

Análisis del Riesgo Ambiental en un Relave Minero mediante Código RAC como Índice de removilización Potencial por Elementos Potencialmente Tóxicos.

Environmental Risk Analysis in a Mining Relave Using RAC Code, as a potential remobilization Index by Potentially Toxic Elements.

Resumen

Los relaves mineros se caracterizan por tener altas concentraciones de elementos potencialmente tóxicos (EPTs). La peligrosidad de estos materiales depende principalmente de las concentraciones de EPTs que se pueden liberar al medio ambiente (metal disponible), ocasionando impactos ambientales. El objetivo de este estudio fue establecer el riesgo ambiental relativo asociado con los EPTs de relaves minero ilegales en algunas localidades en el municipio de Buriticá (Antioquia). La metodología consistió en: (i) medición de las concentraciones totales de Hg, Zn, Cu, As, Pb, Cr y Cd en el relave y (ii) determinación del riesgo ambiental a través del índice de riesgo (RAC). Los resultados permiten



Autores:

Juan Pablo Salazar Giraldo
Geólogo Ph D Ingeniería
Julián Esteban López
Ing. Ambiental MsC.

concluir que el impacto de la contaminación por EPTs procedentes de los relaves mineros no puede estimarse únicamente a partir de las concentraciones totales, sino considerando entre otros análisis, el potencial de removilización hacia el ambiente de los metales, para evaluar el posible riesgo ambiental.



FOTO: PIXABAY.COM



Palabras Claves: minería, contaminación, disponibilidad, metales pesados, remobilización, riesgo.

Abstract: Mining tailings are characterized by high concentrations of potentially toxic elements (PTE's). The hazard of these materials depends mainly on the concentrations of PTE's that can be released into the environment (available metal), causing environmental impacts. The objective of this study was to establish the relative environmental risk associated with PTE's in an abandoned mining tailing (environmental liability) in the municipality of Buriticá (Antioquia). The methodology consisted of: (i) measurement of total concentrations of Hg, Zn, Cu, As, Pb, Cr and, Cd in the tailing and (ii) environmental risk determination through the Risk Assessment Code (RAC). The results indicate that the impact of PTE's contamination from mining tailings cannot be estimated solely from total concentrations, but considering, among other analyses, the potential for remobilization towards the metals environment, to assess potential environmental risk.

Key Words: mining, pollution, availability, heavy metals, remobilization, risk.

Introducción

La minería aurífera representa una de las principales actividades económicas y actualmente es un motor de desarrollo para la población de diferentes regiones de Colombia (Arias et al., 2018). El departamento de Antioquia (noroeste de Colombia) representa el 40% de la producción minera de oro de Colombia (Betancur-Corredor et al., 2018) y se estima que hay entre 15.000 y 30.000 mineros artesanales de oro (García et al., 2015). A pesar de ser una actividad

económica importante, se ha demostrado la significancia de los impactos y riesgos ambientales se presentan en todas las fases del ciclo minero, al no ser tomadas las medidas de manejo ambiental respectivas, cumpliendo la normatividad existente en el país. En el caso de los relaves o colas de minas (mezcla de materiales heterogéneos conformados por minerales como mena y ganga, cenizas, productos químicos de procesamiento del agua) la presencia de concentraciones de elementos potencialmente tóxicos (EPTs) como As, Cd, Cr, Co, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb y Zn, representan un riesgo para la salud de las poblaciones aledañas y los ecosistemas (Kossoff et al, 2014; Olivero-Verbel et al, 2015; Arias et al, 2018; Gutiérrez-Mosquera et al, 2018).

Los problemas asociados a la contaminación por EPTs derivados de los relaves, exige atención inmediata con el fin de mitigar los impactos ambientales (Chileshe et al., 2020). En este contexto es importante tener en cuenta que el riesgo ambiental de un relave no depende solamente de las concentraciones totales de EPTs, sino que depende también de aquellos elementos que presenten facilidad de liberación al ambiente (disponibilidad) ya que son los de mayor efecto tóxico (Rodríguez, 2011; Castillo, 2017; Loredó, 2016). Con el fin de evaluar riesgos de contaminación química por acumulación y liberación de EPTs se han establecido diversos índices para cuantificar el riesgo ambiental potencial generado por los relaves mineros asociados con su contenido metálico. Entre los más usados se encuentra el código de evaluación de riesgos (RAC), que se basa en fracciones geoquímicas de metal (disponibles vs no disponibles), reflejando el porcentaje de la concentración de metal que puede interactuar con un componente biológico

(biodisponibilidad), y es mejor indicador que la concentración total respecto a la toxicidad y el riesgo a la salud humana y al ecosistema (Zhuang et al., 2018).

