

## Estimación del potencial de generación de drenaje ácido de mina en el depósito de jales “El lavadero”, en San Felipe de Jesús, Sonora, México.

Francisco Javier Mora-Sánchez <sup>1,\*</sup>, Agustín Gómez-Álvarez <sup>1</sup>, Martín Antonio Encinas-Romero <sup>1</sup>, Arturo Israel Villalba-Atondo <sup>2</sup>, Jesús Leobardo Valenzuela-García <sup>1</sup>, Kareen Krizzan Encinas-Soto <sup>1</sup>, Guadalupe Dórame-Carreño <sup>1</sup> y Ana María Perez-Villalba <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México

<sup>2</sup> Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México

\* Autor de correspondencia: morasanchez.franciscojavier@gmail.com; Tel.: +526621959238

**Contaminación de agua, suelo y aire** (Monitoreo de contaminantes).

**Palabras clave:** Drenaje ácido de mina; metales potencialmente tóxicos; jales; contaminación

**Introducción.** Desde hace varios siglos de actividad minera en México, se han acumulado grandes cantidades de residuos denominados “jales” los cuales son capaces de contaminar el entorno (Franco-Farfán, 2019). Los jales pueden producir drenaje ácido de mina (DAM), el cual puede dispersarse, siendo capaz de lixiviar metales potencialmente tóxicos (MPT) (Magdaleno-Rico, 2014). En el caso particular del Depósito de Jales “El Lavadero” localizado en San Felipe de Jesús, Sonora, México, corresponde a un pasivo ambiental minero en el cual se acumularon desechos desde 1920 hasta la década de 1980, producto de la actividad minera de la región. En la actualidad, sus efluentes descargan en lugares que utilizan los habitantes del municipio para sus actividades diarias, es decir, en suelos agrícolas y abastecimiento de agua del río Sonora, los cuales podrían resultar con afectaciones ambientales como contaminación por MPT y acidez tóxica. Actualmente, se desconoce si dichos jales son generadores de DAM; únicamente se han realizado estudios para conocer los niveles de MPT en los jales y suelos agrícolas aledaños, reportándose concentraciones altas de Cd, Mn, Pb y Zn (Del Río-Salas et al., 2019). El presente estudio tiene el propósito de evaluar la posible generación de DAM en el Depósito de Jales “El Lavadero” y su probable afectación al suelo aledaño. Este estudio va a fortalecer la investigación en zonas áridas y semiáridas del noroeste de México, ya que son escasos los estudios realizados en depósitos de residuos mineros los cuales son fuentes potenciales muy importantes de MPT.

**Materiales y Métodos.** Se colectaron muestras de jales en 12 estaciones de muestreo, 4 de suelos aledaños, y una muestra de una estación blanco de campo, empleando un muestreo sistemático y a juicio. Adicionalmente, se determinó el potencial Redox (Eh) en campo para cada estación, utilizando un potenciómetro con electrodo de platino (Mudroch y Azcue, 1995). En laboratorio, se analizaron los siguientes parámetros químicos: pH, conductividad eléctrica (C.E),  $\text{SO}_4^{2-}$ , S total,  $\text{CaCO}_3$ , metales totales (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn) y la Prueba de Extracción de Constituyentes Tóxicos (PECT), con base a la Norma Oficial Mexicana (NOM-141-SEMARNAT-2003). La cuantificación de metales totales y en el extracto de la PECT se realizó por Espectroscopia de Absorción Atómica (Gómez-Álvarez, 2004).

De forma adicional, se realizaron las pruebas físicas como Difracción de Rayos X (DRX) y Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) (Goldstein et al., 2018). Finalmente, se realizó la prueba estática denominada Prueba Modificada Balance Ácido-Base (PM-BAB), con el propósito de evaluar el potencial de generación de DAM (NOM-141-SEMARNAT-2003).

