

Identificación de sulfuros complejos de plata (Sulfosales) contenidos en un concentrado de Pb, del distrito minero de Zimapán Hidalgo

Identification of complex silver sulfides (Sulfosales) contained in a Pb concentrate, from the mining district of Zimapán Hidalgo

Edgar Martínez-Rojo, Aislinn M. Teja-Ruiz, Martín Reyes-Pérez, Miguel Pérez-Labra, Gustavo Reyes-Urbano, Francisco R. Barrientos-Hernández, Julio C. Juárez-Tapia

Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Mineral de la Reforma, Hidalgo, 42184, México.

Abstract:

The mineralogy characterization of concentrate of lead from the district of Zimapán Hidalgo, México, it has been done in order to identify the presence of ternary sulfides whose prevalence in the by-products it attribute to complex nature. These mineral species contain an important concentration of silver, the extraction represents an important added value for the concentrate and its study opens the way to the development of new leaching processes for the subsequent recovery of the precious metal. For the characterization process, the combination of analytical techniques, such as: Polarization Optical Microscopy (POM), Scanning Electron Microscopy (SEM) with energy dispersion spectrometer (EDS) and X-ray diffraction (XRD). The results of the chemical-granulometric analysis confirmed the presence of silver in an average concentration of 3.6 kg / ton., and determined that the greatest distribution of silver in the concentrate is found in the set of bounded particles. The results of the characterization were complementary for each of the aforementioned techniques and reported an argentiferous mineralization, consisting mainly of Ag sulfosalts such as tetrahedrite, freibergite ($\text{Ag}_{4.2}\text{As}_{0.12}\text{Cu}_{5.82}\text{Fe}_{1.56}\text{S}_{13}\text{Sb}_{3.88}\text{Zn}_{0.42}$), polubasite ($\text{Ag}_{3.1}\text{As}_{0.203}\text{CuS}_{22}\text{Sb}_{3.793}$), and to a lesser extent acantite (Ag_2S), the presence of associated base metals in the form of sulfides was also observed. The matrix of the mineral sample corresponds to galena (PbS).

Keywords:

Sulfosalts silver, concentrate lead and mineralogical characterization

Resumen:

La caracterización mineralógica de un concentrado de plomo del distrito minero de Zimapán, Hidalgo, México, se realizó con la finalidad de identificar la presencia de sulfuros ternarios cuya prevalencia en el subproducto se atribuye a su naturaleza compleja. Estas especies minerales contienen una importante concentración de plata cuya extracción representa un importante valor agregado para el concentrado y su estudio abre pauta al desarrollo de nuevos procesos de lixiviación para la posterior recuperación del metal precioso. Para el proceso de caracterización se utilizó la combinación de varias técnicas analíticas como: Microscopía Óptica de Polarización (MOP), Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) con espectrómetro de dispersión de energía (EDS) y Difracción de rayos X (DRX). Los resultados del análisis químico-granulométrico confirmaron la presencia de plata en una concentración promedio de 3.6 kg/ton., y determinaron que la mayor distribución de plata en el concentrado se encuentra en el conjunto de partículas acotadas. Los resultados de la caracterización fueron complementados por cada una de las técnicas antes mencionadas y reportaron una mineralización argentífera, constituida principalmente por sulfosales de Ag como la tetrahedrita, freibergita ($\text{Ag}_{4.2}\text{As}_{0.12}\text{Cu}_{5.82}\text{Fe}_{1.56}\text{S}_{13}\text{Sb}_{3.88}\text{Zn}_{0.42}$), polibasita ($\text{Ag}_{3.1}\text{As}_{0.203}\text{CuS}_{22}\text{Sb}_{3.793}$), y en menor medida acantita (Ag_2S), también se observó la presencia de metales base asociados en forma de sulfuros. La matriz de la muestra mineral corresponde a la galena (PbS).

