



ARTÍCULO ORIGINAL

EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE TIOUREA EN LA LIXIVIACIÓN DE ORO EN LA MINERA ANTUYO

EFFECT OF THE CONCENTRATION OF THIOUREA IN THE LEACHING OF GOLD IN THE ANTUYO MINING

Domingo Guzmán Rivera-Mendoza^{1*}, <https://orcid.org/0000-0001-9392-6205>, Dandy Calla-Choque^{2*}, <https://orcid.org/0000-0003-2848-4388>, Esteban Rey Chavez-Gutierrez^{3*}, <https://orcid.org/0000-0003-0968-6320>.

¹Facultad de Ingeniería Geológica y Metalúrgica, Universidad Nacional del Altiplano (UNAP), Av. Floral 1153, Puno-Perú

²Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), 04510 Ciudad de México, México

RESUMEN

El trabajo de investigación analiza el efecto de la concentración de tiourea (0,0625; 0,125 y 0,25 M) durante el proceso de lixiviación de oro por agitación en medio ácido a una velocidad de agitación constante de 1000 rpm y a temperatura ambiente en la minera Antuyo distrito de Tiquillaca, Provincia de Puno. El mineral usado tiene un tamaño de partícula de -74/+44 μm (malla -200/+325) con una ley de oro de 3,88 g/t. Los resultados muestran que la concentración de tiourea tiene un papel importante en el sistema tiourea-oro y controla la velocidad de lixiviación, a una concentración de 0,25 M y pH 2 en un tiempo de 90 min de lixiviación alcanza una recuperación del 90 % de oro presente en el mineral con un consumo de tiourea de 1 g/L. Así mismo, en el proceso se liberan algunos iones oxidantes a la solución que permite la oxidación de oro en presencia de tiourea en medio ácido y se promueve la formación de complejos estables entre el oro y la tiourea.

Palabras clave: Agitación, concentración, lixiviación, pH, tiourea.

ABSTRACT

The present research work analyzes the effect of the concentration of thiourea (0.0625, 0.125, and 0.25 M) during the gold leaching process in an acidic medium at a constant speed of 1000 rpm at room temperature at the Antuyo mine, district of Tiquillaca, Province of Puno; the ore used has a particle size of -74/+44 μm (mesh -200/+325) with a gold grade of 3.88 g/t. The results show the concentration of thiourea has an essential role in the thiourea-gold system and controls the rate of leaching; a concentration of 0.25 M and pH 2 in a time of 90 min of leaching, a recovery of 90 % is achieved of gold present in the ore with a thiourea consumption of 1 g/L, in the process, some oxidizing ions are released into the solution that allows the oxidation of gold in the presence of thiourea in an acidic medium and the formation of stable complexes between gold-thiourea.

Keywords: Agitation, concentration, leaching, pH, thiourea.

*Auto para correspondencia: dogurime@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9392-6205>



INTRODUCCIÓN

Uno de los lixiviantes usados en gran medida en las operaciones metalúrgicas es el cianuro, sin embargo, debido a algunas restricciones ambientales sobre su uso, actualmente, se estudian varias alternativas que reduzcan o reemplacen en forma parcial o completa como la glicina (Altinkaya *et al.* 2020); Feng & Deventer 2011; Azizitorghabeh *et al.* 2021; Xu *et al.* 2020), estos agentes tienen una menor agresividad al medio ambiente (Santamaría *et al.* 2013) y forman complejos estables con el oro. Por otro lado, existe una parte muy delicada en relación con el entorno de plantas de operaciones y minas cuando no se tiene especial cuidado con la ubicación de los relaves y desechos de los agentes utilizados (Santamaría *et al.* 2013).

La tiourea resulta ser una opción interesante a estudiar para el procesamiento de minerales con contenido de oro y plata (Groenewald 1977), debido a que tiene ventajas como una baja contaminación ambiental, alta selectividad para el oro y una velocidad de reacción alta (Zhang *et al.* 2022). El proceso de lixiviación con tiourea fue patentado por I. N. Plaskin y M.A. Kozukhova en 1941 desde entonces se vienen haciendo investigaciones con minerales con contenido de oro, sin tratamiento previo y minerales flotados de oro (Romero *et al.* 2021), también placas de circuitos impresos, residuos de teléfonos móviles (Gurung *et al.* 2013; Jing-ying *et al.* 2012; Ray *et al.* 2022; Rizki *et al.* 2019), y electro obtención (Ippolito *et al.* 2021), además se usan pretratamientos con citrato de sodio con la finalidad de evitar la descomposición oxidativa de la tiourea y retirar algunos elementos del sistema antes del proceso de lixiviación con tiourea como plomo y hierro (Torres & Lapidus 2020). Puede ser usada en combinación con otros agentes como, lignosulfonato de sodio (Zhang *et al.* 2022) y citrato de sodio que permiten la recuperación de oro y otros metales de interés (Xu *et al.* 2017), de igual forma si a la lixiviación se agrega un reactivo estabilizador como sulfito de sodio

