

Potencial económico de los drenajes ácidos de la Faja Pirítica Ibérica

/ FRANCISCO MACÍAS (1*), JOSÉ MIGUEL NIETO (1), CARLOS AYORA (2)

(1) Departamento de Ciencias de la Tierra y Centro de Investigaciones en Recursos Naturales, Salud y Medioambiente (RENSMA). Universidad de Huelva. Avda. Fuerzas Armadas s/n. 21071, Huelva (España)

(2) Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua, IDAEA-CSIC, Jordi Girona 18. 08034, Barcelona (España)

INTRODUCCIÓN

La extrema contaminación por metales y acidez (drenaje ácido de mina, AMD) que los ríos y arroyos que atraviesan la Faja Pirítica Ibérica (FPI) presentan es mundialmente conocida, y representan uno de los principales aportes de metales desde los continentes a los océanos a nivel mundial (Nieto et al., 2013). Fundamentalmente esta contaminación es una herencia de la pésima gestión que en tiempos pasados se realizaba en las aproximadamente 100 minas presentes en la FPI, de las cuales 86 se encuentran en la parte española, la mayoría en situación de abandono. Estos pasivos ocupan 2950 ha de escombreras, 708 ha de cortas y 859 ha de balsas de lodos (Grande et al., 2016).

Las actuales presiones legislativas (Directiva Marco de Aguas, WFD) y económico-sociales (imposibilidad de aprovechamiento de los recursos hídricos) nos alientan para buscar soluciones técnicas que eliminen y/o reduzcan el aporte metálico de estas fuentes de contaminación. En el caso del cumplimiento de la WFD, cuyo objetivo principal es que todas los cuerpos de agua europeos presenten buena calidad ecológica y química, ha sido pospuesto hasta 2027 en los ríos Tinto y Odiel. En cuanto a los recursos hídricos y a pesar del alto grado de contaminación que la cuenca del río

Odiel presenta, se está construyendo en estos momentos el embalse de Alcolea, que almacenará aguas ácidas si no se toman medidas correctoras (Olías et al., 2011).

Existen diferentes tecnologías para la depuración de AMD, bien en forma de tratamientos activos convencionales (Macías et al., 2017) o por sistemas pasivos, de entre los cuales es el Sustrato Alcalino Disperso (DAS) (Ayora et al., 2013) el único que se ha mostrado eficaz para las características de los AMD de la FPI. Esta tecnología pasiva ya se está utilizando para la depuración de varios vertidos en la FPI (www.life-etad.com). En ambos tipos de tratamiento los metales disueltos en el AMD son concentrados en materiales residuales. Sin embargo, la enorme cantidad de focos de contaminación de la FPI hacen que un plan de restauración integral parezca difícil y costoso.

En el presente resumen se muestran datos preliminares de una exhaustiva catalogación de focos generadores de AMD en la FPI. Su identificación y caracterización nos permite cuantificar la potencial producción de metales de interés industrial y/o tecnológico que estos vertidos presentan.

METODOLOGÍA

Se han explorado la mayoría de las

minas abandonadas de la FPI, identificando y localizando vertidos puntuales de AMD con flujo permanente durante la mayor parte del año. En todos los vertidos los parámetros físico químicos fueron medidos in situ (pH, ORP, CE y T^a) mediante una sonda multi-paramétrica Crison MM 40+, previamente calibrada para cada parámetro. Los caudales de los vertidos fueron medidos mediante un recipiente y el tiempo de llenado, por el método del flotador o mediante molinete, en función de las características del vertido. Se tomaron muestras de cada vertido para su análisis por ICP-OES para elementos mayores (Al, Cu, Mn y Zn), y por ICP-MS para elementos menores y traza (Co, Ni, Pb, REE, Y, Sc y Ga). Todas las muestras fueron filtradas a 0.1 µm y aciduladas en campo previamente a su análisis.

