

Procesos de Auto-Aislamiento en Residuos Productores de Aguas Ácidas Usando Cenizas Volantes

/ DINO QUISPE GUZMÁN (1,2), RAFAEL PÉREZ-LÓPEZ (3), CARLOS AYORA IBÁÑEZ (3), JOSÉ MIGUEL NIETO LIÑÁN (1)

(1) Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Experimentales Universidad de Huelva. Av. F. Armadas s/n 21071 Huelva (España)

(2) Universidad Internacional de Andalucía, sede Sta. María de La Rábida. Paraje La Rábida s/n, 21819 Palos de la Frontera, Huelva (España)

(3) Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua, CSIC, Jordi Girona 18-26, 08034 Barcelona (España)

INTRODUCCIÓN.

La actividad minera en la Faja Pirítica Ibérica (FPI) se remonta al Tercer Milenio a.C. Como consecuencia, un gran volumen de residuos ricos en sulfuros metálicos ha quedado expuesto al medioambiente. La meteorización de los sulfuros causa la producción de drenaje ácido de mina (AMD), consistente en lixiviados con elevados contenidos de metales tóxicos que degradan las cuencas hídricas. Una de las principales fuentes generadoras de AMD son las balsas de lodos procedentes de los procesos de flotación realizados para la recuperación de la mena.

La adición de sustancias alcalinas a los residuos mineros podría neutralizar la acidez y retener los metales tóxicos en solución. El uso de cenizas volantes (residuo de la combustión del carbón) como aditivo alcalino reduciría los costes de tratamiento por ser un residuo y no un producto. De hecho, la remediación con cenizas volantes está actualmente recibiendo considerable atención (e.g. Potgieter-Vermaak et al., 2006), y su eficacia en lodos de flotación de la FPI ya ha sido demostrada en experimentos de laboratorio (Pérez-López et al., 2007). Los resultados obtenidos fueron tan alentadores que se planteó el presente estudio a nivel de experimento piloto en campo, antes de realizar un futuro tratamiento a escala real.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en las balsas de lodos de flotación localizadas en Monte Romero (FPI). El lodo minero está compuesto de pirita, baritina, cuarzo, micas y yeso. Este residuo está almacenado en dos balsas: una de color grisáceo y la otra amarillenta. La diferencia entre ambas balsas es que la

amarillenta tiene un nivel ocre de oxidación en superficie de aprox. 25 cm de espesor, rico en jarosita y yeso.

Una parcela experimental de 8 m² se instaló en cada balsa en Noviembre de 2008. Ambas parcelas fueron aisladas con placas de polietileno hasta una profundidad de 1 m con el fin de evitar una circulación lateral del agua (Fig. 1). Cada parcela se cubrió con una mezcla de 10% de cenizas volantes y 90% de arena silíceo inerte. Las cenizas volantes utilizadas proceden de la central térmica de Los Barrios (Cádiz, España), y están constituidas por mullita, cuarzo, magnetita, portlandita, anhidrita y un vidrio aluminosilicatado rico en calcio.



Fig. 1. Parcela experimental para el tratamiento del lodo minero en la balsa gris de Monte Romero.

Se realizaron 3 campañas de muestreo. En cada una, se tomaron dos sondeos de 60 cm de profundidad, uno dentro de la parcela y otro fuera. En el laboratorio, se seleccionaron muestras cada 5 cm que se secaron a 30° C, se disgregaron y se homogenizaron.

El estudio de la movilidad de los metales se realizó mediante el procedimiento de extracción secuencial BCR (Sahuquillo et al., 1999). Este método divide el contenido de los metales en 4 fracciones: (a) soluble en agua o en condiciones ligeramente ácidas (F1), (b) reducible (F2), (c) oxidable (F3) y (d) residual (F4). Las soluciones resultantes en cada fracción se analizaron mediante ICP-AES para elementos mayores y mediante ICP-MS

para trazas.

La caracterización mineralógica de las muestras se realizó mediante microdifracción de rayos X (μ -DRX) en probetas pulidas usando luz sincrotrón en la línea experimental ID18F del European Synchrotron Radiation Facility (ESRF, Grenoble, Francia). Además, se realizaron algunas observaciones con un microscopio electrónico de barrido (SEM-EDS).

