

Caracterización de Jales Mineros y Evaluación de su Peligrosidad con Base en su Potencial de Lixiviación

Investigación

Alejandro Medel Reyes¹, Samanta Ramos Gomez², Francisco Javier Avelar González², Luis Arturo Godínez Mora Tovar¹, Francisco Rodríguez Valadez^{1*}

1 Subdirección de Investigación, Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, S. C., Parque Tecnológico Querétaro-Sanfandila, C. P. 76730, Pedro Escobedo, Querétaro. Tel. (442) 2116072,

Fax. (442) 2116001, *e-mail: frodriguez@cideteq.mx

2 Departamento de Fisiología y Toxicología, Centro de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Av. Universidad No 940 CP 20100, Aguascalientes, Ags.

Resumen

Se realizó una caracterización de un jal histórico y uno reciente obtenidos en el distrito minero de Guanajuato. Los análisis por ICP y AAS mostraron cantidades importantes de metales presentes en el siguiente orden de concentración: 12,185 mg/kg de Fe, 509 mg/kg de Mn, 53 mg/kg de Zn, 20 mg/kg de Pb y 8 mg/Kg de Cr en el jal reciente y 11,676 mg/kg de Fe, 862 mg/kg de Mn, 53 mg/kg de Zn, 17 mg/kg de Pb y 12 mg/Kg de Cr en el jal histórico. Los análisis mineralógicos mostraron que los jales están constituidos mayoritariamente por cuarzo, calcita, covelita y, en menor proporción magnetita, hierro y zinc; además, muestran una ausencia total de materia orgánica y valores de pH que van de neutros a alcalinos. Las pruebas de lixiviación indican que ninguno de los metales presentes puede lixiviar en porcentajes mayores al 0.4% por lo que no representan un riesgo ambiental en base a este criterio. La estabilidad de los metales presentes en las muestra está relacionada con la naturaleza química de las muestras que les hace que sean poco lixiviables.

Palabras clave

Jales mineros, lixiviación, metales.

Abstract

In this study we carried out a characterization of recent and historical tailings of Guanajuato Mining District. The analysis by ICP and AAS showed significant amounts in the following order of concentration: 12, 185 mg/kg Fe, 509 mg/kg Mn, 53 mg/kg Zn, 20 mg/kg Pb y 8 mg/Kg de Cr in recent tailing and 11,676 mg/kg de Fe, 862 mg/kg de Mn, 53 mg/kg de Zn, 17 mg/kg de Pb y 12 mg/Kg de Cr in the historical tailing. The mineralogical analysis showed that the tailings contains quartz, calcite, covelita and to

a lesser proportion magnetite, iron and zinc. The analysis of organic matter revealed the total absence of organic matter in samples and the values of pH are in a range from neutral to alkaline. The leaching tests indicate that the metals can not be leached in percentages higher than 0.4% and therefore do not represent an environmental risk based on this criteria.

Keywords

Tailings, leaching, heavy metals

Introducción

El distrito minero de Guanajuato se localiza en la ciudad del mismo nombre, a 475 kilómetros de la ciudad de México. Es considerado uno de los más grandes del mundo, con una longitud de aproximadamente 20 km, un ancho promedio de 16 km y cubre un área de 320 km². Los residuos mineros, conocidos también como *colas* (tailings), relaves o jales mineros, son el producto de la trituración y molienda del mineral una vez que se han recuperado los metales comerciales mediante procesos físicos y químicos [1]. La composición de estos jales mineros puede ser muy diversa en su naturaleza tanto química como mineralógica [2].

Se han llevado a cabo estudios encaminados a la identificación de depósitos de residuos mineros conocidos como presas de jales con el fin de identificar el potencial de riesgo ambiental en este distrito, en el cual la problemática de los residuos es muy compleja debido a las características geológicas y la historia de extracción. Se han identificado 31 depósitos de jales, los cuales ocupan un área de 81.9 hectáreas y representan 40.3 millones de toneladas. Existen 11 depósitos de jales de cianuración construidos entre 1905 y 1946, de los cuales cuatro están fuertemente erosionados. Hay 20 presas de jales

de flotación “bulk”, cuyos depósitos presentan diferente textura [3].

Los elementos presentes en los jales que pueden ocasionar problemas por su alta toxicidad son el arsénico, cadmio, cobre, plomo, mercurio, cromo, selenio y zinc [4]. Algunos otros como el Fe y el Mn aunque representan riesgo menor, se considera que podrían tener efectos adversos a la salud [2].