RESULTADOS Y DISCUSION

Se han identificado y catalogado 108 vertidos puntuales de AMD con flujo permanente durante la mayor parte del año en las minas abandonadas de la FPI. En la Tabla 1 se muestran valores estadísticos de caudal y de elementos con interés económico presentes en estos vertidos: metales mayoritarios (Al, Cu, Mn, Zn, Co, Ni y Pb), y metales tecnológicos (REE, Y, Sc y Ga). Como se puede ver existe una gran variabilidad de caudales (entre 0.01 y 50 L/s) y de concentración de elementos, los valores

	Q	Al	Cu	Mn	Zn	Co	Ni	Pb	REE	Y	Sc	Ga
	L/s	mg/L				µg/L						
Prom	2.20	620.5	77.5	81.0	238.5	4027.8	1196.9	130.5	1810.4	380.1	53.2	45.4
Med	0.50	225.1	21.3	31.5	49.9	1388.0	467.0	22.5	983.6	202.0	19.1	6.9
Min	0.01	0.1	0.0	0.3	0.4	6.2	9.7	0.0	0.0	4.3	0.0	0.0
Max	50.00	4121.4	617.7	881.2	2550.8	25580.0	10190.0	1761.0	11784.1	1993.0	450.7	858.3
D.E	6.03	911.9	121.9	131.0	442.7	5894.7	1863.7	313.2	2335.2	465.0	86.6	133.2
C.V	0.37	0.7	0.6	0.6	0.5	0.7	0.6	0.4	0.8	0.8	0.6	0.3

Tabla 1. Valores estadísticos de los 108 vertidos de AMD identificados en la FPI. Prom (promedio), Med (mediana), Min (mínimo), Max (máximo), D.E. (desviación estándar) y C.V (coeficiente de variación).

palabras clave: Drenaje ácido de mina, Tratamiento pasivo, Acumulación metálica.

key words: Acid mine drainage, Passive treatment, Metal accumulation.

medios indican que una enorme cantidad de metales, con gran interés económico, son actualmente diluidos y/o depositados en los cursos fluviales receptores de estos vertidos y finalmente transportados hasta el Océano Atlántico.

A partir de los caudales medidos y de las concentraciones analizadas se puede estimar una producción anual de estas materias primas en los vertidos de la FPI (Fig. 1). Cabe destacar la enorme potencial producción de Al, Zn o Cu, con 6726, 1651 ó 650 t/año respectivamente. En cuanto a metales tecnológicos, en estos 108 vertidos identificados se generan 3834 kg/año de Y, 704 kg/año de Sc ó 14 t/año de REE (no mostrado en figura 1).

Estas enormes cantidades de metales pueden ser acumuladas mediante las tecnologías de depuración de AMD actuales. Los tratamientos activos generan un lodo de alta densidad que contiene todos los elementos, generando un material con altas leyes metálicas, por ejemplo de Cu o Zn (Macías et al., 2017). Por otro lado, el sistema pasivo DAS, no solo trata eficazmente los AMD de la FPI, también es capaz de acumular los metales de interés (especialmente REE e Y) selectivamente (Nieto et al., 2015; Ayora et al., 2016).

Partiendo de la base de que existen estas tecnologías de depuración y/o acumulación de metales de interés, se ha calculado la potencial valoración económica de éstos para los 108 vertidos identificados. Los precios de los elementos de interés han sido consultados en el London Metal Exchange (LME) y los Minerals Yearbook de la USGS para el año 2015 (USGS, 2017). A la valoración potencial total se le aplica un factor del 30%, es decir solo se tendrá en cuenta el 30% del supuesto valor total, este es un valor realista según Smith et al., 2013 y está basado en la revalorización de los materiales resultantes de la depuración de varios AMDs en USA para la comercialización de Cu, Zn y Mg (plantas de tratamiento de AMD de Berkeley Pit y Wellington-Oro).

En la figura 1 se representa el valor potencial (USD/año) para los elementos de interés seleccionados de los AMD de la FPI. Como se puede observar elementos como Al, Cu o Zn tendrían un valor potencial de 3.9, 1.1 y 1.3 millones de USD al año, metales con concentraciones muy inferiores a estos en los AMD (Co, Tabla 1) alcanzarían valores de 0.45 millones de USD al año

debido a sus altos precios de mercado. Para el caso de los metales tecnológicos, con concentraciones órdenes de magnitud inferiores (Tabla 1) pero altos precios, cabe destacar el Sc que alcanzaría 1.1 millones USD/año (Fig. 1), o el sumatorio de REE que tendría una valoración de 0.35 millones USD/año (no mostrado en figura 1).