RESULTADOS

En la balsa gris (fuera de la parcela experimental), las concentraciones medias de metales en términos de su abundancia relativa en la fracción móvil (F1+F2+F3) se produjo en el siguiente orden: Pb (98%) > Al (67%) > As = Cu (54%) > Fe (49%) > Mn (48%) > Zn (25%). De esta fracción, la característica más importante es el alto porcentaje de Al, As, Cu, Fe y Mn en las fracciones biodisponible (soluble en agua, F1) y oxidable (enlazada a sulfuros, F3). Casi todo el Pb está en la fracción reducible (enlazada a óxidos, F2). Sin embargo, la adición de cenizas volantes sobre el residuo minero resultó en un descenso de la movilidad de aprox. 20-30% para Al, As, Cu, Fe y Mn. Este descenso fue más acusado en la fracción soluble en agua.

En la balsa amarilla (fuera de la parcela), los metales lixiviables en la fracción móvil en términos relativos son: Zn (94%) > Cu (91%) > Mn (76%) > Al (65%) > Fe (53%) > As (18%) > Pb (4%). Casi todos los metales están en la fracción biodisponible. Estos metales se redujeron significativamente hasta 55% para Mn, 40-45% para Al y Fe, y 15-30% para Cu, Zn y As en la parcela con cenizas volantes. Comparando ambas parcelas, la adición de cenizas volantes sobre la balsa amarilla fue más efectiva en la eliminación de contaminantes.

palabras clave: Hardpan, drenaje ácido de mina, experimento piloto.

key words: Hardpan, acid mine drainage, pilot experiment.

En la zona de contacto entre el lodo minero y las cenizas volantes en ambas parcelas experimentales, se produce la precipitación local y masiva de fases neo-formadas que forman una costra dura o hardpan de hasta 1 cm de espesor (Fig. 2).

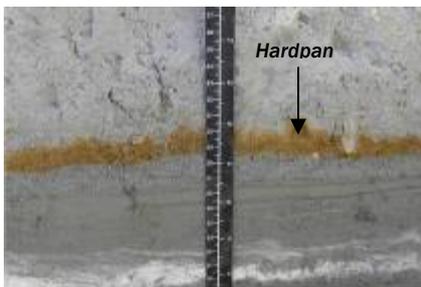


Fig. 2. Fotografía del hardpan en la balsa gris.

El hardpan se origina por una intensa cementación de las cenizas volantes más próximas al contacto con el lodo minero. Los minerales neo-formados que precipitan masivamente en esa zona son yeso y jarosita (Fig. 3).

Un examen más exhaustivo con SEM-EDS reveló que el Fe, además de cómo jarosita, también estaba presente como microagregados fibrosos de otras fases constituidas adicionalmente por S, Al y trazas de metales como Cu y Mn, selectivamente revistiendo a los granos de sulfuros (Fig. 4). La no detección de estas fases por DRX indica un carácter pobremente cristalino.

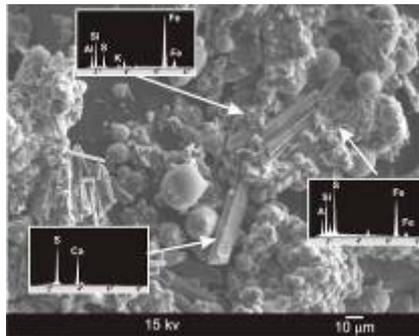


Fig. 4. Imagen de SEM y espectros de EDS de las fases neo-formadas en la zona del hardpan de la balsa amarilla. La balsa gris mostró similares resultados.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las variaciones estacionales extremas en la FPI corresponden con un clima de tipo Mediterráneo (inviernos lluviosos y veranos cálidos y secos). Esto provoca un flujo alternante de descenso o ascenso del agua y los solutos de acuerdo con períodos de precipitación o evaporación, respectivamente. En la interfase entre las cenizas volantes y los lodos mineros, las soluciones alcalinas ricas en calcio procedentes de la disolución de las cenizas volantes interactúan con el AMD procedente de la oxidación de los sulfuros. Esto causa la neutralización de la acidez y la precipitación de yeso en la zona de reacción. Además, el aumento del pH provoca una disminución de la solubilidad de Fe y Al y la precipitación de jarosita y algunos oxi-hidróxidos y/o oxi-hidroxisulfatos de Fe-Al pobremente

cristalinos. Estas fases amorfas de Fe-Al, encontradas por SEM-EDS como aglomerados microscópicos, tienen elevada capacidad para eliminar metales por co-precipitación y/o adsorción (Cravotta et al., 1998).

