



Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica

Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica

**PH y dosificación del ácido sulfúrico en la lixiviación de minerales como impacta en la
extracción de cobre**

Tesis

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico

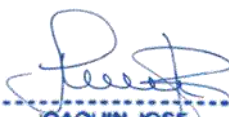
Autores

Aldair Felipe Diaz Medrano

Jonathan Daniel Asencio Carreño

Asesor

Dr. Joaquín José Abarca Rodríguez



**JOAQUIN JOSE
ABARCA RODRIGUEZ
INGENIERO METALURGICO
Reg. CIP Nº 106833**

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

METADATOS

DATOS DEL AUTOR (ES):		
APELLIDOS Y NOMBRES	DNI	FECHA DE SUSTENTACIÓN
Díaz Medrano, Aldair Felipe	75489871	03 – 06 - 2026
Asencio Carreño, Jonathan Daniel	75147462	03 – 06 - 2026
DATOS DEL ASESOR:		
APELLIDOS Y NOMBRES	DNI	CÓDIGO ORCID
Abarca Rodríguez, Joaquín José	15740291	https://orcid.org/0000-0003-1004-3824
DATOS DE LOS MIEMBROS DE JURADOS – PREGRADO/POSGRADO-MAESTRÍA-DOCTORADO:		
APELLIDOS Y NOMBRES	DNI	CODIGO ORCID
Sánchez Guzmán, Alberto Irhaam	15758117	https://orcid.org/0000-0003-1575-8466
Ipanaque Roña, Juan Manuel	32952515	https://orcid.org/0000-0003-2695-9802
Zapata Del Solar, Helen Analí	44067559	https://orcid.org/0000-0002-5347-6155

2025 -082271 Diaz Medrano 2025 - 083191 Asencio C...

pH y dosificación del ácido sulfúrico en la lixiviación de minerales como impacta en la extracción de cobre

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FIQyM - PREGRADO 2026

Unidad de Investigación de la FIQyM - 2026

Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trnoid::1:3462888837

Fecha de entrega

22 ene 2026, 4:39 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

22 ene 2026, 4:44 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS_Diaz_Medrano_Asencio_Carre_o.docx

Tamaño del archivo

3.0 MB

70 páginas

12.352 palabras

67.975 caracteres



Página 2 de 75 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trnoid::1:3462888837

17% 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

- 16% Fuentes de Internet
- 3% Publicaciones
- 10% 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 la revise.

DEDICATORIA

Con todo mi profundo cariño agradezco a mis padres, cuyo apoyo incondicional y leal ha sido la fuerza que me impulsó a alcanzar mis metas; cada página de este trabajo está dedicada a ellos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco con humildad al Ser Supremo por el don de la vida, a mis amados padres por acompañarme y sostenerme en el camino hacia mi vocación profesional. Extiendo también mi gratitud a todos los docentes de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica de la U.N.J.F.S.C., quienes con sus enseñanzas, consejos y guía contribuyeron de manera invaluable a mi formación.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	5
AGRADECIMIENTO	6
ÍNDICE GENERAL	7
ÍNDICE DE TABLA	10
ÍNDICE DE FIGURA.....	11
ANEXOS	12
RESUMEN	13
ABSTRACT.....	14
INTRODUCCIÓN	15
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.1 Descripción de la realidad problemática.	17
1.2 Formulación del Problema.	18
1.2.1 Problema General.	18
1.2.2 Problemas Específicos.....	18
1.3 Objetivos de la Investigación	19
1.3.1 Objetivo General.....	19
1.3.2 Objetivo Especifico	19
1.4 Justificación de la Investigación	19
1.5 Delimitación del Estudio.....	20
1.5.1 Delimitación territorial	20
1.5.2 Delimitación tiempo espacio	21
CAPITULO II MARCO TEÓRICO	23

2.1.	Antecedentes de la investigación	23
2.1.1.	Investigación internacional.	23
2.1.2.	Investigación nacional.	25
2.2.	Bases teóricas.	28
2.2.1.	Lixiviación de minerales de cobre	28
2.2.2.	Química de la lixiviación del cobre	29
2.3.	Bases filosóficas.	33
2.4.	Definiciones conceptuales.....	35
2.5.	Hipótesis de la investigación.....	37
2.5.1.	Hipótesis general.....	37
2.5.2.	Hipótesis específicas.....	37
2.6.	Operacionalización de variables e indicadores.	38
CAPITULO III METODOLOGÍA		39
3.1.	Diseño metodológico.....	39
3.2.	Población y muestra.	40
3.3.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	41
3.4.	Técnicas para el procesamiento de la información.	42
CAPITULO IV RESULTADOS.....		43
4.1.	Análisis de resultados.....	43
4.1.1.	Condiciones de lixiviación de minerales de cobre.....	43
4.1.2.	Resultados de las pruebas realizadas sobre la lixiviación de minerales de cobre oxidado.	44
4.2.	Contrastación de hipótesis.....	48

4.2.1. Contratación de hipótesis general.	48
4.2.2. Contratación de hipótesis específico.	49
CAPÍTULO V DISCUSIÓN.....	52
5.1. Discusión de resultados.....	52
CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
6.1. Conclusión.....	54
6.2. Resultados	55
CAPÍTULO VII REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍAS.....	56
7.1. Referencias bibliográficas.....	56
ANEXOS	64

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1	Operacionalización de las variables e indicadores	38
Tabla 2	Condiciones de las 11 pruebas de lixiviación peso, agua y ley de cobre	43
Tabla 3	Resultados de las pruebas de lixiviación de minerales de cobre	44
Tabla 4	Consumo de Ácido sulfúrico en las pruebas experimentales	45
Tabla 5	Recuperación de cobre en las pruebas experimentales	45
Tabla 6	Análisis de varianza de pH y dosis de ácido sulfúrico	48
Tabla 7	Análisis de varianza sobre la ley de cobre en la solución en relación de la dosis de ácido sulfúrico en la lixiviación de minerales	49
Tabla 8	Análisis de varianza de la recuperación de cobre en relación del pH.....	50
Tabla 9	Análisis de varianza de la recuperación de cobre en relación a la ley de cabeza	51

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1 Diagrama de pourbaix de cobre.....	30
Figura 2 Curva de consumo de H_2SO_4 en las pruebas experimentales.....	46
Figura 3 Curva de recuperación de cobre de las pruebas experimentales	46
Figura 4 Curva de consumo de ácido y recuperación vs tiempo prueba 1	47

ANEXOS

Anexo 1 localización.....	65
Anexo 2 Matriz de consistencia.....	66
Anexo 3 Prueba de lixiviación P2.....	67
Anexo 4 Curva de consumo y extracción de cobre de minerales oxidados prueba P ₂	67
Anexo 5 Lixiviación de minerales de cobre oxidado P3	68
Anexo 6 Curva de consumo y extracción de cobre de minerales oxidados prueba P3.....	68
Anexo 7 Condiciones para lixiviación de minerales de cobre oxidado	69
Anexo 8 Resultados consumo y recuperación de cobre P ₁ - P ₇	70
Anexo 9 Resultados consumo y recuperación de cobre P ₈ – P ₁₃	70

RESUMEN

En el estudio realizado sobre el “pH y dosificación del ácido sulfúrico en la lixiviación de minerales y su impacto en la extracción de cobre” es una investigación empírica donde se realizaron 13 pruebas de minerales con un peso promedio de 510 g con un 33% de sólido para ello se emplearon 1022 mL con una concentración de 10 g/L de ácido sulfúrico durante 144 horas a mineral menor a malla 10 que tiene 0.633% de cobre los que se realizaron lixiviación en botella. Obteniendo un mejor resultado en la prueba P1 con una extracción del 91.07% con una ley de solución del 5.12 g/L a un pH de 1.4 con presencia de hierro de 4.23 g/L con pérdida en el relave del orden de 0.11% Cu, el mineral empleado tenía 1.11% Cu a lo que se adiciono 114.91 kg/t de ácido por tonelada de mineral con un consumo de 99.21 kg/t y un remanente de 15.7 kg/t, en los primeros 48 horas de llega a extraer 90% de cobre luego tiene un ligero crecimiento y constante en el tiempo, mientras que el consumo tiene un incremento creciente en el tiempo. Llegando a la conclusión de que el pH y ácido sulfúrico tiene efecto significativo en la extracción de cobre a partir de minerales oxidados.

Palabra clave: Concentración, lixiviación, pH, ácido, extracción de cobre.

ABSTRACT

In the study conducted on “pH and dosage of sulfuric acid in the leaching of minerals and its impact on copper extraction” is an empirical research where 13 tests were conducted on minerals with an average weight of 510 g with 33% of solid for it were used 1022 mL with a concentration of 10 g / L of sulfuric acid for 144 hours to mineral less than 10 mesh which has 0.633% copper which were performed leaching in bottle. Obtaining a better result in the P1 test with an extraction of 91.07% with a solution grade of 5.12 g/L at a pH of 1.4 with the presence of iron of 4.23 g/L with a loss in the tailings of 0.11% Cu, the ore used had 1.11%Cu to which 114 was added. 91 kg/t of acid per ton of ore with a consumption of 99.21 kg/t and a remainder of 15.7 kg/t, in the first 48 hours 90% of copper is extracted, then it has a slight growth and constant over time, while the consumption has an increasing increase over time. The conclusion is that pH and sulfuric acid have a significant effect on the extraction of copper from oxidized ores.

Keyword: Concentration, leaching, pH, acid, copper extraction.

INTRODUCCIÓN

La lixiviación de minerales metálicos, y en particular de cobre, es un proceso químico de interés en la minería moderna. Este proceso está condicionado por diversos factores, siendo el pH y la dosificación de ácido sulfúrico los más determinantes. El pH de la solución lixivante juega un papel significativo en la solubilidad de los minerales y en la eficiencia de extracción del cobre, afectando tanto la química del sistema como la interacción con otros componentes presentes en el mineral (Yomona, 2023); (Ramos y otros, 2022).

Numerosas investigaciones señalan que el ácido sulfúrico es el reactivo de lixiviación más empleado para extraer cobre, especialmente en minerales sulfurados como la calcopirita (Mendez-Velasco y otros, 2023); (Chávez, 2022); (Ruiz-Sánchez & Juárez-Tapia, 2022). Sin embargo, la efectividad del ácido sulfúrico en la disolución de cobre es altamente dependiente del pH. Un pH demasiado bajo puede dificultar la formación de complejos solubles, mientras que un pH excesivamente alto puede limitar la reactividad del ácido (Yomona, 2023); (Rodríguez-Venturo y otros, 2023). Por lo tanto, el manejo adecuado del pH es esencial para maximizar la recuperación de cobre y reducir el consumo de reactivos químicos (Iriarte y otros, 2022); (Ramos y otros, 2023).

La variación en la dosificación de ácido sulfúrico también impacta significativamente en la eficiencia del proceso de lixiviación. La optimización de esta dosificación, junto con el control del pH, podría mejorar notablemente las tasas de recuperación del cobre, especialmente en minerales de alta complejidad mineralógica donde las interacciones entre especies químicas son complejas (Chávez, 2022); (Ramos y otros, 2022). Estas interacciones se vuelven aún más relevantes en contextos de yacimientos que presentan desafíos, como la presencia de carbonatos que pueden consumir el ácido, reduciendo así su efectividad (Chávez, 2022); (Ruiz-Sánchez & Juárez-Tapia, 2022).

Ante el progresivo agotamiento de las reservas de minerales de fácil acceso, las técnicas de lixiviación se han ido perfeccionando, buscando maximizar la eficiencia y minimizar los impactos ambientales. Esto plantea la necesidad de un marco integral de estudio que considere tanto las propiedades mineralógicas de los yacimientos como las condiciones operativas de la lixiviación, incluyendo no solo el pH y la dosificación de ácido, sino también factores como la temperatura y la presencia de microorganismos que pueden facilitar el proceso de oxidación y disolución de metales (Rodríguez-Venturo y otros, 2023);(Leon & Mattos, 2021). En este contexto, la presente investigación se propone analizar cómo la interacción entre el pH, la dosificación de ácido sulfúrico y las características específicas de los minerales incide en la extracción de cobre, contribuyendo así al desarrollo de procedimientos más sostenibles y eficientes dentro de la minería moderna.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática.

En esta zona del norte chico existen abundante minerales de cobre oxidado para darle un valor agregado es necesario la extracción más adecuada, dentro de ello es necesario la extracción del cobre del mineral para ello es de suma importancia la investigación para correlacionar con la industria minera del cobre quien enfrenta desafíos constantes para optimizar sus procesos de extracción, siendo la lixiviación una etapa crucial. La eficiencia en la extracción de los elementos de cobre mediante lixiviación está estrechamente relacionada con el control del pH y la dosificación adecuada de ácido sulfúrico. Sin embargo, determinar los niveles óptimos de estos parámetros presenta dificultades debido a la variabilidad en la composición de los minerales y las condiciones ambientales.

Un pH inadecuado o una dosificación incorrecta de los componentes extractor como el ácido sulfúrico pueden ocasionar una baja eficiencia en la recuperación de cobre, consumo excesivo de reactivos, impactos ambientales negativos y un incremento en los costos de operación. La sobredosificación de ácido sulfúrico no solo incrementa los costos, sino que también puede generar problemas en etapas posteriores del proceso, como el electro obtención. Esta problemática requiere un estudio detallado para establecer parámetros óptimos que maximicen la extracción de cobre mientras se minimizan los impactos económicos y ambientales.