(Na_2SO_3) o dióxido de azufre (SO_2), los cuales actúan como agentes reductores en el sistema, permiten la reducción del consumo de tiourea y el tiempo de disolución por lo que incrementan la eficiencia del proceso (Zheng *et al.* 2006) y se puede alcanzar 92 % de oro en una solución de 4 g/L de sulfato férrico con una concentración de tiourea de 2 g/L y concentración de sulfato cúprico pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) de 4 g/L permitiendo un menor consumo de tiourea (Li & Miller 2002). Para la disolución de oro en soluciones ácidas el combinar agentes orgánicos con la tiourea como tiocianato y ácido cítrico permiten lograr mejoras en el proceso mediante la reducción del tiempo de lixiviación e incremento del porcentaje de recuperación de oro (Altansukh *et al.* 2014; Yang *et al.* 2011), además es posible unir la solución de lixivante de tiourea con carbón activado para la recuperación de oro de las soluciones cargadas. Para el uso de la tiourea es necesario tener un control de la cantidad de tiourea presente en el sistema de lixiviación debido a que garantiza la eficiencia en el proceso (Calla & Nava 2020).

En este trabajo se propone la utilización de la tiourea en medio ácido como alternativa al uso del cianuro con la finalidad de recuperar el oro presente en el mineral por lixiviación a pH 2, evaluando la estabilidad de tiourea por titulación con yodato de potasio.

MÉTODOS

Ámbito o Lugar de Estudio

El mineral usado en la investigación proviene del sector Antuyo, Tiquillaca, Región Puno Perú, la muestra de mineral obtenida fue pulverizada a un tamaño de partícula -74/+44 μm (malla -200/+325) en un molino de bolas, todo el proceso fue desarrollado en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Geológica y Metalúrgica de la Universidad Nacional del Altiplano-Puno.

Descripción de métodos

El periodo del estudio o muestreo se desarrolló en varias visitas al yacimiento minero, para las pruebas de lixiviación. Se usaron materiales como: Probeta, bureta, portaobjetos, pipeta, matraz, embudo, agitador, balanza electrónica, pinzas, espátula, cucharilla y escobillas. Los insumos utilizados para la preparación de las soluciones son de grado químico, tiourea, ácido sulfúrico, yodato de potasio, almidón y agua bidestilada.

Además, se utilizaron instrumentos como: Deshumidificador, plancha de calentamiento, pH con electrodos, termómetro, agitador (Sew Movitrac-LTE-R Epli Sac-Induction Motor 3-Phase), equipo de titulación (Titrette, 50 ml Clase A precisión Brand). Para el mineral se utilizó la técnica de difracción de rayos y microscopía de barrido electrónico (MEB). La determinación del contenido metálico de oro, hierro y cobre se determinó por análisis químico mediante ensayo al fuego y digestión ácida respectivamente.

Para el análisis de los resultados se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) y el diseño de bloques completamente al azar para dos factores que representan, el tiempo (T) en

minutos (5, 30, 60, 90, y 120) y la concentración de tiourea (Tu) con tres niveles uno (bajo), dos (intermedio) y tres (alto). Para las concentraciones de 0,0625, 0,125, 0,25 M, respectivamente, este tipo de denotación es elegida por ser un sistema cuantitativo, que facilita el ajuste de una prueba de análisis de varianza a pH 2.

Las variables específicas analizadas como el pH es controlado con ácido sulfúrico a lo largo de todas las pruebas, la tiourea es cuantificada en cada prueba a diferentes concentraciones iniciales (0,0625; 0,125; 0,25 M) con una relación sólido/líquido de 15 g/L, a una velocidad de agitación constante de 1000 rpm, finalmente se tomaron las muestras a los 5, 30, 60, 90 y 120 min.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Recuperación de oro a pH 2

A una concentración de 0,125 M de tiourea, la recuperación de oro se incrementa en relación con la concentración de 0,0625 M de tiourea, a partir de los cinco minutos de lixiviación muestra 64,40 % de recuperación de oro llegando a 85,90 % de recuperación a los 90 min. de agitación (Figura 1).

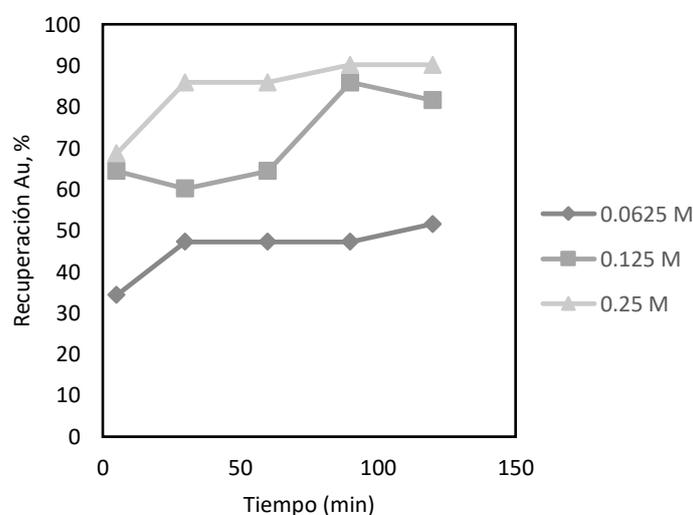


Figura 1. Recuperación de oro a pH 2 a concentraciones de 0,0625; 0,125 y 0,25 M de tiourea.

A lo largo de esta prueba se observa una zona de inestabilidad en la recuperación de oro a las

condiciones ensayadas este fenómeno está relacionado con la concentración de tiourea.