La precipitación de las fases neoformadas en la zona de interacción podría desempeñar un papel importante en la cinética de oxidación de los lodos piríticos a través de dos mecanismos posibles: (1) la precipitación inmediata de oxi-hidroxisulfatos de Fe sobre los sulfuros, lo cual provocaría un revestimiento superficial conocido como microencapsulación (Pérez-López et al., 2007), y (2) la formación de hardpan en la zona de interacción entre las cenizas volantes y los lodos debido a la precipitación de estas mismas fases de Fe y principalmente al yeso. El desarrollo de ambas barreras físicas disminuye la difusión de oxígeno a la superficie de los granos de sulfuros e inhibe la oxidación y, por tanto, reduce la producción de AMD. Además, la precipitación de fases secundarias causa la disminución en la movilidad de metales tóxicos en las dos balsas de lodos.

En conclusión, una cubierta de cenizas volantes sobre residuos mineros podría ser una estrategia de tratamiento efectiva para inhibir el proceso de meteorización, y por tanto, la liberación de metales en el medioambiente.

REFERENCIAS.

- Cravotta, C.A. & Trahan, M.K. 1999. Limestone drains to increase pH and remove dissolved metals from acidic mine drainage. *Applied Geochemistry* **14**: 581-606.
- Pérez-López, R., Nieto, J.M., Álvarez-Valero, A.M. & Almodóvar, G.R. 2007. Mineralogy of the hardpan formation processes in the interface between sulfide-rich sludge and fly ash: Applications for acid mine drainage mitigation. *American Mineralogist* **92**: 1966-1977.
- Potgieter-Vermaak, S.S., Potgieter, J.H., Monama P. & Van Grieken, R. 2006. Comparison of limestone, dolomite and fly ash as pre-treatment agents for acid mine drainage. *Minerals Engineering* **19**: 454-462.
- Sahuquillo, A., Lopez-Sanchez, J.F., Rubio, R., Rauret, G., Thomas, R.P., Davidson, C.M. & Ure, A.M. 1999. Use of a certified reference material for extractable trace metals to assess sources of uncertainty in the BCR three-stage sequential extraction procedure. *Analytica Chimica Acta* **382**: 317-327.

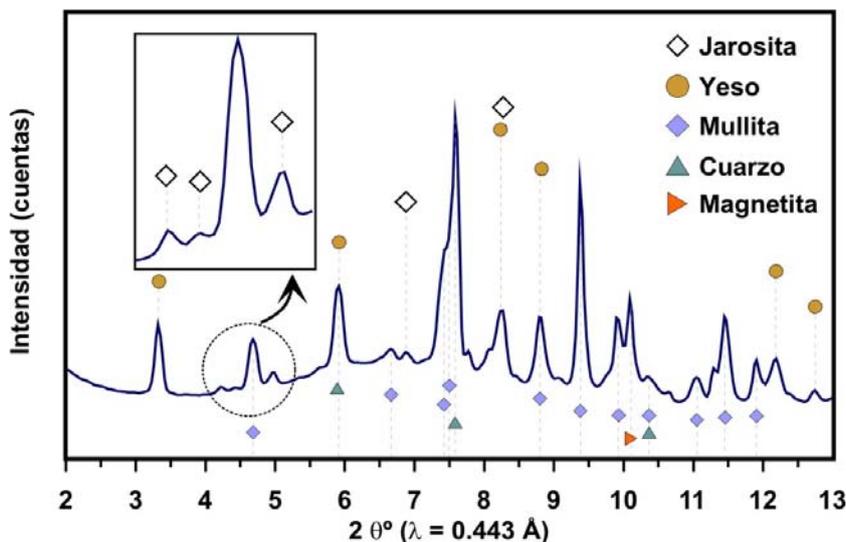


Fig. 3. Patrón de μ -DRX obtenido en la zona del hardpan formado en la balsa amarilla. La balsa gris mostró similares resultados.