

ESTABILIZACIÓN DE METALES PESADOS PRESENTES EN JALES PROVENIENTES DE LA ACTIVIDAD MINERA: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Priscila Alvarado Mata, Ignacio Villanueva Fierro, Nidya Rodríguez Rodríguez, José Rafael Irigoyen Campuzano, Alejandro Fabián Orona Meza

Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, del Instituto Politécnico Nacional, Sigma 119, Fraccionamiento 20 de noviembre II, Durango, Durango, México 34220
Correo electrónico: priscilalvarado@live.com.mx

RESUMEN

Esta revisión describe de manera general en qué consiste la estabilización de los metales pesados presentes en los jales mineros y por qué es importante estabilizarlos. Se presenta una descripción breve de estudios realizados en los que se prueban diferentes materiales y concentraciones de los mismos para determinar cuáles son mejores para estabilizar los metales. En algunos casos, los jales pueden ser reciclados, incorporándolos como sustitutos de material granulado en la elaboración de concreto.

PALABRAS CLAVE: Estabilización de suelos, jales, metales pesados

ABSTRACT

This review describes in general terms what the stabilization of heavy metals in mine tailings is and why it is important. A brief description of studies, showing the use of different materials at different concentrations in order to select the best conditions to stabilize the metals, is present. In some cases, the tailings may be recycled as a substitute of granular material in the concrete manufacture.

KEY WORDS: Soil stabilization, tailings, heavy metals

INTRODUCCIÓN

La industria minera es una de las más antiguas y rentables que existen. En el caso de México, de acuerdo al informe de la Cámara Minera de México (Cámara Minera de México, 2013), la minería generó en el año 2012 divisas por un total de 22 mil 511 millones de dólares y ocupó el cuarto lugar en el sector industrial en cuanto a divisas se refiere, por lo cual se confirma la tendencia de crecimiento que se observa desde 2011. Actualmente, la industria minero-metalúrgica aporta el 10% del Producto Interno Bruto Industrial y el 3% del nacional y genera 18 mil 833 nuevos empleos dando un total de 328 mil 555 empleos directos; junto con los indirectos la industria minera da trabajo a dos millones de personas (Cámara Minera de México, 2013). En la capacidad de generar empleos radica, en parte, la importancia de la minería en el país.

Para extraer el mineral se lleva a cabo un proceso llamado "cianuración", su nombre se debe a la utilización de cianuro de sodio (NaCN). Una vez que el material rocoso que contiene el mineral ha sido triturado hasta quedar en finas partículas, pasa a unos estanques en donde se le adiciona cianuro de sodio diluido en agua a una concentración de 100 a 500 mg/L (Logsdon, *et al.*, 1999). El oxígeno presente en el aire funciona como oxidante y el ion CN^- se une al ion del metal para formar un complejo (agente complejante). Así, la plata se disuelve fácilmente en una solución acuosa diluida de NaCN (Habashi, 1967). Una vez que las partículas del metal son separadas de los demás materiales con los que se encuentra, éstas son tomadas mediante un proceso llamado flotación, y los residuos del proceso son desechados. A estos desechos se les llama jales, los cuales son los residuos de granulometría fina del proceso de separación de los metales de los demás materiales con los que se encuentran (Romero *et al.*, 2008).

Estos jales contienen sulfuros metálicos residuales como pirita (FeS_2), pirrotita ($Fe_{1-x}S$), galena (PbS), esfalerita (ZnS), calcopirita ($CuFeS_2$) y arsenopirita ($FeAsS$), que son la fuente de elementos potencialmente tóxicos (EPT) como el As, Cd, Pb, Cu, Zn, Fe, etc., que son metales pesados (Romero *et al.*, 2008).

Los metales pesados se encuentran de manera natural en el suelo, forman parte de su composición en fase sólida, y permiten que se lleven a cabo la formación de complejos solubles, reacciones de óxido-reducción, adsorción y precipitación-disolución. En condiciones normales estos metales no representan un problema para el ambiente y la salud humana, ya que geológicamente los metales potencialmente tóxicos se encuentran fijados al suelo en formas químicas muy insolubles, por lo que no están fácilmente disponibles (Zúñiga, 1999). Pero una vez fuera del proceso es posible que se oxiden y al entrar en contacto con agua, generen drenaje ácido con un alto contenido de metales pesados, además de que pueden ser arrastrados por el viento debido a la erosión eólica (Romero y Ruíz, 2010).

En México, existe normatividad respecto al manejo de los jales mineros y a la operación y construcción de las presas de jales. Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM's), como la NOM-157-SEMARNAT-2009, establece los elementos y procedimientos para instrumentar planes de manejo de residuos mineros y la NOM-141-SEMARNAT-2003, establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y postoperación de presas de jales.

Esta normatividad está enfocada principalmente a la disposición de los jales en un sitio establecido, ya que son altamente contaminantes si se vierten directamente sobre el suelo o el agua (Méndez y Armienta, 2012).

El objetivo de este trabajo fue describir el proceso de estabilización de los jales mineros y presentar algunas de las propuestas para su manejo.

MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN

El tratamiento de los jales puede realizarse a través de métodos físicos, químicos y/o biológicos. Los metales pesados se pueden dejar en el sitio y tratar de manera que se reduzca o elimine su capacidad de afectar la salud humana y el ambiente. Al estabilizar los jales los metales pesados forman compuestos menos tóxicos y altamente insolubles por lo cual dejan de estar disponibles para los seres vivos. Aunque permanecen en el sitio, la manera en la que se encuentran es mucho menos tóxica (Valles y Alarcón, 2008).

Los metales y el cianuro presentes en los jales pueden estabilizarse mediante la utilización de polímeros inorgánicos, macromoléculas que no poseen átomos de carbono en su cadena principal. Son los principales componentes del suelo, y se utilizan ampliamente como abrasivos y materiales de corte (Rodríguez *et al.*, 2009). Así, las arenas, gravas y los derivados de estas son polímeros inorgánicos, los cuales son utilizados como una manera de estabilizar metales presentes en suelos.

La estabilización de suelos es un método altamente eficiente en el tratamiento de sitios contaminados con metales tóxicos, en el cual se transforman los suelos, y en este caso los jales mineros, en materiales estables de muy baja lixiviación (Zhou *et al.*, 2006).

Mediante la estabilización se puede obstaculizar la propagación de contaminantes en el suelo disminuyendo la lixiviación de los mismos y su biodisponibilidad, mediante la inducción de diversos procesos, que pueden ser: la adsorción a las superficies minerales, la formación de complejos estables con subproductos orgánicos y una superficie de intercambio iónico (Choi *et al.*, 2009).

Los materiales usados para la estabilización de suelos contaminados encapsulan los contaminantes y los vuelven insolubles en un entorno de pH estable. Además de la encapsulación física, estos materiales propician la estabilización química, principalmente al romper los enlaces en los metales lo cual reduce aún más su potencial contaminante y tóxico (Voglar y Leštan, 2011).

Una de las técnicas más utilizadas para la estabilización de metales pesados es la utilización de cemento. En un experimento realizado por Janusa *et al.* (2000) se agregó bagazo (subproducto de la caña de azúcar) como aditivo a la mezcla de residuos y cemento para estabilizar Plomo (Pb). Los resultados arrojaron que este aditivo mejoró considerablemente la eficiencia en la estabilización de este metal; que al añadir agentes estabilizadores nuevos, económicamente viables se obtienen mejores resultados; que los metales pesados se enlazan correctamente en sustratos insolubles; y que los subproductos orgánicos favorecen la disociación y estabilidad de los metales pesados, aunque se expongan a medios ácidos (Janusa *et al.*, 2000).

En ese mismo contexto de adición de componentes orgánicos al cemento para estabilizar metales, Yin *et al.* (2006) realizaron un experimento agregando ceniza de cáscara de arroz a la mezcla, obteniendo resultados similares a los de Janusa *et al.* (2000), ya que al agregar la cáscara de arroz, la estabilización del plomo mejoró así como también las características del material resultante.

Choi *et al.* (2009) realizaron un experimento para determinar la cantidad óptima de cemento necesaria para la estabilización de Arsénico (As) y Plomo (Pb) presentes en jales de una mina abandonada. Realizaron pruebas de compresión, lixiviación y toxicidad, teniendo como resultado que un 5% de cemento bastó para estabilizar estos compuestos.

Dermatas y Meng (2003) utilizaron cenizas volantes junto con Cal (CaO) para estabilizar Plomo (Pb) y Cromo (Cr), y observaron que al añadir la ceniza y la cal a los suelos contaminados se redujo la lixiviación de los metales pesados, además de que se mejoró la calidad de los suelos contaminados, pudiendo ser reutilizados.

Bertocchi *et al.* (2006) también realizaron un experimento utilizando cenizas para estabilizar metales pesados de los jales mineros, y contrastaron con barro rojo para probar cuál de los dos agregados era más eficiente. Los resultados obtenidos fueron que los dos materiales son buenos para estabilizar los metales pesados, solamente que reaccionan diferente al pH, las cenizas trabajan mejor a pH alto mientras que el barro rojo es más eficiente a medida que el pH disminuye. Concluyen que el barro rojo es mejor.

Otros trabajos han demostrado como el uso de cemento es una opción sumamente viable para la estabilización de los metales pesados presentes en los jales, pudiendo adicionar además otros productos industriales orgánicos y/o inorgánicos (Voglar y Leštan, 2010; Voglar y Leštan, 2011; Misra *et al.* 1996; Jang y Kim, 2000; Ciccu *et al.* 2003).

Cabe resaltar el trabajo de Choi *et al.* (2009), en el cual reutilizaron los jales provenientes de una mina de tungsteno (W), incorporándolos a la producción de concreto. Esos autores informaron que utilizando los volúmenes adecuados de jales se puede producir concreto con propiedades aceptables.

