

## Estudio mineralógico de la disolución de la matriz Silícea en minerales con Plata Ocluida en Silica

### Mineralogical study of Silica matrix dissolution in minerals with Silver Occluded in Silica

ELORZA-RODRÍGUEZ, Enrique<sup>1</sup> †, SALAZAR-HERNÁNDEZ, Carmen<sup>2</sup>, PUY-ALQUIZA, María de Jesús<sup>1</sup>, SALAZAR-HERNÁNDEZ, Mercedes<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología de la Universidad de Guanajuato; Ex Hacienda San Matías S/N, colonia San Javier Guanajuato, Gto. CP 36000

<sup>2</sup>Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Guanajuato. Instituto Politécnico Nacional, (UPIIG-IPN). Av. Mineral de Valenciana No. 200 Col. Fracc. Industrial Puerto Interior, C.P. 36275, Silao de la Victoria, Guanajuato México

ID 1<sup>er</sup> Autor: Enrique, Elorza-Rodríguez / ORC ID: 0000-0003-4696-5898

ID 1<sup>er</sup> Coautor: Carmen, Salazar-Hernández / ORC ID: 0000-0002-6901-2937

ID 2<sup>do</sup> Coautor: María de Jesús, Puy-Alquiza / ORC ID: 0000-0002-8022-1684

ID 3<sup>er</sup> Coautor: Mercedes Salazar-Hernández / ORC ID: 0000-0001-8039-8124, CVU CONACYT ID: 446271

Recibido 23 Enero, 2018; Aceptado 20 Marzo, 2018

#### Resumen

El presente trabajo, muestra la caracterización mineralógica de una muestra de las colas de cianuración de un mineral proveniente del Distrito Minero de Pinos Altos en Chihuahua con plata ocluida en cuarzo; el mineral presenta una ley de plata de 56 gTon<sup>-1</sup> y de oro de 0.3 gTon<sup>-1</sup>. Se muestra la caracterización mineralógica del mineral tratado con triisopropanolamina, como un posible tratamiento para la disolución de la matriz de cuarzo y la posible desoclusión de los valores metálicos. La caracterización por SEM-EDS, muestra la desoclusión parcial de la plata, permaneciendo ocluida la plata en tamaños inferiores o iguales a los 500 nm. La caracterización química y por DRX del mineral y del mineral tratado, permiten distinguir que las principales fases mineralógicas que se disuelven con el tratamiento son las fases de aluminosilicato, las fases de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y de magnetita.

**Plata ocluida, Cuarzo, Caracterización mineralógica**

#### Abstract

The present work shows the mineralogical characterization of a sample of the cyanidation tails of a mineral coming from the Pinos Altos Mining District in Chihuahua with silver occluded in quartz; the ore has a silver grade of 56 gTon<sup>-1</sup> and gold of 0.3 gTon<sup>-1</sup>. The mineralogical characterization of the mineral treated with triisopropanolamine is shown, as a possible treatment for the dissolution of the quartz matrix and the possible de-occlusion of the metallic values. The characterization by SEM-EDS shows the partial release of the silver, the silver remaining occluded in sizes less than or equal to 500 nm. The chemical characterization and by XRD of the mineral and of the treated mineral, allow to distinguish that the main mineralogical phases that dissolve with the treatment are the phases of aluminosilicate, the phases of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and magnetite.

**Silver occluded, Quartz, Mineralogy characterization**

**Citación:** ELORZA-RODRÍGUEZ, Enrique, SALAZAR-HERNÁNDEZ, Carmen, PUY-ALQUIZA, María de Jesús, SALAZAR-HERNÁNDEZ, Mercedes. Estudio mineralógico de la disolución de la matriz Silícea en minerales con Plata Ocluida en Silica. Revista de Simulación y Laboratorio 2018, 5-14: 13-18.

