

# Variaciones Interanuales en la Contaminación de Aguas Ácidas en Galerías Subterráneas

/ MANUEL A. CARABALLO (1,\*), FRANCISCO MACÍAS SUÁREZ (1), JOSÉ M. NIETO (1), CARLOS AYORA (2)

(1) Departamento de Geología, Universidad de Huelva, Campus 'El Carmen', 21071, Huelva, España.

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

## INTRODUCCIÓN.

La exposición de sulfuros (de manera natural o tras los procesos extractivos propios de las labores mineras) a las condiciones oxidantes de la superficie terrestre conlleva la disolución oxidativa de los mismos. Este fenómeno es el origen de uno de los problemas ambientales más severos y extendidos en las regiones mineras del mundo: la contaminación por metales de las aguas. Este tipo de contaminación es comúnmente conocido como drenaje ácido de mina (AMD) y se caracteriza, además de por la elevada concentración de metales y sulfato presente en las aguas, por mostrar valores bajos o muy bajos de pH.

Uno de los principales aportes de este tipo de contaminación proviene de los manantiales de agua subterránea. Debido a la explotación mediante galerías y pozos, tan comúnmente empleada en minería de carbón y de sulfuros, se crea una intrincada red de oquedades subterráneas interconectadas las cuales, una vez abandonada la explotación minera, suelen quedar inundadas al retornar el nivel freático a su cota previa. De esta forma, se genera un nuevo sistema hidrológico que puede ser entendido como un acuífero con porosidad secundaria.

Los manantiales de aguas ácidas generados en las bocaminas y pozos de estos sistemas subterráneos tienen la nefasta peculiaridad de convertirse en focos puntuales de vertido con capacidad para aportar contaminación a los sistemas acuáticos superficiales de forma continuada a lo largo de todas las estaciones del año.

Sin embargo, es este carácter localizado del vertido el que facilita su recolección y descontaminación en sistemas de

tratamiento pasivo (Caraballo et al., 2009).

La comprensión de los factores que controlan las variaciones estacionales e interanuales tanto de la hidroquímica como de los caudales de estas surgencias, es esencial no sólo para la caracterización de la distribución y severidad de la contaminación por AMD en estas regiones sino también para poder diseñar sistemas de tratamiento eficientes que logren acomodar todos estos cambios temporales.

Con esta finalidad en mente, el presente trabajo mostrará la estrecha vinculación existente entre la pluviometría, el caudal y la hidroquímica de las aguas que manan de la bocamina de Mina Esperanza, prestando especial atención en los efectos de disolución de eflorescencias en momentos de incremento significativo de caudal en la bocamina.

## MATERIALES Y MÉTODOS.

El presente estudio se realizó en la surgencia de aguas ácidas subterráneas de Mina Esperanza, situada en el SO de la Faja Pirítica Ibérica (Huelva, España). Durante el período comprendido entre Marzo del 2007 y Octubre del 2008, la bocamina fue muestreada bisemanalmente mientras que para el período de Noviembre de 2009 a Febrero de 2011 se realizó de manera bimensual.

Los principales parámetros físico-químicos fueron medidos directamente en el campo. La temperatura y la conductividad eléctrica fueron obtenidas empleando un medidor portátil CM35 (Crison®) mientras que el pH y el potencial Redox se midieron con un equipo PH25 (Crison®) con electrodos de Pt y Ag/AgCl. Para la medición del oxígeno disuelto se empleó un medidor Hanna® con autocalibrado al aire.

Las muestras de agua fueron filtradas usando filtros Millipore de 0,1 µm, aciduladas hasta un pH inferior a 1 con HNO<sub>3</sub> suprapur y refrigeradas a una temperatura inferior a 4 °C hasta su análisis con ICP-OES (YOBIN IVON ULTIMA2) en los Servicios Centrales de Investigación de la Universidad de Huelva. Los límites de detección del método fueron menores de 0,1 mg/L para Al, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, S, Si, Zn y menores de 3µg/L para As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Li, Ni, Pb, Sn y Sr.

El estudio de especiación de hierro se llevó a cabo en el campo por colorimetría con cloruro de fenantrolina como agente quelante y mediante la utilización de un fotómetro portátil (Dr/890 HACH®). El límite de detección del método es de 0.2 mg/L y la precisión mejor del 5%.

Los datos pluviométricos, ofrecidos por la Agencia Estatal de Meteorología, corresponden a la estación meteorológica de "El Campillo" situada a 10 kilómetros de la zona de estudio.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

El sistema de galerías subterráneas inundadas de Mina Esperanza presenta un relación directa entre el caudal descargado por la bocamina y las precipitaciones registradas en la zona (Fig. 1). Se ha observado como el tiempo de respuesta entre el máximo pluviométrico y el máximo de caudal descargado por la bocamina suele llevar asociado un retardo que oscila entre 15 días y un mes (dependiendo del evento estudiado).

Durante el período estudiado se pudieron observar dos ciclos bien diferenciados marcados por un grupo de años "secos" con una escasa pluviometría anual (2007-2009) y otro grupo de años "muy lluviosos" con

**palabras clave:** Sales evaporíticas, Aguas subterráneas, Drenaje ácido de mina, Variaciones interanuales

**key words:** Evaporitic salts, Groundwater, Acid mine drainage, Long period variations

precipitaciones especialmente intensas (2010-2011; Fig. 1).