Bajo el anterior contexto el objetivo de esta investigación fue evaluar el riesgo ambiental de contaminación de EPTs en un relave minero abandonado a partir de concentraciones totales y disponibles. Se plantean así los siguientes interrogantes: ¿Todos los EPTs en un relave generan el mismo riesgo de contaminación?, ¿A partir de qué criterios se puede calificar un relave como potencialmente peligroso? y ¿Puede evaluarse la peligrosidad o riesgo ambiental de un relave solo a partir de concentraciones totales de EPTs? Este artículo muestra una metodología basada en criterios de análisis químicos para resolver parte de las preguntas planteadas.

Metodología

La metodología de análisis ambiental para relaves que se presentan a continuación puede ser aplicada por parte de autoridades ambientales, empresas mineras y entidades académicas con el fin de gestionar residuos como relaves mineros.

Muestreo y concentración de EPTs

La muestra de relave minero fue obtenida de zonas de explotación ilegal en el municipio de Buriticá, Antioquia, más exactamente de entables abandonados y activos de las veredas: Llano Grande, Carauquia, Untí, La Palma, Bubará, Corregimiento el Naranjo (cabecera), corregimiento Tabacal (cabecera), Higabrá, Altos del Obispo, Murrapal, Los Asientos, Los Arados, localizados al norte, noreste y suroeste del casco urbano (Coambiental, 2017). Para cada

localidad la toma de las submuestras (mínimo 12) siguió un esquema sistémico de rejilla rectangular con punto al centro, a profundidades máximo de 50 cm. Finalmente se mezclaron las submuestras por localidad basadas en el mismo peso para obtener la muestra más representativa de la región usada en el análisis experimental. La muestra compuesta de relave se secó al aire, se homogenizó y luego fue tamizada. Se pesó 1 g de muestra (por duplicado) y se sometieron a digestión ácida (HNO_3 : HCl 1:3) en microondas Ethos One Milestone. Los digestatos se filtraron ($0,45 \mu\text{m}$) y posteriormente los filtrados se utilizaron para la determinación de Hg, Zn, Cu, As, Pb, Cr y Cd mediante espectrometría óptica inductivamente acoplada (ICP-OES) utilizando un equipo Agilent Technologies 5100 ICP-OES en el Centro de Laboratorio de Servicios Tecnológicos del Centro La Salada.

Concentración de EPTs disponibles

La muestra del relave fue sometida a uno de los procesos de extracción de fases disponibles, empleando la primera etapa de la metodología estándar BCR (Salazar et al., 2013; Rosado et al., 2016), en este caso las fracciones: solubles en agua, coprecipitadas y asociadas a carbonatos se extraen mezclando 1 g de la muestra con 40 ml de ácido acético 0,11 M por 16 horas (BCR1). Una vez obtenido el extracto, estos se filtran ($0,45 \mu\text{m}$) y se leyeron por ICP-OES para la determinación de Hg, Zn, Cu, As, Pb, Cr y Cd.

Código de evaluación del riesgo (RAC)

El RAC es un indicador que compara fracciones del EPT disponible en relación con la concentración total de mismo EPT (Perin et al., 1985) (Ecuación 1).



(1)

$$RAC = ((EPT_{disponible}) / (EPT_{total})) \times 100\%$$

Donde, EPTdisponible: concentración (mg/kg) de elemento disponible mediante metodologías BCT y Tessier (Tabla 1) y EPTtotal: concentración (mg/ kg) de elemento total. Este código permite establecer el potencial de removilización de metales al relacionar disponibles y totales. De acuerdo a los valores del RAC se clasifica el nivel de riesgo (De removilización hacia el ambiente) en: $RAC \leq 1\%$, no presenta riesgo; $1\% < RAC \leq 10\%$, riesgo bajo; $10\% < RAC \leq 30\%$, riesgo moderado; $30\% < RAC \leq 50\%$, riesgo alto y $50\% < RAC$, riesgo muy alto.

Resultados

A partir del análisis ICP-OES de los metales en el relave mineros, se obtuvieron los siguientes resultados totales de EPT's (Tabla 1). El relave presentó en su orden las siguientes concentraciones $Zn > As > Cu > Pb > Hg > Cd > Cr$.

