

Gestión Ambiental de los Residuos Generados en el Tratamiento Pasivo de Drenajes Ácidos de Mina

/ FRANCISCO MACÍAS-SUÁREZ (1*), JOSÉ-MIGUEL NIETO-LIÑÁN (1), MANUEL A. CARABALLO-MONGE (2)

(1) Departamento de Geología. Universidad de Huelva. Avda. Fuerzas Armadas s/n. Huelva 21071, España.

(2) Department of Geosciences, Virginia Tech, Blacksburg, VA 24061, U.S.A.

INTRODUCCIÓN

El drenaje ácido de mina (AMD) es la formación y el movimiento de aguas altamente acidificadas y ricas en metales pesados. Estas aguas ácidas pueden ser muy tóxicas y al mezclarse con aguas subterráneas o superficiales, o interaccionar con el suelo, pueden generar efectos perjudiciales en los humanos, animales y plantas (US EPA, 2011).

La Faja Pirítica Ibérica (FPI) es un ejemplo clásico de histórica contaminación por AMD, lo cual ha generado un ambiente extremo y único en el planeta Tierra (Rio Tinto). El río Odiel también atraviesa la FPI y se encuentra contaminado por AMD. De los 1.149 km examinados por Sarmiento et al., (2009) 427 km presentaron altos niveles de contaminación por AMD.

Hasta el momento, uno de los pocos tratamientos pasivos que han mostrado buenos resultados al tratar drenajes ácidos con altos contenidos metálicos es el Sustrato Alcalino Disperso (DAS, en siglas inglesas). El sistema pasivo DAS se basa en el uso de un reactivo alcalino de tamaño de grano fino (arena caliza o polvo de MgO) para proporcionar una alta reactividad, mezclado con una matriz inerte gruesa (virutas de madera) que genera una alta porosidad. El sistema DAS-calizo ha mostrando excelentes resultados en la retención de Fe, Al, As, Cu y Pb (Caraballo et al., 2011). También se ha comprobado el buen funcionamiento del tratamiento DAS-magnésico en la eliminación de Zn, Mn, Cd, Co y Ni.

En el sistema DAS los metales se acumulan en el interior del sustrato reactivo, lo cual implica la creación de un residuo con alto contenido metálico que debe ser recuperado cada cierto tiempo. Por lo tanto, una apropiada gestión de

estos residuos será fundamental, ya que una posible liberación de metales desde los mismos crearía una nueva fuente de contaminación metálica.

En el presente resumen se caracterizan residuos generados en sistemas DAS en función de las normativas medioambientales de Europa y EE. UU..

MATERIALES Y MÉTODOS

Los residuos utilizados en este estudio fueron generados en las plantas de tratamiento DAS de Mina Esperanza y Monte Romero, ambas situadas en la FPI. De Mina Esperanza (DAS-calizo) se obtuvieron dos residuos diferentes, uno de ellos, denominado "residuo DAS rico en Fe", se caracteriza por la presencia de Fe, S y As como sus principales constituyentes, los cuales se encuentran albergados en schwertmanita y goethita (Caraballo et al., 2011). El segundo tipo se denomina "Residuo DAS rico en Al" y está compuesto principalmente por Al, S, Ca y Cu. Los minerales detectados en este residuo son hidrobasiluminita, yeso y calcita (Caraballo et al., 2011), aunque la calcita es heredada del sustrato reactivo original. De Monte Romero (DAS-magnésico) se obtuvo el denominado "residuo DAS rico en Zn", el cual está compuesto por Zn, Mg, Ca y Mn como principales constituyentes, y con cantidades menores de Cd, Co y Ni. Magnesio y Ca son elementos residuales de la mezcla reactiva original. Los minerales responsables de la retirada de estos metales divalentes son hidrozincita y loseyita (Pérez-López et al., 2011).

Para la caracterización de estos tres residuos se han aplicado los ensayos de lixiviación propuestos por las actuales legislaciones medioambientales de Europa y EE. UU. para este tipo de residuos, a través de los tests EN 12457-2 y TCLP (US EPA, 1998),

respectivamente. Estos tests de lixiviación no solo clasifican los residuos como peligrosos o no para el medioambiente en base a las concentraciones lixiviadas de varios metales, sino que también se usan para 1) identificar si es necesario un tratamiento del residuo previo a su depósito en un vertedero (TCLP), y 2) discernir qué tipo de vertedero es el más adecuado para cada residuo (EN 12457-2).