Para poder resolver se tiene que, fundamentado en base al uso de soluciones residuales de refinería con ácido sulfúrico en el proceso de lixiviación de aquellos minerales sulfurados de baja ley con arsénico, demostrando su viabilidad para optimizar una adecuada recuperación del elemento metálico del cobre sin aumentar significativamente respecto su consumo del ácido. Para

ello se realizaron pruebas en columnas de 2 metros para simular la lixiviación en botaderos (Elera Torres & Romero Castillo, 2015).

El estudio evaluó cómo influyen el tiempo de lixiviación, la temperatura y la concentración de persulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$) en la recuperación de cobre a partir de un concentrado de calcopirita (CuFeS_2) mediante lixiviación oxidativa en medio de ácido sulfúrico. Se evidenció que los tres factores tienen un efecto decisivo en el proceso. La mejor condición alcanzó una extracción de 51,74 %, utilizando 4 % de persulfato, a 60 °C, durante 5 horas y en presencia de 2 % de H_2SO_4 . El análisis cinético reveló que la etapa limitante es la difusión de iones a través de una capa de azufre poroso, con una energía de activación de 59,16 kJ/mol, confirmando la marcada sensibilidad del sistema frente a la temperatura (Jacobo Lujan & Rafael Quiroz, 2024).

La lixiviación de minerales de cobre oxidado presenta características específicas que requieren una evaluación particular según el tipo de mineral. En este proceso, resulta fundamental analizar cómo factores como el pH y la concentración de ácido pueden influir de manera directa en la eficiencia de la extracción de cobre, ya que un control adecuado de estas variables determina el éxito del tratamiento y la recuperación del metal.

1.2 Formulación del Problema.

1.2.1 Problema General.

¿En qué medida el pH y dosificación del ácido sulfúrico en la lixiviación de minerales impacta en la extracción de cobre?

1.2.2 Problemas Específicos.

¿En qué medida la concentración del ácido sulfúrico en la lixiviación de minerales impactara en la ley de cobre en la solución?

¿En qué medida el pH en la lixiviación de minerales impactara en la recuperación de cobre?

¿En qué medida la ley de cabeza en la lixiviación de minerales impactara en la ley en la solución y recuperación de cobre?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General.

Medir como el pH y dosificación del ácido sulfúrico en la lixiviación de minerales impacta en la extracción de cobre.

1.3.2 Objetivo Especifico

Analizar en qué medida la concentración del ácido sulfúrico en la lixiviación de minerales impactara en la ley de cobre en la solución.

Analizar en qué medida el pH en la lixiviación de minerales impactara en la recuperación de cobre.

Analizar en qué medida la ley de cabeza en la lixiviación de minerales impactara en la ley en la solución y recuperación de cobre.

1.4 Justificación de la Investigación

En el estudio realizado sobre el pH y la concentración del ácido sulfúrico en la extracción de cobre a partir de minerales se puede tener una justificación de diferentes puntos de vista como:

En lo teórica, la investigación contribuye al conocimiento sobre la química de la lixiviación y la influencia del pH en la extracción de metales. Profundiza en la comprensión de los mecanismos de disolución del cobre en medios ácidos y puede llevar a nuevos modelos teóricos sobre la cinética de lixiviación.

En el ámbito metodológica, el estudio desarrollada o mejorado son los métodos para controlar y optimizar el pH en procesos de lixiviación, mejorando la precisión en la dosificación

de ácido sulfúrico. Esto podría establecer nuevos protocolos estandarizados para la industria minera.

Referente a la justificación práctica, los resultados de esta investigación pueden llevar a una mayor eficiencia en la extracción de cobre, reduciendo costos operativos y aumentando la productividad en las plantas de procesamiento de minerales.

En la justificación social, una extracción más eficiente de cobre puede contribuir a la sostenibilidad de la industria minera, asegurando empleos y desarrollo económico en comunidades que se encuentran en la zona de influencia de esta actividad.

En el ámbito ambiental, una optimización de la dosificación de ácido sulfúrico puede reducir el consumo de productos químicos y minimizar los residuos ácidos, disminuyendo el impacto ambiental de las operaciones mineras.

En lo económica, la mejora de la eficiencia en la extracción de cobre puede aumentar la rentabilidad de las operaciones mineras, contribuyendo al crecimiento económico y a la competitividad de la industria en el mercado global.

1.5 Delimitación del Estudio

1.5.1 Delimitación territorial

La investigación tuvo lugar en el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico de Materiales de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica de la UNJFSC, ubicado en Huacho, provincia de Huaura, Lima. Este centro, reconocido por su aporte científico, fue el escenario ideal para desarrollar ensayos experimentales en metalurgia, permitiendo obtener resultados relevantes y formar profesionales comprometidos con la innovación tecnológica, la investigación aplicada y la búsqueda de soluciones sostenibles para la industria minera y metalúrgica.

En lugar de estudio tiene sus coordenadas aproximadas en el sistema de coordenadas UTM está en la zona UTM 18L, con Coordenadas UTM: Este (X): 255,000 metros y Norte (Y): 8,781,000 metros. La ciudad de Huacho posee un clima templado y árido, temperatura media anual: Entre 16 °C y 24 °C. Huacho experimenta una estación seca prolongada durante la mayor parte del año, con muy poca precipitación. Lluvias muy escasas, con un promedio anual de solo unos 10 mm, principalmente concentrado en los meses de invierno (junio-agosto). La humedad en Huacho es relativamente alta debido a su proximidad al mar, aunque el clima es árido. Promedio anual de humedad generalmente entre el 70% y el 80%. Meses con mayor humedad: Junio a septiembre, debido a la influencia de las brisas costeras y la falta de precipitaciones significativas. La ciudad de Huacho se encuentra a una altitud relativamente baja de 67 metros sobre el nivel del mar (msnm), lo que implica condiciones de presión atmosférica normales y niveles de oxígeno adecuados. La proximidad al mar y la alta humedad podrían influir en la estabilidad de los reactivos y las soluciones durante el proceso de lixiviación. Sin embargo, la baja altitud y las temperaturas moderadas son favorables para realizar experimentos controlados y replicables.

1.5.2 Delimitación tiempo espacio

La investigación se llevará a cabo en distintas fases, iniciando en agosto de 2024 con el semestre académico 2024-II y culminando en julio de 2025, al cierre del semestre 2025-I, abarcando así un periodo planificado que permitirá avanzar de manera ordenada y progresiva en cada etapa del estudio.

En la primera etapa se realizarán la revisión bibliográfica que consta de la recopilación de literatura científica sobre lixiviación de minerales y el impacto que ejercen el pH y la dosificación de ácido sulfúrico sobre el proceso de extracción de cobre, factores decisivos que determinan la eficiencia y el rendimiento del tratamiento metalúrgico. El diseño experimental, donde se definirá

los experimentos para evaluar cómo las variables del pH y la cantidad de ácido sulfúrico aplicada ejerce un efecto directo en la extracción de cobre, ya que su dosificación adecuada define la eficiencia y el rendimiento del proceso. La preparación de muestras, que consta en la selección y preparación de minerales para la lixiviación.

En la segunda etapa, la ejecución experimental donde se realiza los experimentos planeados, incluyendo las pruebas de lixiviación bajo diferentes condiciones de pH y dosificación de ácido sulfúrico. Análisis de resultados que consta de evaluar los datos experimentales para determinar la relación entre pH, dosificación del ácido sulfúrico y la eficiencia en la extracción de cobre. La redacción del informe final que consta en elaborar las conclusiones y redactar el informe o artículo de investigación.

El estudio se llevó a cabo en el laboratorio de hidrometalurgia del Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico de Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, espacio especializado donde se realizarán los ensayos experimentales que sustentan la investigación.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Investigación internacional.

Yang, y otros (2024) en su trabajo sobre “Lixiviación mejorada de cobre a partir de mineral de cobre oxidado refractario mediante fluoruro de calcio” depositado en la revista inteligencia minera verde e inteligente es una investigación experimental para ello se utilizaron mineral de cobre a tratado está constituido principalmente en biotita y flogopita, formando variedades cupríferas de estos minerales, las cuales fueron sometido con las condiciones de lixiviación, con un 5% en peso de CaF_2 y 120 kg/t de ácido sulfúrico a 60°C de temperatura, en un periodo de aproximadamente de 200 minutos que se sometieron la concentración del 40% de la pulpa en peso. Los cuales como resultados se obtuvieron una tasa de recuperación en la lixiviación de cobre del 80.44%, mejorando en 8.76% en comparación con el método convencional, con una reducción de 5°C en la temperatura y en unos 40 minutos en el tiempo de lixiviación. El mecanismo de la CaF_2 es rompe los enlaces Si-O y Al-O en las estructuras cristalinas de biotita y flogopita, permitiendo que el ácido sulfúrico reaccione directamente con el cobre. Teniendo una implicancia en el método de mejora significativamente en la recuperación de cobre de minerales de óxido refractarios, y reduciendo el consumo energético y proporcionando información valiosa para la extracción de metales de silicatos estratificados.

Bruce y otros (2024) en el estudio realizado respecto a “Efecto de la incorporación de sulfatación en el modelado en columnas de minerales de cobre oxidados sobre las predicciones de la cinética de lixiviación”, publicado en la revista Metals, el presente trabajo corresponde a una investigación experimental. En él se propuso un modelo de ajuste encogido (SCM) aplicado a la

lixiviación de minerales de cobre oxidado, incorporando como innovación una etapa previa de sulfatación. Para validar el modelo, se llevaron a cabo ensayos en laboratorio que permitieron analizar cómo distintos factores influyen en dicho proceso, aportando información valiosa para optimizar la recuperación de cobre, tales como la dosis de ácido (22,8, 34,2 y 45,6 kg/t), la humedad (90%, 100% y 110% de la humedad de saturación), la granulometría ($-3/4''$ y $-3/8''$) y el tiempo de reposo (24, 48, 72 y 96 h). Se obtuvo una sulfatación máxima del 49,7% para ambas granulometrías. En las pruebas de lixiviación en columna, se estudiaron los efectos de la dosis de ácido, la granulometría y el tiempo de reposo. Al aplicar el SCM, se lograron ajustes entre el 63,4% y 74,9%. Incorporando el factor de sulfatación en el modelo, se mejoró el ajuste en un 24% a 28%. Este enfoque demostró ser eficaz para distintas condiciones de operación y tipos de mineral.

Petrović y otros (2023) en el trabajo realizado respecto a “Extracción de cobre a partir de concentrado de calcopirita con peróxido de hidrógeno en solución de ácido sulfúrico” Difundido en la revista *Metals*, este trabajo corresponde a una investigación de carácter experimental, orientada a generar nuevos aportes científicos mediante pruebas controladas en laboratorio. Las pruebas de lixiviación se realizaron para analizar el impacto de la relación sólido/líquido, respecto a su velocidad que se tiene la agitación y el medio de la temperatura, las concentraciones respecto el oxidante y su ácido, así como su método respecto a dosificación del lixivante en la extracción de cobre del concentrado de calcopirita. Se observó que la descomposición catalítica del peróxido de hidrógeno influyó en los resultados de extracción. El cobre extraído aumentó en los primeros 60 minutos de la reacción, luego se estabilizó. La extracción máxima de cobre alcanzada fue del 64,5% usando 3.0 mol/L de peróxido de hidrogeno (H_2O_2) y 3.0 mol/L de ácido sulfúrico (H_2SO_4) a 40 °C después de 120 minutos de reacción. Para mitigar la descomposición del peróxido de hidrógeno, se probó la adición periódica de lixivante. El proceso de disolución siguió una cinética

de primer orden, con una energía de activación cercana a 39 kJ/mol. Los análisis XRD y SEM-EDS evidenciaron azufre elemental en la calcopirita, cuya presencia obstaculizó la eficiencia del proceso.

2.1.2. Investigación nacional.

Sarmiento Carhuas (2022) en su tesis sobre “Determinación de la influencia del permanganato de potasio en el rendimiento de la lixiviación ácida de minerales oxidados de cobre, Nasca - 2022” Alojado en el repositorio de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga, este trabajo corresponde a una investigación experimental. Su propósito es evaluar el efecto del permanganato de potasio en la lixiviación de minerales oxidados de cobre empleando ácido sulfúrico como agente principal. Primero se efectuaron pruebas con ácido sulfúrico para definir las condiciones más favorables, considerando la granulometría, concentración, velocidad de agitación y tiempo de lixiviación. Luego, se realizaron ensayos con permanganato de potasio (KMnO_4) para contrastar resultados. Los datos de laboratorio evidenciaron que su aplicación eleva notablemente la eficiencia del proceso, alcanzando una recuperación más rápida y efectiva de cobre, especialmente al trabajar con una concentración del 4 % de KMnO_4 , se recuperaron 86,4 g de cobre en 60 minutos, mientras que, usando solo ácido sulfúrico, se necesitaban 80 minutos para alcanzar el mismo resultado.

Guillen Gomez (2022) en el trabajo realizado sobre “Cinética de lixiviación de mineral oxidado de cobre en bateas; para la obtención de sulfato de cobre con mineral oxidado de unidad minera Chaspaya”, este estudio, publicado en el repositorio de la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, corresponde a una investigación experimental cuyo propósito fue evaluar la cinética del consumo de ácido en la lixiviación en bateas de minerales oxidados de cobre, principalmente malaquita, y en menor proporción crisocola y cuprita, con presencia de ganga

compuesta por limonitas, hematitas y silicatos. Los resultados revelaron que al disminuir la granulometría se incrementa tanto el consumo de ácido como la recuperación de cobre, acelerando la disolución en los rangos de 1/4", 1/2" y 3/4". Asimismo, se determinó que la cinética del proceso está gobernada por la difusión de protones en las partículas, alcanzándose una recuperación notable de cobre entre 60% y 90% en la lixiviación de minerales con ácido sulfúrico.