Palabras Clave:

Sulfosales de plata, concentrado de plomo, caracterización mineralógica

Autor para la correspondencia: jcjuarez@uaeh.edu.mx

Correos electrónicos: ingmare20146@gmail.com (E. Martínez-Rojo), ice9791@gmail.com (A. Teja-Ruiz), mreyes@uaeh.edu.mx (M. Reyes-Pérez), mlabra@uaeh.edu.mx (M. Pérez-Labra), gustavo_urbano@uaeh.edu.mx (G. Urbano-Reyes), barrientos@uaeh.edu.mx (F. R. Barrientos-Hernández), jcjuarez@uaeh.edu.mx (J.C. Juárez- Tapia)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4679-4726> (E. Martínez-Rojo), <https://orcid.org/0000-0002-9503-7599> (A. Teja-Ruiz), <https://orcid.org/0000-0003-3843-2397> (M. Reyes-Pérez), <https://orcid.org/0000-0001-9882-6932> (M. Pérez-Labra), <https://orcid.org/0000-0001-5461-4030> (G. Urbano-Reyes), <https://orcid.org/0000-0001-5459-7162> (F.R. Barrientos-Hernández), <https://orcid.org/0000-0001-7058-1670> (J.C. Juárez- Tapia)

Fecha de recepción: 26/06/2020, Fecha de aceptación: 20/08/2020, Fecha de publicación: 05/10/2020

<https://doi.org/10.29057/aactm.v7i7.6175>



1. Introducción

El distrito minero Zimapán se localiza en la porción occidental del estado de Hidalgo, entre las coordenadas geográficas 19°47'00" y 20°50'00" de latitud norte, y de longitud oeste 98°27'00" y 99°30'00"; la altitud media del municipio es de 1,800 msnm [1]. La mineralogía de este distrito que comprende las minas El Carrizal y El Monte, es realmente muy diversa, entre los principales minerales de mena se encuentran la galena (PbS), pirita (FeS₂), calcopirita (CuFeS₂), arsenopirita (FeAsS), Pirrotita (Fe_{1-X}S), bornita (Cu₅FeS₄), estibina (Sb₂S₃) y boulangerita (Pb₅Sb₄S₁₁). Específicamente en la chimenea Las Animas, se ha reconocido la presencia de diversas sulfosales de plomo, arsénico y antimonio por ejemplo meneghinita (PbSSb₂S), jamesonita (FePb₄Sb₆S₁₄), Freibergita [(AgCu)₁₀(CuPbZnHgFe)₂(AsSb)₄S₁₃], pirargirita (Ag₂SbS₃), proustita (Ag₃AsS₃) y bindheimita [Pb₂Sb₂O₅(O,OH)] de carácter supérgeno [2]. Los principales minerales de plata de importancia económica, sobre todo por su presencia y distribución en los diversos tipos de yacimientos minerales, son los sulfuros y los sulfosales [3-4]. Dentro de la clasificación de los sulfuros, se puede afirmar que el principal mineral de plata presente de origen en la mayoría de los yacimientos minerales de Ag/Au es la Argentita. Sin embargo, las sulfosales de mayor predominancia, a razón de su importancia de ocurrencia en los yacimientos epitermales, son la pirargirita y la proustita, características por su color rojizo, de donde han ganado el nombre de plata roja. Actualmente, las sulfosales son concebidas como un extenso grupo de minerales, caracterizadas por las estructuras atómicas y cristalinas más complicadas de la química inorgánica. Se conforman por la composición general AmBnXp, en la que m, n, y p son enteros; A puede ser plomo, plata, talio, o cobre; B puede ser antimonio, arsénico, bismuto, estaño o germanio; y X puede ser azufre o selenio, los análisis de rayos X indican que muchas de las estructuras atómicas de las sulfosales están formadas de fragmentos de compuestos simples tales como: bloques de galena (PbS) y hojas de estibinita (Sb₂S₃), y en el caso de la pirargirita por bloques de argentita o acantita (Ag₂S) y hojas de estibinita (Sb₂S₃). La complejidad de estas estructuras es resultado de una cristalización a muy baja temperatura, la que consecuentemente causa un alto grado de ordenamiento de los átomos metálicos. [5-8] Por otro lado generalmente, los estudios que se realizan para valorar un depósito mineral conlleva conocer únicamente la concentración de valores metálicos, sin darle mayor importancia a la caracterización mineralógica, la cual es muy relevante, debido a que permite identificar las especies minerales y las asociaciones entre ellas. Por esta razón es necesario de manera adicional al análisis elemental utilizar otras técnicas convencionales como Difracción de Rayos X, Microscopia Óptica de Polarización (MOP) y Microscopia Electrónica de Barrido con analizador de energías dispersivas (MEB-EDS), entre otras, con la finalidad de complementar y/o de corroborar la información obtenida por todas las técnicas utilizadas, ya que estas últimas permiten la observación de los valores metálicos que usualmente se

