



ANEXO 1

FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN CON EL FINANCIAMIENTO DEL FEDU

1. Título del proyecto

“SELECTIVIDAD DE GLICINA COMO MÉTODO ALTERNATIVO EN LIXIVIACIÓN DE MINERALES OXIDADOS DE COBRE”

2. Área de Investigación

Área de investigación	Línea de Investigación	Disciplina OCDE
GEOLOGÍA, MINAS, METALURGIA	METALURGIA EXTRACTIVA	Ingeniería

3. Duración del proyecto (meses)

12

4. Tipo de proyecto

<u>Individual</u>	☒
<u>Multidisciplinario</u>	☐
<u>Director de tesis pregrado</u>	☐

5. Datos del integrante del proyecto

Apellidos y Nombres	Chávez Gutierrez, Esteban Rey
Escuela Profesional	Ingeniería Metalúrgica
Celular	955800331
Correo Electrónico	erchavez@unap.edu.pe

I. Título

“SELECTIVIDAD DE GLICINA COMO MÉTODO ALTERNATIVO EN LIXIVIACIÓN DE MINERALES OXIDADOS DE COBRE”

II. Resumen del Proyecto de Tesis

El uso del cobre en la sociedad se encuentra en constante crecimiento en los diferentes sectores como la en la industria de la construcción , medicina, automotriz, electrónica, comunicación, transporte, maquinaria y equipo industrial y muchos otros, contando el Perú con 91721000 toneladas métricas (TM) como reservas probadas y probables según el Ministerio de Energía y Minas (2020) las mismas que corresponden a minerales oxidados y sulfurados, con una participación de 10% del PBI y directamente con una influencia del 30% del PBI por exportaciones de cobre



(Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía 2021), por lo que se considera como un metal estratégico. El procesamiento y beneficio de minerales oxidados de cobre se realiza mediante la lixiviación con ácido sulfúrico causando impactos negativos al medio ambiente, y estando la necesidad de su explotación por su aporte a la economía nacional en es que se propone como objetivo evaluar la selectividad de la glicina en la lixiviación de mineral oxidado. Como metodología se considera la lixiviación por agitación controlada monitoreando el efecto de la concentración del aminoácido glicina, el efecto del pH y el efecto tiempo en la lixiviación de minerales oxidados de cobre sobre su selectividad. Los resultados que se esperan obtener en la lixiviación de cobre a partir de sus minerales servirán de base para su aplicación en la industria del procesamiento de minerales oxidados con un reactivo orgánico biodegradable.

III. Palabras claves (Keywords)

Alcalino, aminoácido, cobre, glicina, lixiviación.

IV. Justificación del proyecto

La industria de la minería considera el método de lixiviación convencional con ácido sulfúrico por su bajo costo y alta cinética en la disolución y transferencia del cobre desde sus minerales causando impactos negativos al medio ambiente, en particular en las zonas aledañas donde se encuentran los yacimientos en explotación, en ese contexto es que las empresas mineras vienen realizando inversiones en la búsqueda de métodos alternativos de procesamiento con iguales o mejores rendimientos que el ácido sulfúrico, ya sea desde el punto de vista de extracción o medioambiental, por lo que desde la presente investigación se propone evaluar la selectividad den glicina como método alternativo en lixiviación de minerales oxidados de cobre.

V. Antecedentes del proyecto

Según (Tanda et al., 2017), los minerales de óxido de cobre se extraen normalmente mediante lixiviación ácida seguida de recuperación de cobre con extracción por solvente y electrodeposición. Sin embargo, los depósitos de óxido