Aviles y Cutire (2020) referente a su trabajo denominado “Lixiviación por agitación de minerales oxidados de cobre de la zona de Taypitunga- Layo-Canas-Cusco”, alojado en su en el repositorio de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, este estudio de carácter experimental se centra en la extracción de cobre a través del proceso de lixiviación por agitación, aplicado a minerales oxidados de cobre, con el fin de evaluar su eficiencia. Para ello se trabajó con una muestra representativa de 10 kg, de un mineral con una ley de 4.63% de cobre soluble y 5.17% de cobre total, con Se utilizó una granulometría de 100 % menor a 100 mallas, con el propósito de lograr la liberación adecuada de las especies valiosas presentes en el mineral y favorecer su posterior recuperación. Se realizaron pruebas de lixiviación a nivel de laboratorio utilizando un diseño factorial 2^3 , identificando como variables que determinan el desempeño del proceso son la concentración de ácido sulfúrico, el porcentaje de sólidos en la pulpa y la duración de la lixiviación, ya que influyen directamente en la recuperación del cobre. Los resultados mostraron que la mejor extracción de cobre fue de 92.47% en el diseño factorial, ligeramente superior a la extracción de 91.15% en la cinética de lixiviación. Los parámetros más importantes para llevar a cabo la extracción se emplearon condiciones de operación definidas: una concentración de ácido sulfúrico de 60 g/L, un 20 % de sólidos en la pulpa y un tiempo de lixiviación de 4 horas.

La lixiviación de los minerales de cobre para una adecuada extracción tiene que ver con muchas variables que intervienen en el proceso, los reactivos adicionales de oxidación que se

encargan de romper la estructura de la reducción del tamaño de los minerales se realizaron con la finalidad de liberar el cobre contenido en ellos, facilitando así su posterior recuperación durante el proceso de lixiviación y el consumo de ácidos que está relacionado con el pH y el tiempo de lixiviación.

2.2. Bases teóricas.

2.2.1. Lixiviación de minerales de cobre

2.2.1.1. Definición y principios básicos

La lixiviación de minerales de cobre es un proceso hidrometalúrgico esencial para extraer este metal de sus minerales. Consiste en una reacción química mediante la cual los metales presentes en los minerales se disuelven utilizando soluciones acuosas. En el caso específico del cobre, se emplean soluciones de ácido sulfúrico (H_2SO_4) para disolver minerales de cobre oxidados, como la malaquita y la azurita, y también para tratar minerales de cobre.

La química de la lixiviación de minerales de cobre implica las reacciones que interactúan los componentes químicos con los minerales en un medio ácido o básico, como en el caso del ácido sulfúrico reacciona con los minerales para la liberación de iones de cobre en la solución.

En la lixiviación de minerales se puede realizar de forma estática y dinámicas de los cuales se pueden dividir en varios métodos, como la lixiviación en situ, vertedero, pilas, pozas, agitación mecánica, neumática, a presión y autoclave (Instituto Tecnológico Geominero de España, 1991).

La extracción de cobre a partir de soluciones ricas se puede realizar mediante la precipitación química, extracción por solventes (SX) y la electrodeposición (Mular y otros, 2002).

2.2.1.2. Importancia en la industria minera

La lixiviación de los minerales que contienen cobre representa una etapa clave, pues contribuye a mejorar la eficiencia del proceso, promueve la sostenibilidad y permite aumentar la capacidad de producción. Esta técnica hace posible extraer cobre de minerales de baja ley o con impurezas, favoreciendo un mejor aprovechamiento de los recursos, que no sean económicamente viable de procesar mediante métodos convencionales como la concentración y fundición. A través de la lixiviación, el mineral se disuelve en una solución, permitiendo la extracción de cobre sin

tener que pasar por costosos procesos adicionales. Esto es particularmente importante en un contexto donde el mineral de cobre de alta calidad es cada vez más escaso, y hacer posible que las empresas aprovechen deposito que antes habían sido descartado (Davenport et al., 2002).

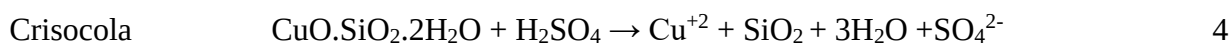
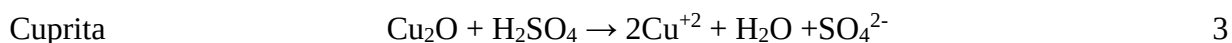
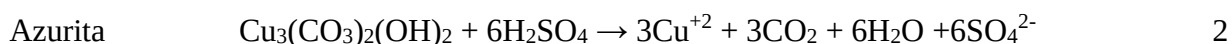
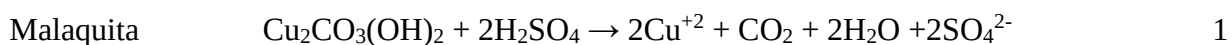
2.2.2. Química de la lixiviación del cobre

En la lixiviación de minerales de cobre implica una serie de reacciones que permite la disolución del cobre a partir de los minerales en un medio acuosa, generalmente utilizando el ácido sulfúrico como medio. En el proceso de la disolución esta involucrado el mineral, reacciones y los factores que interviene en el proceso (Davenport et al., 2002).

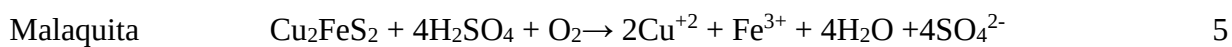
Los minerales de cobre. Los minerales que son sometidos a la lixiviación más comunes se tienen entre los minerales oxidados la malaquita ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$), azurita ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$), crisocola ($\text{CuO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), Cuprita (Cu_2O). entre los minerales sulfurados de cobre se tiene calcopirita (CuFeS_2), bornita (Cu_2S), calcosina (Cu_2S), covelina (CuS) (Davenport et al., 2002, p. 291).

2.2.2.1. Reacciones principales de minerales de cobre con ácido sulfúrico

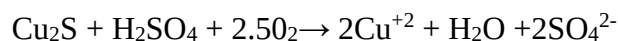
Los minerales más comunes que se pueden lixiviar mediante el ácido sulfúrico se los minerales oxidados y los sulfuros.



Los minerales sulfuros la lixiviación son más compleja y requieren condiciones de oxidación.



Calcosina



6

2.2.2.2. Factores que afectan la disolución del cobre

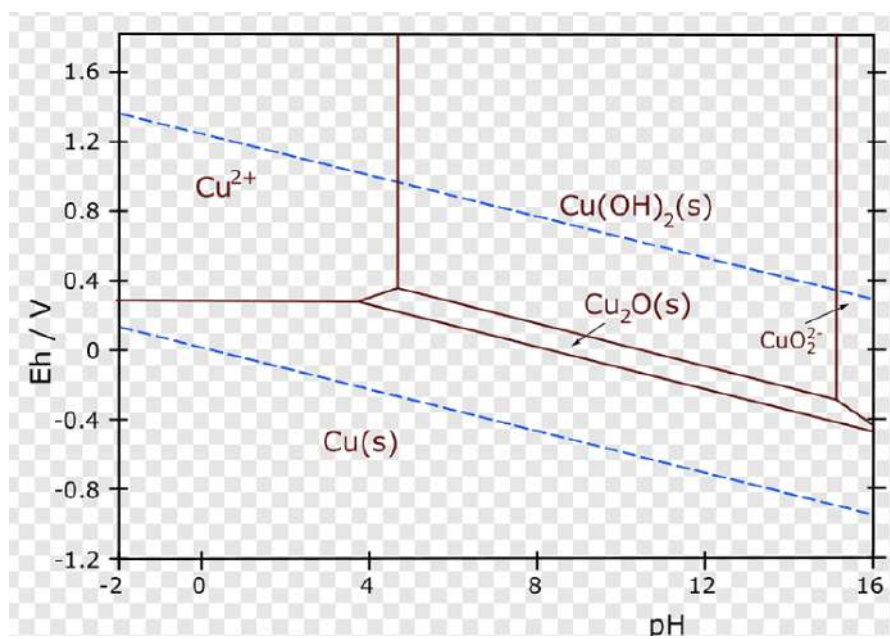
los factores que afectan la disolución del cobre incluyen la composición química, los parámetros operacionales, y la presencia de otros elementos, el mecanismo de disolución y los procesos de transferencia y transporte. Estos factores deben ser considerados y controlados para optimizar la disolución y recuperación del cobre.

Los diversos parámetros operacionales, como el pH, la temperatura, la concentración de reactivos, temperatura, agitación, granulometría de mineral, tiempo, etc., son los que influyen en la disolución y lixiviación del cobre (Instituto Tecnológico Geominero de España, 1991).

pH de la Solución: El pH influye en la solubilidad del cobre y la estabilidad de los reactivos, como el ácido sulfúrico en el caso de lixiviación ácida en un rango de 1.5 a 2.5 (Szymanowski, 1993).

Figura 1

Diagrama de pourbaix de cobre



En la figura 1 en el diagrama de pourbaix para el cobre la lixiviación de minerales se encuentra menor a un pH de 5.

Concentración de Ácido (H_2SO_4): Afecta la velocidad de disolución del cobre. Una concentración óptima permite una lixiviación eficiente sin un consumo excesivo de reactivo, con un rango entre 50 a 100 g/L se extrae un 95% de extracción de cobre. Para un mineral que tiene 1.2% de cobre de minerales de cuprita en rango de 0.93 y 1.4 cm el rango de cambia la disolución en una dosis de 5 g/L de ácido sulfúrico (Guiachetti, 2011). La concentración entre 0.05 a 0.5 mol/L permite una recuperación entre 76.7% a 94.26% de cobre (Chan-Ung y otros, 2021). Para una concentración de 180 g/L de ácido se tiene una extracción del 92% (Mostafa & Mohammad, 2019) .

Temperatura: Un aumento en la temperatura generalmente incrementa la velocidad de reacción, mejorando la disolución en el proceso del metal de cobre. Referente a la lixiviación de aquellos minerales que contengan la malaquita y la azurita, utilizando ácidos orgánicos, se obtuvo una recuperación de cobre óptimo de 75% a una temperatura entre 16 y 35°C (Quille Calizaya, 2010).

Agitación: Mejora el contacto entre el mineral y la solución lixivante, lo que puede aumentar la velocidad de extracción. El mineral para la agitación debe ser menor a 0.5 mm en 24 horas recupera entre 90% a 95% (Havlík, 2008, p. 480). La velocidad de agitación en la lixiviación de minerales de cobre malaquita, azurita se encuentra entre 300 a 600 rpm. Mientras que en la lixiviación de relaves para extracción oro esta entre 300 a 550 rpm con ello se tiene una extracción del orden de 90.64% a 95.70% (Romero & Flores, 2010).

Granulometría del Mineral: Partículas más finas permiten una mayor superficie de contacto con la solución, facilitando la disolución del cobre. Con una granulometría entre 5.6 a

11.2 mm se tiene una recuperación superior a 73% de cobre con una concentración de 0.5 mol/L (Chan-Ung y otros, 2021) .

Tiempo de Lixiviación: La duración del proceso afecta la recuperación total de cobre, ya que permite una mayor o menor disolución del mineral, la lixiviación de minerales en pilas tara en un promedio de 120 a 500 días, mientras que en una cuba continua desde 24 – 74 horas (Schlesinger M. et al., 2011, p. 303), para minerales oxidados por agitación entre 8 a 9 horas con una recuperación de 80% a 884% de cobre (Solis Plaza et al., 1970, p. 20).

Presencia de Iones: Iones como el Fe^{3+} pueden actuar como oxidantes en la disolución del cobre, especialmente en lixiviación bacteriana o en soluciones con presencia de minerales sulfurados (Misari Chuquipoma, 2016). En la lixiviación de minerales con presencia de sulfurados de cobre el ion férrico (Fe^{3+}) y el ácido sulfúrico (H_2SO_4) son esenciales como agente oxidante y extractor del cobre (Guerreros Lazo, 2014). En la disolución de cobre a partir de calcopirita es necesario que Fe^{3+} , O_2 , H^+ interviene en la oxidación y la disolución del cobre (Instituto Tecnológico Geominero de España, 1991, p. 411).

2.3. Bases filosóficas.

Epistemología y conocimiento aplicado: La lixiviación representa una aplicación práctica de los conocimientos en química, física y metalurgia. Desde este punto de vista, el proceso se fundamenta en el estudio profundo de las reacciones químicas y las propiedades fisicoquímicas de los minerales, lo que permite una extracción eficiente y selectiva del cobre. Esta filosofía pone énfasis en el conocimiento científico como base para optimizar procesos industriales y mejorar la recuperación de metales (Lenin Navarro Chávez, 2014).

Ética y responsabilidad ambiental: La lixiviación involucra la utilización de solventes químicos (como el ácido sulfúrico), lo cual plantea cuestiones éticas sobre su impacto en el medio ambiente. La filosofía aquí gira en torno a minimizar los efectos negativos de la lixiviación, desarrollando técnicas que reduzcan la contaminación y aseguren la seguridad de los ecosistemas circundantes. Esto está ligado a los principios de la "minería verde" o "minería responsable", que promueve prácticas sostenibles y un compromiso ético con la preservación de los recursos naturales (Agius y otros, 2009).