RESULTADOS Y DISCUSION

El procedimiento de lixiviación TCLP se utiliza para discernir si un residuo es peligroso o no en función de unos límites regulados por las normativas de EE. UU. para ciertos contaminantes orgánicos e inorgánicos. De entre éstos, los inorgánicos son los únicos presentes en los residuos DAS, y de entre ellos la normativa solo regula la presencia de As, Ba, Cd, Cr, Ni y Pb. De acuerdo a las concentraciones obtenidas para estos metales después del test de lixiviación (Fig. 1), los tres tipos de residuos DAS testados en este estudio pueden ser considerados no peligrosos.

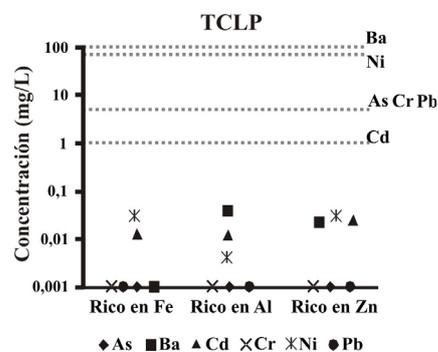


Fig. 1. Concentración de As, Ba, Cd, Cr, Ni y Pb tras la lixiviación TCLP para los residuos DAS ricos en Fe, Al y Zn; y límites de peligrosidad para el lixiviado de estos elementos según normativas de EE. UU. Valores por encima de estos límites calificarían al residuo como peligroso.

palabras clave: Residuos metálicos, Test de lixiviación EN 12457-2, Ttest de lixiviación TCLP

key words: Metal wastes, EN 12457-2 leaching test, TCLP leaching test

Vertederos para:	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	SO ₄
Residuos inertes	0,5	20	0,04	0,5	2	0,4	0,5	4	6.000
Residuos no peligrosos	2	100	1	10	50	10	10	50	20.000
Residuos peligrosos	25	300	5	70	100	40	50	200	50.000
Residuos DAS:									
Rico en Fe	0	1,13	0,49	0	75,8	2,73	0	197,47	14.544
Rico en Al	0	0,23	0,04	0	0,32	0,09	0,12	0,56	12.256
Rico en Zn	0	0,13	0,017	0	0	0	0,22	1	3.906

Tabla 1. Niveles límite para la aceptación de residuos en diferentes tipos de vertederos (decisión comunitaria 2003/33/EC), y lixiviación de contaminantes inorgánicos en residuos DAS de acuerdo al ensayo EN 12457-2. Datos en mg/kg.

Las concentraciones de los anteriores contaminantes inorgánicos más la concentración de Zn extraída mediante el test TCLP se utilizan también como límites estandarizados para determinar si un residuo específico necesita pasar por un tratamiento estándar previo para que cumpla con las restricciones de depósito en vertederos. Como se muestra en la Figura 2, las concentraciones lixiviadas se encuentran por debajo de estos límites, y por lo tanto en función de esta normativa ningún residuo DAS requiere de un tratamiento previo a su depósito en un vertedero.

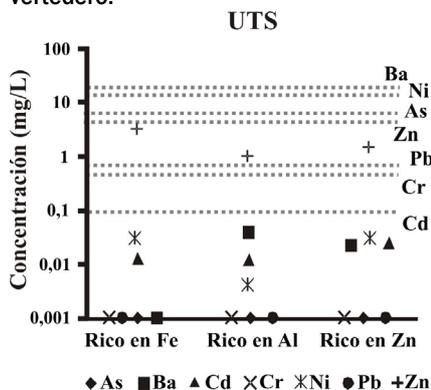


Fig 2. Concentración de As, Ba, Cd, Cr, Ni, Pb y Zn tras la lixiviación TCLP para los residuos DAS ricos en Fe, Al y Zn; y límites para el tratamiento previo al depósito en vertederos según normativas de EE.UU. Valores por encima de estos límites implicarían el tratamiento del residuo antes de ser depositado.

En la Tabla 1 se muestran los valores límite para la aceptación de un residuo en diferentes tipos de vertedero según las normativas de la Comunidad Europea (2003/33/CE), los contaminantes inorgánicos incluidos en esta normativa son As, Ba, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn y SO₄, y sus concentraciones se interpretarán a partir del test de lixiviación EN 12457-2.