de cobre que a menudo contienen grandes cantidades de ganga consumible ácida conducen a un consumo de ácido muy alto. Además, si el depósito de óxido también contiene metales preciosos y minerales que contienen hierro, se incurre en costos significativos de neutralización (cal) para establecer las condiciones para la cianuración posterior. En la investigación, emplearon un sistema alternativo de glicina alcalina acuosa para evaluar el comportamiento de lixiviación por lotes de muestras de minerales de óxido de cobre de los minerales azurita, crisocola, cuprita y malaquita. Investigación adicional estableció que las condiciones óptimas de lixiviación eran pH 11 y una proporción de glicina a cobre de 4: 1. En tales condiciones, obtienen el 95.0%, 91.0%, 83.8% y 17.4% de cobre después de 24 horas; el cobre disuelto está en estado cúprico y forma un complejo de glicinato de cobre neutro en condiciones alcalinas. El estudio ha demostrado que la extracción de cobre de malaquita, azurita y cuprita en soluciones acuosas alcalinas de glicina es rápida, mientras que la extracción de Cu de la crisocola es pobre y lenta.

(Tanda, Oraby, et al., 2017) en su investigación demuestran que las soluciones de glicina en un ambiente alcalino pueden lixiviar el cobre de su óxido, minerales nativos y sulfuros como un complejo de glicinato de cobre, evalúan la recuperación de cobre de sus complejos de glicinato acuosos a pH alcalino mediante extracción con solvente. Investigan el efecto de diferentes parámetros como el pH de la fase acuosa, las concentraciones de glicina y extractante, el tiempo de equilibrio, la temperatura, la capacidad de carga del extractante y la concentración de ácido sulfúrico como reactivo de stripping. Realizan la extracción de cobre de lixiviados de muestras de mineral de malaquita y calcopirita para validar los resultados de extracción de las soluciones sintéticas. Extraen más del 99% de cobre del lixiviado de malaquita (que contiene 2620 mg / L Cu) en una sola etapa con Mextral 54-100 al 10% (pH de refinado de 9.76) y Mextral 84H al 5% (pH de refinado de 10.0) a un O: A de 2: 1; sin elementos de impureza recogidos por ninguno de los extractores.

(Khezri et al., 2020), manifiestan que el aminoácido más simple, la glicina, es un reactivo seguro y benigno para el medio ambiente para la extracción de cobre de minerales de óxido y sulfuro. Presentan el estudio de la lixiviación de un concentrado de calcopirita de la mina de cobre Sarcheshmeh (Kerman, Irán) en reactores de tanque agitado en presencia de un medio de glicina. Investigan la concentración de glicina (0,4–2 M), la temperatura (30–90 ° C), la velocidad de agitación (250–750 rpm), el pH (9–12), la velocidad de flujo de oxígeno (0,5–2 L / min) y la densidad de la pulpa (1–20%) en la recuperación de cobre del concentrado de calcopirita. Los resultados muestran que un aumento de



temperatura de 30 a 60 °C mejoró la extracción de cobre, mientras que en condiciones > 60 °C se observó una disminución en la extracción de cobre, probablemente como resultado de la conversión de glicina en glicinato y disminución de la solubilidad en oxígeno. Además, los tiempos de lixiviación prolongados a niveles de pH más altos (10,5 y 12) condujeron a una disminución en la extracción de cobre, principalmente debido a la precipitación química del sulfuro de cobre y la cristalización del glicinato de cobre. Al aumentar la densidad de la pulpa del 1 al 20%, la extracción de cobre disminuyó significativamente principalmente como consecuencia de la precipitación parcial del cobre disuelto a concentraciones más altas de cobre. Una investigación adicional determinó que la energía de activación de la lixiviación de glicina del concentrado era de 37,4 KJ / mol, por lo que la cinética se controló mediante la difusión de los reactivos a través de la capa de producto.