Sostenibilidad y economía circular: Desde una perspectiva de sostenibilidad, la lixiviación se enmarca en el concepto de economía circular, donde el enfoque está en maximizar la recuperación de metales de las fuentes primarias y secundarias (como residuos y relaves). La filosofía aquí se basa en aprovechar al máximo los recursos minerales disponibles, contribuyendo a la reducción del desperdicio y fomentando la reutilización de materiales mediante procesos eficientes de extracción y recuperación de metales (Espaliat Canu, 2017).

Impacto social y desarrollo tecnológico: La lixiviación de cobre también plantea una filosofía centrada en el progreso social y tecnológico. La implementación de técnicas de lixiviación avanzadas puede mejorar la economía de regiones mineras, generando empleo y promoviendo el

desarrollo industrial. No obstante, esto también implica reflexionar sobre el balance entre el desarrollo que enmarca en la parte, económico y por otro la calidad de vida de las comunidades, buscando tecnologías que respeten los derechos de las personas y mejoren sus condiciones de vida (Mulás del Pozo, 1998).

2.4. Definiciones conceptuales.

- a) **El consumo de ácido sulfúrico:** En la lixiviación está influenciado por la mineralogía de la ganga, especialmente por la presencia de carbonatos y silicatos que actúan como consumidores de ácido (Guiachetti Torres, 2011).
- b) **El pH:** En la lixiviación de minerales de cobre es un parámetro crítico que determina la eficiencia de disolución del metal, siendo óptimo mantenerlo entre 1.5 y 2.0 para maximizar la recuperación (Junmin y otros, 2006).
- c) **La dosificación de ácido sulfúrico:** La dosis afecta directamente la cinética de disolución del cobre, donde un exceso puede incrementar costos operativos sin mejorar significativamente la recuperación (Ntengwe, 2010).
- d) **La liberación del mineral:** Es la reducción de tamaño del mineral mediante trituración y molienda, con el fin de exponer las partículas de cobre y maximizar su contacto con el solvente lixivante, y facilitar su disolución y posterior recuperación (Delgado Domínguez, 2023).
- e) **La lixiviación por agitación:** Es empleada para minerales que son de fácil lixiviación, para los óxidos y carbonatos. Este proceso se lleva a cabo en tanques con agitación a minerales 0.8% a 5% (Schlesinger M. E. et al., 2011).
- f) **Ley de cobre en la solución:** Es la presencia de cobre iónico en la solución proveniente de la lixiviación expresado en g/L, mg/L, ppm, g/m³.
- g) **Mineral oxidado:** Son sustancia compuestos por uno o más elementos inorgánicos y el oxígeno.
- h) **Minerales encapsulados:** Son minerales que se encuentran herméticamente cerrado por otros compuestos que no dejan pasar otros componentes, es decir lo aíslan.

- i) **Recuperación:** Se refiere al elemento metálico que se ha extraído del mineral original a la solución expresado en porcentaje (Verdeja González y otros, 2000).
- j) **Solvente en la lixiviación:** Un solvente es una sustancia líquida que disuelve selectivamente al cobre en el mineral, facilitando su separación y recuperación en solución (Instituto Tecnológico Geominero de España, 1991).
- k) **Temperatura de lixiviación:** Influye en su propiedades termodinámicas y cinéticas. Cuando se elevan la temperatura y la presión, el proceso se vuelve más eficiente, ya que esto permite disolver más oxígeno en la solución y acelera las reacciones (Schlesinger M. E. et al., 2011, p. 308).
- l) **Tiempo de lixiviación:** Es el espacio que demora el cobre a pasar del mineral a la solución por la acción de una sustancia como el ácido sulfúrico a la forma iónica Cu^{+2} , es decir la transferencia del sólido a estado iónico (Instituto Tecnológico Geominero de España, 1991).

2.5. Hipótesis de la investigación.

2.5.1. Hipótesis general.

Con un pH y dosificación del ácido sulfúrico en la lixiviación de minerales permitirá tener un impacto en la extracción de cobre.

2.5.2. Hipótesis específicas.

Una concentración del ácido sulfúrico adecuada en la lixiviación de minerales tendrá un impacto en la ley de cobre en la solución.

Un pH adecuado en la lixiviación de minerales tendrá un impacto adecuado en la recuperación de cobre.

Una ley de cabeza adecuada en la lixiviación de minerales permitirá impactar en la ley en la solución y recuperación de cobre.

2.6. Operacionalización de variables e indicadores.

Referente al estudio denominado “*pH y dosificación del ácido sulfúrico en la lixiviación de minerales como impacta en la extracción de cobre*”, las variables y sus indicadores se presentan en la **Tabla 1**, la cual se explica a continuación con el fin de brindar una mejor comprensión de la información expuesta.

Tabla 1

Operacionalización de las variables e indicadores

Variable	Concepto	Dimensiones	Indicador
Independiente			
pH y concentración de ácido sulfúrico		- Condiciones de operación	- pH acida - concentración g/L - % Cu
Dependiente			
Extracción de cobre	Es la disolución del cobre que se encuentra en el mineral a la solución en forma de catión, por medio de un agente extractor en un medio ácido	- Concentración y eficiencia	- Ley solución g/L - Recuperación %
Intervinientes			
Parámetros de lixiviación		- Característica de operación	- Mineralogía - Granulometría - Tiempo - Temperatura - Velocidad de agitación

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. Diseño metodológico.

3.1.1. Tipo de investigación.

En el trabajo que se realizó es una investigación aplicada con finalidad de resolver problemas prácticos, utilizando el conocimiento científico. En una investigación experimental, se manipula variables para observar los efectos y generar resultados útiles para mejorar procesos. Esta investigación se basa en la aplicación directa de teorías científicas para resolver problemas específicos de una realidad (Ernández Sampieri et al., 2014).

3.1.2. Nivel de investigación.

El estudio desarrollado corresponde a un nivel de investigación explicativo o causal, cuyo propósito es identificar y analizar las relaciones de causa y efecto entre variables independientes y dependientes. Su finalidad es comprender por qué se produce un fenómeno, bajo qué condiciones aparece y cómo interactúan entre sí dos o más variables, ofreciendo así una explicación más profunda de los procesos involucrados. Con característica de establecer de las relaciones entre la causalidad, probar hipótesis, explicar fenómeno y predicción (Valbuena Castro, 2015).

3.1.3. Diseño de la investigación.

El diseño de la presente investigación es de enfoque experimental se fundamenta en la manipulación intencional de una o más variables independientes con el propósito de observar cómo influyen sobre una variable dependiente, al mismo tiempo que se mantienen bajo control las posibles variables externas que puedan afectar los resultados. Este enfoque permite establecer relaciones de causalidad entre las variables y es ideal para probar hipótesis bajo condiciones controladas (Hernández Sampieri, 2018)

3.1.4. Enfoque de la investigación.

En este trabajo experimental se adoptó un enfoque cuantitativo, sustentado en la recolección y análisis de datos numéricos. Esto permitió identificar patrones, medir variables con precisión y establecer relaciones entre ellas, aportando evidencia objetiva para explicar el comportamiento del proceso estudiado. Utilizando herramientas estadísticas para obtener resultados de acuerdo los objetivos planteados. Permitiendo probar hipótesis, controlando variables de manera rigurosa para encontrar relaciones de causa o correlaciones (Cook & Reichardt, 2000).

3.2. Población y muestra.

3.2.1. Población de la investigación

La población de estudio se define como el conjunto de cuerpos vetiformes mineralizados ubicados en el distrito de Antonio Raymondi (Raquía), provincia de Bolognesi, departamento de Áncash. Operacionalmente, cada unidad de análisis corresponde a muestras representativas tomadas de vetas cupríferas/auríferas identificadas mediante cartografía geológica y reconocimiento de campo, complementados con ensayos preliminares. El marco muestral lo constituyen las vetas aflorantes y frentes accesibles; se excluyen zonas profundamente meteorizadas o con dilución de ganga que comprometa la validez de las mediciones. La delimitación espacial sigue los límites administrativos del distrito y los rasgos estructurales principales. Este enfoque asegura representatividad, permite estratificar por tipo de veta y condición geológica, y sustenta inferencias estadísticas robustas sobre la variabilidad mineralógica y metalúrgica del área. Coordenadas (-10.184089,-77.453345).

3.2.2. Muestra de la investigación

Las muestras se extrajeron de cada 5 metros al azar luego se realizaron una mezcla y muestreo en campo aproximadamente 40 kilos, lo que llevaran al laboratorio y se realizara una reducción y clasificación malla -10m, los minerales pasantes se cuartearan y almacenar en bolsa de 1 kilos para las respectivas pruebas de lixiviación y su caracterización del mineral aproximadamente 15 bolsas.

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.3.1. Técnicas empleadas en la recolección de datos

En la tesis se emplearon la técnica de observación ya que se realizará una investigación experimental, por lo que la recolección de datos consiste en registrar de manera sistemática y directa, comportamientos, eventos o fenómenos tal como ocurren en su entorno natural o controlado. Esta técnica permite obtener información objetiva y detallada sobre el estudio, sin la intervención directa del investigador (Martinez Mediano y otros, 2014).

3.3.2. Descripción de los instrumentos en la recolección de datos

En el presente trabajo se emplearon los instrumentos para la recolección de datos desde su caracterización, procesamiento y los resultados, para ello se emplearán la ficha de cotejo y la tabla estructurado. La ficha de cotejo permite registrar la presencia y la ausencia de características específicas o comportamientos en los sujetos observados. La tabla estructurada permite organizar la información o en filas y columnas, facilitando el registro detallado de datos de los fenómenos observados. Es útil cuando se desea una caracterización más precisa de los eventos o comportamiento. Otros instrumentos para emplear serán las notas de campo, foto, grabaciones de video o audio y otros soportes visuales o auditivos que faciliten el análisis posterior mediante cámara de video y celulares (Martinez Mediano y otros, 2014).

3.4. Técnicas para el procesamiento de la información.

Los resultados se analizaron con estadística descriptiva e inferencial. La descriptiva permitió sintetizar y caracterizar los datos mediante medidas de tendencia central (media, mediana, moda), dispersión (rango, varianza, desviación estándar) y forma de distribución. La inferencial se utilizó para extrapolar conclusiones más allá de la muestra, aplicando pruebas de hipótesis, intervalos de confianza y modelos de regresión para inferir propiedades de la población más amplia a partir de una muestra limitada, permitiendo así generalizar los resultados experimentales de manera significativa y confiables. Para el procesamiento se emplearán paquetes estadísticos como jamovi, jasp, minitab, Statgraphics. Para el procesamiento de la información el Word (Rodríguez Moguel, 2005).

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. Análisis de resultados

4.1.1. Condiciones de lixiviación de minerales de cobre.

El mineral oxido de cobre empleado para la lixiviar en botella su granulometría es menor a 10m lo que se realizar trata con una concentración de ácido sulfuro 10 g/L, a un porcentaje de sólido del 33% para mineral de aproximadamente 510 g para ello el agua empleada está en un rango promedio de 1022 mL y una ley promedio de 0.633% de cobre en la tabla 2 de detalla para cada prueba realizada.

Tabla 2

Condiciones de las 11 pruebas de lixiviación peso, agua y ley de cobre

N°	Peso g Mineral	Volumen Agua mL	Cabeza %Cu
01	509	1021	1.108
02	537	1075	0.257
03	538	1078	0.935
04	493	987	0.623
05	520	1041	0.478
06	527	1055	1.487
07	485	971	0.472
08	507	1015	0.325
09	515	1031	0.395
10	518	1052	0.340
11	457	915	0.808
12	518	1037	0.502
13	505	1011	0.493
Promedio	510	1022	0.633

4.1.2. Resultados de las pruebas realizadas sobre la lixiviación de minerales de cobre oxidado.

El tiempo de tratamiento se realizaron durante 144 horas para 13 pruebas experimentales de los cuales los resultados se detallan en la tabla 3.

Tabla 3

Resultados de las pruebas de lixiviación de minerales de cobre

N°	Cabeza %Cu	H ₂ SO ₄ kg/t(i)	H ₂ SO ₄ kg/t(g)	H ₂ SO ₄ kg/t(L)	pH	Fe Sol. g/L	Cu Sol. g/L	Recup. Cu	Relave %Cu
01	1.11	114.91	99.21	15.7	1.4	4.23	5.12	91.07	0.11
02	0.26	51.38	48.26	3.12	0.82	2.97	1.011	78.06	0.06
03	0.93	83.13	72.05	11.08	0.81	4.57	3.63	76.19	0.24
04	0.62	140.32	131.8	8.52	1.16	4.66	2.81	87.94	0.08
05	0.48	112.41	106.25	6.16	1.56	4.32	2.022	82.90	0.09
06	1.49	126.26	108.64	17.62	0.95	6.40	5.82	76.17	0.40
07	0.47	60.90	54.72	6.18	0.85	3.63	2.012	84.23	0.08
08	0.33	50.28	46.18	4.10	0.80	5.11	1.33	80.98	0.07
09	0.40	102.72	97.43	5.29	1.18	4.91	1.72	86.06	0.06
10	0.34	57.82	53.68	4.14	0.8	5.2	1.33	78.11	0.08
11	0.81	147.19	137.17	10.02	1.25	4.42	3.34	79.77	0.19
12	0.5	163.05	158.28	4.77	3.2	2.84	1.62	61.05	0.21
13	0.49	163.15	157.21	5.94	2.8	2.5	2.01	77.36	0.12
	0.63	105.66	97.76	7.90	1.35	4.29	2.60	79.99	0.14

La extracción de cobre en la tabla 3 se tiene 79.99%, con un consumo de ácido sulfúrico de 79.79 kg/t donde en la solución el cobre se encuentra 2.6 g/L para una ley de mineral en promedio de 0.63% de cobre a un pH de 1.35 con ácido sulfúrico libre de 7.90 kg/t y en el relave encontrándose 0.14 % de cobre. En la prueba 1 se tiene una mayor recuperación con un 91.07% con una ley en la solución de 5.12 g/L para una ley de cabeza de 1.11% de cobre, a pH de 1.5 con consumo de ácido sulfúrico de 99.21 kg/t.

