

Aproximación Geoquímica al Modelo de Restauración de la Cuenca del Odiel

/ FRANCISCO MACÍAS SUÁREZ (1,*), RAFAEL PÉREZ-LÓPEZ (1), JOSÉ MIGUEL NIETO LIÑÁN (1), MANUEL A. CARABALLO MONGE (2), AGUASANTA MIGUEL SARMIENTO (3), CARLOS AYORA (4), MANUEL OLIAS (3)

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

(2) Mining Engineering Department, University of Santiago, Avda. Tupper 2069, Santiago, Chile

(3) Departamento de Geodinámica y Paleontología. Universidad de Huelva. Avda. Fuerzas Armadas s/n. Huelva 21071, España.

(4) Institute of Environmental Assessment and Water Research, CSIC, Jordi Girona 18, E-08034 Barcelona, España.

INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Odiel en la Faja Pirítica Ibérica (FPI) es un ejemplo mundial de contaminación por drenaje ácido de mina (AMD) (Nieto et al., 2013). Actualmente la cuenca del río Odiel está sometida a las incertidumbres que ejercen la Directiva Marco del Agua Europea (WFD, EC Decision 2000/60/EC) y la futura construcción del embalse de Alcolea.

El objetivo de la WFD es alcanzar una buena calidad química y ecológica en todas las aguas Europeas en 2015. En la cuenca del Odiel la aplicación de la WFD presenta serios problemas, ya que existe una extrema contaminación metálica distribuida a lo largo de la cuenca. Las autoridades regionales publicaron el "Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Tinto-Odiel-Piedras" (BOJA 216, 2011), en el cual se propone 2027 como nueva fecha límite para cumplir con la WFD. En este Plan Hidrológico, se propone el uso de sistemas pasivos (en lugar de activos) como la opción más sostenible en las futuras estrategias de restauración. Además existen serias dudas sobre la calidad de las futuras aguas almacenadas en Alcolea (Oliás et al., 2011), por lo que se deberán tomar medidas restauradoras.

Hasta el momento el único tratamiento pasivo que ha mostrado buenos resultados al tratar drenajes ácidos de la FPI es el sustrato alcalino disperso (DAS) (Ayora et al., 2013). El sistema 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.

En el presente resumen se ha

combinado una revisión bibliográfica sobre el estado actual del agua en la cuenca del Odiel junto con una modelización termodinámica de mezcla de aguas para simular cada confluencia de la red fluvial. Una vez creado el modelo, se ha optimizado el número de descargas ácidas que deberían ser tratadas mediante la tecnología DAS.

MATERIALES Y MÉTODO.

La base de datos generada para la realización de este trabajo se ha obtenido de Sanchez España et al. (2005), Sarmiento (2008) y Sarmiento et al. (2009). Esta base de datos fue geoquímicamente modelizada mediante el código PHREEQC Interactive 2.15.0 (Parkhurst, 1999), usando la base de datos termodinámicos WATEQ4F (Ball y Nordstrom, 1991).

El modelo conceptual se basa en dos comandos: uno para modelizar la mezcla de dos aguas ("MIX") seguido por un segundo por el que se induce el equilibrio de minerales y/o gases en la mezcla de aguas resultante ("EQUILIBRIUM PHASES"). Las soluciones equilibradas resultantes serán nuevamente mezcladas con la siguiente descarga de AMD si esta existe, y así sucesivamente. Los resultados modelizados obtenidos se compararon con datos reales adquiridos de la literatura.

Basándonos en los resultados obtenidos

tras la configuración final del sistema DAS para el tratamiento de AMD con altas concentraciones metálicas en la FPI (Tabla 1), se ha modelizado los efectos de remediación de sistemas DAS estratégicamente localizados en la cuenca. La interacción entre el AMD y los reactivos alcalinos del DAS se ha modelizado usando el comando ("EQUILIBRIUM PHASES"), para simular la disolución de caliza y MgO, y la precipitación de las principales fases minerales formadas en el sistema (Tabla 1).