(Tanda et al., 2019), En investigaciones recientes indicaron el potencial de la glicina en condiciones alcalinas como lixiviante del cobre de sus minerales y concentrados. En esta investigación, se ha realizado un estudio sistemático de los efectos de la concentración de glicina, temperatura, oxígeno disuelto, tamaño de partícula, velocidad de agitación, sobre la cinética de lixiviación de calcopirita en glicina alcalina a partir de la cual se ha derivado un modelo de tasa de ley de potencia para modelar el encogimiento de la cinética del núcleo. La reducción de la molienda ultrafina al 100% pasando 10 μm resultó en una mejora extraordinaria en la velocidad de disolución del cobre. El análisis cinético de las dos fracciones de tamaño de partícula indicó que la difusión a través de la capa de producto controlaba la cinética de lixiviación de la calcopirita a temperaturas de 40 °C y superiores. A 30 °C, La reacción química contribuyó a limitar el proceso de lixiviación, pero la difusión a través de la capa de producto es dominante. Para la fracción de tamaño de 20 a 38 μm , tanto la difusión de la película líquida como la difusión a través de la capa de producto limitaron el proceso de lixiviación, aunque la difusión a través de la capa de producto fue significativamente dominante. Estimaron las energías de activación para la fracción de tamaño de 20 a 38 μm y la fracción de tamaño ultrafino en 71,9 kJ / mol y 29,6 kJ / mol, respectivamente.

(Li et al., 2020), presentan un enfoque sostenible utilizando una solución de glicina alcalina para la extracción de cobre (Cu) a partir de desechos electrónicos y el comportamiento de lixiviación de otros metales (Ni, Al, Fe, Pb, Sn, Co, Zn, Au, Ag y Pd). Investigaron varios parámetros de lixiviación, incluido el pH inicial, la concentración de glicina, el contenido de sólidos, el oxidante, el tamaño de partícula, la temperatura y el tiempo. Lograron una extracción máxima de Cu del



96,5%, con alta coextracción de metales básicos (BM). La extracción de BM dependía del pH de la solución de lixiviación, que estaba altamente correlacionado con otras variables. La extracción de BM estuvo influenciada en gran medida por la concentración de glicina y el contenido de sólidos, mientras que la temperatura y el tamaño de las partículas fueron insignificantes. El análisis SEM-EDS del residuo de lixiviación indicó que el Cu no lixiviado puede estar bloqueado en capas inertes, entre ellos materiales de soldadura.

(Deng et al., 2020), demostraron que un sistema de lixiviación sinérgica que utiliza glicina que contiene niveles de cianuro de inanición como lixiviante es un método eficaz para lixiviar minerales de oro y cobre, lo que permite reducir significativamente el consumo de cianuro mientras se recicla la glicina. Se estudió la precipitación de sulfuros para eliminar la mayor parte del cobre. Desde la solución alcalina de glicina-cianuro muestra que el glicinato cúprico (Cu^{2+}) se puede precipitar fácilmente, mientras que el oro, el ión cuproso (Cu^{+}) y las especies de cianuro permanecen estables en la solución. En presencia de cationes divalentes como Ca^{2+} y Mg^{2+} , particularmente Ca^{2+} , se generaron aglomerados de partículas grandes y de sedimentación rápida. También se observó que el aumento de la fuerza iónica de la solución agrandaba las partículas.

(Oraby & Eksteen, 2015), investigaron la lixiviación de oro y plata en una solución de glicina con pH modificado en presencia de peróxido de hidrógeno. Se encontró que este sistema lixiviante puede disolver oro y/o plata en condiciones neutras y alcalinas a temperatura ambiente a moderadamente elevada (23-60 °C), resultó ser 0,322 $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$, que es comparable a la tasa de lixiviación del oro después de seis días en sistemas de tiosulfato-EDTA o tiosulfato-oxalato en presencia de tiourea (0,22-0,25 $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$). En soluciones alcalinas de peróxido de hidrógeno y glicina, se ha encontrado que la tasa de lixiviación de oro a partir de una aleación de oro y plata (50% Ag) es aproximadamente 6 veces mayor que la tasa de lixiviación de oro puro y la tasa de lixiviación de plata fue de 0,247 $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$. Se notó un período de inducción de 48 horas para láminas de metal precioso laminadas, después de lo cual la lixiviación se aceleró rápidamente. Las tasas de disolución de metales preciosos aumentaron con el aumento de la concentración de glicina, el aumento del contenido de plata y el aumento del pH (hasta pH 11). Encontraron que el complejo de glicinato de oro se cargaba efectivamente en el carbón activado hasta 13,2 gAu/kg de carbono en 4 horas. La presencia de minerales de cobre con oro genera muchos desafíos durante la cianuración de minerales de oro, como un alto consumo de cianuro con baja extracción de oro e impactos no deseados en la recuperación de oro durante los