EPT	Zn	Cu	As	Cd	Hg	Pb	Cr
Totales	6069,3,4*	2765,4	3555,3	143,4	325,0	201,3	73,6
CV	1.5%	1.1%	2.6%	2.4%	0.0%	2.2%	6.9%

*n=2, cv = Coeficiente de variación

Tabla 1. Concentraciones totales de EPT's en el relave de Buriticá (mg/kg)

Después de obtener las concentraciones totales de los EPTs, se procedió a la extracción de las fracciones

disponibles, y luego de la lectura por ICP- OES se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 2).

EPT	Zn	Cu	As	Cd	Hg	Pb	Cr
Disponibles	750,4*	225,0	97,6	17,8	< LD	50,0	1,2

*n=2

Tabla 2. Concentraciones de los EPTs disponibles en el relave de Buriticá (mg/kg)

Nótese que no se obtuvo fracción disponible por el método BCR1 para Hg. En su orden se obtuvieron las siguientes concentraciones $Zn > Cu > As > Pb > Cd > Cr$.

Código de Valoración del Riesgo (RAC)

Los cálculos para cada EPT al relacionar la fracción disponible y la total arrojó los siguientes resultados (Figura 1), según los resultados presentados en la Tabla 2.

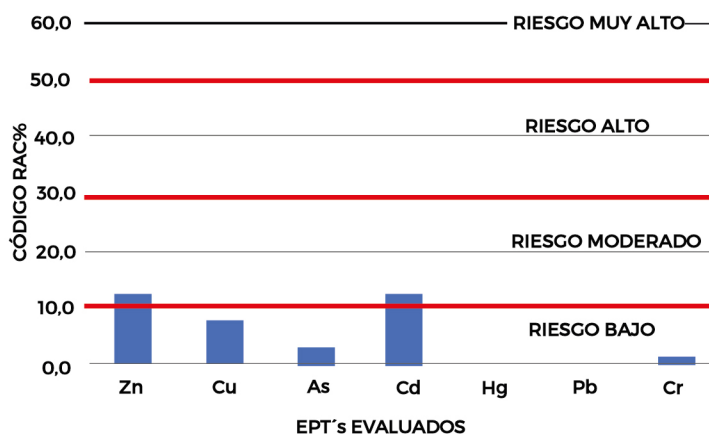


Figura 1. Valores del Código del Riesgo (RAC), considerando totales

De acuerdo a la anterior figura solamente el Zn y el Cd presentan riesgo moderado de ser liberados y removilizados de las fases sólidas del relave a fases acuosas. Elementos tales como Cu, As y Pb presentan riesgo muy bajo, y mínimo para el Cr. El Hg no reporta RAC dado que no fue posible obtener concentraciones disponibles con las soluciones extractantes usadas (Tabla 2).

Discusión

En general, los resultados resaltan la importancia de evaluar la peligrosidad de relaves mineros y el riesgo ambiental asociado a la contaminación por EPTs haciendo uso de indicadores que relacionen concentraciones totales y disponibles.

Respecto a las concentraciones totales se podría establecer que el Zn, As, Cu y Pb son los EPTs que podrían presentar mayor peligrosidad, sin embargo, la concentración de EPTs disponibles indican que elementos como Hg, As, Cd y Cu surgen como los más importantes para el relave analizado. Previamente se ha reportado que la concentración total de EPTs no representa el riesgo por contaminación a causa de estos elementos (Mendoza et al. 2017) y los resultados de este estudio soportan esta hipótesis.

El análisis del código RAC, indica en primer lugar la importancia del Zn y Cd como probables generadoras de riesgo, y de igual forma se pueden considerar importantes el Cu y el As. La importancia de evaluar el potencial de contaminación mediante el uso del código RAC es discutida por diversos autores, en donde es la base para valorar la disponibilidad (Elturk et al., 2019; Mngadi et al., 2020).

Agradecimientos

Al laboratorio de Servicios Tecnológicos del Centro de Recursos Naturales Renovables La Salada y al personal de SENNOVA.