\*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: merce@ugto.mx)

†Investigador contribuyendo como primer Autor

## Introducción

Se habla de refractariedad 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 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 (<2  $\mu\text{m}$ ) en los minerales de sulfuros, tales como la piritita ( $\text{FeS}_2$ ), arsenopiritita ( $\text{FeAsS}$ ) y cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ), las cuales son matrices insolubles y difíciles de penetrar con las soluciones de cianuro durante la lixiviación [1-5].

Particularmente, los minerales refractarios por la oclusión o encapsulamiento de los metales preciosos en matrices silíceas, 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.

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) [7].

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 [8], la triisopropanolamina [9-11], trietanolamina [12], N-fenildietanolamina [13,14] y el dietilenglicol [13,15,16].

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 [17]. Estos estudios muestran la posible factibilidad de la disolución de la sílice (sílica-gel) con polioles y por ende el rompimiento del enlace siloxano de la red extremadamente estable.

El presente trabajo, muestra la caracterización mineralógica de una muestra de mineral del Distrito Minero de Pinos Altos en Chihuahua con plata ocluida en cuarzo y tratada con triisopropanolamina en medios básicos, como una posible alternativa para la exposición de los metales preciosos y su posible beneficio por cianuración.

## Metodología

### Caracterización Mineralógica del Mineral

En este estudio, se utilizó una muestra de las colas de cianuración, de un mineral proveniente del Distrito Minero de Pinos Altos, Chihuahua. La caracterización mineralógica del mineral se realizó mediante difracción de rayos-X en un difractor modelo ULTIMA IV de RIGAKU. La caracterización por Microscopía Electrónica de Barrido-análisis elemental (MEB-EDS) se realizó en un microscopio JOEL JSM-6610LV.

Las muestras fueron recubiertas con carbono en un SPI-Module-Carbon Coater, previamente limpiadas a alto vacío a 10-1 Torr. La caracterización química del mineral se realizó mediante espectrometría de fluorescencia de rayos X por dispersión de geometría cartesiana en un espectrómetro de fluorescencia de rayos X modelo NEX CG de Rigaku. El límite de detección y cuantificación de esta técnica para los elementos estudiados se muestra en la Tabla 1.

	m $g g^{-1}$	
	Límite de Detección	Límite de Cuantificación
Ni	1.66	4.97
Cu	0.89	2.67
Ag	0.74	2.22
Au	1.39	4.16
Al	106	319
Mn	5.44	16.3
Fe	3.67	11
K	16.1	48.2
Ti	5.52	16.6
Si	490	1470

**Tabla 1** Límites de detección y cuantificación para los estudios de fluorescencia de rayos X

### Tratamiento de la mena con triisopropanolamina

La disolución parcial de la matriz con la triisopropanolamina, se realizó bajo las condiciones previamente determinadas [18]. El tratamiento se realizó mediante la metodología general que se muestra a continuación, utilizando una relación SiO<sub>2</sub>:diol de 1:3, un 3% en mol de KOH como catalizador y un tiempo de 60 minutos de tratamiento.

### Metodología de trabajo general [18,19]

En un matraz de 250 mL, se colocan 250 mmoles del diol en estudio (dietilenglicol o triisopropanolamina) y se precalientan a 200°C, a esta temperatura se adicionan 5 gr de mineral (aproximadamente 83.33 mmol) y 7.5 mmoles de la base en estudio (3% mol con respecto al diol); una vez adicionado el mineral se coloca un sistema de destilación y la mezcla se mantiene en agitación a 220°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, secado a 90°C por 12 h y calcinado a 700°C por 1 h para determinar el porcentaje de mineral sin reaccionar.