CONCLUSIONES

El valor potencial de todos los elementos tenidos en cuenta asciende a 8.8 millones de USD/año. Estos datos preliminares sugieren una gran potencialidad para obtener un recurso económico a partir de lo que actualmente se considera un enorme problema medioambiental. Si además tenemos en cuenta la existencia de tecnologías pasivas (sostenibles desde un punto de vista ambiental) y que además son capaces de retener muchos de estos metales de forma selectiva, se crea la posibilidad de minimizar en gran medida la contaminación de los recursos hídricos a la vez que se genera un recurso económico, el cual al menos, podría costear la construcción y el leve mantenimiento que estas plantas de remediación pasiva requieren.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido financiado por los proyectos SCYRE (CGL2016-78783-C2-R) y AMDREY (PCIN-2015-242).

REFERENCIAS

Ayora, C., Caraballo, M.A., Macías, F., Rötting, T.S., Carrera, J., Nieto, J.M., (2013): *Acid mine drainage in the Iberian Pyrite Belt: 2.*

Lessons learned from recent passive remediation experiences. Environ. Sci. Poll. Res., **20**, 7837-7853.

Ayora, C., Macías, F., Torres, E., Lozano, A., Carrera, S., Nieto, J.M., Pérez-López, R., Fernández-Martínez, A., Castillo-Michel, H., (2016): *Recovery of Rare Earth Elements and Yttrium from Passive-Remediation Systems of Acid Mine Drainage. Environ. Sci. Technol.*, **50**, 8255-8262.

Grande Gil, J.A., (2016) *Drenaje Ácido de Mina en la Faja Pirítica Ibérica. Técnicas de estudio e inventario de explotaciones. Universidad de Huelva. 348 p.*

Macías, F., Pérez-López, R., Caraballo, M.A., Cánovas, C.R., Nieto, J.M., (2017): *Management strategies and valorization for waste sludge from active treatment of extremely metal-polluted acid mine drainage: A contribution for sustainable mining. J. Clean. Pro.*, **141**, 1057-1066.

Nieto, J.M., Sarmiento, A.M., Cánovas, C.R., Ollas, M., Ayora, C., (2013): *Acid mine drainage in the Iberian Pyrite Belt: 1. Hydrochemical characteristics and pollutant load of the Tinto and Odiel rivers. Environ. Sci. Poll. Res.*, **20**, 7509-7519.

—, Macías, F., Ayora, C., (2015): *Tratamiento Ecológico de Drenajes Ácidos de Mina: Proyecto LIFE-ETAD. Macla*, **20**, 103-104.

Ollas, M., Nieto, J.M., Sarmiento, A.M., Cánovas, C.R., Galván, L., (2011): *Water quality in the future Alcolea reservoir (Odiel River, SW Spain): a clear example of the inappropriate management of water resources in Spain. Water Res. Manag.* **25**, 201-215.

U.S. Geological Survey (2017): *Minerals Yearbook: Volume I: Metals and Minerals* <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/myb/>

Smith, K.S., Figueroa, L.A., Plumlee, G.S., (2013): *Can treatment and disposal costs be reduced through metal recovery? In "Reliable Mine Water Technology" Wolkersdorfer, Brown and Figueroa eds. Golden Co, USA, 729-734.*

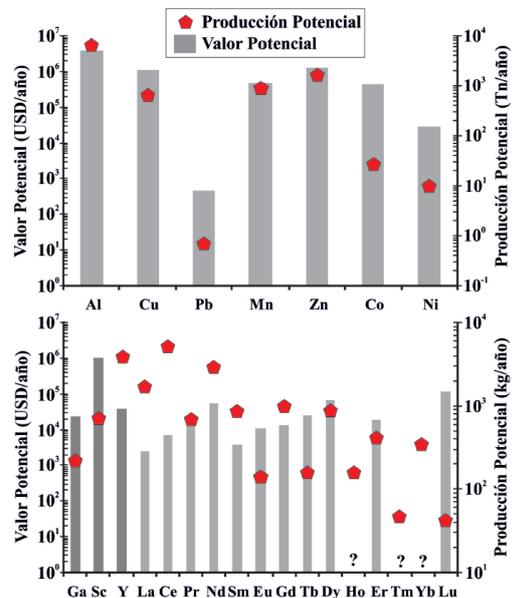


fig 1. Producción potencial de metales (marcadores) y valor potencial (barras) para los elementos con interés económico presentes en los AMDs de la FPI. (No hay precios oficiales para Ho, Tm e Yb).