

Tratamiento Ecológico de Drenajes Ácidos de Mina: Proyecto LIFE-ETAD

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

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

(2) Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua, Jordi Girona 18, 08034 Barcelona

INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Odiel, en la provincia de Huelva, está severamente contaminada por drenaje ácido de mina (AMD). Representa un ejemplo a escala mundial de cuenca fluvial contaminada por metales y acidez. Tal situación se debe a la mala gestión en el pasado de las explotaciones mineras que se encuentran en la parte media-alta de su cuenca, que han sido explotadas desde tiempos prehistóricos (Nocete et al., 2005), y que ahora se encuentran en situación de abandono.

El inicio de la construcción del embalse de Alcolea, que almacenará aguas ácidas (Oliás et al., 2011); así como el obligado cumplimiento de las normativas europeas sobre calidad de aguas (EC Decision 2000/60/EC) en el horizonte de 2027, pone de manifiesto la necesidad de buscar soluciones técnicas para mejorar la calidad de las aguas del río Odiel.

Debido al enorme número de focos de AMD ubicuamente distribuidos por la cuenca, tales soluciones técnicas deben basarse en criterios económica y medioambientalmente sostenibles. En estos criterios se basan las tecnologías pasivas de tratamiento de AMD.

En la actualidad, el único tratamiento pasivo que se ha mostrado eficaz a la hora de tratar AMD con elevadas concentraciones metálicas y acidez (características típicas del AMD en la cuenca del Odiel) es el sistema DAS (*Dispersed Alkaline Substrate*) (Ayora et al., 2013).

En el presente resumen se muestran los resultados preliminares de la primera planta experimental DAS a escala real. Basados en estos resultados y mediante financiación europea a través del proyecto de demostración LIFE-ETAD (LIFE12 ENV/ES/000250) se está construyendo una nueva planta DAS para comprobar la viabilidad de la tecnología para la recuperación de cauces afectados por AMD.

MATERIALES Y MÉTODO

El sistema de Mina Esperanza está compuesto por un pre-tratamiento (PN) de 100 m² de superficie, seguido por un primer tanque reactivo (TR-1) con un volumen de 960 m³ (dividido en 2 vasos) relleno con material reactivo tipo DAS-Calizo. Este tanque reactivo se encuentra conectado en serie con decantadores (D-1 y D-2) de 100 m² de superficie, y un segundo tanque reactivo (TR-2) intermedio de 720 m³ con el mismo relleno reactivo que el primero. Una

imagen panorámica de la planta se muestra en la figura 1.

El AMD de la galería abandonada de Mina Esperanza presenta un valor promedio de pH de 2.64, entre 2.03 y 3.13 mS/cm de conductividad eléctrica (CE) y alrededor de un 10% de oxígeno disuelto. Tiene una acidez neta de unos 1910 mg/L como CaCO₃ equivalentes y contiene valores medios de 596 mg/L de Fe, 112 mg/L de Al, 16 mg/L de Cu, 12 mg/L de Zn, y 0.1-3 mg/L de As, Cr, Cd, Co, Ni y REY (sumatorio de tierras raras e ytrio). El vertido presenta un caudal promedio de 1 L/s.

Se han realizado muestreos quincenales en diferentes puntos de control a lo largo de la planta (figura 1). En todos los muestreos se midieron parámetros físico-químicos *in situ* y se obtuvieron muestras para analizar la concentración metálica mediante ICP. Se presentan aquí los resultados obtenidos en los 6 primeros meses de monitorización (Diciembre de 2014 a Mayo de 2015), de los cuales se disponen de datos químicos de los primeros 87 días de funcionamiento.

RESULTADOS Y DISCUSION

La figura 2 muestra la mejora en la calidad del AMD de Mina Esperanza tras ser tratado en la planta DAS. La disolución del material reactivo eleva el pH de la solución a valores medios de 6.46 en el vertido final tratado (Fig. 2), con una generación de alcalinidad de unos 320 mg/L en los tanques reactivos (Fig. 2). Esta alcalinidad es parcialmente consumida en los decantadores vía precipitación de metales. Durante el periodo monitorizado, se ha observado una disminución en la CE de 2.6 mS/cm en el vertido a 1 mS/cm en el agua tratada (Fig. 2).

La evolución de la acidez neta a lo largo de las diferentes etapas de la planta



fig 1. Imagen de la planta de tratamiento DAS de Mina Esperanza. ME X (puntos de toma de muestras), PN (Pre-tratamiento), TR-X (Tanques reactivos), D-X (Decantadores).

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

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

	Al	Cu	Fe	Zn	REY	As	Co	Ni	Cr	Cd
PN	/	/	414	/	/	0.68	/	/	0.01	/
TR-1	668	94	2075	64	3.57	0.78	0.94	0.46	0.09	0.27

Tabla 1. Cantidad de metales acumulados en el pre-tratamiento (PN) y primer tanque reactivo (TR-1) durante los primeros 87 días de funcionamiento de la planta (resultados de 6 muestreos). Datos en Kg.

(Fig. 3), corrobora la mejora en la calidad del vertido. Este parámetro no solo tiene en cuenta el pH de la solución, sino que además incluye la alcalinidad y las concentraciones de los principales metales contenidos en el vertido, que además son susceptibles de hidrolizarse y precipitar, y por lo tanto generar nuevamente acidez. Así pues es un parámetro ideal para seguir la evolución en la mejora de la calidad del vertido. Los 1910 mg/L de acidez neta en el AMD original son reducidos a 53 mg/L a la salida de TR-1 (Fig.3), lo cual implica una eliminación de acidez del 97%. Finalmente a la salida de D-2 la acidez neta es de -58 mg/L (Fig. 3), este valor negativo indica que el resultado del tratamiento es un agua netamente alcalina.