procesos posteriores. (Oraby & Eksteen, 2014), estudiaron y evaluaron un proceso alternativo de lixiviación selectiva de minerales de cobre a partir de concentrados de cobre-oro por gravedad (3,75 % Cu, 11,6 % Fe, 11,4 % S y 0,213 % Au) utilizando soluciones alcalinas de glicina. Mediante el sistema lixivante que contenía glicina y peróxido obtienen una disolución total de cobre del 98% en 48 h en condiciones ambientales a un pH de 10,5–11. Los resultados muestran que también se disolvieron el 100% de calcocita, cuprita, cobre metálico y alrededor del 80% de calcopirita en el concentrado. La pirita permaneció intacta durante el tiempo de lixiviación y se encontró que la concentración de hierro en la solución cargada final era de 12 mg/L cuando la solución de cobre estaba en 4745 mg/L, mientras que la concentración de oro se limitó a 0,8 mg/L Au. El análisis QEMScan indicó que el cobre sin lixiviar en el residuo de lixiviación se distribuyó principalmente entre los granos más grandes de calcopirita y covellita.

Las baterías de iones de litio (LIB) de desecho contienen cobalto, litio y otros materiales valiosos, lo que atrae la atención de un gran número de investigadores. Tomar medidas efectivas no solo reduce la contaminación ambiental sino que también maximiza los beneficios económicos. (Chen et al., 2021), desarrollan un enfoque eficaz y respetuoso con el medio ambiente para la lixiviación de cobalto y litio de LIB mediante una glicina verde. Las tasas de lixiviación de Co y Li fueron respectivamente 97,07 % y 90,95 % (300 g/L de glicina, 10 % de H₂O₂, relación sólido/IL de 1:100, 353 K, 7 h). Los resultados de la cinética de lixiviación muestran que el proceso de lixiviación está controlado por reacciones químicas interfaciales, y la energía de activación de Co y Li es respectivamente 78,57 kJ mol⁻¹ y 56,20 kJ mol⁻¹. Además, aplicaron microscopía electrónica de barrido (SEM) y difracción de rayos X (XRD) para analizar la morfología y la composición de fase de los LIB de desecho antes y después de la lixiviación, y los resultados de XRD prueban la lixiviación de LiCoO₂ ya que su intensidad máxima disminuyó considerablemente. lo que indicó el descompuesto de LiCoO₂ después de la lixiviación. Por lo tanto, el uso de glicina, un extractante verde, no solo da como resultado una mayor eficiencia de lixiviación, sino que también reduce el uso de ácidos inorgánicos, lo que se presenta como un nuevo proceso alternativo.

Recientes investigaciones han demostrado que las soluciones de glicina alcalina privadas de cianuro tienen claras ventajas en términos de menor consumo de reactivo y necesidades de desintoxicación, o tasa de lixiviación y recuperación, sobre los sistemas de lixiviación solo con cianuro y glicina, respectivamente, para minerales de oro con interferente cobre. Han demostrado que el carbón activado