encuentran ocluidos dentro de otras especies minerales como pirita, galena o cuarzo, confirmando así las asociaciones mineralógicas. [9-11] En la actualidad existe un déficit para satisfacer la demanda de metales nobles de minerales simples, debido a la explotación masiva de los depósitos de Au-Ag-Cu-Zn, lo que ha provocado la búsqueda de alternativas de fuentes secundarias como minerales refractarios o complejos como lo son las sulfosales, las cuales pueden ser una fuente prometedora para recuperar dichos metales. [12] P. Baláz M. Achimovičová investigaron los cambios en el área superficial, morfología y lixiviabilidad del antimonio y arsénico presentes en tetraedrita, jamesonita y enargita activadas mecánicamente, reportando que la lixiviación de estos metales en solución alcalina de sulfuro de sodio es una reacción sensible a la temperatura. [20] Por otro lado, en 2017 en una muestra de concentrado polimetálico fue identificada la sulfosal trechmanita AgAsS₂ utilizando las técnicas XDR y SEM-EDS; la disolución del metal precioso contenido en dicha especie mineral se realizó utilizando tiosulfato e hidróxido de sodio como regulador de pH. 21. El anterior sistema fue propuesto por la limitada capacidad del cianuro para mantener la plata en solución en presencia de Sb o As, por lo que el proceso de cianuración se vuelve más lento, a pesar de encontrarse en un medio acuoso y alcalino. [13-20] Por lo anterior el objetivo del presente estudio es caracterizar mineralógicamente un concentrado de plomo, el cual es el producto final del proceso de beneficio de un mineral, para identificar si existe la presencia de sulfosales, debido a que se ha reportado que los procesos convencionales no han sido efectivos para llevar a cabo la disolución de metales preciosos contenidos en minerales complejos. [13-14]

2 Metodología experimental

La muestra fue donada por la empresa Carrizal Mining, ubicada en el distrito de Zimapán, Hidalgo. Primeramente, la muestra fue secada a temperatura ambiente y homogenizada utilizando el método del cuarteo para obtener una muestra representativa de 1 kg. Tomando 0.2 kg de la muestra cuarteada se realizó un deslame por vía húmeda, utilizando la malla +400 con la finalidad de separar las partículas finas de las gruesas, posteriormente se realizó la distribución de tamaños de partícula en seco con el remante +400, utilizando un juego de mallas de la serie Tyler 100, 140, 200, 270, 325, y 400 dispuestas de mayor a menor tamaño en el Ro-Tap por un tiempo de 15 minutos. Para llevar a cabo el estudio morfológico y mineralógico los polvos fueron embebidos en resina epóxica obteniendo una briqueta, la cual se dejó secar y posteriormente fue desbastada utilizando lijas de diferente granulometría y posteriormente pulida con alúmina de 0.3 micras y paño hasta acabado espejo. Utilizando un microscopio marca OLYMPUS modelo BH41 se llevó a cabo la identificación primaria de las especies mineralógicas, para complementar el estudio se utilizó la técnica de Microscopia Electrónica de Barrido (MEB), con analizador de energías dispersivas de rayos X para conocer la morfología y topografía de la muestra, así como también para determinar la

