

# EVALUACIÓN DEL TIPO DE BASE EN LA DISOLUCIÓN DE LA MATRIZ SILÍCEA EN MINERALES DE ORO Y PLATA OCLUIDA EN SÍLICE

Morales Ramírez, Mariano E. (1), Salazar Hernández Ma. Mercedes (2), Elorza Rodríguez Enrique (3)

1 Ingeniero Metalúrgico, Universidad de Guanajuato|Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología. Ex Hacienda San Matías S/N, Col. San Javier, CP 36000, Guanajuato, Gto.

2 Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato| Ex Hacienda San Matías S/N, Col. San Javier, CP 36020, Guanajuato, Gto. Tel. (473) 2 2291 ext. 5307. [merce@ugto.mx](mailto:merce@ugto.mx)

3 Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato| Ex Hacienda San Matías S/N, Col. San Javier, CP 36020, Guanajuato, Gto. Tel. (473) 2 2291 ext. 5307. [merce@ugto.mx](mailto:merce@ugto.mx)

## Resumen

Uno de los principales problemas de la industria metalúrgica es la extracción de oro y plata en menas refractarias, en las cuales los metales preciosos pueden ser extraídos por debajo del 80%; particularmente las menas refractarias por la oclusión de oro y plata en matrices de sílice han sido poco estudiadas, debido en gran parte a la inercia química que está presente. El presente trabajo muestra la evaluación del efecto del tipo de base en la disolución de la matriz con triisopropanolamina, mostrándose una mayor disolución con bases inorgánicas (KOH).

## Abstract

One of the main problems in the metallurgical industry is the extraction of gold and silver in refractory ores, in which precious metals can be extracted below 80%; particularly refractory ores by occlusion of gold and silver in silica matrices have been little studied, drunk largely to the chemical inertia is present. This paper shows the evaluation of the effect of base rate on the dissolution of the matrix with triisopropanolamine, showing greater solution with inorganic bases (KOH).

## Palabras Clave

Plata, Ocluida, Sílice, Beneficio

## INTRODUCCIÓN

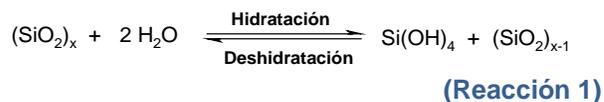
El término de refractariedad es utilizado para referirse a aquellas menas de oro-plata en las que solo es posible beneficiar y/o extraer parcialmente los metales preciosos (<80%). La refractariedad puede considerarse como alta, media y baja en función del grado de disponibilidad del metal; sin embargo de acuerdo a Yannapoulos, la refractariedad puede dividirse en refractariedad física y química [1]. Hace unas décadas el procesamiento de menas refractarias era poco inusual, en 1990, sólo se procesaba un 5.6% de menas refractarias; en la actualidad este porcentaje es posible que rebase el 40%, esto debido al alto precio del oro, alta demanda y el agotamiento de reservas de fácil tratamiento. Es por ello que la búsqueda de tratamientos efectivos y costeables que permitan la extracción de los metales preciosos en este tipo de menas es de interés.

La causa más común de la refractariedad en los minerales es la oclusión o diseminación de finas partículas de oro (<1 µm) en los minerales de sulfuros, tales como la pirita (FeS<sub>2</sub>), arsenopirita (FeAsS) y cuarzo (SiO<sub>2</sub>), las cuales son matrices insolubles y difíciles de penetrar con las soluciones de cianuro durante la lixiviación [1-5].

Los tratamientos más comunes para la extracción de los metales preciosos en minerales refractarios, son los procesos de tostación, tostación oxidante, procesos hidrometalúrgicos tales como la oxidación química, oxidación bajo presión y la biolixiviación [1-5]. Estos tratamientos son utilizados principalmente para el caso de menas refractarias por oclusión en matrices sulfurosas, en donde la matriz de sulfuros es transformada a SO<sub>2</sub>, S<sup>0</sup>, o H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> permitiendo la liberación de los metales preciosos en dicha matriz. Sin embargo, los minerales refractarios por la oclusión o encapsulamiento de los metales preciosos en matrices síliceas, son poco procesados. Los tratamientos de estas menas refractarias, son básicamente una molienda fina y calentamiento-enfriamiento para la fracturación de la matriz. Siendo estos tratamientos poco costeables.

