

Evaluación del Proceso de Lixiviación en Medio Básico para Minerales Oxidados de Cobre

Esteban Rey Chavez Gutierrez^{1,3,4} Antonio Walter Sarmiento Sarmiento^{2,3,4}

¹Docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, ²Facultad de Ingeniería Geológica e Ingeniería Metalúrgica, ⁴Universidad Nacional del Altiplano Puno, ²cyclon67@hotmail.com, ⁴walsarmiento@hotmail.com

INFORMACIÓN DEL ARTICULO

Art. Recibido 30/agosto/2015
Art. Aceptado 26/diciembre/2015
online: 30/diciembre/2015

PALABRAS CLAVE:

* Lixiviación
* agente complejante
* medio básico

ARTICLE INFO

Article Received 30/august/2015
Article Accepted 26/december/2015
online:30/december/2015

KEY WORDS:

* Leaching
* complexant agent
* basic means

RESUMEN

La investigación se realizó con el objetivo de evaluar el proceso de lixiviación en medio básico para minerales oxidados de cobre proveniente del cerro Azoguine, Provincia y Departamento de Puno en presencia de un agente complejante como es el Bitartrato de Potasio (*KOOCCHOHCHOHCOOH*), que es un insumo químico comercialmente disponible para luego a partir de ello determinar el efecto de la concentración del agente complejante, identificar el efecto del pH del medio acuoso y valorar el efecto del tiempo de reacción para dicho proceso de lixiviación. El diseño de investigación que se utilizó fue el experimental, aplicativo y cuantitativo, el nivel de investigación explicativo comparativo seleccionándose el modelo de nivel experimental desarrollado en los laboratorios de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional del Altiplano Puno en el año 2014, el método fue deductivo, analítico sintético bajo el modelo caso control y la estadística basado en ANOVA y MS EXCEL. Los resultados demuestran que el uso de un agente complejante como es el Bitartrato de Potasio para la extracción de Cobre en medio básico es muy importante evidenciándose que la concentración de 8% del ión tartrato, el pH de la solución que fue de 13.7 y el tiempo de reacción de 25 días presentaron una relación directa muy significativa en el grado de extracción del cobre lográndose recuperaciones de hasta 92.28%.

EVALUATION OF THE PROCESS OF LEACHING IN BASIC MEDIUM FOR OXIDIZED MINERALS OF COPPER

ABSTRACT

The research was conducted with the objective to evaluate the leaching process in basic medium for oxidized minerals of copper from the cerro Azoguine, province and department of Puno in the presence of a complexing agent such as cream of tartar (*KOOCCHOHCHOHCOOH*) which is a commercially available chemical input, then from this determine the effect of the concentration of the complexing agent, identifying the effect of pH of the aqueous medium and assess the effect of reaction time for the leaching process. The research design that was used was the experimental, applicatives and quantitative, the level of research comparative explanatory model of the experimental level Developed in the laboratories of the Professional School of Metallurgical Engineering at the National University of the Altiplano Puno in the year 2014, the method was deductive, synthetic analytical model under the case-control and the statistics based on ANOVA and MS Excel. The results show that the use of a complexing agent as is the cream of tartar to the extraction of copper in basic medium is very important this shows that the concentration of 8% of the tartrate ion, the pH of the solution was 13.7 and the reaction time of 25 days presented a direct relationship very significant in the degree of extraction of copper obtained recoveries of up to 92.28 %

INTRODUCCIÓN

En la zona sur del Perú y en nuestra Región de Puno existen minerales oxidados de cobre que se procesan actualmente mediante el método convencional de lixiviación con H_2SO_4 que es altamente contaminante, razón por la cual se propone formular un proceso alternativo que pueda producir iguales o mejores rendimientos en la recuperación de cobre y ser menos ofensivo del medio ambiente (Alfaro y Ordoñez, 2013). Este tipo de proceso alternativo consiste en lixiviar minerales oxidados de cobre usando solución en medio básico, con lo cual se espera obtener una lixiviación selectiva disminuyendo el impacto ambiental negativo. Al desarrollar el presente estudio se realiza una evaluación del proceso hidrometalúrgico usando un agente complejante selectivo para mineral oxidado de cobre. El ión tartrato reacciona con el ión cobre en una solución alcalina de $pH > 10$ formando un complejo (Abd El Rehim, 1978). Al proponer el uso de un agente complejante se tiene que evaluar los parámetros termodinámicos, influencia del pH, efecto del tiempo y menor impacto ambiental negativo por tratarse de un trabajo en medio básico. Este proceso se fundamenta en la formación de complejos organometálicos muy estables como es el caso de la cianuración de oro (Cáceres, 1993) o en la lixiviación de sulfuros en medio básico (Sueros, 2004).

Alfaro y Ordoñez (2013). Con el objeto de poder realizar la extracción y recuperación de cobre y zinc han desarrollado a nivel de laboratorio y de planta piloto, un proceso de lixiviación en medio básico, empleando hipoclorito como agente oxidante y amoníaco como agente complejante de los cationes metálicos. En el caso del cobre, su extracción y recuperación a partir de minerales complejos tales como óxidos con altos contenidos de carbonatos mezclados íntimamente con sulfuros secundarios, o con la presencia de cobre nativo, oro y plata, la lixiviación básica, efectuada en condiciones normales de presión y temperatura, ha demostrado ser una opción técnico-económica viable.

Según Ordoñez (2011). La lixiviación de minerales de cobre (óxidos y sulfuros), se efectuó al emplear hipoclorito (lejía) y amoníaco en un medio básico. El cobre se disuelve fácilmente formando el complejo tetraamincuprico, $Cu(NH_3)_4^{2+}$, el proceso se realiza a presión y temperatura normales, la solución de lixiviación resulta libre de impurificantes debido al carácter selectivo del amoníaco, en medio básico con muy pocos iones interferentes en solución.

Según Bingöl et al., (2005). La lixiviación del mineral oxidado de cobre, en la forma de malaquita, ha sido estudiada, empleando una solución acuosa de carbonato de amonio. En donde las condiciones óptimas de lixiviación del mineral de la malaquita fueron una solución de carbonato de amonio y de amonio en el rango de: 5 M $NH_4OH + 0.3 M (NH_4)_2CO_3$; un cociente de sólido/líquido de 1:10 g/ml; tiempo de lixiviación: 120 minutos; una velocidad de 300 RPM; una temperatura de lixiviación de $25^\circ C$; un tamaño de partícula final de $450 \mu m$. El rendimiento del proceso alcanzó el 98 % en la recuperación de cobre. Durante la lixiviación, el cobre disolvió bajo la forma del ion complejo $Cu (NH_3)_2^{+2}$, mientras que los minerales de la ganga no reaccionan con amoníaco. La energía de activación para la disolución resultó ser $15 kJ mol^{-1}$.

Según Quille (2010) El mineral de cobre extraído de los socavones del cerro Azoguine de la ciudad de Puno, contiene alta ley de Cu, cuyo análisis químico fue realizado por el método de titulación por cianuro. En donde concluye que en la lixiviación de minerales de cobre con solución 0.3087 M de ácido cítrico se ha obtenido un porcentaje de extracción de cobre al 68%, en un tiempo de lixiviación 4 horas y tamaño de mineral malla -60 según ASTM. Así mismo se determinó la energía de activación a temperaturas de 16° y 35° , cuyo valor obtenido es 11.2281 KJ/mol. Por otro lado en la lixiviación de minerales de cobre con solución 1.029 M de ácido fórmico se obtuvo 75% de extracción de cobre, el tiempo de lixiviación sólo fue de 2 horas, igualmente para un tamaño de partícula malla -.60. Finalmente se hizo prueba de lixiviación de mineral con solución 1.014 M de ácido acético obteniéndose un porcentaje de extracción de cobre al 36%; en un tiempo de lixiviación de 5 horas.

Herrera (2010). En su estudio de lixiviación de cobre proveniente del cerro Azoguine, provincia y departamento de Puno, a partir de la malaquita mediante soluciones de ácido cítrico propone el uso de soluciones diluidas de ácido cítrico, por ser este un ácido biodegradable; ya que se encuentra principalmente en el zumo de limón, y en otras frutas de consumo humano razón por la que no debe contaminar el medio ambiente, constituyéndose entonces este reactivo en una alternativa en la extracción de cobre a partir de la malaquita por proceso hidrometalúrgico.

Es así que con el presente estudio, se propone un nuevo proceso de tratamiento para los minerales oxidados de cobre empleando el tartrato como agente lixivante en medio básico y teniendo en consideración que la

lixiviación en medio básico presenta ventajas significativas con respecto a la lixiviación en medio ácido.

MATERIALES Y MÉTODOS

El diseño de investigación que se utilizó fue el experimental, aplicativo y cuantitativo, el nivel de investigación explicativo comparativo seleccionándose el modelo de nivel experimental para determinar la influencia del agente complejante en el proceso de lixiviación de mineral oxidado de cobre en medio básico, el método fue deductivo, analítico sintético bajo el modelo caso control y la estadística basado en ANOVA y MS EXCEL.

AREA DE ESTUDIO

El presente estudio se desarrolló en los laboratorios de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional del Altiplano Puno.

MUESTRA

El mineral con el cual se realizó el presente trabajo de investigación es proveniente del yacimiento Azoguini, Distrito, Provincia y Departamento de Puno. Se consideró una muestra representativa de 100 kilogramos, con una granulometría aproximada de 6 pulgadas, la misma que fue preparada en los laboratorios de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica bajo el siguiente procedimiento:

- El mineral fue inicialmente triturado en una chancadora de quijadas a -1/2 pulgadas, se continuó la reducción de tamaño en seco, en un molino de bolas de laboratorio, se obtuvo un producto con el cual se trabajaron las pruebas experimentales presentando las siguientes características:

+ m 100 : 25.54% -m 100 : 74.46% (0.149 mm)
 +m 80 : 20.06% -m80 : 79.94% (0.175 mm)

- Posterior a ello se realizó una reducción del volumen de muestra mediante cono y cuarteo, luego se tomaron las cantidades necesarias para cada una de las pruebas, las mismas que fueron de 50 g.

PROCEDIMIENTO

Se realizó un estudio termodinámico y experimental para evaluar la solubilidad de mineral oxidado de cobre por efecto del agente complejante en medio acuoso básico. Para ello se determinó el efecto de la concentración del agente complejante en la solución lixivante, el pH de la solución lixivante y tiempo de lixiviación siendo en todos

los casos la concentración de cobre en la solución lixiviada la variable dependiente; para lograr todo lo anterior se efectuaron experimentos de lixiviación en lecho inundado a nivel de laboratorio.

ANÁLISIS QUÍMICO DEL MINERAL

Se realizó el análisis químico del mineral, por disolución total con ácido para luego cuantificar por absorción atómica.

TABLA 01. ANÁLISIS QUÍMICO DEL MINERAL

Elemento	Porcentaje
Cobre total	8.72 %
Cobre en Malaquita	2.62 %

Fuente: Elaboración propia

TOMA DE DATOS EXPERIMENTALES

Se tomaron muestras de 2 ml cada 24 horas y el volumen de solución repuesto con la adición de 2 ml de solución fresca de tartrato de pH 13.7. Cada alícuota fue sometida a una cuantificación de la concentración de iones Cu^{2+} por absorción atómica en los laboratorios de Análisis de Minerales de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la UNA-PUNO.

RESULTADOS

Las pruebas experimentales se diseñaron con un máximo de 16 g de tartrato en 200 ml de NaOH 0.5 M.