distribución de los elementos presentes en el concentrado. Para estos estudios se utilizó un equipo Jeol, modelo JSM 6701F utilizando diferentes voltajes y profundidades de campo, a diferentes magnificaciones con electrones secundarios y retrodispersados. Esta técnica reveló el contenido y relación elemental de las sulfosales de plata. Posteriormente se realizó un estudio de Difracción de rayos X de los polvos del concentrado, utilizando un difractómetro de rayos X, marca EQUINOX 2000, (Thermo Fisher Scientific, Ecublens, Switzerland), con radiación Co-K α 1 (1.789010 Å) operando a 30 mA, 20 kV y voltaje de 220 V, para confirmar la presencia de las especies identificadas mediante las técnicas anteriormente mencionadas.

3. Resultados y Discusión

Análisis Químico granulométrico

Con la muestra obtenida del deslame utilizando la malla 400 se realizó la distribución de tamaños de partícula, los resultados se presentan en la tabla 1, en la cual se observan los números de mallas utilizadas, su equivalencia en micras (μm), el porcentaje en peso retenido y la concentración de plata en cada una de las mallas. Se puede observar que la concentración de plata es muy alta con un promedio de 3.6 kg/ton.

Tabla 1. Distribución de pesos retenidos y concentración de Ag en el concentrado de Pb.

CONCENTRADO DE PLOMO (Pb)					
# MALLA	Apertura (μm)	PESO		% Acum.	Ensaye Ag (g-ton ⁻¹)
		g	%		
140	105	1.49	0.74	99.95	3435.33
200	74	3.35	1.67	99.21	3670.67
270	53	6.86	3.44	97.54	3530.00
325	44	4.85	2.43	94.10	3600.67
400	37	8.77	4.40	91.67	3552.00
-400		173.70	87.27	87.27	3826.67
total		199.02			

En la figura 1 se observa una línea bimodal, obtenida de graficar la concentración de Ag en función del número de mallas utilizadas. Observándose un contenido de plata importante en la malla 200 (74 μm), disminuyendo en el rango de mallas de 270 a 400, sin embargo, se puede considerar que la concentración de plata para este rango es similar, alcanzando la máxima concentración de 3.82667 kg/ton en la malla -400 (<37 μm), que, para este caso, está representada en el gráfico por la apertura de 35 μm .

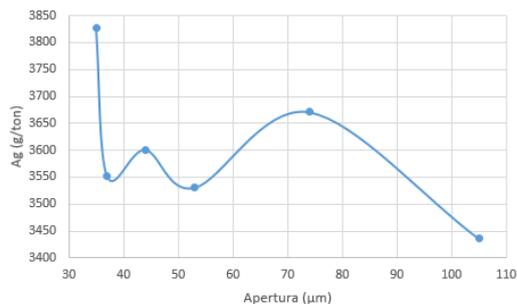


Figura. 1 Gráfica de distribución de Ag por apertura de malla, en el concentrado de Pb.

Estos resultados son de gran relevancia porque no sería necesario llevar a cabo una remolienda del mineral para un proceso de lixiviación del metal precioso. Pudiéndose utilizar la muestra todo uno ya que adicionalmente se puede observar en la tabla 1, que el 87 % de las partículas del mineral, son del orden de las 35 μm . Por otro lado, en la tabla 2, se muestra el porcentaje de la distribución de otros elementos de interés contenidos en el concentrado. Se puede observar que la mayor distribución de estos, se encuentran en la malla -400.

Tabla 2. Tabla de distribución por malla, de Cu, Pb, Zn y Fe.