En este sentido, se sabe que la disolución de la sílice es un proceso químico que involucra la depolimerización de la matriz inorgánica, mediante

reacciones de hidrólisis (reacción 1) para generar el ácido silícico (Si(OH)<sub>4</sub>), que es la especie soluble de esta. Dicho proceso depende de propiedades físico-químicas como son el pH, la temperatura, la cantidad de grupos Si-OH en la superficie de la matriz, así como de la naturaleza cristalina de la sílice que se desea disolver [6]. Favoreciéndose dicha disolución a pH básicos (>10) por la formación de silicatos y a pH ácidos (pH<2) por la formación del Si(OH)<sub>4</sub>, siendo ambos procesos lentos a temperatura ambiente.



Dentro de la química y tecnología del silicio la búsqueda de rutas sintéticas que permitan la obtención de derivados de silicio que no involucren el proceso directo ha sido de gran interés; proponiéndose la obtención de compuestos primarios de silicio (alcóxidos) a partir de sílice y polioles; reportándose en 1931 por Rosenheim, el primer complejo hexacoordinado de silicio obtenido a partir de la sílica gel y un diol (catecol). Algunos otros polioles que se han utilizado para la obtención de derivados de silicio a partir de la disolución directa de la sílice son por ejemplo el etilenglicol [7], la triisopropanolamina [8], trietanolamina, N-fenildietanolamina [9] y el dietilenglicol [10]. Se ha propuesto que la obtención de estos compuestos, se lleva a cabo mediante el rompimiento de la red de la sílice vía la formación de intermediarios hiper-coordinados con el diol en la red, favoreciéndose el rompimiento del enlace Si-O-Si de la red y la formación de los complejos de silicio-diol [7]. Estos estudios muestran la posible factibilidad de la disolución de la sílice (silica-gel) con polioles y por ende el rompimiento del enlace siloxano de la red extremadamente estable. El presente trabajo, muestra el estudio de la disolución parcial de la matriz sílice de menas con oro (>2g/Ton) y/o plata ocluida con dietilenglicol en medios básicos, como una posible alternativa para la exposición de los metales preciosos y su posible beneficio por cianuración.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Caracterización mineralógica del Mineral

La mena en estudio fue un Jal del Mineral de Pinos Altos, Chihuahua. La caracterización mineralógica del mineral se realizó mediante la caracterización química de la muestra en vía húmeda con un espectrómetro de absorción atómica Analyst-100 y un espectrómetro de fluorescencia de rayos X por dispersión de geometría cartesiana Rigaku NEX CG. El análisis mineralógico se realizó mediante Microscopía Electrónica de Barrido (MEB-EDS) en un microscopio Joel 6510 plus.

### Evaluación del efecto del Tipo de Base en la Disolución de la Matriz.

Se evaluó el efecto del tipo de la base en la disolución de la matriz utilizando un 3% en mol de base con respecto al diol utilizando KOH, NaOH, etilendiamina ( $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$ ), dietilamina ( $\text{Et}_2\text{NH}_2$ ) y trietilamina ( $\text{Et}_3\text{NH}_2$ ).

En un matraz de 250 mL, se colocan 0.25 moles de triisopropanolamina y se precalientan a  $200^\circ\text{C}$ , a esta temperatura se adicionan 5 gr de mineral y 7.5 mmoles de la base en estudio; una vez adicionado el mineral se coloca un sistema de destilación y la mezcla se mantiene en agitación a  $220^\circ\text{C}$  por 1 h. al termino del tiempo la mezcla de reacción es enfriada y disuelta en 100 mL de cloroformo para recuperar el sólido sin reaccionar por filtración. El sólido es lavado con 2 porciones de 10mL de cloroformo y 2 porciones de 10 mL de acetona y secado a  $90^\circ\text{C}$  por 12 h y calcinado a  $700^\circ\text{C}$  por 1 h para determinar el porcentaje de mineral sin reaccionar.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 y 2, resume la composición química y mineralógica del mineral en estudio, en donde puede observarse una ganga esencialmente de cuarzo y silicatos, así como la presencia de minerales de manganeso que desfavorecen la cianuración de la plata. La composición del mineral es de  $0.3\text{gTon}^{-1}$  de plata y de  $62\text{gTon}^{-1}$  de oro,

composición que podría ser costeable su beneficio.