Tabla 4*Consumo de Ácido sulfúrico en las pruebas experimentales*

Tiempo hr	P ₁ H ₂ SO ₄ kg/t	P ₂ H ₂ SO ₄ kg/t	P ₃ H ₂ SO ₄ kg/t	P ₄ H ₂ SO ₄ kg/t	P ₅ H ₂ SO ₄ kg/t	P ₆ H ₂ SO ₄ kg/t	P ₇ H ₂ SO ₄ kg/t	P ₈ H ₂ SO ₄ kg/t	P ₉ H ₂ SO ₄ kg/t	P ₁₀ H ₂ SO ₄ kg/t	P ₁₁ H ₂ SO ₄ kg/t	P ₁₂ H ₂ SO ₄ kg/t	P ₁₃ H ₂ SO ₄ kg/t
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	19.99	14.91	18.36	20.31	19.97	20.34	19.79	14.63	20.39	15.90	21.03	20.09	20.18
8	40.07	19.53	28.07	40.73	40.08	39.93	28.68	20.60	38.76	22.83	41.44	40.50	40.53
24	59.66	27.63	41.60	61.00	59.62	60.01	39.47	29.05	58.25	32.87	61.72	60.93	60.97
48	78.04	34.17	53.79	80.84	77.16	79.10	46.61	36.26	74.74	41.63	82.14	81.35	81.41
72	91.22	40.31	63.78	105.09	90.11	96.05	52.13	42.01	86.55	48.50	102.39	101.78	101.84
96	100.38	43.35	71.51	119.62	99.07	108.16	54.45	44.97	92.59	50.82	120.13	122.20	122.28
120	109.64	48.47	74.90	131.51	106.58	116.83	57.53	47.42	97.73	54.77	134.73	142.63	142.71
144	114.91	51.38	83.13	140.32	112.41	126.26	60.90	50.28	102.72	57.82	147.19	163.05	163.15

Tabla 5*Recuperación de cobre en las pruebas experimentales*

Tiempo hr	P ₁ %Cu	P ₂ %Cu	P ₃ %Cu	P ₄ %Cu	P ₅ %Cu	P ₆ %Cu	P ₇ %Cu	P ₈ %Cu	P ₉ %Cu	P ₁₀ %Cu	P ₁₁ %Cu	P ₁₂ %Cu	P ₁₃ %Cu
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	15.97	26.79	29.17	9.90	8.07	17.24	43.71	56.33	19.94	36.61	11.93	0.03	0.10
8	50.81	62.25	39.60	34.22	40.85	27.83	58.88	63.51	66.40	50.01	27.32	3.71	10.87
24	73.26	68.64	50.65	56.55	62.66	43.26	71.46	69.22	70.50	61.39	37.36	5.56	11.86
48	89.33	73.53	60.18	71.54	74.80	57.04	78.04	74.39	79.64	69.34	50.51	14.32	26.92
72	89.67	76.58	66.12	82.86	78.56	63.46	81.27	75.73	83.17	73.79	62.07	25.62	42.08
96	91.89	79.30	73.81	85.88	81.60	69.68	82.58	77.18	84.98	74.35	72.03	36.41	55.47
120	92.73	77.63	74.01	85.88	81.40	73.32	84.23	78.16	85.31	76.19	77.51	45.47	65.01
144	91.07	78.06	76.19	87.94	82.90	76.17	84.23	80.98	86.06	78.11	79.77	61.05	77.36

Figura 2
Curva de consumo de H_2SO_4 en las pruebas experimentales

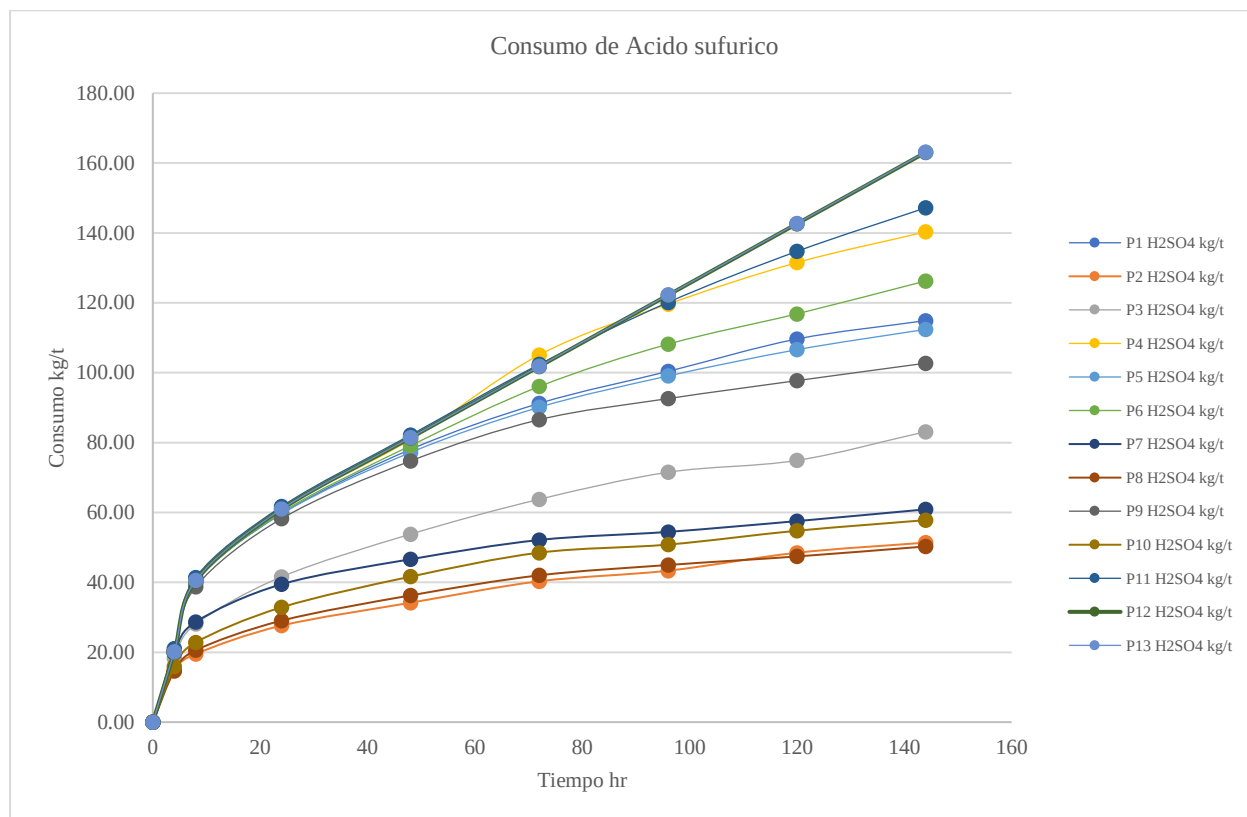
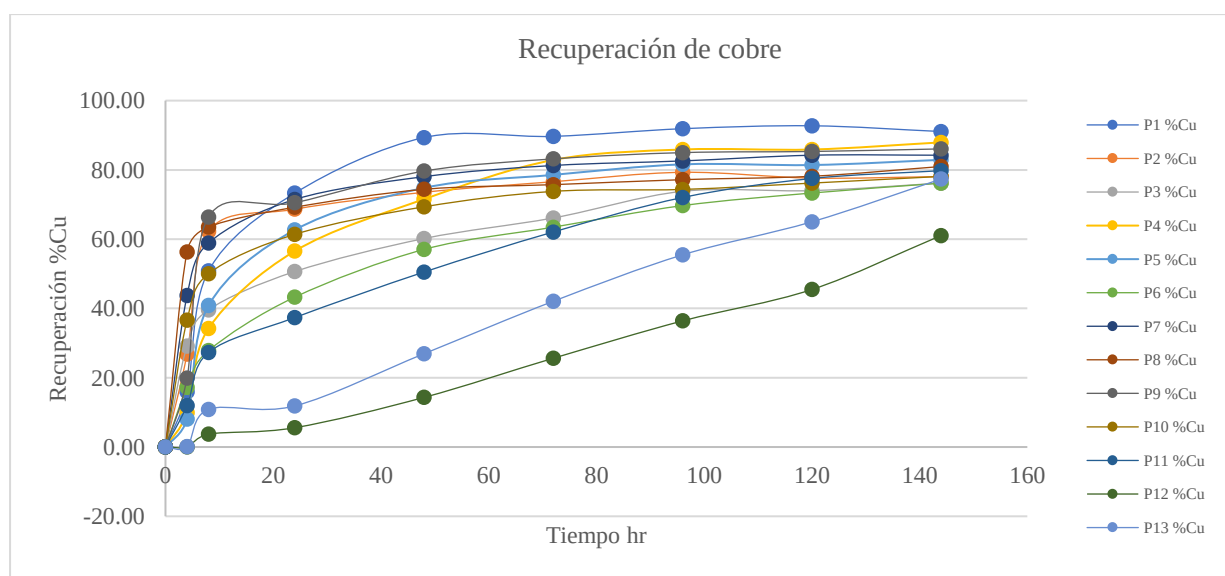


Figura 3
Curva de recuperación de cobre de las pruebas experimentales

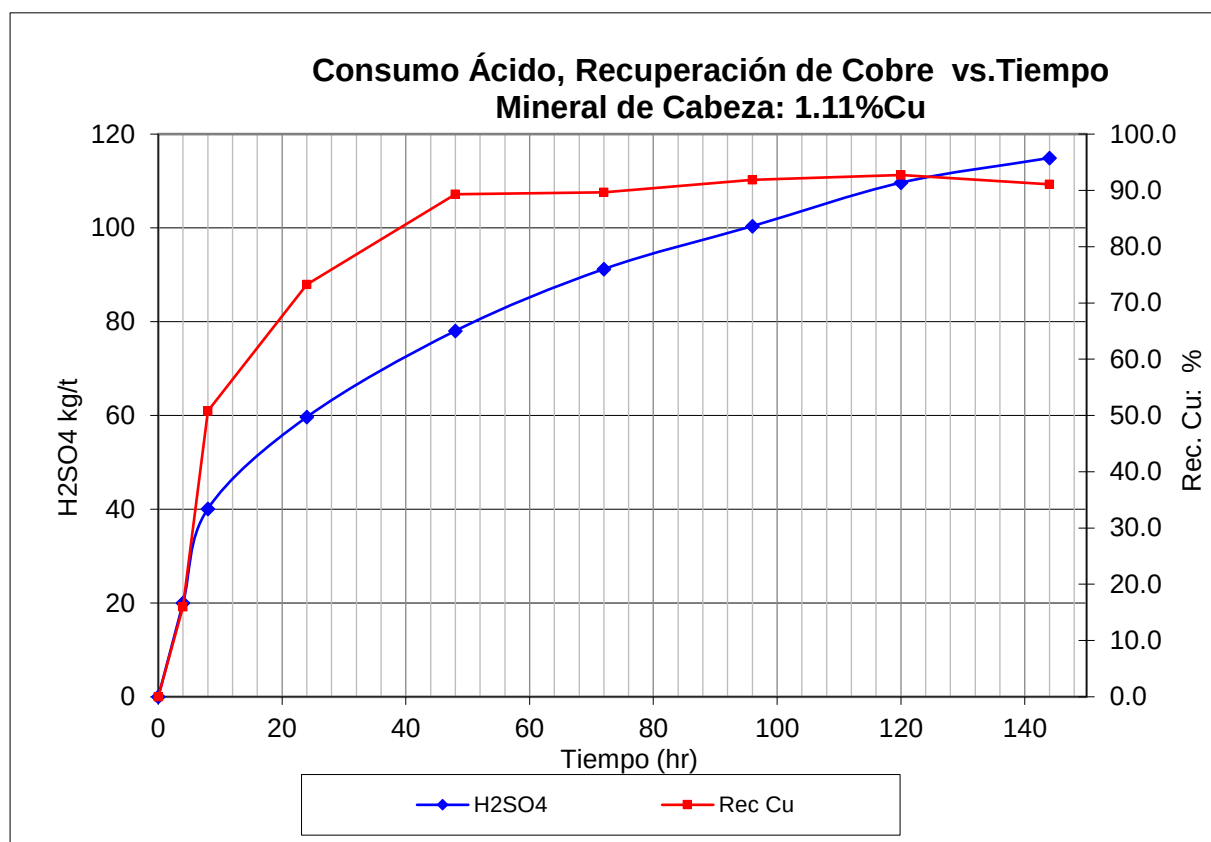


El consumo del ácido sulfúrico en las tablas 4 y figura 2, el menor consumo recabe en la prueba 2 y el mayor consumó en las pruebas 12 y 12.

Mientras que la recuperación del cobre de acuerdo la tabla 5 y figura 3 en de menor extracción se encuentra en la prueba 12 y de mayor extracción en la prueba 1.

