

Uso de eflorescencias como indicadores de eficiencia en la recuperación de zonas contaminadas por actividad minera

Mari Luz García-Lorenzo¹, Elena Crespo-Feo^{1*}, Beatriz Viejo Ocaña¹, Ramón Sánchez-Donoso³, Pablo Higuera Higuera², José María Esbrí Victor²

(1) Departamento de Mineralogía y Petrología. Universidad Complutense de Madrid, 28040, Madrid (España)

(2) Instituto de Geología Aplicada, Universidad de Castilla La Mancha, 13400, Almadén (Ciudad Real)

(3) Departamento de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología. Universidad Complutense de Madrid, 28040, Madrid (España)

* corresponding autor: ecrespo@ucm.es

Palabras Clave: Eflorescencias, Drenaje ácido Mina, Contaminación, EPTs, Análisis de Riesgos | **Key Words:** Efflorescences, Acid mine drainage, Contamination, PTEs, Risk assessment

INTRODUCCIÓN

La explotación de los recursos minerales siempre ha sido una de las actividades fundamentales para el desarrollo de las sociedades pero, a lo largo de la historia, no se ha tenido en cuenta la importancia de las alteraciones ocasionadas en el entorno a la hora de llevar a cabo estas explotaciones.

En el caso de la minería metálica, fenómenos de oxidación de sulfuros y lixiviación de elementos potencialmente tóxicos (EPTs) dan lugar a la contaminación de los recursos hídricos. Procesos de evaporación de estas aguas favorecen la formación de eflorescencias, fundamentalmente sulfatos, que presentan alto contenido de EPTs que aparecen sustituyendo a otros elementos formadores de las sales. La mineralogía de estos sulfatos secundarios varía en relación con el grado de oxidación, tasa de evaporación y neutralización- acidificación de las soluciones (Valente et al, 2013).

Estas sales solubles suponen un foco de contaminación secundario, ya que cuando se produzcan nuevas lluvias, los elementos tóxicos que acumulan en su interior, quedarán liberados al medio. Por lo tanto, es importante conocer la composición de estas eflorescencias para poder establecer el riesgo ambiental. La correcta restauración y remediación de estas zonas tiene una gran importancia en el ámbito medioambiental.

El objetivo de este trabajo es caracterizar química y mineralógicamente las eflorescencias formadas en Lousal y São Domingos con el fin comprobar la efectividad de las técnicas de recuperación de áreas contaminadas por DAM que se han llevado a cabo en la zona minera de Lousal.

MATERIAL Y METODOLOGÍA

El presente trabajo tiene como encuadre dos áreas mineras localizadas al suroeste de la península,

concretamente, en la Faja Pirítica Ibérica. Ambas se localizan en la región del sur de Portugal, Bajo Alentejo.

El material seleccionado para el estudio de eflorescencias del entorno de Lousal y São Domingos consta de una serie de muestras tomadas en puntos aleatorios en zonas cercanas a acumulación de aguas de drenaje ácido de minas. En Lousal se han llevado a cabo actuaciones de recuperación de la zona después del cese de la actividad minera. Por su parte, en São Domingos estas remediaciones han comenzado a realizarse muy recientemente.

Las muestras se recogieron durante el periodo de escasez de lluvias, por lo que se ve favorecida la generación de eflorescencias. Además de la caracterización de las muestras originales, se ha simulado el efecto de máxima evapotranspiración introduciendo las muestras en un horno a 45°C.

La composición mineralógica se ha determinado mediante difracción de Rayos X por medio de un difractómetro de polvo marca Siemens Kristalloflex 810.

El contenido en EPTs se ha determinado mediante Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X. Todas las muestras se han estudiado por microscopía electrónica de barrido ambiental (ESEM Inspect-S de la compañía FEI QUANTA 200) con el fin de identificar la morfología de cada una de las fases de interés en algunos fragmentos de las eflorescencias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores medios de FRX vienen recogidos en la Tabla 1, en la que se observa que las muestras presentan elevados contenidos en elementos traza, si bien éstos son ligeramente inferiores en la zona recuperada de Lousal.

Por lo general, las diferentes muestras presentan una morfología botroidal, amorfa y masiva sin que se reconozca ninguna estructura cristalina. Estas morfologías nos indican que han estado sometidas a

ciclos continuos de lavado y deshidratación, por lo tanto, las fases presentes muestran elevada movilidad. La figura 1 muestra una de las muestras recogidas en Lousal y Sao Domingos (Figura 1).

	Sao Domingos	Lousal
Fe ₂ O ₃ (%)	9,63	7,15
Cu (%)	0,62	0,15
Zn (%)	0,58	0,79
As (mg/kg)	446	800
Pb(mg/kg)	548	98

Tabla 1. Valores medios de EPTs en la zona de estudio

El tamaño de grano es muy fino, presentando una textura sacaroides. En cuanto a la dureza, son por lo general blandas o muy blandas y fácilmente disgregables. Los resultados de DRX vienen recogidos en la Tabla 2, siendo las fases más abundantes sales de Mg y Al, y en menor medida de Fe. Además, se ha cuantificado yeso en algunas muestras. Las eflorescencias recogidas no presentan fases propias de EPTs, al menos no en la concentración suficiente para ser identificadas por DRX, tal y como se ha observado en otras zonas de la Faja Pirítica (Buckby et al, 2003) Tras someterlas a una temperatura de 45°C no se observan grandes diferencias con respecto a la composición inicial (Tabla 2).

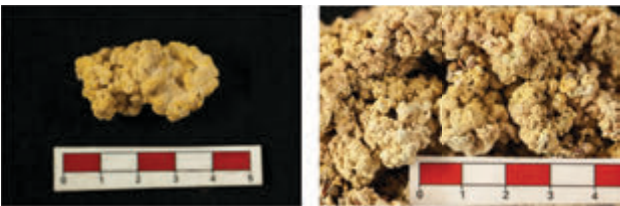


Fig 1. Eflorescencias recogidas en Lousal (a) y Sao Domingos (b)

Para completar la caracterización mineralógica, las muestras se han analizado con microscopía electrónica de barrido ambiental, observándose la presencia de las fases anteriormente comentadas. En la Figura 2 se observa la presencia de sulfatos de aluminio como cristales aciculares incrustados en sales de Fe y Mg. Por último, la figura 3 muestra los resultados de ESEM en una muestra de Sao Domingos, en la que se observa

la presencia de cristales de aluminocopiapita junto con alunógeno, que puede presentarse en finas placas o prismáticas.

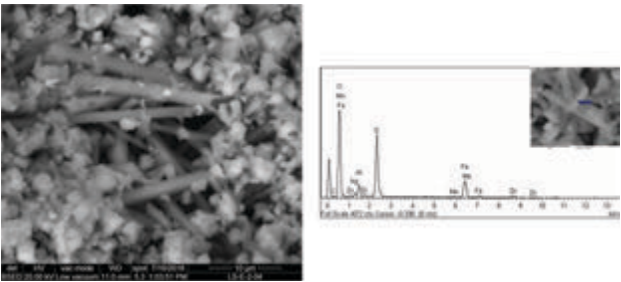


Fig 2. Resultado de ESEM en una muestra de Lousal

En base a los resultados obtenidos, no se observa ninguna evidencia de que las actuaciones de remediación llevadas a cabo en Lousal sea eficaces. Parece evidente que la elevada concentración de elementos potencialmente tóxicos, tanto en el área de Lousal como de São Domingos, debe de ser controlado para evitar su potencial tóxico.

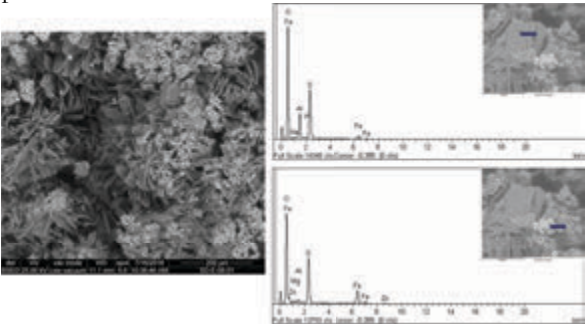


Fig 3. Resultado de ESEM en una muestra de Sao Domingos

REFERENCIAS

- Buckby T., Black S., Coleman M.L., Hodson M.E. (2003) Fe-sulfate-rich evaporative mineral precipitates from the Rio Tinto, southwest Spain. *Mineral Mag.* **67**, 263-278.
- Valente T., Grande J.A., de la Torre M.L., Santisteban M., Cerón J.C. (2013): Mineralogy and environmental relevance of AMD-precipitates from the Tharsis mines, Iberian Pyrite Belt (SW, Spain). *Appl. Geochem.* **39**, 11-25.

	Sao Domingos E02	Sao Domingos E00	Sao Domingos E06	Lousal E02	Lousal E05	Lousal A06	Lousal E06
Condiciones Iniciales	Starkeyita Epsomita Calcinita Yeso Picromerita	Alunógeno Anhidrita Natroalinita	Ferricopiapita Copiapita	Starkeyita Yeso Kieserita Anhidrita Shortita	Starkeyita Hexahidrita a Pentahidrita	Starkeyita Yeso Calcinita Polihalita	Hexahidrita a Epsomita Pentahidrita Starkeyita Yeso
Estufa 45°C	Starkeyita Epsomita Calcinita Yeso Picromerita	Alunógeno Anhidrita Natroalinita	Ferricopiapita Copiapita	Yeso	Starkeyita Hexahidrita a Pentahidrita	Starkeyita Yeso Calcinita Polihalita	Hexahidrita

Tabla 2. Fases mineralógicas encontradas en las eflorescencias originales y tras tratamiento a 45°C en estufa