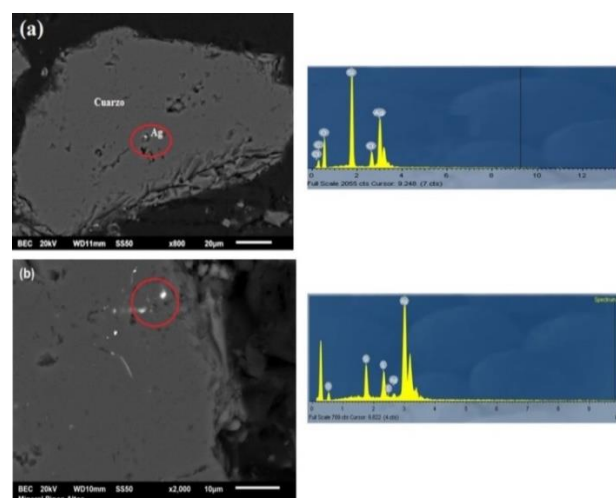
### Resultados

La composición mineralógica del mineral en estudio, se resume en la Tabla 2, en donde se indica la presencia de plata en forma de querargirita (AgCl) en tamaños promedios de < 2  $\mu m$ . La Figura 1, muestra la presencia de una partícula de plata ocluida en cuarzo y su caracterización por EDS.

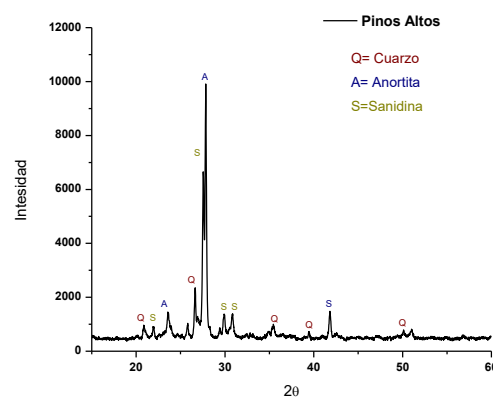
Los principales componentes del mineral son aluminosilicatos tales como la anortita y sanidina, tal y como se muestra en la caracterización por DRX del mineral (Figura 2).

	Composición Mineralógica	Ganga
Ag	Querargirita (AgCl) Acantita (Ag <sub>2</sub> S) Freibergita (Ag <sub>6</sub> Cu <sub>4</sub> Fe <sub>2</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub> )	Cuarzos SiO <sub>2</sub> [tamaños 58 $\mu m$ ] Silicatos de
Otros minerales	Psilomelano [(Ba, H <sub>2</sub> O)Mn <sub>5</sub> O <sub>10</sub> ] Ilemita [FeTiO <sub>3</sub> ] Calcopirita (CuFeS <sub>2</sub> )	Ca, Mg

**Tabla 2** Composición mineralógica del Jal proveniente de Pinos Altos, Cahuisori Chihuahua



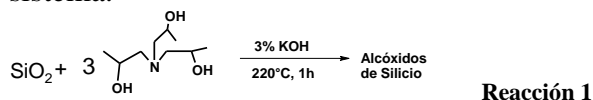
**Figura 1** SEM del mineral de pinos altos. (a) Partícula de AgCl ocluida en cuarzo y (b) partículas de Ag<sub>2</sub>S ocluidas en cuarzo



**Figura 2** DR-X del mineral de Pinos Altos en estudio

La disolución de la matriz silícea del mineral con triisopropanolamina (Reacción 1), permitió la eliminación de prácticamente todo el contenido de hierro en la muestra, observándose la pérdida de la coloración rojiza en el mineral provocado por los óxidos de hierro presentes en este (Figura 3).