es adecuado para la adsorción de oro de los sistemas de glicina alcalina y está bien establecido para los sistemas basados en cianuro. El carbón activado, que es un sustrato eficaz para la adsorción de oro, ofrece una posible ruta de recuperación de carbón en pulpa (CIP) aguas abajo para sistemas de lixiviación de glicina alcalina y sistemas híbridos en presencia de cianuro. Dada la frecuente aparición de depósitos de oro con altos niveles de interferente cobre, han estudiado la carga de equilibrio de oro y cobre sobre carbón activado a partir de soluciones de glicina alcalina sin cianuro que contienen cobre y oro. Estudiaron la eficiencia de adsorción en términos de isothermas de carga de equilibrio. Los resultados mostraron que, si bien la adsorción de cobre es más esporádica, la adsorción de oro es más consistente y sigue claramente el modelo de isoterma de Freundlich (buena correlación lineal de los valores de $\log Q$ frente a $\log C$). Los complejos de cianuro cuproso y glicinato cúprico redujeron la carga de oro a través de una adsorción competitiva con los complejos de cianuro de cobre (I) que se adsorben más rápidamente en el carbono que sus contrapartes de glicinato. Encuentran que la capacidad de carga de equilibrio de oro en soluciones de glicina privadas de cianuro que contienen 2 ppm de Au y 300 ppm de Cu, a pH 11, era de 9,95 kg.Au / ton de carbono en 24 h, que es casi cuatro veces mayor que la capacidad de carga de oro en un sistema de cianuro puro (2,7 kg de Au / ton de carbono) en condiciones similares. El estudio reveló que el carbón activado era un adsorbente eficaz para eliminar el oro de las soluciones acuosas de cianuro-glicina, (Tauetsile et al., 2019).

VI. Hipótesis del trabajo

La selectividad de glicina como método alternativo en lixiviación de minerales oxidados de cobre es muy favorable, permitiendo altas recuperaciones de cobre a partir de minerales complejos.

VII. Objetivo general

Evaluar la selectividad de glicina como método alternativo en lixiviación de minerales oxidados de cobre.

VIII. Objetivos específicos

- Evaluar el efecto del tiempo en la lixiviación de minerales oxidados de cobre en presencia glicina.
- Evaluar el efecto de la velocidad de agitación en la lixiviación de minerales oxidados de cobre con glicina.



- c. Evaluar el consumo de glicina en la lixiviación de minerales oxidados de cobre.

IX. Metodología de investigación

El mineral oxidado de cobre será chancado en una chancadora de quijadas de laboratorio, luego pasará por una etapa de molienda y homogeneización, para una posterior etapa de lixiviación.

El proceso de lixiviación se realizará por agitación con control de velocidad a nivel de laboratorio donde se retiraran muestras en intervalos de tiempo constantes para su cuantificación en el laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica para su respectivo análisis químico por UV/Visible.

Para el diseño de las pruebas experimentales se recurrirá al diseño factorial 2^k , lo que generará el número de pruebas necesarias para determinar la lixiviación de los minerales oxidados de cobre.

X. Referencias

- Chen, M., Wang, R., Qi, Y., Han, Y., Wang, R., Fu, J., Meng, F., Yi, X., Huang, J., & Shu, J. (2021). Cobalt and lithium leaching from waste lithium ion batteries by glycine. *Journal of Power Sources*, 482. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.228942>
- Deng, Z., Oraby, E. A., & Eksteen, J. J. (2020). Sulfide precipitation of copper from alkaline glycine-cyanide solutions: Precipitate characterisation. *Minerals Engineering*, 145. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2019.106102>
- Khezri, M., Rezai, B., Akbar Abdollahzadeh, A., Molaeinasab, M., Wilson, B. P., & Lundström, M. (2020). Glycine leaching of Sarcheshmeh chalcopyrite concentrate at high pulp densities in a stirred tank reactor. *Minerals Engineering*, 157. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106555>
- Li, H., Oraby, E., & Eksteen, J. (2020). Extraction of copper and the co-leaching behaviour of other metals from waste printed circuit boards using alkaline glycine solutions. *Resources, Conservation and Recycling*, 154. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104624>