Estos Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT) que pueden estar presentes en presas de jales mineros, representan un riesgo ambiental por la posibilidad de lixiviación e incorporación a cuerpos de agua, así como la movilización a otros ecosistemas por dispersión eólica o hídrica. El objetivo de éste trabajo es evaluar la lixiviación de los metales presentes en los jales, simulando condiciones ambientales que pudieran movilizar los EPT.

Materiales y métodos

En el presente estudio se tomaron muestras de dos sitios: una presa de jal en operación y otra fuera de operación, nombrados respectivamente como jales recientes y jales históricos. Las diferencias mostradas en los resultados obtenidos pueden ofrecer indicios del efecto de los factores ambientales sobre la variación en las propiedades de sitios evaluados.

Las muestras fueron caracterizadas química y mineralógicamente para la identificación de EPT y minerales de tipo sulfuro como piritita (FeS_2), galena (PbS), calcopirita ($CuFeS_2$) y esfalerita (ZnS) a los cuales se asocia el Drenaje Acido de Mina (DAM), que es uno de los principales problemas de impacto ambiental que enfrenta la industria minera, que consiste en efluentes ácidos con altas concentraciones de metales en solución con potencial de lixiviación.

De manera inicial se identificaron los metales presentes mediante microscopio electrónico de barrido con análisis por dispersión de energía de rayos X (SEM-EDX). Posteriormente se realizó un análisis de elementos metálicos presentes utilizando un Espectrofotómetro de Emisión Atómica con Acoplamiento Inductivo (ICP), modelo Optima 3300 DV Perkin Elmer aplicando el método EPA 6010B [5]. La digestión de la muestra se realizó utilizando el método EPA SW 846-3051, y una unidad de microondas especial para laboratorio (Mars X Cem) [6].

Se realizaron pruebas de lixiviación de metales utilizando la metodología propuesta por Cruz y col. [7]. Para ello se utilizaron embudos Buchner de 10 cm de diámetro, previamente tapados por la parte de abajo y colocando un papel filtro Whatman No 90 sobre la superficie del embudo. Se agregaron 30 gr de la muestra de jal y 100 ml de agua meteórica simulada pH 5.5, que simulan condiciones naturales de lluvia

ácida. Las muestras se dejan en contacto por tres horas y luego se vacían para determinar la concentración de metales en el lixiviado.

Resultados y discusión

Las pruebas de SEM – EDX muestran que los elementos encontrados en mayor proporción fueron Si, Mn, Fe, Zn y Cu. (Figuras 1 y 2). Posteriormente los resultados fueron confirmados por ICP para determinar la concentración total y la estimación de la contaminación actual por EPT en las presas de jales evaluadas.

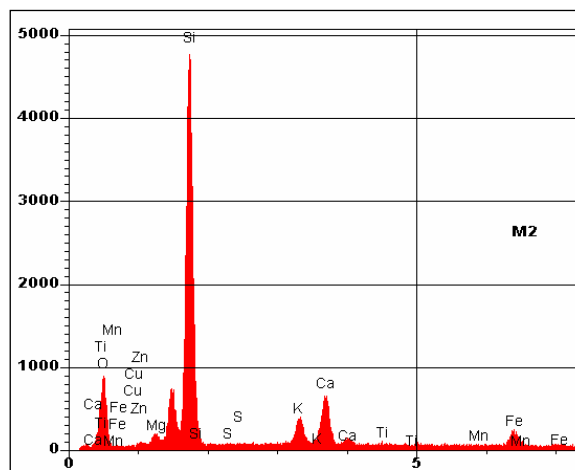


Figura 1. Espectro obtenido por EDX para jales recientes.

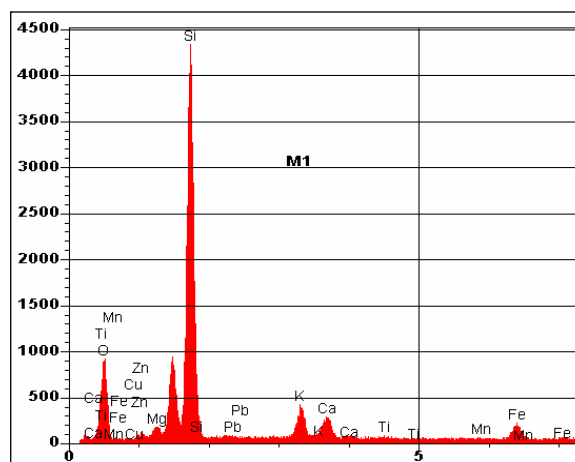


Figura 2. Espectro obtenido por EDX para jales históricos.