El factor limitante para la instalación de un sistema DAS es el caudal del AMD a tratar (máximo 5 L/s). Otro factor limitante utilizado para decidir si un sistema DAS es necesario o no en una zona concreta sería la hidroquímica de la mezcla donde el AMD confluya, el parámetro utilizado para considerar que un agua tiene una calidad aceptable es un pH>6.

RESULTADOS Y DISCUSION.

El modelo ha sido realizado para las sub-cuencas Odiel y Oraque, ya que en su confluencia se construirá el embalse de Alcolea. En este resumen se presenta el modelo para la sub-cuenca del Odiel.

Esta sub-cuenca es la red de drenaje más amplia de la cuenca y supondrá el principal aporte de agua al embalse de Alcolea (Fig. 1), 20 minas abandonadas se localizan en ella y en la literatura se

	pH	mg/L						
		Al	Ca	Cu	Fe	Mg	Mn	Zn
Vertido	3	100	250	5	275	255	18	440
DAS-CaCO ₃	6.1	Nd	608	Nd	Nd	279	15	360
Modelo DAS-CaCO ₃	6.4	0	574	0	0	230	14	364
DAS-MgO	9.8	Nd	483	Nd	Nd	344	Nd	Nd
Modelo DAS-MgO	9.5	0	574	0	0	490	0	0

Tabla 1. Composición metálica y pH del vertido y la salida de los diferentes pasos del tratamiento pasivo piloto de Monte Romero (Ayora et al., 2013). Nd (no detectado).

palabras clave: drenaje ácido de mina, sustrato alcalino disperso, modelización geoquímica, cuenca del Odiel

key words: acid mine drainage, dispersed alkaline substrate, thermodynamic modelization, Odiel basin

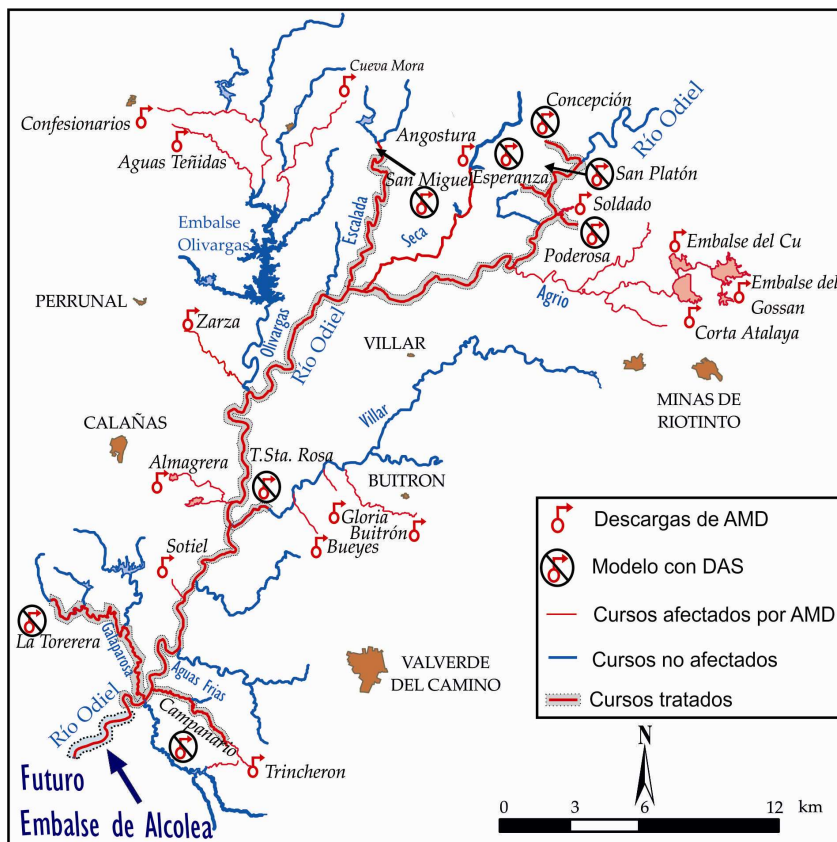


fig. 1. Modelo para la sub-cuenca del Odiel.

han caracterizado 23 vertidos de AMD.

