

Funcionamiento Geoquímico de un Sistema Calizo de Tratamiento Pasivo de Aguas Ácidas de Mina (Faja Pirítica Ibérica, Huelva)

/ MANUEL A. CARABALLO MONGE (1,*), FRANCISCO MACÍAS SUÁREZ (1), TOBIAS S. RÖTTING (2), JOSÉ MIGUEL NIETO LIÑÁN (1), CARLOS AYORA IBÁÑEZ (3)

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

(2) HERO Group, Sir Joseph Swan Institute for Energy Research, Newcastle University, Newcastle upon Tyne, NE1 7RU, United Kingdom

(3) Instituto de Ciencias de la Tierra "Jaume Almera" CSIC, Lluís Solé y Sabarís, s/n. Barcelona 08028, España

INTRODUCCIÓN.

Los drenajes ácidos de mina (AMD) son aguas que tras haber interactuado con ciertos sulfuros metálicos (esencialmente piritita) sufren un descenso de pH hasta valores ácidos así como un importante aumento en la concentración de especies metálicas disueltas.

Estas aguas representan uno de los mayores problemas ambientales en las zonas mineras, por lo que han dado lugar a distintos métodos de tratamiento. Para minería abandonada los más adecuados son los tratamientos pasivos, cuya esencia radica en desarrollar sistemas que puedan funcionar mediante el empleo de energía natural (gravidad o energía metabólica bacteriana) y que puedan funcionar largos períodos sin necesidad de mantenimiento intenso.

Para poder paliar los frecuentes problemas de pérdida de permeabilidad y reactividad desarrollados en los sistemas pasivos tradicionales al tratar AMD con una elevada concentración metálica, fue desarrollado el sustrato reactivo tipo DAS-Calizo, el cual ha sido evaluado con éxito en ocasiones precedentes (Rötting *et al.*, 2008).

Con anterioridad han sido realizados estudios mineralógicos de detalle para conocer la fases minerales involucradas en los procesos de retención de contaminantes en el interior del material reactivo tipo DAS-Calizo (Caraballo *et al.*, 2007), siendo el objetivo del presente estudio describir el funcionamiento geoquímico del interior

| Parámetros Físicoquímicos | | Elementos Mayoritarios | (ppm) |
|---------------------------|--------------|-------------------------------|-------------|
| pH | 2,66 - 2,95 | Fe | 750 - 950 |
| Pe | 9,38 - 10,09 | Al | 125 - 160 |
| Conductividad (mS/cm) | 3,24 - 4,59 | SO ₄ ²⁻ | 3500 - 4200 |
| Oxígeno Disuelto (ppm) | 1,41 - 2,5 | Zn | 15 - 20 |

Tabla 1. Parámetros físicoquímicos y elementos mayoritarios seleccionados del AMD de entrada al sistema de tratamiento pasivo de Mina Esperanza.

del material reactivo del sistema de tratamiento pasivo de Mina Esperanza. Dicho sistema se encuentra actualmente en funcionamiento por lo que la única forma de conocer la mineralogía existente en el interior del sustrato es a través del estudio de los cambios hidroquímicos experimentados por el AMD de entrada, Tabla 1, durante su flujo a través del mismo.

MATERIALES Y MÉTODOS.

El sistema de Mina Esperanza está compuesto por un tanque reactivo con un volumen de 480m³ (15m x 8m x 4m) relleno con material reactivo tipo DAS-Calizo al cual se le hace llegar el agua procedente de la bocamina mediante un canal abierto. Este tanque reactivo se encuentra conectado mediante canal abierto con una piscina decantadora (10mx3mx2m). Por lo tanto se trata de un sistema a escala real.

Para el estudio del perfil del material reactivo se tomaron 10 muestras de agua a distintas profundidades. Los parámetros físicoquímicos de estas muestras fueron medidos in situ, mientras que la concentración metálica se analizó mediante ICP-OES.

