

Mineralogía secuencial en la caracterización de residuos de tratamiento de drenaje ácido de minas del Distrito minero Zaruma-Portovelo (Ecuador)

Joaquín Delgado (1*), Cinta Barba-Brioso (1), Antonio Romero-Baena (1), Diana Ayala (2)

(1) Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola, Universidad de Sevilla, 41012, Sevilla (España)

(2) 212 Sackett Building, The Pennsylvania State University, PA, 16802 (Estados Unidos)

* corresponding author: jdelgado15@us.es

Palabras Clave: Tratamiento DAM, Mineralogía secuencial, Fe-Al oxihidrosulfatos. **Key Words:** AMD treatment, Sequential mineralogy, Fe-Al oxihidrosulfatos.

INTRODUCCIÓN

La explotación minera tradicional del distrito minero de Zaruma-Portovelo, drenado por el río Puyango (SE Ecuador), provoca en sus aguas elevadas concentraciones de elementos contaminantes procedentes del drenaje ácido de mina por la oxidación de sulfuros contenidos en los residuos abandonados en los cauces sin ningún plan medioambiental y de control (Delgado et al., 2018). Los sistemas de tratamiento pasivo de tipo DAS, sustrato alcalino disperso (Rötting et al., 2008), han resultado ser un método eficiente para retener metales y sulfatos en aguas ácidas. Los estudios de laboratorio han demostrado una elevada capacidad de neutralización de acidez y retención metálica (Delgado et al., 2019), fijando alrededor del 100% para Fe, Al y Cu, más del 70% para el resto de los elementos (As, Cd, Co, Ni, Pb, Zn) y 25% para SO_4^{2-} . Sin embargo, estos tratamientos generan importantes residuos sólidos, por lo que es fundamental entender su mineralógica para una correcta gestión. El fraccionamiento de los metales, principalmente Fe y Al, se produce hacia fases minerales de baja cristalinidad tipo oxihidróxidos y oxihidróxisulfatos, siendo la caracterización mineralógica con difracción de rayos-X (DRX) a menudo infructuosa. La disolución selectiva resulta útil para el estudio de minerales secundarios y la retención de elementos mediante procesos de precipitación y sorción. Este trabajo plantea combinar el uso de DRX y una extracción secuencial adaptada a ambientes mineros (Dold, 2003), que permitan la identificación de los minerales de baja cristalinidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se toman 5 muestras (Fig. 1A) a distinta profundidad en la columna de tratamiento denominada DAS-Ca (tratamiento con arena caliza), atendiendo a criterios visuales. La información detallada del experimento puede consultarse en Delgado et al. (2019). La caracterización de los precipitados se realizó en los laboratorios INIGEMM (Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico, Ecuador) mediante DRX y los resultados cualitativos y semicuantitativos de fases minerales se obtuvieron con el software X Powder. Los detalles de los pasos 1 a 3 de la extracción secuencial aplicada para la DRX diferencial se pueden consultar en Dold (2003).

RESULTADOS

La caracterización mineralogía preliminar del DAS-Ca sugiere que predominan fases amorfas de Fe (Ca1) que evolucionan con el incremento de pH en el perfil a oxihidróxisulfatos de baja cristalinidad (jarosita-Jrs, schwertmannita-Sch, ferrihidrita-Fh) y finalmente dejarán paso a fases ricas en Al como alunita-Alu o basalunita-Bas (Ca5). Sin embargo, muchas de estas fases se presentan mal representadas debido al solapamiento en los diagramas de DRX y no se pueden identificar/cuantificar. Con la extracción de la fase 1 (F1, fracción soluble en agua, sulfatos-sales) no se apreciaron mejoras en la identificación de fases, sin embargo, el contenido de yeso disminuyó apreciablemente en todas las zonas del perfil. La F2 (adsorbidos o fracción intercambiable, carbonatos) no mejoró la identificación en las zonas ocreas del perfil (Ca1 y Ca3) presentando indicios de minerales de Fe (Jar, Schw, Fh e incluso goethita-Gth; Ca1-F2 de la Fig. 1B). La F3 (fases de Fe pobremente cristalinos y oxihidróxisulfatos) mejoró la representación de dichas fases de Fe y otras como lepidrocrocita-Lpd, permitiendo además identificar fases ricas en Al como boehmita-Bhm, jurbanita-Jrb o diásporo-Dsp. Al contrario que otros autores (e.g., Caraballo et al., 2009), en F3 no se disolvieron las fases de Fe-Al de baja cristalinidad, y su

representación mejoró debido probablemente a la extracción de la mayor parte del Fe-Al amorfo. En la zona de transición (Ca4) la F2, que elimina las altas proporciones de calcita (matriz del tratamiento), permitió una buena representación de los minerales de Fe (Jrs, Sch, Fh, Gth) y de las fases ricas en Al (Alu, Bas, Bhm, Jrb, Dsp, Gbs), que finalmente terminan de definirse en la extracción de F3 junto con Lpd (Ca5-F3, Fig. 1C). Debido a una disolución no completa del Ca, otros minerales como anquerita-Ank se identificaron como indicios. La madurez de los minerales de Fe en esta sección del perfil se hace patente por la buena representación de los picos. En la zona baja del perfil (Ca5, Fig. 1D) se identificó cuarzo-Qz, adoptado de las arenas de dren inferiores, en una mineralogía similar a la Ca4. Las fases de Fe (Jrs, Sch, Gth, Lpd) y, en menor medida, Fh quedan bien representadas y domina la presencia oxihidróxidos de Al. Además, destaca la presencia de melanterita-Mel y posiblemente el grupo de fases Fe-sulfatadas “*green rust*”.

