

# Estudio mineralógico de precipitados minerales generados por contaminación de actividades mineras

Olivia Lozano Soria (1\*), Cinta Barba Brioso (1), Joaquín Delgado (1)

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

\* corresponding author: [olozano2@us.es](mailto:olozano2@us.es)

Palabras Clave: Sulfatos eflorescentes, Drenaje ácido de minas, Contaminación ambiental, Río Tinto Key Words: Sulfates eflorescents, acid mine-drainage, Environmental pollution, Tinto River.

## INTRODUCCIÓN

El drenaje ácido de minas (DAM) caracterizado por elevada acidez y las altas concentraciones de elementos potencialmente tóxicos (EPTs) como metales-metaloides y sulfatos que se genera por la oxidación de sulfuros, provoca la contaminación de los recursos hídricos en zonas afectadas por actividades mineras (Delgado et al., 2019). Los principales productos de oxidación de la pirita son oxi-hidroxi-sulfatos de hierro, y la formación por evaporación o recristalización de eflorescencias de sulfatos hidratados de Fe, Mg, Zn, y en menores cantidades de Ca, Al, y Na. Estas fases contienen elevadas concentraciones de metales y metaloides pesados (principalmente Co, Ni, As, Cu, Pb, Zn y Cd). En este caso hay que considerar que una cantidad significativa de Zn, Cu y Cd está en forma de especies intercambiables y solubles en ácido, por lo que pueden movilizarse fácilmente por procesos de disolución, desorción o reacciones de intercambio iónico. En el caso de la formación de los sulfatos polihidratados solubles, dichos EPTs sustituyen a los formadores habituales de las sales. El grado de sustitución depende de grado de oxidación, la tasa de evaporación y a los procesos de neutralización-acidificación de las soluciones circundantes. El fuerte carácter estacional se manifiesta como secuencias de precipitados que en periodos secos producen una barrera geoquímica temporal de acidez, metales pesados y otros elementos trazas (Romero, et al. 2006), y en periodos húmedos presentan riesgos ambientales asociados a la alta solubilidad y biodisponibilidad de los EPTs. El efecto de las variaciones estacionales en la contaminación del DAM superficial ha sido ampliamente estudiado, revelando una clara correlación entre los periodos de sequía/humedad y la concentración de metales en el DAM (Caraballo, et al. 2016).

## OBJETIVOS

En una fase inicial, el estudio se centrará en el análisis de eflorescencias y su eficacia como mecanismo de atenuación de la contaminación. En fases posteriores, la experimentación incluiría el estudio de la posibilidad de obtener una mayor retención de EPTs con la utilización adicional de residuos de otros procesos productivos, como residuos carbonatados de cantería y residuos de la construcción y demolición (RCD) en zonas mineras afectadas por DAM. El estudio de la génesis, caracterización y capacidad de retención de EPTs de estos precipitados, desde un punto de vista geoquímico y mineralógico en relación con factores ambientales en el sistema AMD-sólido, se presentan como un marco perfecto para definir estrategias de remediación de suelos en ambientes mineros abandonados.

## METODOLOGÍA

Se han seleccionado dos zonas iniciales de muestreo, Peña de Hierro y Zaranda (Riotinto) y Peñaflor (Sevilla), dos zonas mineras donde importantes acopios incontrolados de residuos mineros generan la degradación de los suelos circundantes. En ambas, se toman muestras de eflorescencias (Fig. 1) para una caracterización previa a la experimentación, así como muestras de AMD, dado que la mineralogía de estas sales solubles depende de la composición química y de las propiedades fisicoquímicas de las soluciones precipitantes (Buckby et al., 2003), por lo que para conocer la geoquímica del proceso es necesario establecer una hidroquímica de control. Las muestras preliminares de control en condiciones ambientales han sido caracterización por microscopía electrónica de barrido (SEM) y difracción de rayos X (DRX), permitiendo así conocer las condiciones y las secuencias de formación directa de precipitados, y de sus transformaciones de fases en condiciones de campo.

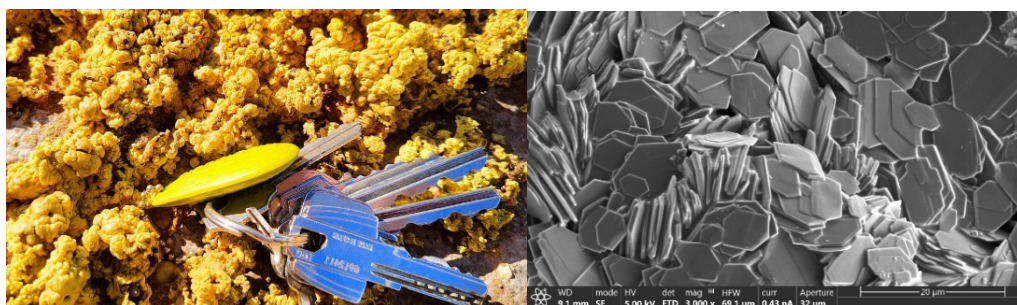


Fig 1. Aspecto de copiapita recogida en Peña del Hierro e imagen de SEM de la muestra.