Figura 4

Curva de consumo de ácido y recuperación vs tiempo prueba 1



La figura 4 la curva de consumo de ácido sulfúrico tiende a crecer en el tiempo superando 114.91 kg/t (ácido sulfúrico/mineral), por otra parte, la curva de recuperación del cobre tiende a crecer en las 48 horas, posterior mente se incrementa ligeramente hasta las 120 horas y luego tiende a ser constante.

4.2. Contratación de hipótesis.

4.2.1. Contratación de hipótesis general.

Ha: Con un pH y dosificación del ácido sulfúrico en la lixiviación de minerales permitirá tener un impacta en la extracción de cobre.

Ho: Con un pH y dosificación del ácido sulfúrico en la lixiviación de minerales **no** permitirá tener un impacta en la extracción de cobre.

Tabla 6

Análisis de varianza de pH y dosis de ácido sulfúrico

	SS	df	F	p
Model	591.5	3	29.21	<.001
pH	43.6	1	6.47	0.032
Cabeza %Cu	386.5	1	57.27	<.001
H2SO4 kg/t(L)	399.7	1	59.22	<.001
Residuals	60.7	9		
Total	652.2	12		

En el análisis respecto el pH y dosis de ácido sulfúrico en la tabla 6 el pH tiene un valor de 0.032, para el ácido sulfúrico y mineral menor a 0.001, respecto a valor 0.05 para una confiabilidad del 95%. Por lo que la hipótesis alternativa predetermina.

4.2.2. Contrastación de hipótesis específico.

V1

Ha: Una concentración del ácido sulfúrico adecuada en la lixiviación de minerales tendrá un impacto en la ley de cobre en la solución.

Ho: Una concentración del ácido sulfúrico adecuada en la lixiviación de minerales **no** tendrá un impacto en la ley de cobre en la solución.

Tabla 7

Análisis de varianza sobre la ley de cobre en la solución en relación de la dosis de ácido sulfúrico en la lixiviación de minerales

	SS	df	F	p
Model	26.88860	2	33394.5	<.001
H2SO4 kg/t(L)	25.33004	1	62917.7	<.001
H2SO4 kg/t(g)	0.00905	1	22.5	<.001
Residuals	0.00403	10		
Total	26.89263	12		

La dosis del ácido sulfúrico referente al consumido de ácido y ácido libre en la tabla 7, tiene efecto en la ley de la solución, donde el valor obtenido en el análisis de varianza de p es menor a 0.001 que es menor a 0.05 para el consumo del ácido sulfúrico y ácido libre. En base lo descrito la hipótesis alternativa predetermina.

V2

Ha: Un pH adecuado en la lixiviación de minerales tendrá un impacto adecuado en la recuperación de cobre.

Ho: Un pH adecuado en la lixiviación de minerales **no** tendrá un impacto adecuado en la recuperación de cobre.

Tabla 8

Análisis de varianza de la recuperación de cobre en relación del pH

	SS	df	F	p
Model	192	1	4.58	0.056
pH	192	1	4.58	0.056
Residuals	461	11		
Total	652	12		

En la tabla 8 para la recuperación del cobre en relación al pH el valor calculado para p es de 0.056 ligeramente superior al valor establecido 0.05 estadísticamente para una confiabilidad del 95%, donde este resultado tiene como consecuencia que la alternativa tiende a recaer en la hipótesis nula.

V3

Ha: Una ley de cabeza adecuado en la lixiviación de minerales permitirá impactar en la ley en la solución y recuperación de cobre.

Ho: Una ley de cabeza adecuado en la lixiviación de minerales **no** permitirá impactar en la ley en la solución y recuperación de cobre.

Tabla 9

Análisis de varianza de la recuperación de cobre en relación a la ley de cabeza

	SS	df	F	p
Model	2.74	1	0.0465	0.833
Cabeza %Cu	2.74	1	0.0465	0.833
Residuals	649.48	11		
Total	652.22	12		

Para la recuperación de cobre en la lixiviación acida en relación de la ley de cabeza en la tabla 9, el valor de p hallada es de 0.833 mayor al 0.05 que conduce a que la ley de cabeza del mineral no afecta en la recuperación de cobre en el proceso de lixiviación acida. Este resultado conlleva que la hipótesis nula predetermina.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5.1. Discusión de resultados

En el estudio realizado sobre el pH y dosificación del ácido sulfúrico en la lixiviación de minerales y su impacto en la extracción de cobre, donde el mineral oxidado menor a la malla 10 es sometido a la lixiviación con un 33% sólido con una concentración de ácido sulfúrico de 10 g/L a una 510 g de mineral con 1022 mL de agua con una ley de 0.633% de cobre en botella durante 144 horas a las 13 muestras. Se obtuvieron los mejores resultados en la prueba 1 obteniendo una recuperación del 91.07% con una concentración de 5.12 g/L de cobre en la solución y con presencia del cobre en el relave de 0.11% de cobre con las condiciones de tratamiento ley de mineral de 1.11% de cobre a pH de 1.4 con una dosis de ácido sulfúrico de 114.91 kg/t de mineral de los cuales tiene un consumo de 99.21 kg/t y ácido libre del orden de 15.7 kg/t, tiempo de recuperación del 90% se alcanza en los 48 horas. El promedio de las 13 pruebas se tiene una recuperación de cobre del orden de 79.99%, una pH de 1.35, con una concentración de 2.6 g/L de cobre y una retención en el relave de 0.14% de cobre, para una ley de cobre de 0.63% con una dosis de 105.66 kg/t de ácido de los cuales se tiene un consumo de 97.76 kg/t y ácido sulfúrico libre de 7.9 kg/t. concluyendo que el pH y concentración del ácido sulfúrico libre(kg/t) influye significativamente en la extracción del cobre. Otro estudio relacionado al tema, la presencia de fluoruro de calcio para minerales oxidado de cobre refractarios mejora significativamente la recuperación del orden de 8.76% superior al proceso convencional obteniendo una recuperación del 80.44% de cobre (Yang y otros, 2024). El efecto de la sulfatación de minerales previo al proceso de lixiviación mejora la recuperación de cobre desde minerales de cobre entre una granulometría 3/4" y 3/8" (Bruce y otros, 2024). El permanganato de potasio en la lixiviación ácida a minerales oxidados mejora el tiempo

de lixiviación (Sarmiento Carhuas, 2022). En la cinética de lixiviación de minerales oxida en batea reduciendo la granulometría mejora la recuperación hasta un 90% de cobre y el consumo de ácido (Guillen Gomez, 2022).

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusión

Los hallazgos de la investigación respecto a “pH y dosificación del ácido sulfúrico en la lixiviación de minerales como impacta en la extracción de cobre” se concluye:

El pH y dosificación de ácido sulfúrico en la lixiviación de minerales de cobre oxidado tiene efecto en la extracción de cobre para ello el análisis de varianza el valor de p hallada es 0.032 y menor a 0.001 inferior al valor 0.05.

Referente a la concentración del ácido sulfúrico gastado y libre respecto a la ley de cobre en la solución tiene influencia significativa, ya que los valores de p calculados son menores 0.01 menor a 0.05, teniendo mayor efecto el ácido libre.

El pH del medio lixivante de minerales oxidado sobre la recuperación de cobre no tiene efecto significativo ya que los valores p hallados 0.056 superan ligeramente a 0.05, esto indica dese el punto de vista estadística no tiene influencia.

La ley del cobre en el mineral de oxidado en el proceso de lixiviación acida para el estudio no tiene efecto significativo estadísticamente para una confiabilidad del 95%.

La extracción del cobre alcanza el 91.07% con una ley de 5.12 g/L a un pH 1.4 para mineral -10m en un pedio de 144 horas con una 33% de sólido, donde el mineral que ingrese tenía 1.11% de cobre y reteniendo en el relave del 0.11% de cobre, teniendo un ingreso de ácido sulfúrico de 114.91 kg/t de los cuales 99.21 kg/t de consumen y 15.7 kg/t quedan libre.

6.2. Resultados

Las recomendaciones en base a los resultados obtenido del estudio, utilizar una agente oxidante que ayude superar el porcentaje de extracción.

Realizar un estudio mineralógico para ver cual la composición del mineral y a que tamaño del mineral se tiene una mayor liberación.

Realizar una lixiviación con diferente tamaño de granulometría para ver si varía el porcentaje de extracción del cobre.

Utilizar otros agentes más amigables en la lixiviación para minimizar el consumo del ácido sulfúrico y minimizar el impacto ambiental.

CAPÍTULO VII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

7.1. Referencias bibliográficas

Agius, E., Attfield, R., Hattingh, J., Ten Have, H., Holland, A. K., Rolston, H., . . . Yang, T. (2009).

Ética ambiental y políticas internacionales. Francia: Ediciones Unesco.

Aviles Mendoza, Y. T., & Cutire Soto, H. D. (2020). Lixiviación por agitación de minerales

oxidados de cobre de la zona de Taypitunga- Layo-Canas-Cusco. *Ingeniero metalurgista*.

Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Cusco.

<https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/5174>

Bruce, E., Sepúlveda, R., Castillo, J., & Saldaña, M. (2024). Effect of Incorporation of Sulfation in Columnar Modeling of Oxidized Copper Minerals on Predictions of Leaching Kinetics.

Metals MDPI, 14(6), 708-708. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/met14060708>

Chan-Ung, K., Seung-Eun, J., Thomas, P., Kung-Won, C., Moonis, A. K., Rajesh, K., . . . Do, H.

K. (2021). Extracción de cobre del mineral de óxido de la mina Almalyk mediante H₂SO₄ en lixiviación simulada en pilas: efecto del tamaño de partícula y la concentración de ácido.

Minerales. *Minerals*, 11(9), 1020. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/min11091020>

Chávez, E. (2022). Recuperación de cobre a partir de la malaquita utilizando soluciones de tartrato

mediante proceso de lixiviación, puno 2017. *Revista de Investigaciones*, 9(1), 35-46.

<https://doi.org/https://doi.org/10.26788/riepg.v9i1.1512>

Cook, T., & Reichardt, C. (2000). *Métodos cualitativos y cuantitativos en investigación evaluativa*. Morata.

https://www.google.com.pe/books/edition/M%C3%A9todos_cualitativos_y_cuantitativos_en/E-vqzcBuCi0C?hl=es-419&gbpv=1

- Davenport, W., King, M., Schlesinger, M., & Biswas, A. (2002). *Extractive Metallurgy of Copper*. Reino Unido: Pergamon.
https://www.google.com.pe/books/edition/Extractive_Metallurgy_of_Copper/VdILLpCu9ooC?hl=es&gbpv=1
- Delgado Domínguez, A. (2023). *Hidrometalurgia del cobre en Río Tinto*. España: Editorial de la Universidad de Huelva.
https://www.google.com.pe/books/edition/Hidrometalurgia_del_cobre_en_R%C3%ADo_Tinto/YrbmEAAAQBAJ?hl=es&gbpv=1
- Elera Torres, J. K., & Romero Castillo, C. V. (2015). Influencia del ácido sulfúrico sobre la extracción de cobre durante la lixiviación de un mineral sulfurado de baja ley en presencia de arsénico. *Ingeniero Químico*. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque.
<https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/133>
- Ernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. d. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta edición ed.). Mexico D.F: Mc Graw Hill Education.
https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf
- Espaliat Canu, M. (2017). *Economía Circular y Sostenibilidad: Nuevos Enfoques para la Creación de Valor*. CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Guerreros Lazo, J. L. (2014). Análisis termodinámico de la lixiviación de minerales sulfurados de cobre en medio acuoso (Fe^{3+} - H_2SO_4). *Maestro en ingeniería metalúrgica y de materiales*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo.
<https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3183>

- Guiachetti Torres, D. A. (2011). *Consumo de Ácido Sulfúrico y Cinética de Lixiviación de un Mineral Oxidado de Cobre*. Universidad de Chile, Santiago .
<https://doi.org/https://doi.org/10.58011/newj-nc08>
- Guiachetti Torres, D. A. (2011). *Consumo de Ácido Sulfúrico y Cinética de Lixiviación de un Mineral Oxidado de Cobre*. Universidad de Chile.
<https://doi.org/https://doi.org/10.58011/newj-nc08>
- Guillen Gomez, J. A. (2022). Cinética de lixiviación de mineral oxidado de cobre en bateas; para la obtención de sulfato de cobre con mineral oxidado de unidad minera Chaspaya. *Ingeniero metalurgista* . Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa.
<https://repositorio.unsa.edu.pe/items/4c59f810-134a-4d5a-9827-70e30a410164>
- Havlík, T. (2008). *Hydrometallurgy Principles and applications*. CRC Press.
https://www.google.com.pe/books/edition/_/QX2oAgAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&pg=PP1&dq=Hydrometallurgy+Principles+and+applications
- Hernández Sampieri, R. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Interamericana.
- Instituto Tecnológico Geominero de España. (1991). *Minería química*. España: Artes graficasas MV S.A.
https://www.google.com.pe/books/edition/Miner%C3%ADa_qu%C3%ADmica/29xW6aOhcXgC?hl=es-419&gbpv=1
- Iriarte, G., Guillen, M., & Alfaro, E. (2022). Análisis de la caracterización mineralógica de los pórfidos de cobre como soporte a los procesos de flotación. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Minas Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 25(50), 433-444. <https://doi.org/https://doi.org/10.15381/iigeo.v25i50.24259>

