

# Tratamiento sostenible de drenaje ácido de mina: Tecnología DAS-calizo en Mina Esperanza (Faja Pirítica Ibérica)

Salud Orden (1\*), Francisco Macías (1), José Miguel Nieto (1), Carlos Ayora (2)

(1) Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad de Huelva, 28040, Huelva (España)

(2) Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua, CSIC, Jordi Girona 18, 08028 Barcelona

\* corresponding author: salud.orden@dct.uhu.es

**Palabras Clave:** Tecnología pasiva, alcalinidad, materias primas críticas, tierras raras, itrio. | **Key Words:** Passive technology, alkalinity, critical raw materials, rare earth elements, yttrium.

## INTRODUCCIÓN

La contaminación por drenaje ácido de mina (AMD) supone uno de los problemas ambientales más graves que afecta a numerosos lugares del planeta, degradando la calidad química y ecológica del agua. La cuenca del río Odiel situada en la Faja Pirítica Ibérica (FPI) en la provincia de Huelva, se ha convertido en un referente de región contaminada a nivel mundial. Esto se debe a una larga historia minera y a su mala gestión durante años.

Para abordar esta problemática y con objeto de cumplir con el requerimiento que dicta la Directiva Marco del agua (WFD, 2000/60/CE) se han desarrollado distintas estrategias de actuación. Hasta el momento y tras años de investigación, la estrategia que parece ser más viable desde un punto de vista técnico y económicamente sostenible, es la depuración de las aguas ácidas mediante la tecnología DAS (Dispersed Alkaline Substrate) (Ayora et al., 2013). Este método se basa en el uso de la mezcla de un reactivo alcalino que aporta alcalinidad al medio, aumenta el pH y en consecuencia provoca la precipitación de metales; junto con un material inerte (virutas de madera) que proporciona permeabilidad al sistema evitando atascos.

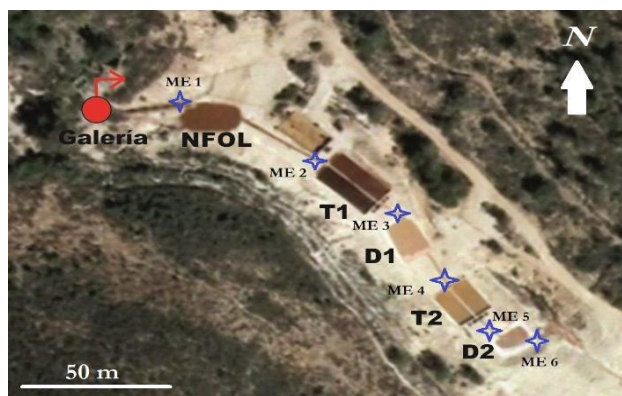
En el presente estudio se muestran los resultados de la primera planta de tratamiento pasivo DAS-calizo construida a escala real, situada en Mina Esperanza (Almonaster la Real, Huelva) durante un periodo de dos años y cuatro meses ininterrumpidos de funcionamiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Tras el cese definitivo de la explotación de Mina Esperanza en 1931, existen lixiviados ácidos que son drenados a través de una antigua galería. Con el fin de remediar la contaminación de este vertido, a finales de 2014 se construyó una planta de tratamiento pasivo DAS-calizo, financiada por el proyecto TAAM (ITC-20111083) del Centro de Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) de España. El sistema de tratamiento consta de un

pretratamiento (NFOL, siglas de natural *Ferroxidizing lagoon*) (Macías et al., 2012) de 100 m<sup>2</sup>, dos tanques reactivos DAS-calizo T1 y T2 de 960 y 720 m<sup>3</sup> respectivamente y dos decantadores de 100 m<sup>2</sup> cada uno. Para más detalle del diseño de la planta consultar (Nieto et al., 2015).