Los resultados se dan desde un punto de vista experimental, con el que se comprueba las teorías planteadas.

TABLA 02: CONDICIONES INICIALES DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES

Nº Muestra	Peso Agente complejante g	Volumen NaOH ml/M	pH Teórico	pH Experimental
1	4	200 ml 0.5 M	13.70	13.0
2	8	200 ml 0.5 M	13.70	13.0
3	12	200 ml 0.5 M	13.70	13.0
4	16	200 ml 0.5 M	13.70	13.0
5	16	200 ml 0.0625 M	12.80	09.5
6	16	200 ml 0.125 M	13.09	11.0
7	16	200 ml 0.25 M	13.39	12.5
8	16	200 ml 0.5 M	13.70	13.0

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 02 se presenta las características de las diferentes soluciones en función de la concentración del tartrato y concentración del NaOH, con lo cual se obtienen soluciones con diferente pH. Es así que en la

muestra 1 el peso del agente complejante resulta ser de 4 g con un pH teórico y para la muestra 8 el peso del agente complejante es de 16 g con un pH teórico de 13.70.

TABLA 03. LIXIVIACIÓN DE MINERAL OXIDADO DE COBRE CON 8% DE TARTRATO EN NaOH 0.5 MOLAR.

Nº Muestra/ Días	Alicuota ml	[Cu ²⁺] mg / 1000 ml	[Cu ²⁺] g / L
1	2	1.343	0.8394
2	2	1.710	1.0688
3	2	3.044	1.9025
4	2	4.835	3.0219
5	2	6.859	4.2869
6	2	8.292	5.1825
7	2	9.001	5.6256
8	2	9.246	5.7888
11	2	9.442	5.9012
14	2	9.505	5.9406
17	2	9.563	5.9769
20	2	9.602	6.0010
23	2	9.656	6.0350

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 03 se presenta la evolución de la lixiviación en función del tiempo desde el día 1 hasta el día 23 con solución de 8% de tartrato en NaOH 0.5 molar, para lo cual se tomaron alícuotas de 2 ml, alcanzando la mayor concentración la muestra del día 23 con 6.0350 g/l de cobre.

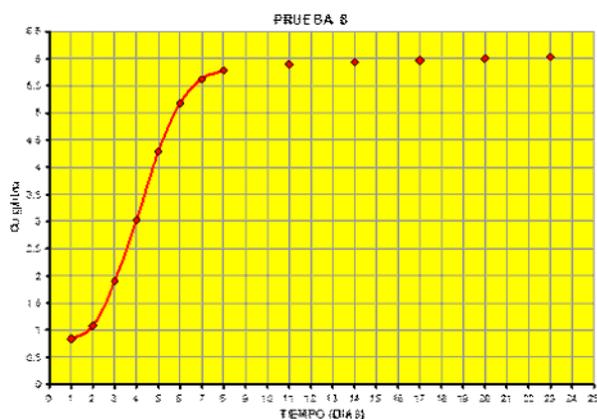


Figura 01. Evolución de la lixiviación de mineral oxidado de cobre con 8% de agente lixivante en NaOH 0.5 molar.

Luego de realizar las pruebas experimentales, se determinó que el mejor rendimiento para el estudio fue con una concentración de tartrato del 8% disuelto en NaOH 0.5 molar, logrando una recuperación de 6.035 g/L de Cu²⁺ tal como se muestra en la figura precedente.