CONCENTRADO DE PLOMO (Pb)										
# MALLA	Apertura (μm)	PESO			Porcentaje de distribución					
		g	%	Acum -	Ag%	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	
140	105	1.49	0.74	99.95	0.67	0.24	1.05	0.89	0.68	
200	74	3.35	1.67	99.21	1.62	0.59	2.12	2.14	1.78	
270	53	6.86	3.44	97.54	3.20	1.29	3.31	3.98	3.83	
325	44	4.85	2.43	94.10	2.30	0.94	2.83	2.57	2.51	
400	37	8.77	4.40	91.67	4.12	1.93	4.92	4.58	4.29	
-400		173.70	87.27	87.27	88.08	95.02	85.77	85.83	86.90	
Total		199.02			100	100	100	100	100	

Caracterización Mineralógica

Técnica Microscopía Óptica de Polarización (MOP)

En la figura 2 se muestran dos microfotografías del concentrado de Pb, obtenidas a diferentes aumentos, utilizando luz reflejada, observándose en la figura 2a una partícula de color amarillo latón brillante y ángulos rectos cuyo hábito cristalino corresponde a una de las diferentes formas del mineral pirita (FeS_2) como la idiomórfica, la cual está asociada principalmente con la arsenopirita (FeAsS). Así mismo se identificó la especie galena (PbS) con una textura cuadriculada, de estructura cristalina cúbica la cual forma cristales alargados.

Otras especies identificadas de morfología irregular y de tonalidades grises y amarillo latón, se observan en la microfotografía 2b, las cuales corresponden a sulfuros de zinc y hierro conocidos como esfalerita (ZnS) y calcopirita (CuFeS_2), respectivamente [15].



Figura 2. Micrografía obtenida a 10X, 2a) Galena, Arsenopirita y Pirita. 2b) Especies de Esfalerita y Calcopirita.

En las microfotografías a y b de la figura 3, se observan dos partículas que fueron analizadas detalladamente con luz reflejada, observando en ambas partículas un color gris azulado,

sugiriendo que dichas partículas pueden corresponder a minerales complejos conocidos como sulfosales, como la proustita, pirargirita o polibasita, lo cual puede ser posible, debido a que estas especies minerales se encuentran íntimamente relacionadas con sulfuros como la galena, esfalerita, tetraedrita, y plata. 16. Las cuales también están presentes en el concentrado en estudio, como lo demuestran los resultados obtenidos por la técnica de Difracción de rayos X. En ambas micrografías las partículas presentan una forma Irregular con dos tonalidades diferentes, por lo que se puede considerar que se trata de partículas binarias.

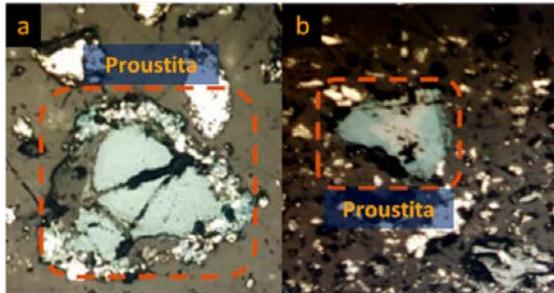


Figura 3. Micrografías a y b obtenidas a 20X, partículas de Proustita.

Microscopía Electrónica de Barrido y análisis de energía dispersiva (MEB-EDS)

A través de esta técnica se complementó la caracterización mineralógica del concentrado, debido a que las muestras fueron observadas en el MEB y analizadas mediante el espectrómetro de energías dispersivas de rayos X (EDS).

En la figura 4b se observa una partícula obtenida con electrones secundarios a 1000X, la estructura de esta partícula es característica de un sulfuro de plomo (galena), dicha especie mineral corresponde a la matriz mineralógica del concentrado. El tamaño de la partícula es aproximadamente de 60 μm , y se aprecia una morfología regular con bordes lisos. La presencia de esta especie mineralógica se confirmó mediante el análisis semi cuantitativo de EDS, el cual se muestra en la figura 4a.