**Resultados.** Los parámetros químicos obtenidos en los jales y suelos agrícolas indicaron valores de Eh oxidantes (257 - 883 mV), valores bajos de pH (1.7 - 6.6), y valores altos de C.E. (4425 - 51065  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Adicionalmente, se detectaron cantidades bajas de  $\text{CaCO}_3$  (No detectable - 12.71 %) y elevados niveles de S total (2.75 - 13.23 %) y  $\text{SO}_4^{2-}$  (4.72 - 20.37 %). Los jales y suelo agrícola presentaron elevados

contenidos de metales totales, presentando el siguiente orden de mayor a menor concentración:  $\text{Fe} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Mn} > \text{Cu} > \text{Cd} > \text{Cr}$  y  $\text{Fe} > \text{Pb} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{Cu} > \text{Cd} > \text{Cr}$ , respectivamente. La Prueba de Extracción de Constituyentes Tóxicos demostró que los metales Cd, Cu, Fe, Mn y Zn presentes en los jales, así como el Mn y Zn en el suelo agrícola, se encuentran asociados a fases solubles cuyas concentraciones exceden los niveles máximos permisibles establecidos en la Normatividad Ambiental de México.

Los análisis de DRX y MEB identificaron minerales primarios como la pirita y esfalerita, y secundarios como la jarosita. Yucel y Baba (2016), reportan que estas especies son comunes en los ambientes donde se genera el DAM. Por último, la prueba PM-BAB demostró que los jales del Depósito “El Lavadero” presentan alto potencial de acidez (PA) respecto al potencial de neutralización (PN), que resulta en un PN/PA inferior a 1.2; por lo tanto, se clasifican como potenciales productores de DAM.

**Conclusiones.** Con base a la prueba PM-BAB, los jales del Depósito “El Lavadero” son potenciales generadores de DAM (NOM-141-SEMARNAT-2003). Adicionalmente, los MPT presentes en los jales (Cd, Cu, Fe, Mn, Zn) y en los suelos (Mn y Zn), se encuentran asociados a fases solubles, y pueden estar disponibles para la biota. Por lo tanto, los jales estudiados representan un peligro potencial hacia el medio ambiente por su elevado potencial de generación de DAM y los altos niveles de MTP encontrados en el suelo agrícola. Debido a lo anterior, se recomienda realizar pruebas cinéticas en columnas de lixiviación para predecir el comportamiento del DAM a través del tiempo, así como investigar a mayor detalle la distribución y movilidad de los MPT, dado que se encuentran presentes en altas concentraciones en los jales y suelo agrícola.

### Bibliografía.

- Del Río-Salas, R., Ayala-Ramírez, Y., Loredó-Portales, R., Romero, F., Molina-Freaner, F., Minjarez-Osorio, C., Pi-Puig, T., Ochoa-Landin, L., y Moreno-Rodríguez, V. (2019). Mineralogy and Geochemistry of Rural Road Dust and Nearby Mine Tailings: A Case of Ignored Pollution Hazard from an Abandoned Mining Site in Semi-arid Zone. *Natural Resources Research*. Vol. 28, No. 4. 1485-1503.
- Franco-Farfán, E.F. (2019). Estudio de especiación de Arsénico por EAA en jales mineros del estado de Hidalgo, México y su biodisponibilidad. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Goldstein, J.I., Newbury, D.E., Michael, J.R., Ritchie, N.W.M., Scott, J.H.J., Joy, D. (2018). *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*. Springer.
- Gómez-Álvarez, A. 2004. Manual de métodos analíticos para rocas y minerales. Universidad de Sonora.
- Magdaleno-Rico, C.A. (2014). Peligrosidad de los residuos mineros históricos del distrito minero San Antonio-El Triunfo en La Paz Baja California sur y evaluación de generación de drenaje ácido a través de pruebas estáticas. México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mudroch, A., y Azcue, J.M. (1995). *Manual of aquatic sediment sampling*. Lewis Publishers.
- Norma Oficial Mexicana (NOM-141-SEMARNAT-2003). Procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y posoperación de presas de jales. SEMARNAT.
- Yucel, D.S., y Baba, A. (2016). Prediction of acid mine drainage generation potential of various lithologies using static tests: Etili coal mine (NW Turkey) as a case study. *Environ Monit Assess*. 188: 473.