Igualmente podemos observar que a pH 2 y con la concentración de 0,25 M de tiourea, la recuperación de oro se incrementa llegando a un 90,20 % a los 90 min de iniciado el proceso de lixiviación, con el incremento de la concentración de 0,125 a 0,25 M se observa que la inestabilidad presentada con la concentración de 0,125 M de tiourea no se muestra a estas condiciones, este comportamiento está relacionado con la estabilidad del sistema en relación con la cantidad de tiourea libre; por lo tanto el incremento de la concentración de tiourea favorece a la eficiencia de extracción de oro (Zhang *et al.* 2022) cuando se tiene un

tamaño de partícula fino (-74/+44 μm) que permite la liberación de oro a partir de mineral por lo tanto mejora el proceso de lixiviación (Guo *et al.* 2020).

La recuperación de oro con respecto a la concentración de tiourea, para el diseño se cuentan con dos factores Tiempo (T) a 5, 30, 60, 90 y 120 min y la concentración de Tiourea (Tu) con tres niveles uno (bajo), dos (intermedio) y tres (alto), para realizar el ajuste de la prueba análisis de varianza y la respuesta (% recuperación de oro a pH 2) (Tabla 1).

Tabla 1. Porcentaje de recuperación de oro a pH 2

Recuperación a pH 2	Tiempo (min)				
	5	30	60	90	120
Concentración Tu					
0,0625 M	34,36	47,25	47,25	47,25	51,55
0,125 M	64,43	60,14	64,43	85,91	81,62
0,25 M	68,72	85,91	85,91	90,21	90,21

El efecto de tiempo y concentración de la tiourea sobre la recuperación de oro a pH 2, en la medida que se incrementa el tiempo la recuperación de oro varía (Figura 1), debido a que el valor de significancia de la probabilidad de error es de 0,026 (2,6 %) siendo esta menor al parámetro de 0,05 (5 %) a menor error el trabajo es más significativo (Gutiérrez & de la Vara 2008) igualmente nos muestra el F de Fisher calculado 20,820 y el F de Fisher tabulado 2,790, siendo esta menor al F calculado demuestra que la prueba es significativa, también nos muestra R^2 (coeficiente de determinación) de 0,94 (94 %) y cuando el R^2 ajustado 0,895 (89,5 %) resultan muy cercanos y con altos que denota un ajuste adecuado. En la concentración de tiourea se tiene un efecto similar, para cada concentración de tiourea las recuperaciones de oro son distintas, debido a que el valor de significancia de la probabilidad de error es de 0,000 (Quevedo 2006), siendo esta menor al parámetro de 0,05, este comportamiento

evidencia que para incrementar la recuperación de oro a pH 2, es necesario un tiempo de 90 minutos y una concentración de tiourea de 0,25 M. Finalmente el coeficiente de determinación de Pearson indica que la concentración de tiourea y el tiempo influyen en la recuperación de oro en un 94 %.

En la Tabla 1 y la Figura 1, con la concentración de tiourea de 0,25 M, muestra la relación de estabilidad del sistema con la cantidad de tiourea libre, como consecuencia al incrementar la concentración de tiourea mejora la recuperación de oro (Zhang *et al.* 2022; Altansukh *et al.* 2014; Yang *et al.* 2011).

A esta concentración de 0,125 M de tiourea (Tu) se observa la presencia de tiourea ácida a pH 2, la concentración de tiourea ácida (HTu^+) es del 20 % y se muestra la inestabilidad química de los complejos entre la tiourea con el oro en medio ácido (Figura 2).

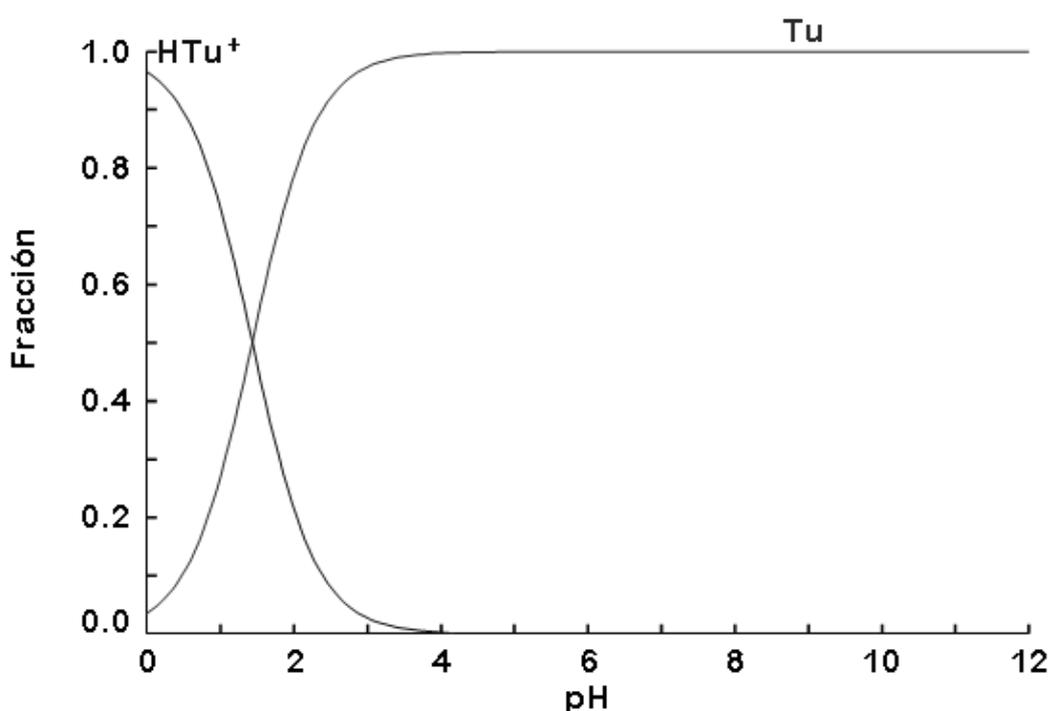


Figura 2. Diagrama de distribución de especies del sistema tiourea-agua a 25 °C (Puigdomenech 2004).