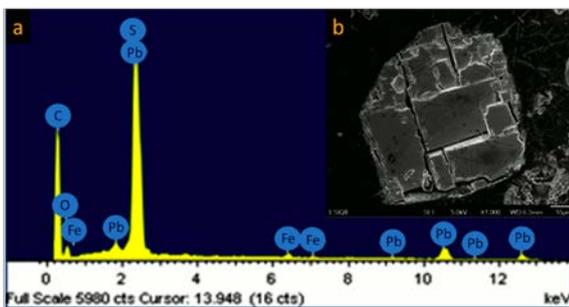


Figura 4a. Análisis puntual y espectro de EDS representa la matriz mineralógica del concentrado. 4b. Partícula analizada.

Analizando otra sección de la probeta se obtuvieron micrografías mediante electrones retrodispersados con sus respectivos análisis de energías dispersivas de rayos X, las cuales se

presentan en las figuras 5a, 5b, 6a y 6b, en los espectros de dichas imágenes, se puede apreciar la relación de los elementos como Ag, Sb, S y Ag, Sb, S, Cu y Fe, los cuales son característicos de los sulfosales. pirargirita (AgSbS_2) y freibergita ($\text{Ag}_6\text{Cu}_4\text{Fe}_2\text{Sb}_4\text{S}_{13}$). [17-18, 22]

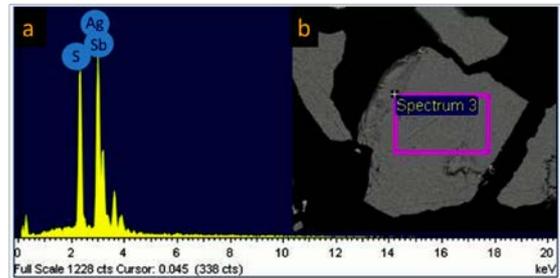


Figura 5a. Análisis puntual y espectro de EDS donde se identifica Ag, Sb y S. 5b. Partícula analizada.

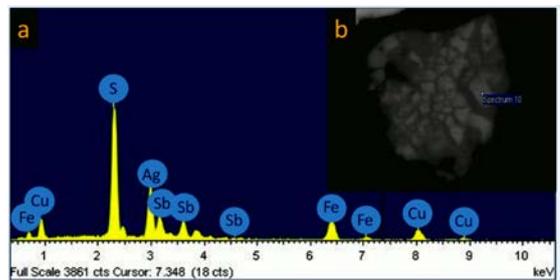


Figura 6a. Identificación de elementos Fe, Cu, S, Sb, característicos de una sulfosal. Figura 6b. Partícula analizada.

Difracción de rayos X (DRX)

En la figura 7, se presenta el difractograma obtenido del análisis al concentrado de Pb, de la muestra todo uno, identificado mediante “Crystallography Open Database” (COD por sus siglas en inglés). En dicho difractograma se revela que en los ángulos: 30.26° , 35.08° , 50.45° , 59.97° y 62.93° aparecen los picos característicos de la especie mineralógica denominada galena (PbS), cuyo número de identificación, corresponde a COD: [96-900-8695], cabe resaltar que para la identificación del difractograma que se presenta, se utilizó el software Match 3, con la base de datos COD Inorganic.

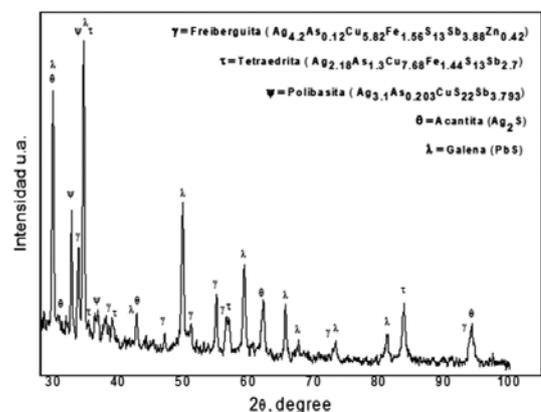


Figura 7. Identificación de la matriz del concentrado de plomo.

En la misma figura, se muestran las especies minerales que contienen plata y que son del mayor interés para el presente estudio, como puede observarse se tiene la presencia de sulfuros simples como la acantita y sulfuros complejos (sulfosales) tales como polibasita, freiberguita y tetraedrita. Como puede observarse el antimonio y arsénico son elementos comunes en la composición química de los minerales de plata.