Con objeto de estudiar la evolución hidroquímica del AMD a lo largo de las distintas partes de la planta de tratamiento y la repercusión del tratamiento en la mejora de la calidad química, durante dos años y cuatro meses de monitoreo se han realizado muestreos periódicos quincenales a la salida de las distintas partes que componen la planta de tratamiento (Fig. 1).



**Fig 1.** Vista aérea de la planta de tratamiento de Mina Esperanza, en la cual se indican los distintos puntos de muestreo (De ME 1 a ME 6).

En cada muestreo se midieron parámetros físico-químicos in situ (Tabla 1) y se tomaron muestras para medir la concentración metálica por ICP-OES y MS.

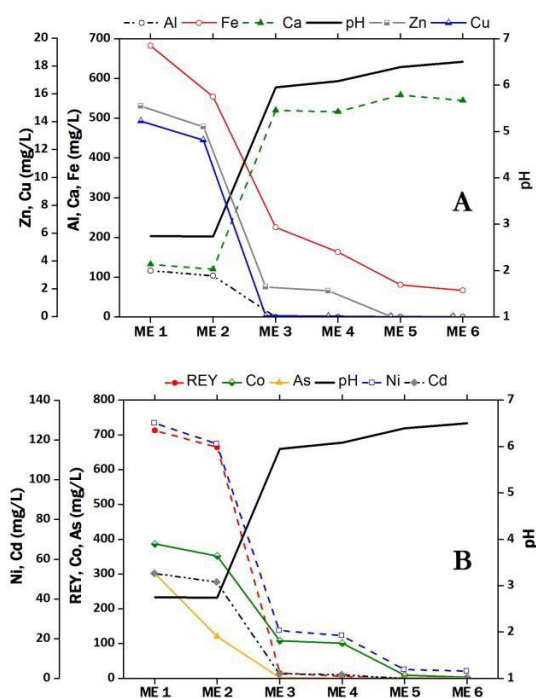
	ME 1	ME 2	ME 3	ME 4	ME 5	ME 6
pH	2.7	2.7	6.0	6.1	6.4	6.5
CE (ms/cm)	2.8	2.5	1.5	1.3	1.2	1.2
Eh (mV)	540.9	612.7	211.2	196.7	174.1	167.2
Alk (mg/L eq. CaCO <sub>3</sub> )	0	0	258.2	155.2	228.4	175.8

**Tabla 1.** Valores medios de los parámetros físico-químicos en los diferentes puntos de muestreo de la planta de tratamiento, (n= 48).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

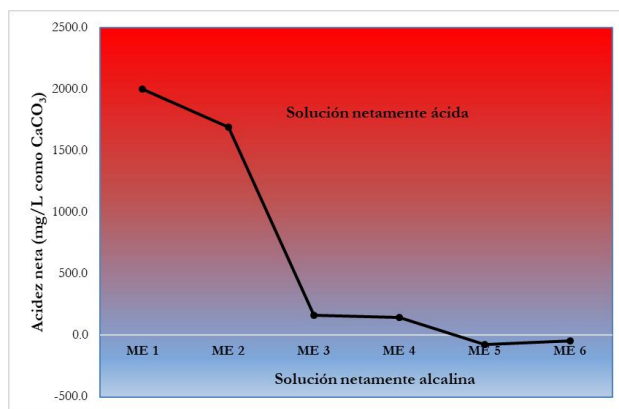
El caudal medio tratado durante el periodo de funcionamiento fue de 0.8 L/s, lo que equivale a 56000 m<sup>3</sup> de AMD tratado. El tiempo de residencia medio en el interior de los tanques es de 4.7 y 3.7 días en T1 y T2 respectivamente. Además, no se han producido atascos ni pérdidas de permeabilidad significativas. A la salida de la galería, el AMD presenta un pH medio de 2.8 y permanece en torno a ese valor hasta la salida de T1 donde aumenta hasta 6. Desde este punto en adelante se ve incrementado hasta 6.5 (en ME6). Así mismo, se observa que en ME 3 se produce la mayor generación de alcalinidad (de 260 mg/L como CaCO<sub>3</sub>). Mientras que tras el paso por T2 (en ME5) el ascenso es de 75 mg/L como CaCO<sub>3</sub>.