Variación del potencial a pH 2

El potencial de óxido-reducción (Eh) del sistema a pH 2 se mantiene casi constante y muestra que la recuperación de oro depende de la concentración de tiourea debido a que el valor de significancia de la probabilidad de error es

0,000, siendo esta menor al parámetro de 0,05 (Mendenhall *et al.* 2010) con un coeficiente de determinación de Pearson indica que la concentración de tiourea y tiempo influyen en la recuperación de oro en un 99 % (Marsden & House 2006) (Tabla 2).

Tabla 2. Potencial oxido-reducción (Eh) del sistema a pH 2 a una concentración de 0,25; 0,125 y 0,0625 M de tiourea.

Potencial, Eh (V) a pH 2	Tiempo (min)				
Concentracion Tu	5	30	60	90	120
0,0625 M	0,22	0,22	0,21	0,22	0,22
0,125 M	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
0,25 M	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33

Para el diseño se cuentan con dos factores que representan, el tiempo (T) en minutos (5, 30, 60, 90 y 120) y la concentración de tiourea (Tu) con tres niveles uno (bajo), dos (intermedio) y tres (alto), este tipo de denotación es elegida por ser un sistema cuantitativo (Tabla 2), por lo tanto, facilita el ajuste de una prueba de análisis de varianza, para evaluar la respuesta (potencial oxido-reducción (Eh) del sistema a pH 2).

En la Tabla 2, se presentan los valores del potencial oxido-reducción vs SHE, y se puede observar que en la medida que la concentración de la tiourea se incrementa el potencial se incrementa debido a la liberación de agentes oxidantes provenientes del mineral, sin embargo, el sistema mantiene su carácter reductor, menor que 0,5 V (Lacoste-Bouchet *et al.* 1998), para una concentración de 0,25 M, 0,125 M y 0,0625 M de tiourea se tiene un potencial de 0,33 V, 0,21, y 0,21 V vs SHE respectivamente a los 120 min de iniciada cada prueba. Los valores presentados en las Tablas 3 y 4 nos muestran que el potencial oxido-

reducción (Eh) del sistema es relativamente constante con un coeficiente de determinación de Pearson que nos indica que tanto la concentración de tiourea y tiempo intervienen favorablemente en la recuperación de oro en un 99 % (Calla & Nava 2020; Marsden & House 2006).

Porcentaje de tiourea a pH 2

Los porcentajes de tiourea libre en cada uno de los sistemas presentados a una concentración de 0,0625, 0,125 y 0,25 M, la tiourea libre se mantiene estable con un 83,52, 93,36 y 97,33 % respectivamente, por lo tanto a mayor concentración de tiourea se tiene una mayor concentración de tiourea presente en el sistema por lo que se tiene una mayor estabilidad de la tiourea, esta estabilidad está relacionada al potencial del sistema, menor que 0,42 V vs SHE este valor potencial permite la oxidación reversible de tiourea a disulfuro de formamidina en medio ácido (Marsden & House 2006) (Tabla 3).

Tabla 3. Porcentaje de tiourea a pH 2 a una concentración 0,0625; 0,125 y 0,25 M.

% Tiourea a pH 2	Tiempo (min)				
Concentración Tu	5	30	60	90	120
0,0625 M	85,92	86,64	85,20	83,28	83,52
0,125 M	92,88	91,56	92,64	91,32	93,36
0,25 M	95,53	95,95	96,43	96,79	97,33

$$R^2 = 0,967$$

Para la Tabla 3, el diseño cuenta con dos factores que representan, el tiempo (T) en minutos concentración de tiourea (Tu) con tres niveles uno (bajo), dos (intermedio) y tres (alto) para realizar el ajuste de una prueba de análisis de varianza y % tiourea a pH como respuesta. La concentración de tiourea libre en cada uno de los sistemas presentados es casi igual, debido a que existe tiourea libre en cada uno de los

sistemas diferentes, el valor de significancia de la probabilidad de error es 0,000 en el modelo corregido siendo ésta menor al parámetro de 0,05 con el coeficiente de determinación de Pearson (Walpole *et al.* 2012, 430-4) se indica que la concentración de tiourea y el tiempo influyen en la recuperación de oro en un $R^2=96,7\%$.

La tiourea libre en los sistemas presentados a diferentes concentraciones se mantiene estable en consecuencia a mayor concentración de tiourea presente genera mayor estabilidad de la tiourea en el sistema (Marsden & House 2006; Li & Miller 2002).