- Jacobo Lujan, C. M., & Rafael Quiroz, A. A. (2024). Efecto del Tiempo, Temperatura y Concentración del Persulfato de Sodio sobre la Extracción de Cobre por Lixiviación Directa de un Concentrado de Calcopirita, en medio Ácido. *Ingeniero Metalurgista*. Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo. <https://dspace.unitru.edu.pe/items/4be1c027-c57d-41b2-98cc-4ee616f1e27d>
- Junmin, N., Dongmei, H., Minjie, Y., Ming, C., & Xianlu, H. (2006). Recovery of metal values from a mixture of spent lithium-ion batteries and nickel-metal hydride batteries. *Hydrometallurgy*, 84(1-2), 75-80. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2006.03.059>
- Lenin Navarro Chávez, J. C. (2014). *Epistemología y Metodología de la Investigación*. México: Grupo Editorial Patria.
- Leon, B., & Mattos, L. (2021). Control de hongos fitopatógenos asociados a semillas de palto persea americana mill. (lauraceae) in vitro. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(3), 2690-2701. https://doi.org/https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i3.483
- Martinez Mediano, C., González, ., & Arturo. (2014). *Técnica e instrumentos de recogida y análisis de datos*. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia. https://www.google.com.pe/books/edition/T%C3%89CNICAS_E_INSTRUMENTOS_DE_RECOGIDA_Y_A/iiTHAwAAQBAJ?hl=es&gbpv=1&dq=tecnica+de+recolecci%C3%B3n+de+datos&printsec=frontcover
- Mendez-Velasco, C., Choque, D., Fuentes-Rubio, J., & Robledo, M. (2023). Lixiviación de calcopirita con ácido etilendiaminotetraacético (edta) en medio oxidante. *Epistemos*, 17(34). <https://doi.org/https://doi.org/10.36790/epistemos.v17i34.274>

- Misari Chuquipoma, F. S. (2016). *Biolixiviación Tecnología de la Lixiviación Bacteriana de Minerales* (1 ed ed.). Osinergmin.
https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/mineria/Documentos/Publicaciones/Biolixiviacion.pdf
- Mostafa, H., & Mohammad, R. H. (2019). Investigation and optimization of influencing parameters on the copper extraction from a low-grade oxide deposit by acid leaching. *Metallurgical Research & Technology*, 116(3), 3005. <https://doi.org/doi:10.1051/METAL/20180>
- Mular, A. L., B. D., & Halbe, D. N. (2002). *Mineral Processing Plant Design, Practice, and Control: Proceedings*. Estados Unidos: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.
https://www.google.com.pe/books/edition/Mineral_Processing_Plant_Design_Practice/GibosO9NKWwC?hl=es&gbpv=1
- Mulás del Pozo, P. (1998). *La tecnología en el contexto de los desarrollos social y económico*. UNAM Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades.
https://www.google.com.pe/books/edition/La_tecnolog%C3%ADa_en_el_contexto_de_los_des/KtG2ueEozicC?hl=es-419&gbpv=1
- Ntengwe, F. W. (2010). Lixiviación de mineral de cobre dolomítico mediante ácido sulfúrico en condiciones controladas. *Revista de procesamiento de minerales abierta*, 3, 60-67.
<https://doi.org/10.2174/1874841401003010060>
- Petrović, S. ., Antonijević, M. M., Vukčević, M., & Kovačević, R. (2023). The Extraction of Copper from Chalcopyrite Concentrate with Hydrogen Peroxide in Sulfuric Acid Solution. *. Metals*, 13(11), 1818. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/met13111818>

- Quille Calizaya, G. (2010). Cinética de leixiviación de minerales de cobre malaquita y azurita con ácidos orgánicos. *Tesis de maestría*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/index.php/Record/RNAP_0a7b3199cf0522e2f6c8555c54bbaed0
- Ramos, J., Aramburú, V., Ortiz, J., & Choque, W. (2023). Caracterización mineralógica de concentrado bulk para reducir arsénico y antimonio mediante lixiviación alcalina en Perú. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Minas Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 26(52), e25332. <https://doi.org/https://doi.org/10.15381/iigeo.v26i52.25332>
- Ramos, N., & Calderón, J. (2022). Revisión del modelo geometalúrgico para la estimación de recursos minerales en depósitos pórfido cupríferos. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Minas Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 25(50), 445-459. <https://doi.org/https://doi.org/10.15381/iigeo.v25i50.24261>
- Rodríguez Moguel, E. (2005). *Metodología de la Investigación*. México: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
https://www.google.com.pe/books/edition/Metodolog%C3%ADa_de_la_Investigaci%C3%B3n/r4yrEW9Jhe0C?hl=es&gbpv=1
- Rodríguez-Venturo, S., Herrera-Quíñonez, J., Reyes-Moreno, C., Antezana-Mejía, J., Calderón, J., & Ramírez, P. (2023). Caracterización de consorcios microbianos lixiviantes de sulfuro de cobre aislados de drenajes ácidos de minas altoandinas. *Revista peruana de biología*, 30(3), e25317. <https://doi.org/https://doi.org/10.15381/rpb.v30i3.25317>
- Romero, A. A., & Flores, S. L. (2010). La influencia de la velocidad de agitación en la lixiviación dinámica de minerales alterados. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*, 12(24), 133-140.

https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v12_n24/pdf/a14v12n24.pdf

Ruiz-Sánchez, A., & Juárez-Tapia, J. (2022). Obtención de cobre metálico a partir de la lixiviación de jales mineros originarios del estado de Zacatecas. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 10(7), 1-9.
<https://doi.org/https://doi.org/10.29057/icbi.v10iEspecial7.9826>

Sarmiento Carhuas, M. B. (2022). Determinación de la influencia del permanganato de potasio en el rendimiento de la lixiviación ácida de minerales oxidados de cobre, Nasca - 2022. *Ingeniero metalurgista*. Universidad Nacional San Luis Gonzaga, Ica.
<https://repositorio.unica.edu.pe/items/d26e966e-c5b1-405e-b444-36445081dfdb>

Schlesinger, M. E., King, M., Sole, K., & Davenport, W. (2011). Hydrometallurgical Copper Extraction. Extractive Metallurgy of Copper. In *Extractive Metallurgy of Copper* (pp. 281–322). Elsevier. <https://doi.org/doi:10.1016/b978-0-08-096789-9.10015-0>

Schlesinger, M., King, M., Sole, K., & Davenport, W. (2011). *Extractive Metallurgy of Copper* (5 ed. ed.). Elsevier Ltd. All rights reserved.

Solis Plaza, W., Gomez, T., & Luis. (1970). *Informe sobre las plantas de lixiviación de minerales oxidados de cobre: Metálica S.A., Condoroma S. A., Corporación de fomento y desarrollo económico de Tacna, y San Carlos (Arica - Chile)*. Ministerio de energía y minas.

Szymanowski, J. (1993). *Hydroxyoximes and Copper Hydrometallurgy*. Reino Unido: CRC-Press.

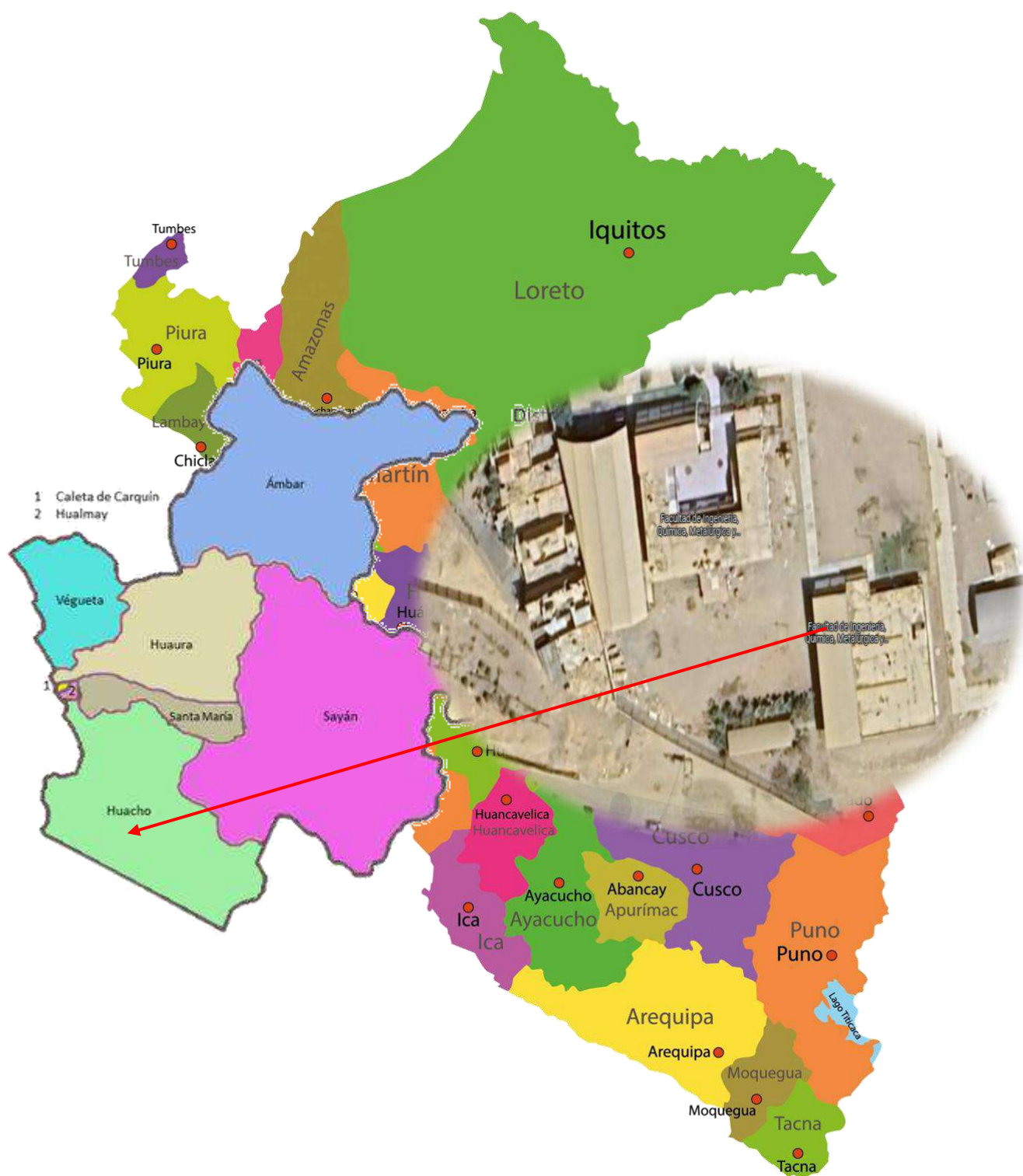
https://www.google.com/books/edition/Hydroxyoximes_and_Copper_Hydrometallurgy/GRCpOFkFVaYC?kptab=editions&sa=X&ved=2ahUKEwiZxp7rucCJAxUUkJUCHcPyHHIQmBZ6BAgMEAo

- Valbuena Castro, R. E. (2015). *La investigación científica avanzada: con introducción a los programas de investigación científica, la investigación internivel y el razonamiento artificial*. https://www.google.com.pe/books/edition/_/Cp4rDwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1
- Verdeja González, L., Ballester Pérez, A., Verdeja, L., & Sancho Martínez, J. (2000). *Metalurgia Extractiva: Vol. II*. Editorial Síntesis S.A.
- Yang, L., Yaping, L., Yuhui, F., Ziliang, L., Peilong, W., Jun, Y., . . . Wanxiang, L. (2024). Enhanced leaching of copper from refractory oxidized copper ore by calcium fluoride: Behavior and mechanism. *Green and Smart Mining Engineering*, 1(1), 85-95. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gsme.2024.03.006>
- Yomona, E. (2023). Análisis petromineográfico en minerales de óxidos de cobre para una eficiencia en la hidrometalurgia. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 9427-9438. https://doi.org/https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.5148

ANEXOS

Anexo 1 localización

Ubicación Laboratorio hidrometalurgia del Centro de investigación y desarrollo tecnológico de materiales



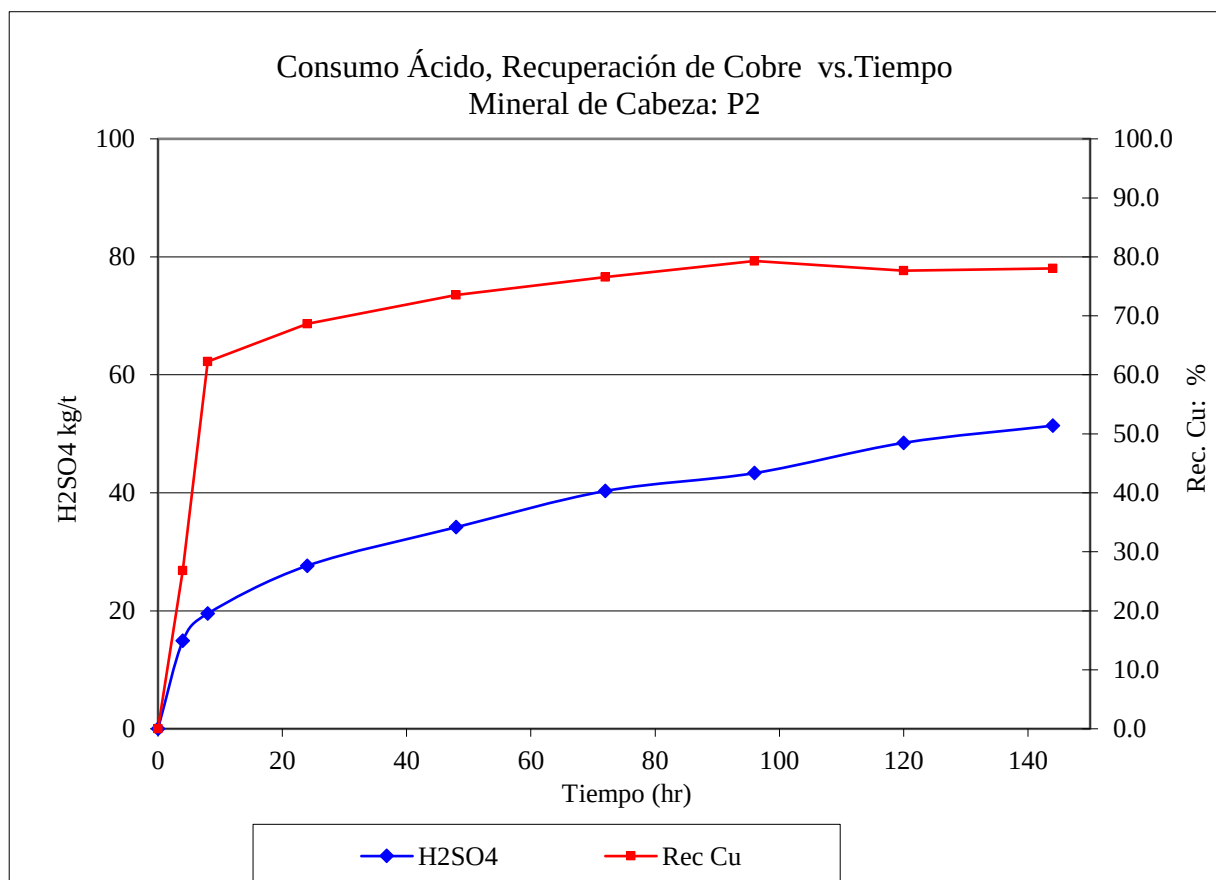
Anexo 2 Matriz de consistencia.

	Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable e indicadores	Unidades	Metodología
Generales	¿En qué medida el pH y dosificación del ácido sulfúrico en la lixiviación de minerales impacta en la extracción de cobre?	- Medir como el pH y dosificación del ácido sulfúrico en la lixiviación de minerales impacta en la extracción de cobre	Con un pH y dosificación del ácido sulfúrico en la lixiviación de minerales permitirá tener un impacto en la extracción de cobre.	<u>Independiente</u> • pH, concentración ácido sulfúrico	Acida – g/L	<u>Tipo de investigación:</u> aplicada
				<u>Dependiente.</u> <u>Extracción de cobre</u>	g/L - %	<u>Nivel de Investigación:</u> explicativo
Específico	¿En qué medida la concentración del ácido sulfúrico en la lixiviación de minerales impactara en la ley de cobre en la solución?	Analizar en qué medida la concentración del ácido sulfúrico en la lixiviación de minerales impactara en la ley de cobre en la solución.	- Una concentración del ácido sulfúrico adecuada en la lixiviación de minerales tendrá un impacto en la ley de cobre en la solución	<u>Independiente</u> - Concentración	g/L	<u>Diseño de Investigación:</u> experimental
				<u>Dependiente.</u> - Ley de cobre	g/L	<u>Enfoque de Investigación:</u> cuantitativa
	¿En qué medida el pH en la lixiviación de minerales impactara en la recuperación de cobre?	Analizar en qué medida el pH en la lixiviación de minerales impactara en la recuperación de cobre.	Un pH adecuado en la lixiviación de minerales tendrá un impacto adecuado en la recuperación de cobre.	<u>Independiente</u> - pH	Acida	<u>Población Muestra:</u> 40 kg – 1 kg
				<u>Dependiente.</u> - Recuperación	%	<u>Técnica Recolección Datos:</u> observación
	¿En qué medida la ley de cabeza en la lixiviación de minerales impactara en la ley en la solución y recuperación de cobre?	Analizar en qué medida la ley de cabeza en la lixiviación de minerales impactara en la ley en la solución y recuperación de cobre.	- Una ley de cabeza adecuado en la lixiviación de minerales permitirá impactar en la ley en la solución y recuperación de cobre	<u>Independiente</u> - Ley de cabeza Cu	%	<u>Técnica Procesamiento o Información:</u> Estadístico descriptiva e inferencial
				<u>Dependiente.</u> - Ley solución y Recuperación	g/L - %	

Anexo 3 Prueba de lixiviación P2

Tiempo (hrs)	pH	pH	Ácido Total Adicionado				Cu	
	Inicial	Final	g	Acumulado g	kg/t	g/l	Acumulado g	Extracción
0	0.82	0.82	11.0	-	0	0.0	0.0	0.0
4		1.22	7.9	11.0	14.9	0.69	0.7	26.8
8		1.03	2.3	18.9	19.5	0.80	0.9	62.3
24		1.08	4.3	21.2	27.6	0.89	0.9	68.6
48		1.14	3.4	25.5	34.2	0.95	1.0	73.5
72		1.06	3.2	28.9	40.3	0.99	1.1	76.6
96		0.88	1.4	32.1	43.3	1.03	1.1	79.3
120		0.84	2.8	33.5	48.5	1.01	1.1	77.6
144		0.65		36.3	51.4	1.01	1.1	78.1

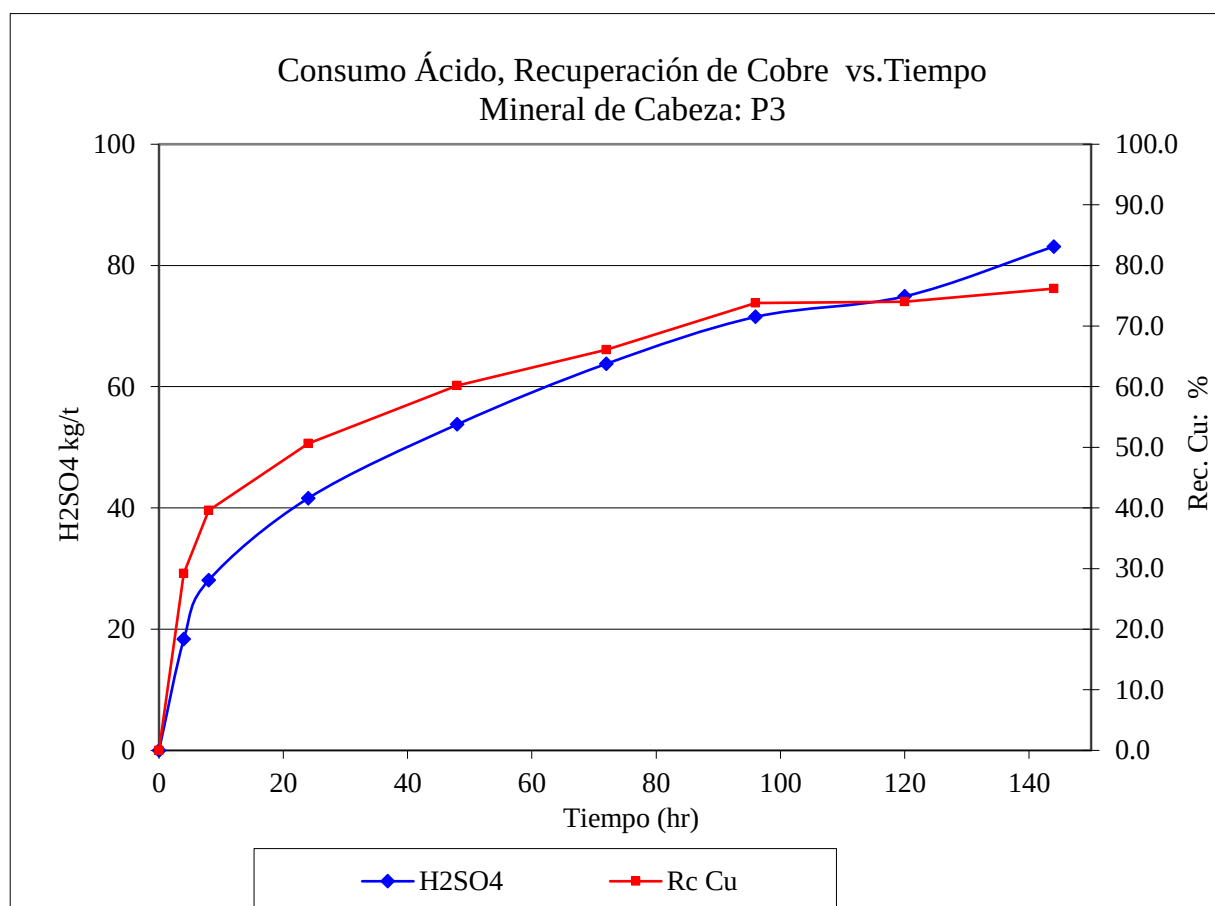
Anexo 4 Curva de consumo y extracción de cobre de minerales oxidados prueba P₂



Anexo 5 Lixiviación de minerales de cobre oxidado P3

Tiempo (hrs)	pH		Ácido Total Adicionado				Cu	
	Inicial	Final	g	Acumulado g	kg/t	g/l	Acumulado g	Extracción
0	0.81	0.81	11.0	-	0	0.0	0.0	0.0
4		1.62	9.9	11.0	18.4	1.36	1.5	29.2
8		1.17	5.1	20.9	28.1	1.85	2.0	39.6
24		1.33	7.3	25.9	41.6	2.38	2.5	50.6
48		1.35	6.5	33.2	53.8	2.84	3.0	60.2
72		1.16	5.3	39.7	63.8	3.13	3.3	66.1
96		1.00	4.0	45.0	71.5	3.51	3.7	73.8
120		0.91	4.3	49.0	74.9	3.52	3.7	74.0
144		0.66		53.3	83.1	3.63	3.8	76.2

Anexo 6 Curva de consumo y extracción de cobre de minerales oxidados prueba P3



Anexo 7 Condiciones para lixiviación de minerales de cobre oxidado

N°	Peso g Mineral	Volumen Agua mL	Cabeza %Cu
1	509	1021	1.108
2	537	1075	0.257
3	538	1078	0.935
4	493	987	0.623
5	520	1041	0.478
6	527	1055	1.487
7	485	971	0.472
8	507	1015	0.325
9	515	1031	0.395
10	518	1052	0.340
11	457	915	0.808
12	518	1037	0.502
13	505	1011	0.493
	510	1022	0.633

Anexo 8 Resultados consumo y recuperación de cobre P₁ - P₇

Tiempo hr	P ₁ H ₂ SO ₄ kg/t	P ₁ %Cu	P ₂ H ₂ SO ₄ kg/t	P ₂ %Cu	P ₃ H ₂ SO ₄ kg/t	P ₃ %Cu	P ₄ H ₂ SO ₄ kg/t	P ₄ %Cu	P ₅ H ₂ SO ₄ kg/t	P ₅ %Cu	P ₆ H ₂ SO ₄ kg/t	P ₆ %Cu	P ₇ H ₂ SO ₄ kg/t	P ₇ %Cu
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	19.99	15.97	14.91	26.79	18.36	29.17	20.31	9.90	19.97	8.07	20.34	17.24	19.79	43.71
8	40.07	50.81	19.53	62.25	28.07	39.60	40.73	34.22	40.08	40.85	39.93	27.83	28.68	58.88
24	59.66	73.26	27.63	68.64	41.60	50.65	61.00	56.55	59.62	62.66	60.01	43.26	39.47	71.46
48	78.04	89.33	34.17	73.53	53.79	60.18	80.84	71.54	77.16	74.80	79.10	57.04	46.61	78.04
72	91.22	89.67	40.31	76.58	63.78	66.12	105.09	82.86	90.11	78.56	96.05	63.46	52.13	81.27
96	100.38	91.89	43.35	79.30	71.51	73.81	119.62	85.88	99.07	81.60	108.16	69.68	54.45	82.58
120	109.64	92.73	48.47	77.63	74.90	74.01	131.51	85.88	106.58	81.40	116.83	73.32	57.53	84.23
144	114.91	91.07	51.38	78.06	83.13	76.19	140.32	87.94	112.41	82.90	126.26	76.17	60.90	84.23

Anexo 9 Resultados consumo y recuperación de cobre P₈ – P₁₃

Tiempo hr	P ₈ H ₂ SO ₄ kg/t	P ₈ %Cu	P ₉ H ₂ SO ₄ kg/t	P ₉ %Cu	P ₁₀ H ₂ SO ₄ kg/t	P ₁₀ %Cu	P ₁₁ H ₂ SO ₄ kg/t	P ₁₁ %Cu	P ₁₂ H ₂ SO ₄ kg/t	P ₁₂ %Cu	P ₁₃ H ₂ SO ₄ kg/t	P ₁₃ %Cu
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	14.63	56.33	20.39	19.94	15.90	36.61	21.03	11.93	20.09	0.03	20.18	0.10
8	20.60	63.51	38.76	66.40	22.83	50.01	41.44	27.32	40.50	3.71	40.53	10.87
24	29.05	69.22	58.25	70.50	32.87	61.39	61.72	37.36	60.93	5.56	60.97	11.86
48	36.26	74.39	74.74	79.64	41.63	69.34	82.14	50.51	81.35	14.32	81.41	26.92
72	42.01	75.73	86.55	83.17	48.50	73.79	102.39	62.07	101.78	25.62	101.84	42.08
96	44.97	77.18	92.59	84.98	50.82	74.35	120.13	72.03	122.20	36.41	122.28	55.47
120	47.42	78.16	97.73	85.31	54.77	76.19	134.73	77.51	142.63	45.47	142.71	65.01
144	50.28	80.98	102.72	86.06	57.82	78.11	147.19	79.77	163.05	61.05	163.15	77.36