Una de las consecuencias de dicha composición, es que durante la utilización de procesos de extracción convencionales aplicados al beneficio de lotes minerales con una o varias de estas especies, se alcanzan recuperaciones de metales preciosos bajas. Según Hedley, 8-13-19. Motivo por el cual se puede justificar la presencia de estos minerales complejos en el concentrado de plomo.

Conclusiones

La mineralización del concentrado de plomo es argentífera, está constituida principalmente por sulfosales de Ag y metales base asociados en forma de sulfuros. La matriz de la muestra mineral corresponde al sulfuro de plomo (galena). Los principales minerales portadores de plata se presentan en la tabla 3. Los sulfuros simples asociados a metales base están representados por pirita, calcopirita, arsenopirita, esfalerita y galena.

Tabla 3. Identificación de las principales especies de plata en el concentrado de Pb.

Especie	Formula	COD:	Figura	Técnica
Acantita	Ag ₂ S	[96-901-1415]	7	DRX
Polybasita	Ag _{3.1} As _{0.203} Cu ₅ Sb _{3.793}	[96-901-3300]	7	DRX
Freiberguita	Ag _{1.2} As _{0.12} Cu _{0.82} Fe _{1.96} S ₁₃ Sb _{3.88} Zn _{0.12}	[96-900-9469]	7	DRX
Tetraedrita	Ag _{2.119} As _{1.3} Cu _{7.68} Fe _{1.44} S ₁₅ Sb _{2.7}	[96-900-0946]	7	DRX
Proustita	Ag ₃ As ₃ S ₃	N/A	3	MOP

La presencia de sulfosales con contenidos de plata en el concentrado de plomo representa un área de oportunidad para la recuperación del metal precioso, sin embargo, se debe considerar llevar a cabo un proceso alterno a los convencionales para tratar de garantizar la disolución de la plata ya que como ha sido reportado en otros estudios, las estructuras atómicas y cristalinas de estas especies minerales son muy complejas, además de que se tiene la presencia de varias de estas especies metálicas que compiten en el proceso de disolución.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Referencias

[1] SGM, FIFOMI. (2008). Inventario Minero de Zimapán. México. Recuperado de https://mapserver.sgm.gob.mx/InformesTecnicos/InventariosMinerosWeb/T1308LJ0004_01.PDF.

[2] Villaseñor C., m. G., Gómez C., A., Medina de la Paz, J.L. Condliffe, E. y Lozano S. R., 1987, Boulangerita de la chimenea Las Ánimas, Zimapán,

estado de Hidalgo, mineralogía y metalogena. Soc. Mex. De Mineralogía, A. C., México, D. F. Boletín de Mineralogía, Vol. 3, 30 p.

[3] Moëlo, Y., E. Makovicky, et al. (2008). Sulfosalt systematics: a review. Report of the sulfosalt subcommittee of the IMA Commission on Ore Mineralogy. Stuttgart, Eur. J. Mineral, pág.: 1- 40.

[4] Mottana, A., R. Crespi and G. Liborio (1980). Guía de Minerales y Rocas. Barcelona, España, Ediciones Grijalvo.

[5] Sack, R. O. (2005): Internally consistent database for sulphides and sulphosalts in the system Ag₂S-Cu₂S-ZnS-FeS-Sb₂S₃-As₂S₃: Update. Geochim. Cosmochim. Acta, 69, 1157-1164.

[6] Ghosal S. and Sack R. O. (1995) As-Sb energetics in argentic sulfosalts. Geochim. Cosmochim. Acta 59, 3573-3579.

[7] Ghosal S. and Sack R. O. (1999) Bi-Sb energetics in sulfosalts and sulfides. Mineral. Mag 63, 723-7336.