Consumo de tiourea

En la Figura 3, se observa que a una concentración de 0,25 M de tiourea el consumo de tiourea es más alto que las dos concentraciones menores (0,0625, 0,125 M), definiendo que para conseguir una mayor recuperación de oro en la lixiviación es

necesario aumentar la concentración de tiourea y como consecuencia se incrementa el consumo de tiourea, consumo que está relacionado a la formación de complejos con otros metales contenidos en la solución que son liberados del mineral (Deschênes & Ghali 1988), sin embargo se observa que durante el tiempo de lixiviación el porcentaje de tiourea se mantiene estable (Tabla 3) debido a que el potencial se mantiene constante (Tabla 2) menor que 0,5 V, este valor de potencial indica la oxidación irreversible de la tiourea (Calla-Choque *et al.* 2016), por lo tanto se consigue una recuperación constante de oro (Figura 1).

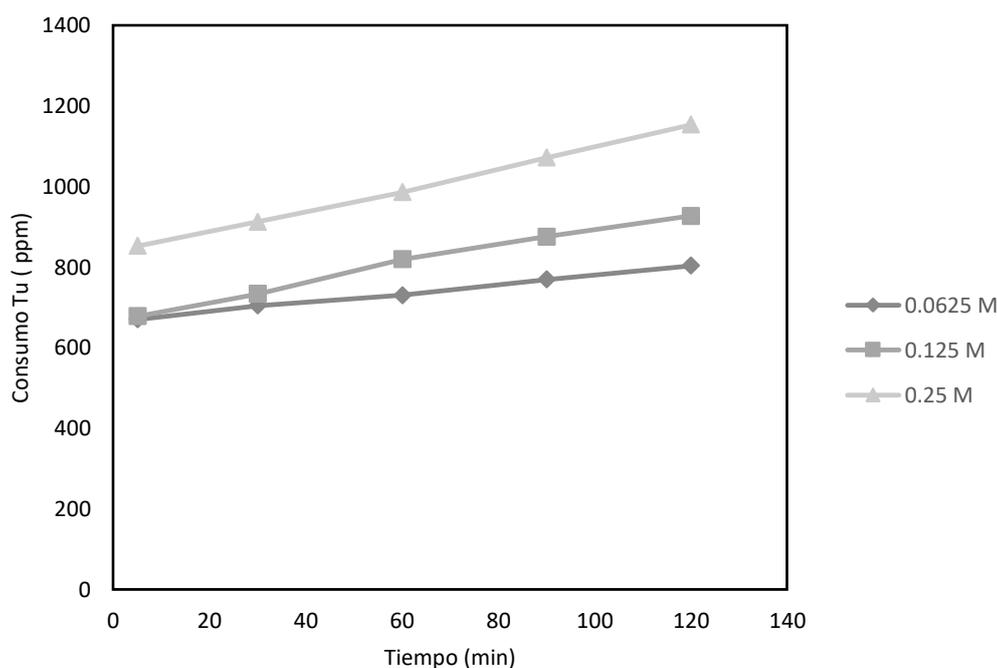


Figura 3. Consumo de tiourea a pH 2 a una concentración de 0,0625,0,125, 0,25 M de tiourea.

La prueba de análisis de varianza (ANOVA) con el consumo de tiourea es una variable de respuesta significativa debido a que el valor de significancia de la probabilidad da un error de 0,000 siendo esta menor al parámetro de 0,05 menor error el trabajo es más significativo (Gutiérrez & de la Vara 2008) igualmente nos muestra el F de Fisher calculado (36,155) y el F

de Fisher tabulado (2,790) siendo esta menor al F calculado demuestra que la prueba es significativa, también nos muestra $R^2 = 0,964$ y el R^2 ajustado 0,938 resultan muy próximos demuestran una buena correlación de los datos del consumo de tiourea a pH 2 (Tabla 4).

Tabla 4. Consumo de tiourea a pH 2,

Consumo de Tu a pH 2	Tiempo (min)				
	5	30	60	90	120
0,0625 M	669,83	704,19	729,96	768,61	802,97
0,125 M	677,44	733,28	819,19	875,03	926,57
0,25 M	852,51	912,65	985,67	1017,58	1153,20

Para conseguir una mayor recuperación de oro en la lixiviación es necesario aumentar la concentración de tiourea y como consecuencia se incrementa el consumo de tiourea. Además, el coeficiente de determinación de Pearson indica que la concentración de tiourea y el tiempo influyen en la recuperación de oro en un 96,4 % (Devore 2012). La lixiviación de oro con tiourea permite la recuperación de oro a una velocidad alta de acuerdo a los resultados mostrados, con un consumo de tiourea que va incrementado de acuerdo a la concentración de tiourea, finalmente la tiourea representa un menor impacto ambiental en comparación al cianuro (Zhang *et al.* 2009; Zheng *et al.* 2006).

CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos se tiene que en la medida que se incrementa la concentración de tiourea se incrementa la recuperación de oro y permite una recuperación del 90 % a los 90 min a una concentración de tiourea de 0,25 M a pH 2 y un potencial de 0,33 V vs SHE, este valor de potencial evita la descomposición oxidativa de la tiourea debido al medio reductor del sistema por lo que la tiourea se mantiene en un 97,3 % de su concentración inicial.

En la medida que se incrementa la concentración de la tiourea se favorece a la recuperación de oro, sin embargo, con el incremento de la concentración de la tiourea se liberan iones presentes en el mineral ocasionando un mayor consumo de tiourea, en todos los casos no se tiene un consumo mayor al 20 % de la concentración de la tiourea inicial, este hecho está relacionado al medio reductor del sistema, menor que 0,40 V vs SHE.