- Oraby, E. A., & Eksteen, J. J. (2015). The leaching of gold, silver and their alloys in alkaline glycine-peroxide solutions and their adsorption on carbon. *Hydrometallurgy*, 152, 199–203. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2014.12.015>
- Tanda, B. C., Eksteen, J. J., & Oraby, E. A. (2017). An investigation into the leaching behaviour of copper oxide minerals in aqueous alkaline glycine solutions. *Hydrometallurgy*, 167, 153–162. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2016.11.011>
- Tanda, B. C., Eksteen, J. J., Oraby, E. A., & O'Connor, G. M. (2019). The kinetics of chalcopryrite leaching in alkaline glycine/glycinate solutions. *Minerals Engineering*, 135, 118–128. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2019.02.035>
- Tanda, B. C., Oraby, E. A., & Eksteen, J. J. (2017). Recovery of copper from alkaline glycine leach solution using solvent extraction. *Separation and Purification Technology*, 187, 389–396. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.06.075>
- Tauetsile, P. J., Oraby, E. A., & Eksteen, J. J. (2019). Activated carbon adsorption of gold from cyanide-starved glycine solutions containing copper. Part 1: Isotherms. *Separation and Purification Technology*, 211, 594–601. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.09.024>

Uso de los resultados y contribuciones del proyecto

El estudio será de mucha importancia para el tratamiento de minerales oxidados de cobre con glicina como método alternativo y servirá de base para un escalamiento a nivel industrial.

XI. Impactos esperados

i. Impactos en Ciencia y Tecnología

La lixiviación del cobre a partir de sus minerales oxidados con glicina se constituye en un método alternativo y servirá de base para nuevas investigaciones y así ingresar a la lixiviación con formación de complejos organometálicos.

ii. Impactos económicos

El cobre es un metal generador de grandes divisas económicas para nuestra nación, porque posee muchas propiedades físicas y químicas requeridas por la industria y presenta una demanda creciente en sus diferentes formas de uso.

iii. Impactos sociales

Se considera como un método alternativo amigable con el medio ambiente, generando puestos de trabajo especializado y por ser una especie orgánica biodegradable contribuiría con la estabilidad social en la población cercana a los yacimientos mineros.

iv. Impactos ambientales

Glicina, reactivo orgánico biodegradable, amigable con el medio ambiente, lixivia minerales en un pH alcalino.

XII. Recursos necesarios

Se requiere de recursos materiales, humanos y financieros.

Recursos materiales: Espectrofotómetro UV/Visible, mineral oxidado de cobre, chancadora, molino, reactor para agitación, tamices, reactivos químicos, material de vidrio, depósito de plásticos.

Recursos humanos: El responsable de la presente investigación será el investigador.

Recursos financieros: El financiamiento de la investigación será asumido en parte por FEDU y mayormente por el ejecutor.

XIII. Localización del proyecto

Se realizará el laboratorio de Organometalurgia y análisis metalúrgico Instrumental de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno.

XIV. Cronograma de actividades

Actividad	Trimestres											
Revisión bibliográfica	X	X	X	X	X							
Muestreo	X	X	X									
Análisi químico, mineralógico de muestras de mineral y su caracterización			X	X	X							



Preparación del mineral y equipos para las pruebas de lixiviación		X	X	X	X	X								
Pruebas de lixiviación				X	X	X	X	X						
Análisis químico de las soluciones de lixiviación				X	X	X	X	X	X					
Evaluación e interpretación de los resultados							X	X	X	X	X			
Presentación del informe final												X	X	

XVI. Presupuesto

Descripción	Unidad de medida	Costo Unitario (S/.)	Cantidad	Costo total (S/.)
Revisión bibliográfica	Unid.	10.00	100	1 000.00
Muestreo	kg	50.00	20	1 000.00
Caracterización mineralógica de muestras de mineral	Muestra	10000.00	20	10 000.00
Análisis químico de mineral	Muestra	20.00	20	400.00
Preparación del mineral y equipos para las pruebas de lixiviación	Kg	1000.00	01	1000.00
Pruebas de lixiviación	Unid.	500.00	20	10 000.00
Análisis químico de las soluciones de lixiviación	Muestra	60.00	100	6 000.00
Evaluación e interpretación de los resultados	Documento	500.00	10	5 000.00
Digitación, impresiones	Documento	1000.00	01	1 000.00
Presentación del informe final	Documento	400.00	01	400.00
TOTAL				35 800.00