Los distintos índices de saturación (SI)

se calcularon mediante el código PHREEQC (Parkhurst, 1995), empleando la base de datos WATEQ4F (Ball y Nordstrom, 1991) a la cual se le añadió el valor del producto de solubilidad para schwertmannita ($\log K_s = 7.06 \pm 0.09$) propuesto por Kawano y Tomita (2001).

A modo de validación de los resultados hidroquímicos se determinó la mineralogía de los precipitados formados tanto a la entrada como a la salida del tanque reactivo mediante DRX.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Tanto las variaciones en la concentración de ciertos elementos como la evolución de los SI para varios minerales quedan reflejadas en la Fig. 1. Así puede observarse como en la parte correspondiente al sobrenadante y a los primeros 30cm del material reactivo, la concentración de Fe(III) va disminuyendo hasta desaparecer totalmente. Esta tendencia puede atribuirse a la precipitación de schwertmannita (Schw). Aunque este mineral aparece sobresaturado a lo largo de la totalidad del perfil, su precipitación real quedaría restringida a la zona donde aún queda Fe(III) en disolución al ser éste un componente

palabras clave: Drenaje Acido de Mina, Tratamiento Pasivo, Modelización Hidroquímica

key words: Acid Mine Drainage, Passive Treatment, Hydrochemical Modeling.

esencial para la formación de Schw. Una prueba concluyente de la precipitación de Schw se muestra en la Fig. 2, donde se aprecia claramente como a la entrada del sistema los precipitados que se forman corresponderían a Schw.

Goethita (Goe) también se muestra sobresaturada a lo largo de todo el perfil, sin embargo la precipitación directa de ésta, tanto en el sobrenadante como en el propio perfil, queda descartada ya que en la única zona donde hay disponible Fe(III) éste es consumido por la precipitación de Schw. Sin embargo, puede considerarse segura la aparición de Goe en la zona superficial del material reactivo debido a que por procesos de envejecimiento Schw se transforma en Goe (Acero et al., 2006). Así mismo la aparición de Gth a la salida del material reactivo (Fig. 2) muestra como este mineral precipita directamente, lo cual se debe a la rápida oxidación que experimenta el Fe(II) cuando el agua anóxica y a pH 6 del interior del material reactivo pasa a estar en contacto directo con la atmósfera.

En lo que respecta al Al, puede observarse como debido a la subsaturación respecto a basaluminita (Basl) en la parte alta del material reactivo, se produce un aumento de la concentración de Al producto de la redisolución de dicho mineral. Coincidente con la desaparición del Fe(III) de sistema, pasa a ser el Al el elemento que causa la disolución de la calcita por medio de la precipitación de

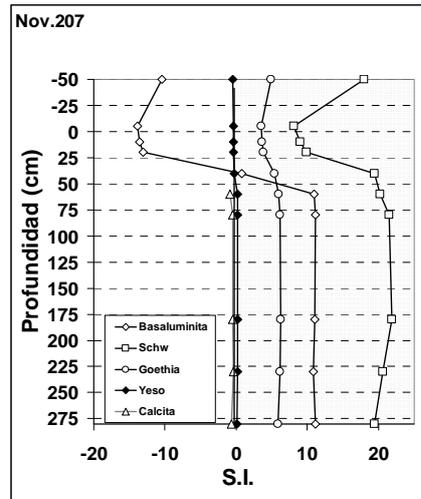


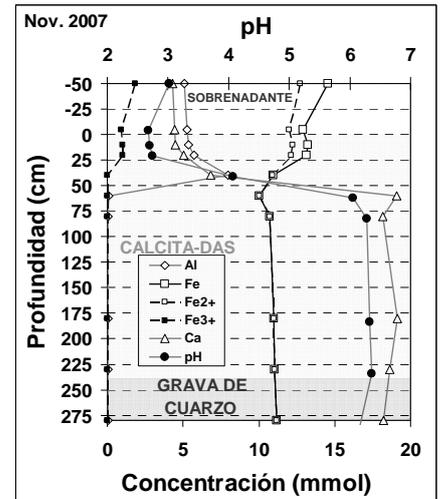
fig 1. Índices de Solubilidad para varios minerales y distribución de algunos elementos a lo largo del perfil del material reactivo de Mina Esperanza.