AGRADECIMIENTOS

Facultad de Ingeniería Geológica y Metalúrgica de la Universidad Nacional del Altiplano, por el préstamo de sus instalaciones y laboratorios para el desarrollo del presente artículo.

REFERENCIAS

- Altansukh B., Gunchin B., Shirchinnamjil N., Narankhuu A., Atsushi S., y Kazutoshi H. 2014. "Gold recovery from its flotation concentrate using acidic thiourea leaching and organosilicon polymer". *International Journal of the Society of Material Engineering for Resources* 20 (1): 29–34. <https://doi.org/10.5188/IJSMER.20.29>.
- Altinkaya P., Zulin W. I. Korolev J. H., Mika H., Eero K., Kirsi Y., y Mari L.. 2020. "Leaching and recovery of gold from ore in cyanide-free glycine media". *Minerals Engineering* 158. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106610>.
- Azizitorghabeh A., Harshit M., Juliana R., y Ahmad G.. 2021. "Gold Leaching from an Oxide Ore Using Thiocyanate as a Lixiviant: Process Optimization and Kinetics". *ACS Omega* 6 (27): 17183–93. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c00525>.
- Barbosa-Filho, O., y A. J. Monhemius. 1994. "Leaching of gold in thiocyanate solutions - part 1: chemistry and thermodynamics". *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy*,

- Section C: Mineral Processing and Extractive Metallurgy.
- Breuer, P. L., y M. I. Jeffrey. 2002. "An electrochemical study of gold leaching in thiosulfate solutions containing copper and ammonia". *Hydrometallurgy* 65 (2–3): 145–57. [https://doi.org/10.1016/S0304-386X\(02\)00086-5](https://doi.org/10.1016/S0304-386X(02)00086-5).
- Calla-Choque, D., F. Nava-Alonso, y J. C. Fuentes-Aceituno. 2016. "Acid decomposition and thiourea leaching of silver from hazardous jarosite residues: Effect of some cations on the stability of the thiourea system". *Journal of Hazardous Materials* 317. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.05.085>.
- Calla-Choque, D., y F. Nava-Alonso. 2020. "Thiourea determination for the precious metals leaching process by iodate titration". *Revista Mexicana de Ingeniera Quimica* 19 (1): 275–84. <https://doi.org/10.24275/rmiq/IA539>.
- Deng, T., y Mengxia L. 2002. "Gold recovery enhancement from a refractory flotation concentrate by sequential bioleaching and thiourea leach". *Hydrometallurgy* 63 (3): 249–55. [https://doi.org/10.1016/S0304-386X\(01\)00226-2](https://doi.org/10.1016/S0304-386X(01)00226-2).
- Deschênes G., y E. Ghali. 1988. "Leaching of gold from a chalcopyrite concentrate by thiourea". *Hydrometallurgy* 20 (2): 179–202. [https://doi.org/10.1016/0304-386X\(88\)90051-5](https://doi.org/10.1016/0304-386X(88)90051-5).
- Devore J. 2012. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. 8th ed. Vol. 1. Mexico: Cengage Learning.
- Dong Z., Tao J., Bin X., Yongbin Y., y Qian Li. 2017. "Recovery of gold from pregnant thiosulfate solutions by the resin adsorption technique". *Metals* 7 (12). <https://doi.org/10.3390/MET7120555>.
- Feng, D., y J. S.J. Van Deventer. 2011. "Thiosulphate leaching of gold in the presence of carboxymethyl cellulose (CMC)". *Minerals Engineering* 24 (2): 115–21. <https://doi.org/10.1016/J.MINENG.2010.10.007>.
- Groenewald T. 1977. "Potential Applications of Thiourea in the Processing of Gold." *Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy* 77 (11): 217–23. https://journals.co.za/doi/pdf/10.10520/AJA0038223X_721.
- Guo, Xue yi, Lei Zhang, Qing hua Tian, y Hong Qin. 2020. "Stepwise extraction of gold and silver from refractory gold concentrate calcine by thiourea". *Hydrometallurgy* 194: 105330. <https://doi.org/10.1016/J.HYDROME T.2020.105330>.
- Guo, Yujie, Xue Guo, Haiyan Wu, Shoupeng Li, Guohua Wang, Xinxing Liu, Guanzhou Qiu, y Dianzuo Wang. 2017. "A novel bio-oxidation and two-step thiourea leaching method applied to a refractory gold concentrate". *Hydrometallurgy* 171: 213–21. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2017.05.023>.
- Gurung M., Birendra B. Adhikari H. Kawakita K. Ohto K. Inoue, y Shafiq A.. 2013. "Recovery of gold and silver from spent mobile phones by means of acidothiourea leaching followed by adsorption using biosorbent prepared from persimmon tannin". *Hydrometallurgy* 133: 84–93. <https://doi.org/10.1016/J.hydromet.2012.12.003>.
- Gutiérrez P., Humberto, y Román de la V. S.. 2008. *Análisis y diseño de experimentos*. 2nd ed. Vol. 1.
- Ippolito N. Maria I. Birloaga, F. Ferella, M. Centofanti, y Francesco V. 2021.