Composición Mineralógica			Ganga
Ag	Querargirita ( $\text{AgCl}$ )	$2\ \mu\text{m}$	Cuarzos $\text{SiO}_2$ [ $58\ \mu\text{m}$ ] Silicatos de Ca, Mg
Mn	Quenselita [ $\text{PbMnO}_2\text{OH}$ ] Psilomelano [ $(\text{Ba}, \text{H}_2\text{O})\text{Mn}_5\text{O}_{10}$ ] Criptomelano [ $\text{K}(\text{Mn}^{4+}, \text{Mn}^{2+})_8\text{O}_{16}$ ]		

	Fe	Pb	Cu	Ag [ $\text{gTon}^{-1}$ ]	Au [ $\text{gTon}^{-1}$ ]
$\text{mgg}^{-1}$	11.62	0.11	0.58	0.3	62

La Figura 1, muestra la caracterización por MEB-EDS de las especies de plata ocluidas en la matriz de cuarzo, con tamaños de alrededor de  $1.6\ \mu\text{m}$ . En la Figura 2, se muestra la presencia de especies de manganeso (psilomelano, criptomelano) que desfavorecen la cianuración de la plata.

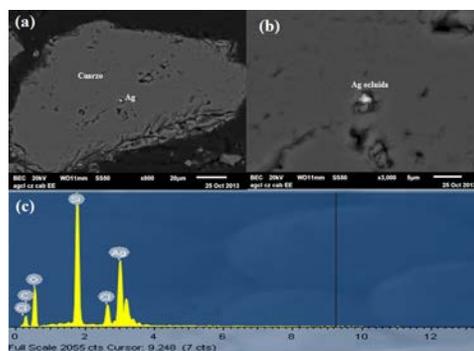
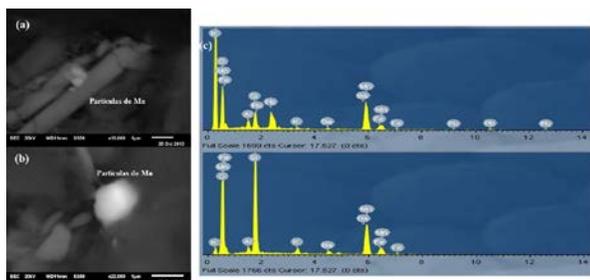
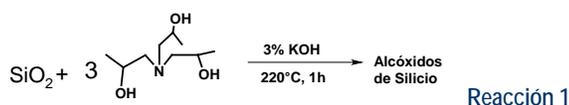


Figura 1. Caracterización del Jal de Pinos Altos Cahuisori Chihuahua por SEM-EDS. (a) Partícula de plata ocluida en  $\text{SiO}_2$  a 800 aumentos; (b) Partícula de  $\text{AgCl}$  ocluida en  $\text{SiO}_2$  a 3000 aumentos y (c) EDS

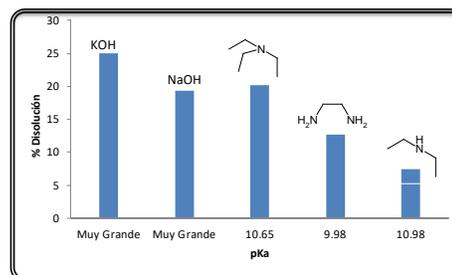


**Figura 2.** Caracterización de especies de Mn por SEM-EDS. (a) Partículas de Quenselita en barras a 15000 aumentos, (b) partícula de Psilomelano-Criptomelano a 22000 aumentos, (c) Caracterización puntual de las partículas de Mn por EDS.

El tratamiento del mineral con triisopropanolamina en medio básico, permite la obtención compuestos discretos de silicio de acuerdo a la Reacción 1. Se ha observado en este tipo de reacciones la disolución de parcial de la matriz silícea y la extracción de parte de los componentes metálicos del mineral, tales como Fe, Mn y Zn [11].



La Figura 3, muestra los porcentajes de disolución de la matriz en función del tipo de base estudiada; como puede observarse la máxima disolución se observa con la KOH con un 25% de disolución de la matriz y disminuye en función de la disminución del carácter básico de la base. Las bases orgánicas muestran una disolución baja que va del 20 al 7.4 %. Se observa una mayor disolución de la matriz con la etilendiamina (pKa 9.98) que con la dietilamina (pKa 10.98), esto se debe posiblemente al carácter quelante de la etilendiamina, que favorece una mayor extracción de la silice y algunos componentes metálicos de la matriz como Fe, Mn. Se ha observado que el tratamiento de este tipo de minerales con dioles como el dietilenglicol o la triisopropanolamina, permite la extracción de diversos componentes metálicos de la matriz como Fe, Mn, Zn [11].