[8] E. Elorza- J.E. García Dobarganes-V. García T. Pirargirita, sulfoantimoniuro de plata (2Ag₃Sb₂S₃) o mezcla de sulfuros de plata y antimonio (3Ag₂S.Sb₂S₃). Conference paper. XV Congreso de Procesamiento de Minerales, At San Luis Potosí. México., 2010, 08-12.

[9] Melgarejo, J.; Proenza, J.; Galí, S.; Llovet, X. Técnicas de caracterización mineral y su aplicación en exploración y explotación minera. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Vol. 62, Núm. 1, 2010, 1-23.

[10] Rollinson, G.; Moon, C. Quantitative mineralogical and chemical assesment of the Nkout iron ore deposit, Southern Cameroon. Ore Geology Reviews. 2014, 62, 25-39.

[11] Baum, W. Ore characterization, process mineralogy and lab automation a roadmap for future mining. Minerals Engineering. 2014, 60, 69 – 73.

[12] [López, C. México: Política en Materia Minera. (Diálogo Unión Europea-América Latina Sobre Materias Primas 2014). (acceso en 14 July 2018).

[13] Martínez Rojo, E., & Juárez Tapia, J. (2019). (2019). Caracterización y estudios preliminares de lixiviación alcalina e plata y de metales base, contenidos en un concentrado de plomo (Tesis de pregrado, maestría). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Mineral de la Reforma, Hgo.

[14] Teja Ruiz, A.M.; Juárez Tapia, J.C.; Reyes Perez, M.; Hernandez Cruz, L.E.; Flores, M.U.; Reyes, I.A.; Perez Labra, M.; Moreno, R. Characterization and Leaching Proposal of Ag(I) from a Zn Concentrate in an S₂O₃²⁻-O₂ Medium. In Characterization of Minerals, Metals, and Materials; Springer: Cham, Switzerland, 2017; Vol. 146, pp. 567-575.

[15] Moreno Tovar, & Coreño Alonso, O. (2009). Neoformación en residuos mineros (jales) del distrito minero de Zimapán, estado de Hidalgo, México. Minería y Geología., 31.

[16] Benítez Negrón, D., Oliveira, J., & Plasencia, D. (s.f.). Caracterización Mineralógica de sulfosales de plomo. 12.

[17] Biagioni, C., Moëlo, Y., Perchiazzi, N., Demitri, N., Orazio-Lepore, G., 2018. Lead-Antimony Sulfosalts from Tuscany (Italy) XXIV Crystal Structure of Thallium-Bearing Chovanite, TIPb₂₆(Sb,As)₃₁S₇₂O, from the Monte Arsicc Mine, Apuan Alps. Minerals. 8, 11, 535.

[18] Kasatkin, A. V., Makovicky, E., Plášil, J., Škoda, R., Agakhanov, A.A., Karpenko, V. Y., Nestola, F., 2018. Tsygankoite, Mn₈Tl₈Hg₂(Sb₂₁Pb₂₁)Σ₂₄S₄₈, a New Sulfosalt from the Vorontsovskoe Gold Deposit, Northern Urals, Russia. Minerals. 8, 5, 218.

[19] Hedley, N. and H. Tabachnick (1968). Chemistry of Cyanidation. Mineral Dressing Notes. New Jersey. pp: 1 - 54.

[20] Baláž, P., Achimovičová, M., 2006. Selective leaching of antimony and arsenic from mechanically activated tetrahedrite, jamesonite and enargite. International Journal of Mineral Processing. 81, 1, 44-50.

[21] Teja-Ruiz, A. M., Juárez, J. C., Reyes, I. A., Hernández-Cruz, L.E., Reyes, M., Patiño, F., Flores, M. U., 2017. Kinetic Study of Ag Leaching from Arsenic Sulfosalts in the S₂O₃²⁻-O₂-NaOH System. Metals. 7, 411, 1-12.

[22] Hulburt, C., 1964. Manual de mineralogía de DANA, 4a ed. Reverte, Barcelona, España. ISBN: 978-84-291-4607-3.

Haga clic o pulse aquí para escribir texto.