- “Preliminary study on gold recovery from high grade e-waste by thiourea leaching and electrowinning”. *Minerals* 11 (3): 1–16.
<https://doi.org/10.3390/MIN11030235>.
- Jing-ying, Li, Xu Xiu-li, y Liu Wen-quan. 2012. “Thiourea leaching gold and silver from the printed circuit boards of waste mobile phones”. *Waste management (New York, N.Y.)* 32 (6): 1209–12.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.01.026>.
- Lacoste-Bouchet, Pierre, Guy Deschênes, y Edward Ghali. 1998. “Thiourea leaching of a copper-gold ore using statistical design”. *Hydrometallurgy* 47 (2–3): 189–203.
[https://doi.org/10.1016/s0304-386x\(97\)00043-1](https://doi.org/10.1016/s0304-386x(97)00043-1).
- Li, J., y J. D. Miller. 2002. “Reaction kinetics for gold dissolution in acid thiourea solution using formamidine disulfide as oxidant”. *Hydrometallurgy* 63 (3): 215–23.
[https://doi.org/10.1016/S0304-386X\(01\)00212-2](https://doi.org/10.1016/S0304-386X(01)00212-2).
- Marsden, J., y C. House. 2006. *The Chemistry of Gold Extraction* John O Marsden and C Lain House. 2nd ed. Littleton, Colorado, USA: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.
- Mendenhall, W., Robert B., y Barbara B.. 2010. *Introducción a la probabilidad y estadística*. 13th ed. Vol. 1. Mexico: Cengage Learning.
- Molleman E., y David D.. 2002. “The treatment of copper-gold ores by ammonium thiosulfate leaching”. *Hydrometallurgy* 66 (1–3): 1–21.
[https://doi.org/10.1016/S0304-386X\(02\)00080-4](https://doi.org/10.1016/S0304-386X(02)00080-4).
- Murthy, D. S.R., Vinod K., y K. V. Rao. 2003. “Extraction of gold from an Indian low-grade refractory gold ore through physical beneficiation and thiourea leaching”. *Hydrometallurgy* 68 (1–3): 125–30.
[https://doi.org/10.1016/S0304-386X\(02\)00197-4](https://doi.org/10.1016/S0304-386X(02)00197-4).
- Oraby, E. A., y J. J. Eksteen. 2014. “The selective leaching of copper from a gold-copper concentrate in glycine solutions”. *Hydrometallurgy* 150: 14–19.
<https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2014.09.005>.
- Puigdomenech, I. 2004. *Make equilibrium diagrams using sophisticated algorithms (MEDUSA), inorganic chemistry*. Royal Institute of Technology. Stockholm, Sweden
- Quevedo, H. 2006. *Métodos Estadísticos Para La Ingeniería Ambiental y la Ciencia*. 1st ed. Vol. 1. Mexico.
- Ray, D. A., Mahsa Baniyasi, John E. Graves, Alan Greenwood, y Sebastien Farnaud. 2022. “Thiourea Leaching: An Update on a Sustainable Approach for Gold Recovery from E-waste”. *Journal of Sustainable Metallurgy* 8 (2): 597–612.
<https://doi.org/10.1007/s40831-022-00499-8>.
- Rizki, Intan Nurul, Yu Tanaka, y Naoko Okibe. 2019. “Thiourea bioleaching for gold recycling from e-waste”. *Waste Management* 84 (febrero): 158–65.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.11.021>.
- Romero B., Hugo I., Ricardo G. Rodríguez, y María M. Morocho. 2021. “Effect of the speed of the agitation on the kinetics of the leaching with thiourea of gold-floated minerals”. *Ingeniería y Desarrollo* 38 (1): 243–58.
- Santamaría R., José I., Robinson De J. T. G., Mario P. P., y César A. Ortiz O. 2013. “Comparación de cianuro y tiourea como agentes lixiviantes de un mineral aurífero colombiano”. *Revista Facultad de Ingeniería* 22 (34): 97.