En el pretratamiento se produce la aireación del AMD que sale de la galería, consiguiendo oxidar el 37 % de Fe(II) a Fe(III) y eliminando un 17% de Fe<sub>T</sub>. El NFOL, además, actúa eficazmente en la retirada de otros metales y metaloides, eliminando el 60% de As, 53% de V y 83% de Mo. Por otro lado, el T1 consigue eliminar > 99% de Al, Cu, REY (tierras raras + itrio), As y Cd. Sin embargo, hasta ME 5 el 100% de Zn, Co y el 90% de Ni no es eliminado. (Fig. 2).



**Fig 2.** Evolución de la concentración metálica media y pH a lo largo de los distintos puntos de control de la planta de tratamiento. Concentraciones de Al, Fe, Ca, Cu y Zn (A), y Ni, Cd, As, Co y REY (B).

En cuanto a la repercusión del tratamiento en la mejora de la calidad química del agua, y teniendo en cuenta la acidez neta, se consigue pasar de una solución netamente ácida a una solución netamente alcalina, con una disminución promedio de acidez de 1962 mg/L como CaCO<sub>3</sub> desde ME1 a ME6 (Fig. 3).



**Fig 3.** Evolución de la acidez neta en los distintos puntos monitorizados de la planta de tratamiento de Mina Esperanza.

Por último, en la tabla 2, se presenta una estimación del tonelaje de materias primas críticas (CRMs, por sus siglas en inglés, critical raw materials) (indicados en naranja) y metales tecnológicos con un alto valor económico, que quedan retenidos en el interior de las diferentes partes de la planta. Siendo la cantidad de REY lo más abundante, con aproximadamente 40 kg.

	REY	Li	Be	Sc	Ti	V	Cr	Co	Ni	Ga	Ge	Mo	Cd	Sb	Tl	Pb
NFOL	2.45	0.37	0.02	0.08	0.22	2.10	0.13	1.43	0.43	0.04	0.02	0.30	0.18	0.14	0.06	0.02
T1	35.54	0.12	0.27	0.87	0.32	1.82	1.06	13.19	5.07	0.27	0.07	0.05	2.53	0.00	1.13	0.97
D1	0.32	0.29	0.00	0.04	0.01	0.00	0.01	0.73	0.13	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.02	0.00
T2	0.11	0.01	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	4.83	0.83	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.01	0.00
D2	0.00	0.12	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	-0.02	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL (Kg)	38.4	0.9	0.3	1.0	0.6	3.9	1.2	20.2	6.4	0.3	0.1	0.4	2.8	0.1	1.2	1.0

**Tabla 2.** Tonelaje de metales con interés económico retenido en el interior de la planta de tratamiento.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos durante los 2 años y 4 meses de funcionamiento ininterrumpido de la planta de tratamiento pasivo de Mina Esperanza, muestran una evidente mejora de la calidad química del AMD tratado. El elevado tonelaje de metales con un alto interés económico (CRMs) acumulados en el interior de los tanques harían posible la remediación de la cuenca de una manera sostenible, si se lograra convertir el residuo metálico en un recurso. Futuras investigaciones serían necesarias para alcanzar este hito.

## 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. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(11), 7837-7853.
- Nieto, J. M., Macías, F. M., & Ayora, C. (2015). Tratamiento Ecológico de Drenajes Ácidos de Mina: Proyecto LIFE-ETAD. *Macla*, 20, 103-104.
- Macías, F., Caraballo, M. A., Nieto, J. M., Rötting, T. S., & Ayora, C. (2012). Natural pretreatment and passive remediation of highly polluted acid mine drainage. *Journal of environmental management*, 104, 93-100.