Tal como se muestra en la tabla, el residuo DAS rico en Fe debe ser almacenado en vertederos para residuos peligrosos, ya que presenta una alta lixiviación de Cu (75,8 mg/kg) y Zn (197,47 mg/kg), estos valores exceden claramente el límite de 50 mg/kg para ambos metales establecido para el

depósito en vertederos de residuos no peligrosos. Los contaminantes del residuo DAS rico en Al tienen una baja movilidad y casi ninguno de ellos excede el límite para su depósito en vertederos de residuos inertes. Sin embargo, este residuo se caracteriza por una moderada lixiviación de SO₄ (12.256 mg/kg), lo cual lo sitúa en vertederos para residuos no peligrosos. Los contaminantes inorgánicos albergados en el residuo DAS rico en Zn son los menos móviles y, por lo tanto, los menos disponibles de los tres residuos DAS; así pues, este residuo puede ser depositado en un vertedero para residuos inertes.

CONCLUSIONES

Mediante el test de lixiviación EN 12457-2 y según las normativas Europeas se ha podido discernir en qué tipo de vertedero deben almacenarse los residuos DAS. Los resultados indican que el residuo rico en Fe debe depositarse en un vertedero para residuos peligrosos, el rico en Al en vertederos para residuos no peligrosos y el residuo de Zn en vertederos para residuos inertes. Sin embargo los resultados del test TCLP en función de las normativas de EE. UU. indican que ninguno de los residuos estudiados es peligroso y que no deben tomarse medidas adicionales para su depósito en vertederos. Además varios elementos potencialmente contaminantes (Fe y Al por ejemplo) se encuentran en gran proporción en algunos de los residuos analizados y no son tenidos en cuenta por ninguna de las normativas.

Las discrepancias observadas entre ambas regulaciones al ser aplicadas a residuos DAS sugieren la necesidad de una revisión y ampliación de las mismas. Para una mejor caracterización de este tipo de residuos en el futuro, se requerirá que dichas regulaciones contemplen otros contaminantes inorgánicos (Fe y Al por ejemplo). De manera complementaria, se sugiere el uso de otras técnicas de estudio

mineralógicas y ambientales (extracciones secuenciales, caracterización mineralógica y/o modelos geoquímicos) para asegurar una correcta caracterización de residuos metálicos.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido financiado por el proyecto CGL2010-21956-C02-02 del Ministerio de Ciencia e Innovación de España.

REFERENCIAS

- EC Decision 2003/33/CE, Council Decision of 19 December 2002 establishing criteria and procedures for the acceptance of waste at landfills. *Official Journal L 011*, 16/01/2003, 0027-0049.
- EN 12457-2 (2002) Characterization of waste, Compliance test for leaching of granular wastes materials and sludges, Part 2: one stage batch test at a liquid to solid ratio of 10 l/kg for materials with particle size below 4mm (without or with size reduction), European Committee of Standardization, CEN/TC292,12/02/2002, 28 p.
- Caraballo, M.A., Macías, F., Rötting, T.S., Nieto, J.M., and Ayora, C., (2011): Long term remediation of highly polluted acid mine drainage: A sustainable approach to restore the environmental quality of the Odiel river basin. *Environ. Pollut.*, **159**, 3613-3619.
- Pérez-López, R., Asta, M.P., Román-Ross, G., Nieto, J.M., Ayora, C., Tucoulou, R., (2011): Synchrotron-based X-ray study of iron oxide transformations in terraces from the Tinto-Odiel river system: Influence on arsenic mobility. *Chem. Geol.*, **280**, 336-343.
- Sarmiento, A.M., Nieto, J.M., Ollas, M., Cánovas, C.R., (2009): Hydrochemical characteristics and seasonal influence on the pollution by acid mine drainage in the Odiel river Basin (SW Spain). *Appl. Geochem.*, **24**, 697-714.
- US EPA (1998): Applicability of the Toxicity Characteristic Leaching Procedure to mineral processing wastes, Washington, DC, 28 p.
- US EPA (2011): Water: pollution runoff, Acid Mine Drainage, http://water.epa.gov/polwaste/nps/acid_mne.cfm