Durante el período seco, el caudal de la bocamina se mantuvo de manera muy estable, oscilando entre 0,5 y 1 L/s, mientras que en el período húmedo se llegaron a alcanzar caudales de hasta 4,6 L/s. La estabilidad mostrada durante el período seco queda patente también en la concentración metálica de estas aguas donde, a pesar de poder observarse pequeñas fluctuaciones, la tónica predominante es que las concentraciones de metales disueltos presenten rangos estrechos de variación (Fig. 2). Sin embargo, en los eventos de mayor caudal se observa un incremento muy significativo en la concentración de metales en estas aguas (Fig. 2).

La relación molar  $Fe/SO_4^-$  muestra como, durante el período seco, este valor se mantiene de manera constante por encima de 0,4 (es decir, muy cercano al valor teórico de 0,5 que debería observarse si todo el Fe y el  $SO_4^-$  provinieran de la disolución de pirita) mientras que durante el primer mes del evento de máximo caudal de la época húmeda (Enero-Mayo, 2010) este valor desciende hasta 0,3. Del mismo modo, se observa para ese evento un descenso de la relación molar Zn/Cu desde 1,5 hasta 0,5, lo cual ha sido vinculado en estudios previos al efecto de disolución de eflorescencias durante las primeras lluvias tras el verano (Cánovas et al. 2010).

El efecto de disolución de sales evaporíticas en el interior de las galerías también podría explicar el repentino aumento de concentración en  $Fe^{3+}$  en el

agua de la bocamina para los meses de Enero-Marzo 2011, donde se pasó del valor común en torno a 0-10 mg/L de  $Fe^{3+}$  en las aguas a un valor de 100 mg/L. El hierro ferroso también reflejó un incremento anómalo durante este evento de mayor caudal, lo cual podría atribuirse igualmente a la disolución de sales evaporíticas, aunque la nueva interconexión de galerías que aporten nuevas aguas con mayor concentración de hierro ferroso no puede ser descartada.

**CONCLUSIONES.**

El conocimiento y control de las variaciones observadas tanto en el caudal descargado por la bocamina de Mina Esperanza como en las concentraciones metálicas de sus aguas es de vital importancia para una gestión eficiente de este tipo de focos contaminantes.

La ausencia de un efecto de dilución en la contaminación metálica de estas aguas como respuesta a las épocas de mayor precipitación ha de ser tenida en cuenta en el diseño de plantas de tratamiento pasivo de aguas ácidas ya que, de manera puntual, han de poder soportar el significativo aumento tanto de caudal a tratar como de contaminación metálica a retirar.

**AGRADECIMIENTOS.**

Este estudio ha sido financiado por los proyectos CTM2007-66724-C02/TECNO y CGL2010-21956-C02 del Ministerio de Ciencia e Innovación de España.

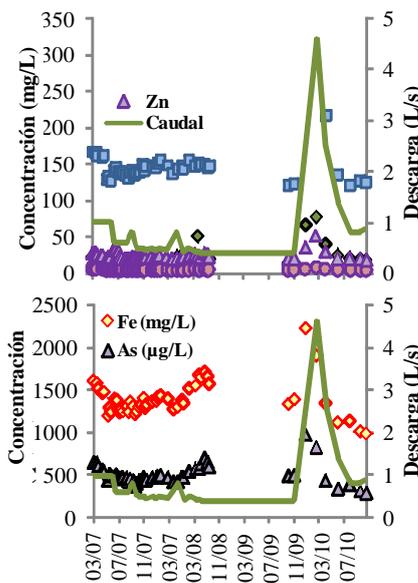


fig 2. Evolución temporal de las concentraciones mostradas por algunos metales en el agua de la bocamina así como por el caudal de descarga de dicho manantial.

**REFERENCIAS.**

Caraballo, M.A., Rötting, T.S., Macías, F., Nieto, J.M. and Ayora, C. (2009): Field multi-step limestone and MgO passive system to treat acid mine drainage with high metal concentrations. *Appl. Geochem.*, **24**, 2301-2311.  
 Cánovas, C.R., Olías, M., Nieto, J.M. and Galván, L. (2010): Wash-out processes of evaporitic sulfate salts in the Tinto river: hydrogeochemical evolution and environmental impact. *Appl. Geochem.*, **25**, 288-301.

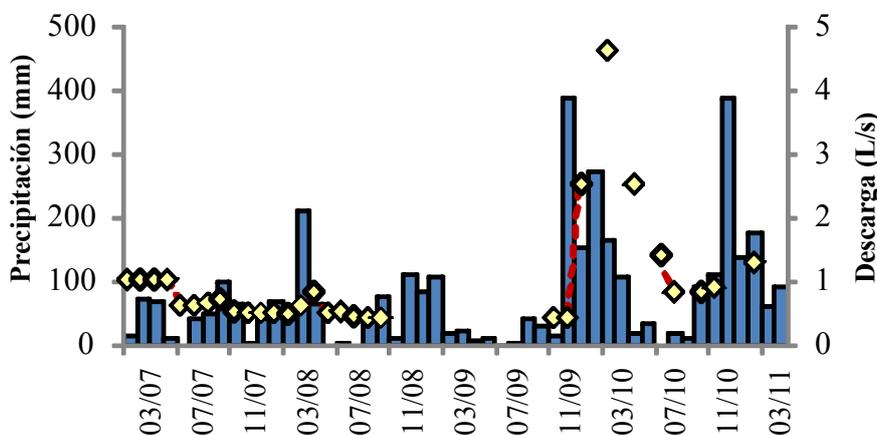


fig 1. Pluviometría y caudal de descarga en la bocamina registrado para el período comprendido entre Marzo de 2007 y Abril del 2011