Basl y la remoción de OH⁻ de la solución, lo cual queda claramente reflejado en la Fig. 1 mediante el importante aumento de Ca y pH, así como la retirada total de Al en solución (40 y 60cm de profundidad) y la sobresaturación en Basl.

También puede observarse en la Fig. 1 como entre 60 y 80cm se produce un descenso significativo en la concentración del Ca disuelto, coincidiendo con la sobresaturación que presenta por primera vez el yeso a lo largo del perfil, lo cual podría explicarse por la precipitación de dicho mineral.

CONCLUSIONES.

La modelización hidroquímica es útil



para comprender el comportamiento de un sistema en funcionamiento en el cual la mineralogía no es accesible. Así, podemos concluir que la precipitación de schwertmannita y basaluminita causadas por la disolución de calcita son responsables de la remoción de todo el Fe(III) y el Al del agua ácida tratada.

REFERENCIAS.

- Acero P., Ayora C., Torrente C. y Nieto J. M. (2006). The behavior of trace elements during schwertmannite precipitation and subsequent transformation into goethite and jarosite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **70**, 4130-4139.
- Ball, J., Nordstrom, D., 1991. User's manual for WATEQ4F. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigation Report, 91-183
- Caraballo M., Rötting T., Nieto J.M. y Ayora C. (2007). Caracterización mineralógica de un sistema pasivo de tratamiento de AMD en Monte Romero (FPI, Huelva). *Macla*, **7**, 73.
- Kawano M. and Tomita K. (2001) Geochemical modeling of bacterially induced mineralization of schwertmannite and jarosite in sulphuric acid spring water. *Am. Miner.*, **86**, 1156-1165.
- Parkhurst, D., (1995): User's guide to PHREEQC: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigation Report 95-4227
- Rötting, T.S., Caraballo, M.A., Serrano, J.A., Ayora, C. y Carrera, J. (2008): Field application of calcite Dispersed Alkaline Substrate (calcite-DAS) for passive treatment of acid mine drainage with high Al and metal concentrations Applied Geochemistry, In Press, doi:10.1016/j.apgeochem.2008.02.023.

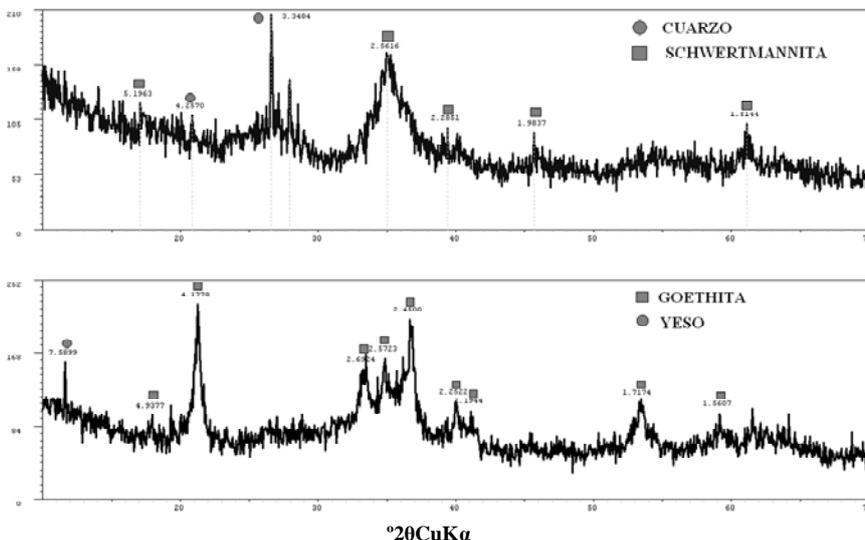


fig 2. Difractogramas de los precipitados desarrollados a la entrada y salida del material reactivo (en orden descendente).