Los estudios realizados por los diferentes autores aquí citados se basan en la búsqueda de materiales que estabilicen los metales pesados presentes en los jales mineros, como una alternativa de reciclaje en lugar de sólo dejarlos en las presas de jales. La mayoría de los autores buscan principalmente materiales que estabilicen los metales pesados; sin embargo, otros pretenden utilizar los jales como sustitutos agregados en la fabricación de algunos tipos de concreto, esto es, con el fin de darles un uso.

CONSIDERACIONES FINALES

La estabilización de los metales pesados presentes en los jales de mina utilizando materiales provenientes de la industria, principalmente el cemento, ha demostrado ser una excelente alternativa para el reciclaje de los jales. En lugar de sólo depositarlos en las presas de jales, se busca darles un uso mediante la fabricación de materiales como el concreto y se ha probado que estos materiales cumplen con los requerimientos normativos en cuanto a resistencia y toxicidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bertocchi A. F., M. Ghiani, R. Peretti, A. Zucca. 2006. Red mud and fly ash for remediation of mine sites contaminated with As, Cd, Cu, Pb and Zn. *Journal of Hazardous Materials B* 134: 112-119.
- Cámara Minera de México. 2013. Informe Anual 2013. Letra Impresa GH. México.
- Choi, W. H., S. R. Lee, J. Y. Park. 2009. Cement based solidification/stabilization of arsenic-contaminated mine tailings. *Waste Management* 29: 1766-1771.
- Ciccu, R., M. Ghiani, A. Serici, S. Fadda, R. Peretti, A. Zucca. 2003. Heavy metal immobilization in the mining-contaminated soils using various industrial wastes. *Minerals Engineering* 16: 187-192.
- Dermatas, D., X. Meng. 2003. Utilization of fly ash for stabilization/solidification of heavy metal contaminated soils. *Engineering Geology* 70: 377-394.
- Habashi, F. 1967. Kinetics and mechanism of gold and silver dissolution. *Montana College of Mineral Science and Technology. Bulletin* 59. USA.
- Jang, A., S. Kim. 2000. Solidification and stabilization of Pb, Zn, Cd and Cu in tailing wastes using cement and fly ash. *Minerals Engineering* 13: 1659-1662.
- Janusa, M. A., C. A. Champagne, J. C. Fanguy, G. E. Heard, P. L. Laine, A. A. Landry. 2000. Solidification/stabilization of lead with the aid of bagasse as an additive to Portland cement. *Microchemical Journal* 65: 255-259.
- Logsdon, M. J., K. Hagelstein, T. I. Mudder. 1999. *The Management of Cyanide in Gold Extraction. The International Council on Metals and the Environment.* Ontario.
- Méndez, M., M. A. Armienta. 2012. Distribución de Fe, Zn, Pb, Cu, Cd y As originada por residuos mineros y aguas residuales en un transecto del Río Taxco en Guerrero, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 29: 450-462.
- Misra, M., K. Yang, R. K. Metha. 1996. Application of fly ash in the agglomeration of reactive mine tailings. *Journal of Hazardous Materials* 51: 181-192.
- NOM-157-SEMARNAT-2009, Que establece los elementos y procedimientos para instrumentar planes de manejo de residuos mineros.
- NOM-141-SEMARNAT-2003, Que establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y postoperación de presas de jales.
- Rodríguez, E., R. Mejía, S. Bernal, M. Gordillo. 2009. Síntesis y caracterización de polímeros inorgánicos obtenidos a partir de la activación alcalina de un metacaolín de elevada pureza. *Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales* S1: 595-600.
- Romero, F. M., M. A. Armienta, M. E. Gutiérrez, G. Villaseñor. 2008. Factores geológicos y climáticos que determinan la peligrosidad y el impacto ambiental de jales mineros. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 24: 43-54.
- Romero, F. M., M. G. Ruíz. 2010. Estudio comparativo de la peligrosidad de jales en dos zonas mineras localizadas en el sur y centro de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 62: 43-53.
- Valles, C., T. Alarcón. 2008. Estabilización química de suelos contaminados con metales pesados. I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Chihuahua, Chihuahua, México.
- Voglar, G. E., D. Leštan. 2010. Solidification/stabilisation of metals contaminated industrial soil from former Zn smelter in Celje, Slovenia, using cement as a hydraulic binder. *Journal of Hazardous Materials* 178: 926-933.
- Voglar, G. E., D. Leštan. 2011. Efficiency modeling of solidification/stabilization of multi-metal contaminated industrial soil using cement and additives. *Journal of Hazardous Materials* 192: 753-762.
- Yin, C. Y., H. B. Mahmud, M. G. Shaaban. 2006. Stabilization/solidification of lead-contaminated soil using cement and rice husk ash. *Journal of Hazardous Materials* 137: 1758-1764.
- Zhou, Q., N. B. Milestone, M. Hayes. 2006. An alternative to Portland cement for waste. *Journal of Hazardous Materials* 136: 120-129.
- Zúñiga, F. B. 1999. *Introducción al Estudio de la Contaminación del Suelo por Metales Pesados.* Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida.