido con sales oxidantes y clorurantes influye en la recuperación y extracción de cobre. | <u>Independiente</u> • Lixiviación de concentrado | Factor | <u>Tipo de investigación:</u> aplicada |
| | | | | <u>Dependiente.</u> <u>Recuperación extracción</u> | Eficiencia | <u>Nivel de Investigación:</u> explicativa |
| Específico | ¿Cómo la concentración de las mezclas oxidantes y clorurantes influye en la extracción de cobre? | Evaluar en qué medida la concentración de las mezclas oxidantes y clorurantes influye en la extracción de cobre. | En la lixiviación de concentrados la concentración de las mezclas oxidantes y clorurantes influye en la extracción de cobre. | <u>Independiente</u> - Mezcla oxidante clorurante | Factor | <u>Diseño de Investigación:</u> experimental |
| | | | | <u>Dependiente.</u> - Extracción | Eficiencia | <u>Enfoque de Investigación:</u> Cuantitativa |
| | ¿Cómo la concentración de cloruro de sodio en la lixiviación de sales oxidantes y clorurantes influye en la extracción de cobre? | Evaluar en qué medida la concentración de cloruro de sodio en la lixiviación de sales oxidantes y clorurantes influye en la extracción de cobre. | - La concentración de cloruro de sodio en la lixiviación de sales oxidantes y clorurantes influye en la extracción de cobre. | <u>Independiente</u> - Concentrado de sales oxidante y clorurante | Factor | <u>Población Muestra:</u> 5 kg , 0.250 kg |
| ¿Cómo la mezcla el tiempo en la lixiviación de sales oxidantes y clorurantes influye en la extracción de cobre? | Evaluar en qué medida el tiempo en la lixiviación de sales oxidantes y clorurantes influye en la extracción de cobre. | - El tiempo tiene un efecto en la lixiviación con sales oxidantes y clorurantes en la recuperación de cobre. | <u>Independiente</u> - Tiempo <u>Dependiente.</u> - Recuperación | Factor Eficiencia | <u>Técnica Procesamiento Información:</u> Estadístico | |

Anexo 4 Prueba de cinética de lixiviación del concentrado de cobre

| N° | Tiempo h | Volumen Muestra cm ³ | Volumen Gastado cm ³ | Densidad g/cm ³ | Masa g | %Cu | Cu g/L | Masa Total g | Masa Cu | %Cu |
|----|----------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|---------|------|--------|--------------|---------|-------|
| 1 | 4 | 1.0 | | | | | 0.45 | 0 | 0.60 | 1.46 |
| 2 | 8 | 1.0 | | | | | 0.89 | 0 | 1.18 | 2.89 |
| 3 | 16 | 1.0 | 8.0 | 1.0020 | 1.002 | 1.31 | 13.17 | 1332.66 | 17.52 | 42.81 |
| 4 | 24 | 0.5 | 4.0 | 1.0020 | 0.501 | 1.31 | 13.17 | 1332.66 | 17.52 | 42.81 |
| 5 | 32 | 1.0 | 11.0 | 1.0130 | 1.013 | 1.79 | 18.11 | 1347.29 | 24.09 | 58.86 |
| 6 | 48 | 1.0 | 12.0 | 1.0180 | 1.018 | 1.94 | 19.76 | 1353.94 | 26.28 | 64.21 |
| 7 | 64 | 1.0 | 12.5 | 1.0148 | 1.01481 | 2.03 | 20.58 | 1349.70 | 27.37 | 66.88 |
| 8 | 88 | 1.0 | 13.0 | 1.1643 | 1.16426 | 1.84 | 21.40 | 1548.47 | 28.47 | 69.56 |

Ley de Cabeza Cu 17.49 %

V 1.33 L
 Mineral 234 g
 Cu Cabeza 40.93 g
 Factor 0.006045

Anexo 5 Resultado de las 6 pruebas de lixiviación de concentrado de cobre

| N° | Tiempo h | Densidad Solución | | | | | | Cobre en el mineral | | | | | | | | | |
|----|----------|---------------------------------|---------------------------------|----------------|--------------|--------------------------|----------------------------|---------------------|-------------------|-----------|----------------|--------|--------|--------------------|--------------------|-------|--|
| | | Volumen Muestra cm ³ | Volumen Gastado cm ³ | Masa inicial g | Masa final g | Volum en cm ³ | Densidad g/cm ³ | Volum en corrida L | Masa de muestra g | Masa Cu g | Masa muestra g | %Cu | Cu g/L | Masa Cu solución g | Masa Total de Cu g | %Cu | |
| 1 | 72:21 | 1.0 | 3.4 | 2.9468 | 6.3497 | 3.0 | 1.134 | 2.800 | 500 | 87.450 | 1.1343 | 1.8120 | 20.55 | 57.55 | 87.45 | 65.81 | |
| 2 | 72:16 | 1.0 | 2.8 | 2.9475 | 6.3770 | 3.0 | 1.143 | 2.800 | 500 | 87.450 | 1.1432 | 1.4806 | 16.93 | 47.39 | 87.45 | 54.19 | |
| 3 | 72:07 | 1.0 | 1.4 | 2.9497 | 6.2179 | 3.0 | 1.089 | 2.800 | 500 | 87.450 | 1.0894 | 0.7768 | 8.46 | 23.70 | 87.45 | 27.10 | |
| 4 | 72:39 | 1.0 | 1.6 | 2.9476 | 6.0689 | 3.0 | 1.040 | 2.800 | 500 | 87.450 | 1.0404 | 0.9296 | 9.67 | 27.08 | 87.45 | 30.97 | |
| 5 | 72:01 | 1.0 | 2.8 | 2.9503 | 6.1233 | 3.0 | 1.058 | 2.800 | 500 | 87.450 | 1.0577 | 1.6003 | 16.93 | 47.39 | 87.45 | 54.19 | |
| 6 | 72:05 | 1.0 | 2.8 | 2.9472 | 6.0203 | 3.0 | 1.024 | 2.800 | 500 | 87.450 | 1.0244 | 1.6641 | 17.05 | 47.73 | 87.45 | 54.58 | |

Anexo 6 Fotos de la lixiviación de concentrado de cobre