Los resultados de las determinaciones totales de metales presentes en las muestras analizadas (Tabla 1) indican que los sitios evaluados contienen EPT, lo cual muestra, el grado de contaminación en los sitios de estudio.

Muestra	Indicador	Concentración de metales (mg/kg)				
		Fe	Zn	Mn	Pb	Cr
Jal reciente	Total	12,185	53	509	20	8
	Lixiviable	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0
	Lixiviable (%)	0,0	0,0	0,1	0,0	0,4
Jal histórico	Total	11,676	53	862	17	12
	Lixiviable	1,2	0,0	0,3	0,0	0,0
	Lixiviable (%)	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0

Tabla 1. Concentraciones de metales en los jales y en los lixiviados.

Elementos como Cd y As permanecieron por debajo del límite de detección en ambas muestras.

La comparación de los datos indica que no hay diferencia importante en cuanto a la cantidad de metales que contienen los jales recientes e históricos, lo que nos da una primera evidencia de que los metales presentes son muy estables y se lixivian muy poco por efecto de la lluvia y factores ambientales.

Las pruebas de lixiviación realizadas en celdas húmedas indican concentraciones muy pequeñas de los metales obtenidas en los lixiviados (Tabla 1), ya que el valor máximo fue de 1.2 mg/kg para el caso del Fe. Al calcular los porcentajes de lixiviación, se observa que en ninguno de los casos se tiene un valor mayor al 0.4 %, lo que indica que los metales presentes en los jales son muy poco lixiviables en las condiciones utilizadas (agua meteórica simulada pH 5.5) que simula condiciones naturales de lluvia ácida. En este sentido, se puede establecer que los metales presentes en las muestras de jal no representan un riesgo ambiental importante considerando como criterio la posibilidad de lixiviación.

El análisis mineralógico de las muestras de jal mostró que los jales están constituidos mayoritariamente por cuarzo (SiO₂), calcita (CaCO₃), covelita (CuS), sulfuro cuproso (CuS₂) y, en menor proporción, magnetita, hierro y zinc Fe₃Zn₁₀ (Figuras 3 y 4). Los análisis de contenido de materia orgánica revelaron la ausencia total de materia orgánica en las muestras analizadas y los valores de pH determinados van de neutros a alcalinos. La baja presencia de metales en los lixiviados obtenidos en las pruebas de celdas húmedas puede atribuirse a una combinación de factores relacionados con la naturaleza química de las muestras.

Esto puede explicarse por el pH de las muestras, ya que los metales son menos solubles a pH alcalino, como es el caso de las muestras de jales utilizadas; además, la presencia de la calcita, y la ausencia de lixiviación de los metales, indica que hay una cantidad importante de carbonatos que pueden contrarrestar cualquier posibilidad de generación de drenaje ácido causada por la oxidación de los minerales sulfurosos como covelita, la cuál fue identificada en las dos muestras, por lo que no se

espera la formación de DAM que pudiera solubilizar los metales.

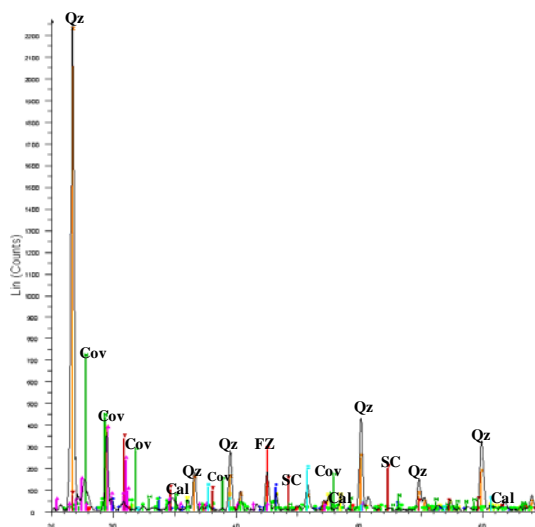


Figura 3. Espectro de Difracción de Rayos X de jales Recientes. Se observa minerales de Cuarzo (Qz), Covelita (Cov), Sulfuro cuproso (SC), Calcita (Cal) y Fierro-Zn (FZ).