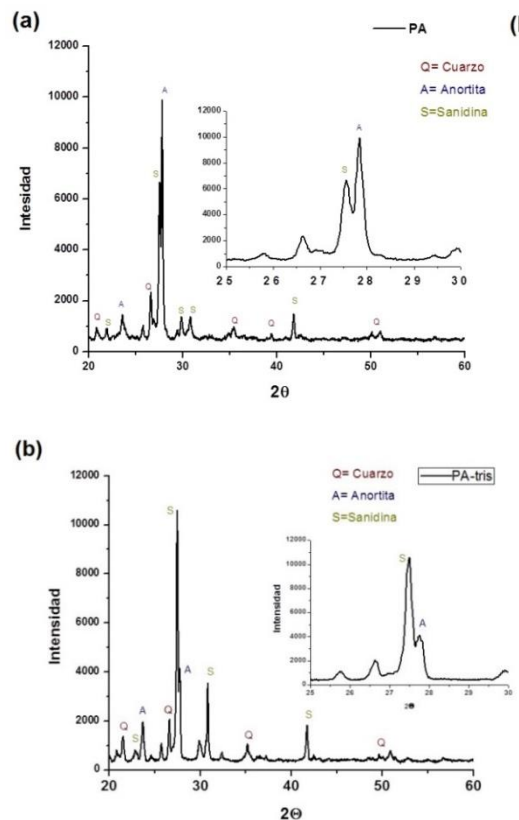
La caracterización por DRX del Jal tratado (PA-tris) se muestra en la Figura 4, en donde se muestra la reducción en la intensidad del pico característico de la fase de anortita en el mineral (Figura 4b), considerándose que ésta es la especie de sílice que reacciona mayoritariamente con la tri-isopropanolamina. La razón de señales Anortita/Sanidina en el mineral original (PA) es de 1.5, mientras que en el mineral tratado dicha razón de intensidades es de 0.4, lo que sugiere en efecto la disolución principal de la anortita en el sistema.



**Figura 3** (a) Jal de Pinos Altos y (b) Jal de Pinos Altos tratado con Triisopropanolamina

La Figura 5, muestra diversas partículas de plata libre en un tamaño promedio de 1 μm, en la Figura 6a, se observan una partículas de AgCl libre y algunas partículas de AgCl de menor tamaño aun ocluidas en la matriz de cuarzo; la Figura 6b muestra una partícula de Ag2S libre entre los bordes de dos partículas de cuarzo disgregados; en forma similar la Figura 6c muestra partículas de Freibergita libres, entre pequeñas partículas de cuarzo dispersas, estas imágenes sugieren la liberación de las partículas por el rompimiento de la matriz, ocasionado posiblemente por su disolución parcial con la triisopropanolamina, sugiriendo la posible cianuración de dichas partículas.

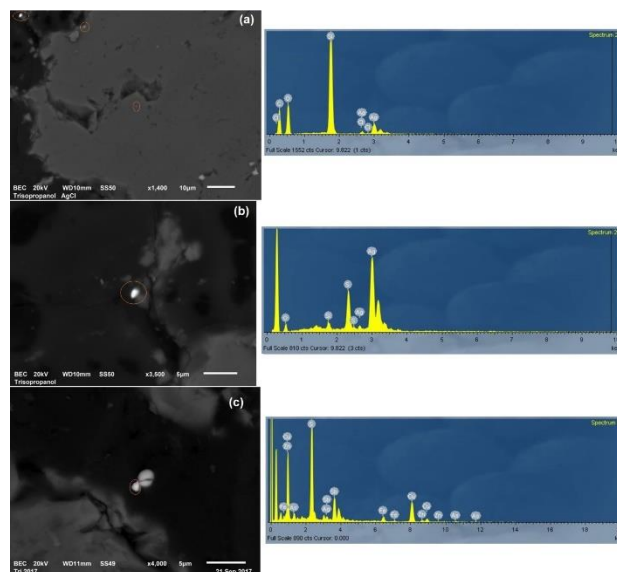
La Tabla 3, resume la composición química del mineral tratado y sin tratar con la triisopropanolamina, en donde se muestra la disolución de las fases de sanidina, anortita, hierro y manganeso del mineral.