## RESULTADOS

El AMD recogido (inicios de la época estival) presentó un pH de 2.66 y una conductividad eléctrica de 5.31 mS/cm, además de alta carga metálicas, destacando Fe (790), Mg (196), Al (132), Zn (42900), Cu (36.3) y sulfatos (1530) mg/L. Estos datos son similares a los descritos por otros autores que han realizado estudios de sulfatos solubles en la zona de Peña del Hierro (Romero et al., 2006). Los resultados obtenidos de los primeros análisis por SEM y DRX de los precipitados recogidos son congruentes con los datos hidroquímicos de las aguas ácidas recogidas. Así, los precipitados caracterizados en Peña de Hierro están formados esencialmente por sulfatos solubles de Fe y Al de tipo copiapita ( $\text{Fe}^{2+}(\text{Fe}^{3+})_4(\text{SO}_4)_6(\text{OH})_2 \cdot 20\text{H}_2\text{O}$ ) y aluminocopiapita ( $\text{AlFe}_4^{3+}(\text{SO}_4)_6(\text{OH},\text{O})_2 \cdot 20\text{H}_2\text{O}$ ), en los que se producen sustituciones parciales de Fe-Zn y de Mg-Al como puede apreciarse en la Figura 2. Inicialmente no se han determinado otros elementos contaminantes, por lo que se plantean nuevas campañas de muestreo con la recogida de AMD en épocas con diferentes datos de pluviometría y distintos tipos de residuos sobre los que realizar ensayos de precipitación forzada de sales para la obtención de otros sulfatos solubles y así poder realizar una caracterización mineralógica atendiendo a las condiciones ambientales.

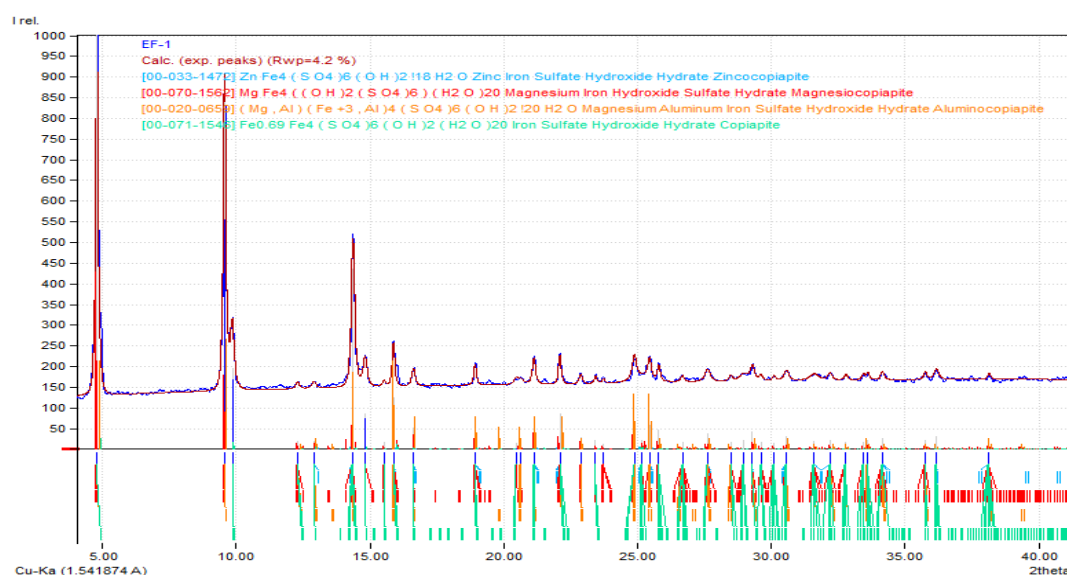


Fig 2. Difractograma de la muestra EF-1 (Peña del Hierro) donde pueden apreciarse las fases de tipo copiapita presentes.

## REFERENCIAS

- Buckby, T., Black, S., Coleman, M. L., Hodson, M. E. (2003): Fe-sulphate-rich evaporative mineral precipitates from the Río Tinto, southwest Spain. *Mineral. Mag.*, **67**, 263278 DOI: [10.1180/0026461036720104](https://doi.org/10.1180/0026461036720104).
- Caraballo, M. A., Macías, F., Nieto, J. M., Ayora, C. (2016). Long term fluctuations of groundwater mine pollution in a sulfide mining district with dry Mediterranean climate: implications for water resources management and remediation. *Sci. Total Environ.* **539**, 427–435. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2015.08.156](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.156).
- Delgado J., Barba-Brioso C., Ayala D., Boski T., Torres S., Calderón E. y López F. (2019). Remediation experimento of Ecuadorian acid mine drainage: geochemical models of dissolved species and secondary minerals saturation. *ESPR*, **26**, 34854-34872. DOI: [10.1007/s11356-019-06539-3](https://doi.org/10.1007/s11356-019-06539-3).
- Romero-Baena, A., González, I., Galán, E., (2006): The role of efflorescent sulphates in the storage of trace elements in stream waters polluted by acid mine-drainage: the case of Peña del Hierro. *Canad Mineral*, **44**, 1431-1446.