De la comparativa entre valores reales y modelizados se infiere la existencia de vertidos que no han sido caracterizados. Teniendo en cuenta esto, se sugiere la implantación de 8 sistemas DAS estratégicamente localizados en la sub-cuenca (Fig. 1). Esta situación debe ser considerada como una actuación mínima para alcanzar una aceptable calidad de las aguas en Alcolea, ya que solo 8 de las 23 descargas deberían ser tratadas para este propósito. Sin embargo debe ser aclarado que esta actuación no cumpliría con las regulaciones de la WFD ya que varios cursos ácidos en la sub-cuenca no serían descontaminados.

Incluso con esta actuación, la estrategia para la sub-cuenca Odiel probablemente no tendría el efecto beneficioso propuesto en el futuro embalse si el aporte contaminante del arroyo Agrio no se elimina (Fig. 1). Las fuentes de contaminación que afectan a este arroyo proceden del distrito minero de Riotinto, donde algunas fuentes presentan caudales muy altos. Estos caudales imposibilitan el uso del sistema DAS o cualquier otro

tratamiento pasivo. Sin embargo la Autorización Ambiental Integrada para la reapertura de la mina de Riotinto marca como condicionante el vertido cero a la cuenca del Odiel, al menos durante la vida de la explotación. Este hecho junto con la estrategia propuesta si podría suponer una calidad aceptable de las aguas embalsadas.

CONCLUSIONES.

El modelo sugiere la existencia de otros vertidos de AMD que aún no han sido caracterizados, por lo tanto un primer paso para un futuro plan de restauración es una exhaustiva catalogación de las fuentes de AMD presentes en la región. El modelo indica que tratando 8 de las 23 descargas caracterizadas, junto con la Autorización Ambiental Integrada para la reapertura de Riotinto, podría suponer una aceptable calidad de las aguas a embalsar en Alcolea por la sub-cuenca Odiel. El modelo de plan de restauración no implicaría el cumplimiento de la WFD.

AGRADECIMIENTOS.

Este estudio ha sido financiado por el CDTI (Centro Desarrollo Tecnológico

Industrial) a través del proyecto TAAM (ITC-20111083), Ministerio de Economía y Competitividad.

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.

Ball, J.W., Nordstrom, D.K. (1991): User's Manual for WATEQ4F with Revised Thermodynamic Database and Test Cases for calculating Speciation of Major, Trace and Redox Elements in Natural Waters, U.S. Geological Survey Water Resources Investigation. pp. 91-183.

BOJA (2011): Acuerdo de 2 de noviembre de 2011, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba inicialmente el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras. *Boletín Oficial Junta de Andalucía*. 216, 9-11.

EC Decision 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.

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.

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.

Parkhurst, D.L., Appelo, C.A.J. (1999): User's Guide to PHREEQC (Version 2) A Computer Program for Speciation, Batch-Reaction, One-Dimensional Transport, and Inverse Geochemical Calculations, USGS Water-Resources Investigations, Denver, Colorado.

Sánchez-España, J., Lopez Pamo, E., Santofimia, E., Aduvire, O., Reyes, J., Baretino, D. (2005): Acid mine drainage in the Iberian Pyrite Belt (Odiel river watershed, Huelva, SW Spain): Geochemistry, mineralogy and environmental implications. *Appl. Geochem.* **20**, 1320-1356.

Sarmiento, A.M. (2008): Estudio de la contaminación por drenajes ácidos de minas de las aguas superficiales en la cuenca del río Odiel (SO España). Tesis Doctoral, Universidad de Huelva, 395 pp.

Sarmiento, A.M., Nieto, J.M., Ollas, M., Cánovas, C.R. (2009a): Hydrochemical characteristics and seasonal influence on the pollution by acid mine drainage in the Odiel river Basin (SW Spain). *App. Geochem.* **24**, 697-714.