Referencias

- [1] Arias, E.V.A., Rodríguez, P.A.R., Bardos, P., Naidu, R. (2018). Contaminated land in Colombia: A critical review of current status and future approach for the management of contaminated sites. *Sci. Total Environ.* 618, 199–209. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.245>
- [2] Betancur-Corredor, B., Loaiza-Usuga, J.C., Denich, M., Borgemeister, C. (2018). Gold mining as a potential driver of development in Colombia: Challenges and opportunities. *J. Clean. Prod.* 199, 538–553. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.142>
- [3] Castillo, R.J.J. (2017). El suelo y las causas de la Contaminación. *Revista Ruta Minera, Un Camino a la Minería Bien Hecha. GIMAB – Grupo de Investigación Minero Ambiental del Bagre – SENNOVA Sistema de Innovación, Investigación y Desarrollo Tecnológico. Servicio Nacional de Aprendizaje, SENA. Vol. 1, N. 1., ISSN 2590 – 2754.*
- [4] Chileshe, M.N., Syampungani, S., Festin, E.S., Tigabu M., Daneshvar A. and Odén P.C. (2020). Physico-chemical characteristics and heavy metal concentrations of copper mine wastes in Zambia: implications for pollution risk and restoration. *J. For. Res.* 31, 1283–1293. <https://doi.org/10.1007/s11676-019-00921-0>
- [5] El Turk, M., Abdullah, R., Rozainah, M.Z., Bakar, N.K.A. (2019). Heavy metal contamination in mangrove sediments in Klang estuary, Malaysia: Implication of risk assessment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Volume 226, 15, 106266. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106266>
- [6] García, O., Veiga, M.M., Cordy, P., Suescún, O.E., Molina, J.M., Roeser, M. (2015). Artisanal gold mining in Antioquia, Colombia: a successful case of mercury reduction. *J. Clean. Prod.* 90, 244–252. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.032>
- [7] Gutiérrez-Mosquera, H., Shruti, V.C., Jonathan, M.P., Roy, P.D., Rivera-Rivera, D.M. (2018). Metal concentrations in the beach sediments of Bahía Solano and Nuquí along the Pacific coast of Chocó, Colombia: A baseline study. *Mar. Pollut. Bull.* 135, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.060>
- [8] Kossoff, D., Dubbin, W.E., Edwards, S.J., Macklin, M.G., Hudson-Edwards, K.A. (2014). Mine tailings dams: characteristics, failure, environmental impacts, and remediation. *Appl Geochem* 51: 229–245. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2014.09.010>
- [9] Loredó, P.R. (2016). Aplicación de Métodos Espectroscópicos en la especiación de Arsénico en los procesos de Biodisponibilidad y fitoaccesibilidad en jales de Xichú. Tesis de Grado. Universidad de Guanajuato, Campus Guanajuato, División de Ciencias Naturales y Exactas, Posgrado en Química. Guanajuato – México, pp 1 – 110.
- [10] Mendoza, C.J., Garrido, R.T., Quilodrán, R.C., Segovia, C.M., Parada, A.J. (2017). Evaluation of the bioaccessible gastric and intestinal fractions of heavy metals in contaminated soils by means of a simple bioaccessibility extraction test. *Chemosphere* 176: 81–88. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.02.066>
- [11] Perin, G., Craboleda, L., Lucchese, M., Cirillo, R., Dotta, L., Zanetta, M.L., Oro, A.A. (1985). Heavy metal speciation in the sediments of northern Adriatic Sea. A new approach for environmental toxicity determination. In: Lakkas TD (ed) *Heavy metals in the environment*. CEP Consultants, Edinburgh.
- [12] Rodríguez, P.R.L. (2011). Geodisponibilidad y biodisponibilidad de metales en residuos mineros, aguas, suelos, sedimentos y peces. Evaluación y análisis de riesgo para el medioambiente. Zona de Calingasta. Provincia de San Juan. República de Argentina. Proyecto PNUD ARC/07/008: Evaluación detallada y diseño del plan de remediación de las escombreras derivadas de la actividad de extracción de sulfatos en Calingasta, Provincia de San Juan. Argentina. 87 pp. DOI: 10.13140/RC.2.2.11146.16321
- [13] Rosado, D., Usero, J., Morillo, J. (2016). Ability of 3 extraction methods (BCR, Tessie and protease K) to estimate bioavailable metals in sediments from Huelva estuary (Southwestern Spain). *Mar. Pollut. Bull.* 102, 65–71. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.11.057>
- [14] Salazar, G.J.P., De la Torre, M.C., Aguirre, R.N.J., Briones-Gallardo, R., Cedeño, C.J., Peñuela, M.C.A. (2013). Geochemical fractionation of manganese in the Riogrande II reservoir (Antioquia - Colombia). *Environ. Earth Sci.* 69, 197–208. <https://doi.org/10.1007/s12665-012-1947-x>
- [15] Zhuang, W., Wang, Q., Tang, L., Liu, J., Yue, W., Liu, Y., Zhou, F., Chen, Q., Wang, M. (2018). A new ecological risk assessment index for metal elements in sediments based on receptor model, speciation, and toxicity coefficient by taking the Nansihu Lake as an example. *Ecol. Indic.* 89, 725–737. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.02.033>