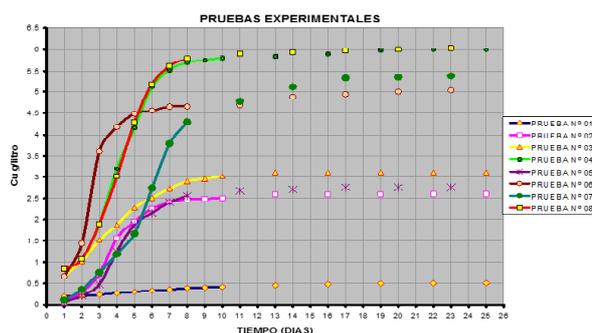


Figura 02: Resultados de Pruebas Experimentales

En la figura 02 se presenta la evolución el proceso de lixiviación en medio básico en presencia de un agente complejante durante 23 días, en donde se observa el incremento de la concentración de cobre en gramos por litro en función del tiempo, siendo que en el primer día se tiene una concentración de 0.8394 g/l de cobre, incrementándose en forma favorable hasta el octavo día alcanzando una concentración de 5.7888 g/l de cobre, luego del cual decrece el incremento de la concentración presentando valores casi constantes cuyo valor de concentración para el día 23 es de 6.0350 g/l de cobre.

DISCUSIÓN

Alfaro y Ordoñez (2013). Con el objeto de poder realizar la extracción y recuperación de cobre a partir de minerales complejos tales como óxidos con altos contenidos de carbonatos mezclados íntimamente con sulfuros secundarios, o con la presencia de cobre nativo, oro y plata, la lixiviación básica, efectuada en condiciones normales de presión y temperatura, ha demostrado ser una opción técnico-económica viable. En nuestra investigación se demuestra que utilizando un agente complejante como es el tartrato en medio básico fue muy importante evidenciándose que la concentración de 8% del ión tartrato, el pH de la solución que fue de 13.7 y el tiempo de reacción de 25 días presentaron una relación directa muy significativa en el grado de extracción del cobre lográndose recuperaciones de hasta 92.28% por lo cual se demuestra que el uso de agentes complejantes orgánicos en medio básico es beneficioso en la lixiviación de minerales oxidados de cobre debido a que el tartrato es un reactivo muy selectivo para el cobre debido a que no reacciona con los carbonatos lo que disminuye el consumo del agente lixivante y por ser un insumo químico comercialmente disponible en el mercado. Estos resultados nos permiten validar nuestra investigación puesto que realizando la lixiviación en medio básico se obtiene mejores recuperaciones y se minimiza la contaminación ambiental.

Por otro lado el mineral que se utilizó para realizar el presente trabajo de investigación fue proveniente del cerro Azoguine, sin embargo Quille (2010) en su estudio de un mineral de cobre extraído de los socavones del cerro Azoguine de la ciudad de Puno, concluye que en la lixiviación de minerales de cobre con solución 0.3087 M de ácido cítrico se ha obtenido un porcentaje de extracción de cobre al 68%, en la lixiviación de minerales de cobre con solución 1.029 M de ácido fórmico se obtuvo 75% de extracción de cobre y en la lixiviación de mineral con solución 1.014 M de ácido acético obtuvo un porcentaje de extracción de cobre del 36%. En nuestra investigación utilizando tartrato en medio básico nos evidencia recuperaciones de hasta el 92.28%, como podemos observar el empleo de un medio básico tiene ventajas significativas con respecto a la lixiviación en medio ácido, demostrándose una vez más que el proceso que presentamos puede ser utilizado como una opción técnica viable para poder procesar los minerales oxidados de cobre, puesto que los depósitos cupríferos de esta zona presentan gangas altamente alcalinas.

CONCLUSIONES

- El uso de un agente complejante como es el tartrato para la extracción de Cu^{2+} en medio básico fue muy importante evidenciándose que la concentración de 8% del ión tartrato, el pH de la solución que fue de 13.7 y el tiempo de reacción de 25 días presentaron una relación directa muy significativa en el grado de extracción del cobre lográndose recuperaciones de hasta 92.28%.
- Con el presente estudio, se propone un nuevo proceso de tratamiento para los minerales oxidados de cobre empleando el tartrato como agente lixivante en medio básico y teniendo en consideración que la lixiviación en medio básico presenta ventajas significativas con respecto a la lixiviación en medio ácido, específicamente para minerales provenientes de la Región Puno.
- Estos resultados son concordantes con otros estudios realizados debido a que el uso de agentes complejantes en medio básico permiten incrementar los niveles de recuperación disminuyendo así el impacto ambiental negativo y por ser un insumo químico disponible comercialmente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABD EL REHIM, S.S. (1978). *Effect of some plating variables on the electrodeposition of Cu-Zn alloys from alkaline tartrate baths*. Chemistry Department, Faculty of

Science, AinShamsUniversity, Cairo, Egypt. *Journal of Applied electrochemistry* 8. pp 33 - 39.