**Figura 3.** Efecto del tipo de base en la disolución de la matriz.

La caracterización de la composición química por espectroscopia de fluorescencia de rayos X del mineral tratado con la triisopropanolamina catalizada con las diversas bases en estudio se resume en la Tabla 3. Estos resultados muestran únicamente la liberación de la plata en el mineral tratado con la potasa y la etilendiamina, en donde se muestra una composición de 20.6 y 3.01 ppm de Ag respectivamente mientras que en el mineral virgen esta técnica no detecta la plata presente por su oclusión en el mineral. Otros elementos que se observan son liberados con el tratamiento son el cobre y el níquel los cuales se observa aumenta su concentración en el mineral tratado con la KOH y la etilendiamina.

**Tabla 3.** Caracterización Química por Espectroscopia de Rayos X del Mineral Tratado con las Diversas Bases en Estudio

	Ag [ppm]	Au [ppm]	Mn [ppm]	Fe [ppm]	Ni [ppm]	Cu [ppm]	Si [ppm]	O [ppm]
JAL	ND	16.2	1300	43500	ND	27.6	282000	567000
KOH	20.6	11.4	345	2960	18.4	97.1	372000	565000
Et <sub>2</sub> NH	ND	13.4	1050	38900	ND	27.3	293000	562000
Et <sub>3</sub> N	ND	10.8	944	34700	ND	28	242000	629000
NH <sub>2</sub> EtNH <sub>2</sub>	3.01	15.1	1060	3900	ND	32.5	290000	562000

Tanto el Mn como el Fe son componentes metálicos del mineral que son extraídos con la triisopropanolamina con todas las bases en estudio, observándose la mayor extracción de estos metales con la KOH en un 73.4 y 93.2 % para el Mn y Fe respectivamente. La extracción del Mn con el uso de las bases orgánicas, se ve favorecido con el carácter básico de las aminas en estudio observándose un 72.5, 33.9 y 25.4 % de extracción con la Et<sub>2</sub>NH, Et<sub>3</sub>N, etilendiamina

respectivamente. Sin embargo, la extracción del Fe con estas bases muestra un comportamiento inverso al del Mn, observándose una mayor extracción de este metal al disminuir el carácter básico de la amina (Figura 4).

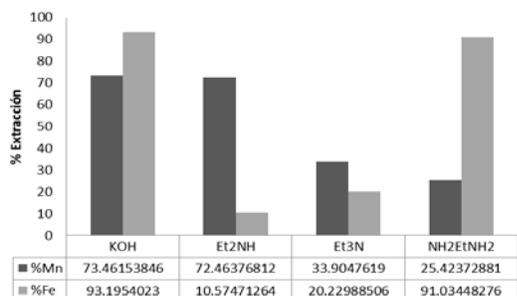
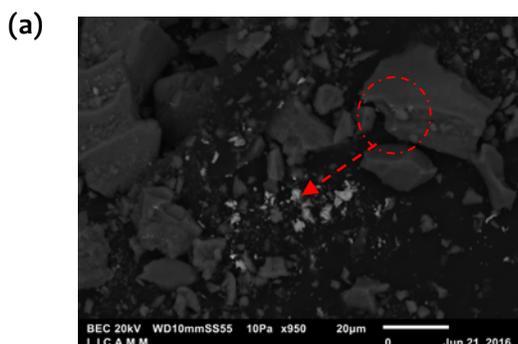


Figura 4. % de Extracción de la Composición Metálica del Mineral Tratado con Triisopropanolamina y Diversas Bases como Catalizador (KOH, Et<sub>3</sub>N, Et<sub>2</sub>NH, NH<sub>2</sub>EtNH<sub>2</sub>)

La Figura 5, muestra la SEM del mineral tratado con la triisopropanolamina y KOH, en donde se observan trozos de mineral (sílice) de tamaños no homogéneos de 37.5, 1.5, 6.5, 2.5 y 1.25 μm, tamaños por debajo del mineral de partida (58 μm), lo que demuestra el fraccionamiento de las partículas del mineral con el tratamiento. Se observa la liberación de composición metálica de la estructura interna del mineral (Figura 5a), dicha composición corresponde a cobre y zinc de acuerdo al análisis elemental puntual realizado por SEM-EDS (Figura 5b).