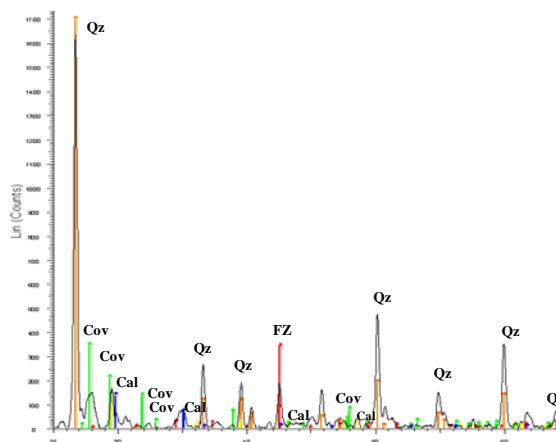


Figura 4. Espectro de Difracción de Rayos X de jales históricos. Se observa minerales de Cuarzo (Qz), Covelita (Cov), Sulfuro cuproso (SC), Calcita (Cal) y Fierro-Zn (FZ).

Se conoce que los metales pueden estar en los jales asociados a diferentes fracciones, las cuales permiten liberar de manera gradual los metales presentes en función de su capacidad de movilización. Las fracciones enlace a las que comúnmente se pueden unir son: intercambiable, unidos a carbonatos, unidos a óxidos, unidos a sulfuros y a una fracción residual; la

fracciones que representan la mayor posibilidad de lixiviación son las que corresponden a metales intercambiables y unidos a carbonatos. Ésta última generalmente afectada por las variaciones de pH en el medio [8]. La mineralogía de las muestras de jales que se analizaron (Figuras 3 y 4) indican la presencia de calcita (CaCO_3) y cuarzo (SiO_2) lo que permite inferir que los metales presentes en estas muestras pudieran estar asociados preferentemente a la fracción unida a carbonatos y a la fracción residual (asociada con el SiO_2), en las cuales los metales presentes se consideran muy estables por la fuerte interacción que tienen con los materiales.

Conclusiones

Se realizaron pruebas de lixiviación de dos muestras de jales mineros del Distrito de Guanajuato, encontrándose cantidades importantes de Fe, Mn, Zn, Pb y Cr. Sin embargo, las pruebas en celdas húmedas indican que no se puede lixiviar más del 0.4% de los metales presentes en el jal utilizando agua que simula condiciones de lluvia ácida. De acuerdo a lo anterior, los jales mineros de donde se extrajeron estas muestras no representan riesgo ambiental importante considerando solamente el fenómeno de lixiviación de los metales. La baja lixiviación de los metales se relaciona con la naturaleza de las muestras ya que presentan un pH alcalino, existen condiciones que previene la formación de DAM y la presencia de cuarzo y calcita pueden indicar que los metales pueden estar asociados a estas fracciones que son sumamente estables.

Referencias

- [1] Aurora M., Villaseñor G., y Romero F. (2005). Propuesta de estrategia metodológica para la evaluación de la peligrosidad de jales mineros en México. *AIMMGM XXVI Convención Internacional de Minería*. 12-15
- [2] Tania Volke Sepúlveda, Juan A. Velasco Trejo y David A. de la Rosa Pérez. (2005) *Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación*. Primera Ed., México.

- [3] Ramos Y., Siebe C. (2006). Estrategia para identificar jales con potencial de riesgo ambiental en un distrito minero: estudio de caso en el distrito minero de Guanajuato, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 23, núm. (1). 54-74
- [4] Ramos Y., y col (2004). Características geológicas y mineralógicas e historia de extracción del Distrito de Guanajuato, México. Posibles escenarios geoquímicos para los residuos mineros. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 21, núm. (2) 268-284.
- [5] United States Environmental Protection Agency, (1996), Method 6010 B: Inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry.
- [6] United States Environmental Protection Agency, (1994), Method 3051: Microwave Assisted Acid Digestion, in SW 846 test method for evaluating solid waste.
- [7] Roel Cruz, Blanca A. Mendez, Marcos Monroy, Ignacio González, (2001). Cyclic Voltammetry applied to evaluate reactivity in sulfide mining residues. *Applied Geochemistry* 16, 1631-1640.
- [8] Tessier A., 1979 Sequential Extraction Procedure for the Speciation of Particulate Trace Metals. *Analytical*, Vol. 51, No. 7

Agradecimientos

Los autores desean agradecer el apoyo del CONCyTEG (Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología del Estado de Guanajuato) por el apoyo proporcionado mediante el proyecto GTO-2005-C04-18583.

Alejandro Medel agradece a CONACYT por la beca otorgada para estudios de Maestría y Samanta Ramos por la beca de Doctorado.

Se agradece el apoyo del M.C Federico Manríquez por el apoyo para la realización de los difractogramas y a la Q.F.B. Guadalupe Olvera por los análisis realizados.

Artículo recibido: 22 de mayo de 2008

Aceptado para publicación: 27 de junio de 2008