AGUAD, J., JORDAN, E., y VARGAS, T. (2006). *Lixiviación de minerales oxidados de cobre con soluciones ácidas de alta carga iónica*. Centro de Estudios Avanzados en Hidrometalurgia – Electrometalurgia. Universidad de Chile. 4 p.

ALEJO, F. (2006). *Tablas fisicoquímicas*. Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. 71 p.

ALFARO DELGADO, Edmundo y ORDOÑEZ NUÑEZ, Álvaro (2013). *Alternativa de Lixiviación de Minerales Complejos de Cobre y Minerales Oxidados de Zinc*. Pontificia Universidad Católica del Perú.

ÁLVAREZ, V. (2006). *Extracción y procesamiento de minerales de cobre y oro*. Centro de Investigación, Desarrollo y Gestión Ambiental. Arequipa. Módulo I 137 p., módulo V 131 p.

BINGÖL, D., CANBAZOĞLU, M., y AYDOĐAN, S. (2005). *Cinética de la disolución de la malaquita en la lixiviación con carbonato de amonio*. *Hydrometallurgy*. Department de la ingeniería de explotación minera. Universidad de Dumlupýnar, Kütahya, Turquía. Tomo 76, Ejemplares 1-2, pp 55-62.

CÁCERES, G. (1993). *Cianuración de Minerales de Oro*, Seminario presentado en la Universidad de Chile, Santiago.

HERRERA, H. (2010). *Estudio de la lixiviación del cobre a partir de la malaquita mediante soluciones de ácido cítrico*. Escuela de Post Grado, Universidad Nacional del Altiplano. Puno.

JACKSON, E. (1986). *Hidrometallurgical extraction and reclamation*. Principal lecturer Department of metals and Materials Engineering Sheffield City Polytechnic. Editorial E.G. West, OBE, Independent Metallurgical Consultant. England. pp 24 - 73.

- MUZENDA, E., RAMATSA, I., NTULI, F., BELAID, M. y TSHWABI, P. (2011). *An investigation into the effect of temperature on the leaching of Coppermatte*. World Academy of Science, engineering and Technology.
- ORDOÑEZ, N.A. y ALFARO D.E. (2011). *Nuevo método para la obtención de cobre por lixiviación de minerales mixtos de cobre en medio básico con solución cloro-amoniaca: evaluación técnico económica*. Encuentro de Operadores PERUMIN-30 Convención Minera, Arequipa. TT-55.
- QUILLE, G. (2010). *Cinética de lixiviación de minerales de cobre malaquita y azurita con ácidos orgánicos*. Tesis Escuela de Post Grado. Universidad Nacional del Altiplano-Puno.
- SUEROS, J. (2004). *Lixiviación de sulfuros en medio ácido y básico*. Centro de Investigaciones de Ingeniería Química. Universidad Nacional de San Agustín. 13 p.
- SUEROS, J. y ZEGARRA, P. (2001). *Uso de agentes complejantes en procesos electrolíticos para la recuperación de metales*. Departamento de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias, UNSA - Arequipa 12 p.
- URRUTIA, J. (2001). *Influencia de la Concentración de Ácido sobre la Cinética de Lixiviación de un Mineral Oxidado de Cobre*. Memoria para optar el Título de Ingeniero Civil en Minas. Universidad de Chile.
- VELARDE, J. y ZEGARRA, P. (2001). *Uso de agentes complejantes en procesos electrolíticos para la recuperación de metales*. UNSA - Arequipa 12 p.