**Figura 4** Caracterización por DRX del mineara; (b) PA y (b) PA-tris

Fase Mineralógica	% PA	PA-tris
Cuarzo (SiO <sub>2</sub> )	32.21	64.73
Sanidina (KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	35.21	18.53
Anortita (CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> )	12.56	6.95
Ilmenita (FeTiO <sub>3</sub> )	0.69	-
Óxidos de Hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	5.85	0.41
Psilomelano (BaMn <sub>5</sub> O <sub>10</sub> )	0.27	0.07
Calcopirita (CuFeS <sub>2</sub> )	0.008	0.028
Titanita (TiO <sub>2</sub> )	-	0.19
Otros (Zn, Pb, Bi, Ag y Au)	13.19	9.01

**Tabla 3** Reconstrucción mineralogía del mineral de Pinos Altos (PA) y del mineral tratado con triisopropanolamina (PA-tris)



**Figura 5** Partículas de AgCl libre después del tratamiento con triisopropanolamina

## Conclusiones

El tratamiento del mineral con triisopropanolamina, permite la des-oclusión de las partículas de plata ocluidas en la matriz de cuarzo de tamaños de alrededor de 1µm. El tratamiento favorece la disolución de las fases de aluminosilicatos como son la anortita y sanidina, así como las fases metálicas de hierro (óxidos de hierro) y de manganeso.

## Agradecimientos

Los autores de este trabajo, desean agradecer el apoyo financiero de la SEP-CONACyT a través del proyecto CB-2015-257100.

## 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] Rosenheim A., Raibmann B., Schendel G.; Anorg. Chem. 1931, 224: 251
- [8] Laine R. M., Blohowiak K. Y., Robinson T. R. Hoppe M. L. Nardi P., Kampf J., Uhm J. Nature (1991) 353: 642 – 644.
- [9] Jitchum V., Chivin S., Wongkasemjit S., Ishida H. Tetrahedron (2001) 57: 3997-4003.
- [10] Wongkasemjit S, Laine R M, Piboonchaisit P, Journal of Scientific Research of Chulalongkorn University 2001, 29: 95-146.
- [11] Piboonchaisit P, Wongkasemjit S, Laine R M, Science Asia 1999, 25: 113-119.
- [12] Kemmitt T., Henderson W. A Australian Journal of Chemistry, (1998) 51(11): 1031 – 1035.
- [13] Ma. Mercedes Salazar-Hernández; Marco Antonio Leyva-Ramírez; J. Alfredo Gutiérrez. Polyhedron (2009) 28: 4044–4050.
- [14] Ma. Mercedes Salazar Hernández (2009), Estudio de la Formación y Reactividad de Alcóxidos de Silicio Obtenidos a Partir de Sílica Gel. Tesis de Doctorado en Química (Química Inorgánica). Universidad de Guanajuato, México.
- [15] Ma. del Carmen Salazar Hernández. (2003), Estudio de la producción de alcóxidos de silicio a partir de sílice, Tesis de licenciatura (Ingeniero Químico). Universidad de Guanajuato, México. Director de tesis J. A. Gutiérrez.
- [16] 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
- [17] Blohowiak K. Y., Treadwell D. R., Mueller B. L., Hoppe M. L., Jouppe S., Kansal P., Chew K. W., Scotto C. L. S., Babonneau F., Laine R. Chem. Mater. (1994) 6(11), pág.: 2177–2192.
- [18] Mariano Emmanuel Morales Ramírez; “Estudio de la disolución de la matriz sílice con triisopropanolamina en minerales con oro y/o plata ocluida en sílica”, Tesis para obtener el grado de Ingeniero Metalúrgico, 2017, DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA EN MINAS, METALURGIA Y GEOLOGÍA, DI-CGTO.

- [19] Víctor Fernando Coronado Azuela;  
“Estudio de la disolución de la matriz  
sílice de minerales con oro ocluido con  
dietilenglicol”, Tesis para obtener el grado  
de Ingeniero Metalúrgico, 2015,  
DEPARTAMENTO DE INGENIRÍA EN  
MINAS, METALURGIA Y GEOLOGÍA,  
DI-CGTO.