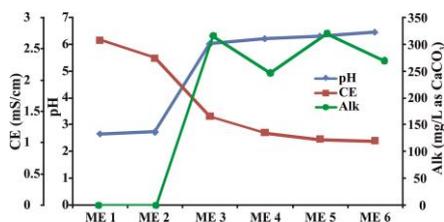


Fig 2. Evolución de pH, CE y alcalinidad a lo largo de los diferentes puntos de control de la planta de tratamiento de Mina Esperanza.

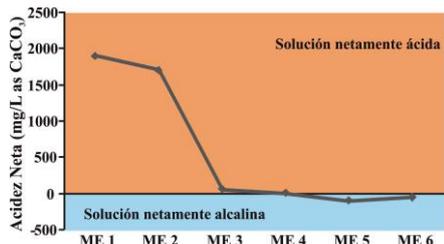


Fig 3. Evolución de la acidez neta a lo largo de los diferentes puntos de control de la planta de tratamiento de Mina Esperanza.

Estos bruscos cambios hidroquímicos implican una fuerte retención de metales en las diferentes etapas del proceso. De hecho, en su conjunto, la planta DAS de Mina Esperanza es capaz de retener el 100% de Al, Cu, Zn, REY, As, Co, Ni, Cr y Cd; así como el 84% del Fe (Fig. 4A y B).

En detalle, solo Fe, As y Cr son parcialmente retenidos en la primera etapa del proceso (PN), con valores medios del 11%, 46% y 12% respectivamente. Es en el interior de TR-1

donde se produce la principal retención de metales, alcanzándose en él valores superiores al 99% en eliminación de Al, Cu, Zn, REY y Cd. La cantidad de As y Cr no retenidos en el PN son completamente eliminados en este TR-1. La retención de Fe tras este tanque alcanza el 67%. En cuanto a Co y Ni, aunque su principal eliminación ocurre en TR-1, son retenidos gradualmente en los decantadores y TR-2, con valores superiores al 99% de retención en la salida de D-2. En este mismo punto Fe ha sido eliminado en un 84%.

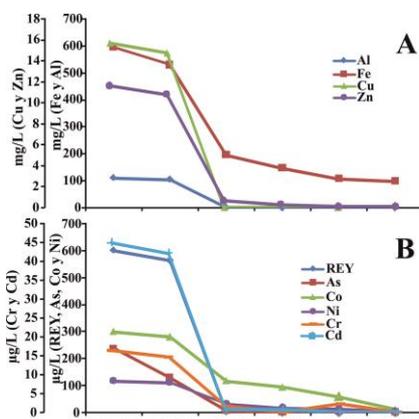


Fig 4. Evolución de las concentraciones metálicas a lo largo de los diferentes puntos de control de la planta de tratamiento de Mina Esperanza. Concentraciones medias de Fe, Al, Cu y Zn (A), y REY, As, Co, Cr, Ni y Cd (B).

La gran eficacia en cuanto a eliminación de metales alcanzada en las diferentes partes de la planta, puede traducirse en valores cuantificados de metales acumulados, lo cual nos da una idea muy clara de la magnitud en cuanto a retención metálica que el sistema es capaz de alcanzar. En la tabla 1 se presentan las cantidades de metales acumulados en PN y TR-1 después de los primeros 87 días a pleno funcionamiento. Durante este periodo de tiempo analizado se han tratado 7517 m³ de AMD, a razón de 1 L/s, obteniéndose enormes tasas de acumulación metálica.

Solo el PN ha retenido en este periodo de tiempo 414 kg de Fe y 0.68 de As; lo que se traduce en un promedio de 4.8 kg de Fe y 8 gr de As retenidos al día. Acorde con los datos hidroquímicos discutidos previamente, las cantidades

de metales acumulados en el TR-1 son órdenes de magnitud superior a los del PN (Tabla 1). Cabe destacar la acumulación de Al (668 kg), Fe (2075 kg), Cu (94 kg), Zn (64 kg), REY (3.57 kg), Co (0.94 kg) o As (0.78 kg). Estos datos implican una tasa de acumulación de 7.7 kg/día de Al, 23.8 kg/día para Fe, 1.1 kg/día de Cu o 0.04 kg/día de REY.

CONCLUSIONES

La planta de tratamiento pasivo de Mina Esperanza muestra excelentes resultados en cuanto a mejora de la calidad del agua tratada y retención de metales. Las enormes tasas de acumulación de metales con interés económico (Cu o REY, entre otros) sugieren la posibilidad de creación de un recurso económico a través del proceso de depuración de aguas ácidas.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido financiado por los proyectos TAAM (ITC-20111083) del CDTI y LIFE-ETAD (LIFE12 ENV/ES/000250) del programa LIFE de la UE.

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.

EC Decisión 2000/60/EC. Council Decision of 23 October 2000: establishing a communitarian frame of action in the scope of water policy. *Official Journal L* 327, 22/12/2000, pp. 1-88.

Nocete, F., Álex, E., Nieto, J.M., Sáez, R., Bayona, M.R., (2005): An archaeological approach to regional environmental pollution in the south-western Iberian Peninsula related to Third millennium BC mining and metallurgy. *J. Archaeol. Sci.* **32**, 1566-1576.

Oliás, 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.

US EPA (US Environmental Protection Agency), 1998: *Applicability of the Toxicity Characteristic Leaching Procedure to mineral processing wastes*, Washington, DC, 28 pp.