(b)

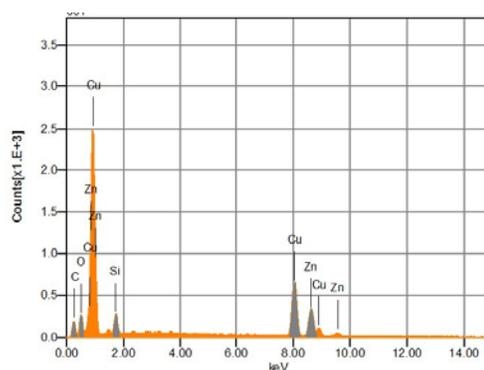


Figura 5. (a) SEM del mineral Tratado con triisopropanolamina y KOH y (b) Análisis Elemental por EDS de la Fracción Metálica Liberada.

## CONCLUSIONES

La disolución de la matriz de sílice en minerales de oro y/o plata ocluida con triisopropanolamina catalizada con bases como la KOH, Et<sub>3</sub>N, Et<sub>2</sub>NH<sub>2</sub>, etilendiamina, es favorecida con la KOH, observándose una mayor disolución con el carácter básico de las aminas. Se observa la extracción de componentes metálicos de la matriz como el Fe y Mn en todos los casos de estudio, mostrándose en el caso de las aminas una mayor extracción del Mn en función del carácter básico de estas y un comportamiento inverso para el Fe; mientras que el tratamiento con KOH muestra una extracción del 73.5 y 93 % para el Mn y Fe respectivamente, sugiriéndose un comportamiento distinto al mostrado con las aminas en estudio. El fraccionamiento de la red propuesto con el tratamiento con el diol es observado mostrándose partículas de tamaño inferior al del mineral en estudio.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo desean agradecer el apoyo otorgado a este trabajo por la DAIP-UG.

## REFERENCIAS

1.- Yannopoulos J.C. Treatment of Refractory Gold Ores (Chapter 5). The Extractive Metallurgy of Gold. Van Nostrand Reinhold, New York, pág.: 79-110. 1991

- 2.- Parga J. R., Carrillo F. R. Rev. Metal. Madrid. (1996) 32(4): 254-261.
- 3.- J. H. Coronado, M. A. Encinas, J. C. Leyva, J. L. Valenzuela, A. Valenzuela, G.T. Munive Rev. Metal. Madrid, (2012), 48(3), 165-174. DOI 10.3989/revmetalm.1102.
- 4.- Yongbin Yang, Shiqian Liu, Bin Xu, Qian Li, Tao Jiang, Peng Lv (2015) Rare Metal Technology 2015 TMS (The Minerals, Metals & Materials Society), 55-62.
- 5.- D. Barrie Johnson, Chris A. du Plessis Minerals Engineering 75 (2015) 2-5. dx.doi.org/10.1016/j.mineng.2014.09.024
- 6.- Iler R. K. The Chemistry of silica: Solubility, Polymerization, Colloid and Surface Properties and Biochemistry of Silica, Wiley, 1979.
- 7.- Laine R. M., Blohowiak K. Y., Robinson T. R. Hoppe M. L. Nardi P., Kampf J., Uhm J. Nature (1991) 353: 642 - 644.
- 8.- Jitichum V., Chivin S., Wongkasemjit S., Ishida H. Tetrahedron (2001) 57: 3997-4003.
- 9.- Ma. Mercedes Salazar-Hernández; Marco Antonio Leyva-Ramírez; J. Alfredo Gutiérrez. Polyhedron (2009) 28: 4044-4050.
- 10.- Jiménez-Halla J. Oscar C., Robles J., Villanueva M., Cervantes J., González-García G., Salazar-Hernández M. C., Leyva-Ramírez M. A., Ramírez- Monroy A., Gutiérrez J. A. Journal of the Mexican Chemical Society (2006), 50: 146 - 157
- 11.- Víctor Fernando Coronado Azuela; "Estudio de la disolución de la matriz sílice de minerales con oro oculto con dietilenglicol", Tesis para obtener el grado de Ingeniero Metalúrgico, (2015), DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA EN MINAS, METALURGIA Y GEOLOGÍA, DI-CGTO.