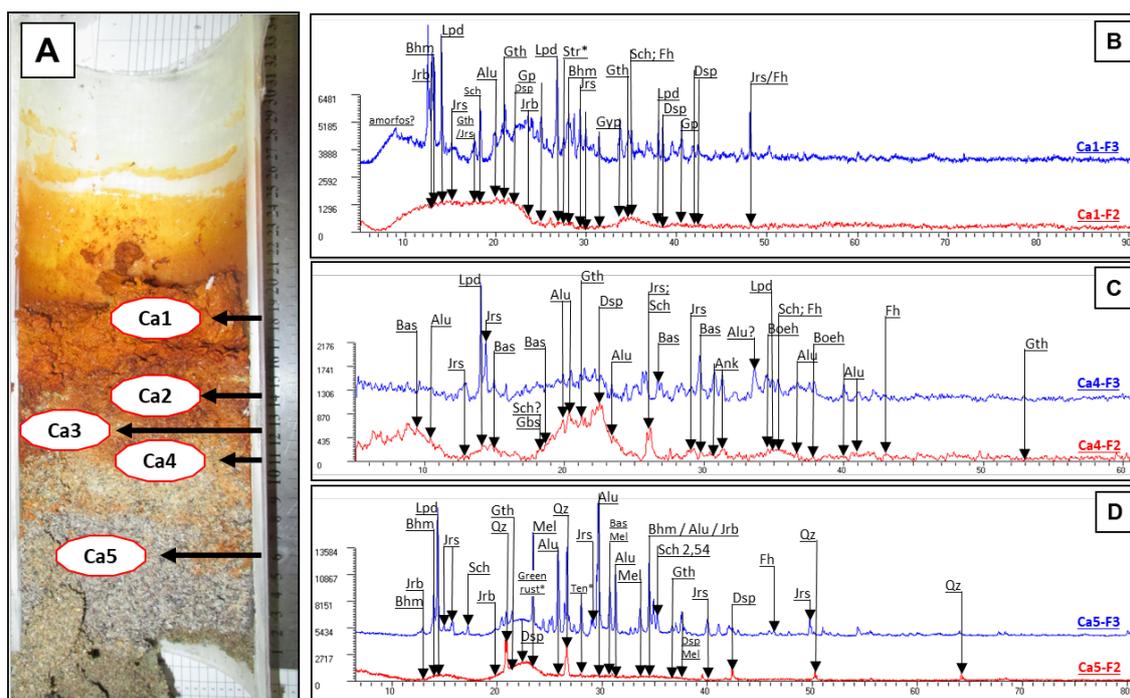


Fig 1. Difractogramas obtenidos tras la extracción del paso 2 (F2, rojo) y después del paso 3 (F3, azul) para las muestras en DAS-Ca.

CONCLUSIONES

El estudio de las muestras mediante la interpretación de los difractogramas de polvo sin tratar es limitado, sin embargo, tras la aplicación de la ES Dold, que permite realizar DRX selectivo, ha permitido entender de forma notable la mineralogía asociada al sistema, que está dominado principalmente por las fases de Fe (Jrs, Sch, Gth, Lpd) y de Al (Alu, Bas, Bhm, Jrb, Dsp, Gbs). Los datos deben ser complementados con estudios de detalle de microscopio electrónico que permitan mayor detalle en la caracterización mineralógica.

REFERENCIAS

- Caraballo, M.A., Rötting, T.S., Nieto, J.M., Ayora, C. (2009): Sequential extraction and DXRD applicability to poorly crystalline Fe- and Al phase characterization from an acid mine water passive remediation system. *Am. Mineral.*, **94**, 1029-1038.
- Delgado, J., Barba-Brioso, C., Ayala, D., Boski, T., Torres, S., Calderón, E., López, F. (2019): Remediation experiment of Ecuadorian acid mine drainage: geochemical models of dissolved species and secondary minerals saturation. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, **26**, 54-72.
- Delgado, J., Ayala, D., Simón, H. (2018): Sistema de tratamiento para mejorar la calidad de aguas de drenaje de pasivos ambientales mineros en la cuenca del río Puyango (Ecuador). *Geogaceta*, **64**, 63-66.
- Dold, B. (2003): Speciation of the most soluble phases in a sequential extraction procedure adapted for geochemical studies of copper sulfide mine waste. *J. Geochem. Explor.*, **80**, 55-68.
- Rötting, T.S., Thomas, R.C., Ayora, C., Carrera, J. (2008): Passive treatment of acid mine drainage with high metal concentrations using dispersed Alkaline Substrate. *J. Environ. Qual.*, **37**, 1741-1745.