- <https://doi.org/10.19053/01211129.2222>.
- Torres R., y Gretchen T. Lapidus. 2020. “Base metal citrate pretreatment of complex ores to improve gold and silver leaching with thiourea”. *Hydrometallurgy* 197 (August): 105461. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2020.105461>.
- Tremblay L., G. Deschênes, E. Ghali, J. McMullen, y M. Lanouette. 1996. “Gold recovery from a sulphide bearing gold ore by percolation leaching with thiourea”. *International Journal of Mineral Processing* 48 (3–4): 225–44. [https://doi.org/10.1016/S0301-7516\(96\)00029-4](https://doi.org/10.1016/S0301-7516(96)00029-4).
- Walpole R., Raymond M., Sharon M., y Keying Y. 2012. *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias*. 9th ed. Vol. 1. Mexico: Pearson Educación.
- Xu B., Wenhao K., Qian L. Yongbin Y., Tao J., y Xiaoliang L.. 2017. “A Review of Thiosulfate Leaching of Gold: Focus on Thiosulfate Consumption and Gold Recovery from Pregnant Solution”. *Metals* 2017, Vol. 7, Page 222 7 (6): 222. <https://doi.org/10.3390/MET7060222>.
- Xu R., Xiaolong N., Feiyu M., Qian Li, Xuling Chen, Yongbin Yang, Bin Xu, y Tao Jiang. 2020. “Analysis and Prediction of the Thiourea Gold Leaching Process Using Grey Relational Analysis and Artificial Neural Networks”. *Minerals* 2020, Vol. 10, Page 811 10 (9): 811. <https://doi.org/10.3390/MIN10090811>.
- Yang X., Xichang Shi H. Xu M. S. Moats J. D. Miller X. Xiao, y Liwen M. 2011. “Leaching of gold in acid thiourea-thiocyanate solutions using ferric sulfate as oxidant”. *TMS Annual Meeting* 1: 299–307. <https://doi.org/10.1002/9781118062111.ch32>.
- Zhang J., X.Z. Lan, Y.H. Song, B.X. Wang, X.D. Xing. 2009. Study on the extraction of gold with acidic thiourea. *Precious Metals*, 2 (30) (2009), pp. 75-82. [doi://10.3969/j.issn.1004-0676.2009.02.014](https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-0676.2009.02.014)
- Zhang, Lei, Xue yi Guo, Qing hua Tian, Dong Li, Shui ping Zhong, y Hong Qin. 2022. “Improved thiourea leaching of gold with additives from calcine by mechanical activation and its mechanism”. *Minerals Engineering* 178. <https://doi.org/10.1016/J.MINENG.2022.107403>.
- Zheng S., Yun Y. Wang, y Li Y. C. 2006. “Research status and prospect of gold leaching in alkaline thiourea solution”. *Minerals Engineering*. Pergamon. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2005.12.009>.
- Zipperian, D., S. Raghavan, y J. P. Wilson. 1988. “Gold and silver extraction by ammoniacal thiosulfate leaching from a rhyolite ore”. *Hydrometallurgy* 19 (3): 361–75. [https://doi.org/10.1016/0304-386X\(88\)90041-2](https://doi.org/10.1016/0304-386X(88)90041-2).

N°	TIPOLOGÍAS	AUTOR	APORTE EN %
1	Conceptualización - Ideas, formulación o evolución de los objetivos y metas generales de la investigación.	D.G. Rivera M.	40
		D. Calla Ch.	40
		E.R. Chávez G.	20
2	Curación de datos - Actividades de gestión para anotar (producir metadatos), depurar datos y mantener los datos de la investigación (incluido el código de software, cuando sea necesario para interpretar los propios datos) para su uso inicial y su posterior reutilización.	D.G. Rivera M.	0
		D. Calla Ch.	0
		E.R. Chávez G.	0
3	Análisis formal - Aplicación de técnicas estadísticas, matemáticas, computacionales u otras técnicas formales para analizar o sintetizar datos de estudio.	D.G. Rivera M.	40
		D. Calla Ch.	40
		E.R. Chávez G.	20
4	Adquisición de fondos - Adquisición del apoyo financiero para el proyecto que conduce a esta publicación.	D.G. Rivera M.	40
		D. Calla Ch.	20
		E.R. Chávez G.	40
5	Investigación - Realización de una investigación y proceso de investigación, realizando específicamente los experimentos, o la recolección de datos / evidencia.	D.G. Rivera M.	40
		D. Calla Ch.	40
		E.R. Chávez G.	20
6	Metodología - Desarrollo o diseño de la metodología y creación de modelos.	D.G. Rivera M.	40
		D. Calla Ch.	40
		E.R. Chávez G.	20
7	Administración del proyecto - Responsabilidad de gestión y coordinación de la planificación y realización de la actividad de investigación.	D.G. Rivera M.	40
		D. Calla Ch.	30
		E.R. Chávez G.	30
8	Recursos - Suministro de materiales de estudio, reactivos, materiales, pacientes, muestras de laboratorio, animales, instrumentación, recursos informáticos u otras herramientas de análisis.	D.G. Rivera M.	40
		D. Calla Ch.	30
		E.R. Chávez G.	30
9	Software - Programación, desarrollo de software, diseño de programas informáticos, implementación del código informático y de los algoritmos de apoyo, pruebas de los componentes de código existentes.	D.G. Rivera M.	0
		D. Calla Ch.	0
		E.R. Chávez G.	0
10	Supervisión - Responsabilidad de supervisión y liderazgo en la planificación y realización de actividades de investigación, lo que incluye la tutoría externa al equipo central.	D.G. Rivera M.	20
		D. Calla Ch.	60
		E.R. Chávez G.	20
11	Validación - Verificación, ya sea como parte de la actividad o por separado, de la replicabilidad / reproducción general de los resultados / experimentos u otros productos de la investigación.	D.G. Rivera M.	40
		D. Calla Ch.	40
		E.R. Chávez G.	20
12	Visualización - Preparación, creación o presentación del trabajo publicado, específicamente la visualización / presentación de datos.	D.G. Rivera M.	40
		D. Calla Ch.	40
		E.R. Chávez G.	20
13	Redacción - borrador original - Preparación, creación o presentación del trabajo publicado, específicamente la redacción del borrador inicial (se incluye la traducción sustantiva).	D.G. Rivera M.	40
		D. Calla Ch.	40
		E.R. Chávez G.	20
14	Redacción - revisión y edición - Preparación, creación o presentación del trabajo publicado por los miembros del grupo de investigación original, específicamente revisión crítica, comentario o revisión - se deben incluir las etapas previas o posteriores a la publicación.	D.G. Rivera M.	40
		D. Calla Ch.	40
		E.R. Chávez G.	20