

Tratamiento pasivo de escombreras mineras de pirita mediante mezclas con residuos industriales

Antonio Romero (1*), Francisco Javier Caro (1), Joaquín Delgado (1), Cinta Barba Brioso (1); Olivia Lozano (2), Domingo Martín (1), Paloma Campos (1), Adolfo Miras (1), Isabel González (1)

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

(2) Servicio de Microscopía. CITIUS. Universidad de Sevilla, 41012, Sevilla (España)

* corresponding author: aromero@us.es

Palabras Clave: drenaje ácido de minas; elementos potencialmente tóxicos; residuos de construcción y demolición; economía circular. **Key Words:** acid mine drainage; potentially toxic elements; construction and demolition residues; circular economy.

INTRODUCCIÓN

El tratamiento pasivo de escombreras mineras ha demostrado ser un mecanismo eficiente para mitigar la formación del drenaje ácido de minas (DAM) y disminuir la movilidad de elementos potencialmente tóxicos (EPT). Estos tratamientos se basan en la utilización de materiales reactivos neutralizantes como carbonatos, aunque el elevado coste de los mismos puede ser un impedimento para su implementación. Por ello, muchos estudios se centran en la utilización de residuos industriales como materiales reactivos, promoviendo su revalorización y la contribución a la economía circular. No obstante, estas medidas de remediación pueden ser incompletas, y algunas escombreras rehabilitadas continúan formando DAM (Madejón et al., 2015), especialmente si presentan un alto contenido en pirita, por lo que se necesita una mejora en el diseño del tratamiento, incluyendo el tipo, la cantidad, y la disponibilidad del reactivo que se aplique. Recientemente, Barba-Brioso et al. (2023) demostraron que los residuos de construcción y demolición (RCD) tienen un potencial para neutralizar el DAM debido a la presencia de carbonatos de Ca y Mg, así como una alta capacidad para disminuir la movilidad de metales como Cu y Zn. Este tipo de residuos son muy abundantes y están fácilmente disponibles por lo que podrían usarse para mitigar la contaminación en zonas mineras. En este trabajo se estudia la posibilidad de utilizar RCD y otros residuos industriales para el tratamiento de escombreras ricas en pirita.

MATERIAL Y MÉTODOLÓGÍA

Para estudiar la efectividad de la propuesta se prepararon 7 columnas de lixiviación con residuos de escombreras mineras (REM) ($\varnothing < 4\text{mm}$) ricas en pirita (35%) y altos contenidos en Cu, Pb y Zn (Tabla 1). Para la cubierta reactiva se utilizó RCD compuesto por cemento reciclado (empresa Soto Fine) rico en dolomita (33%) y calcita (25%) (Tabla 1). En algunas columnas se añadió un 5% de residuo rico en portlandita (Rpor) (portlandita 80%, calcita 20%), con un tamaño de grano medio de 10 μm , derivado de procesos de neutralización de efluentes gaseosos asociados a la termometalurgia del cobre (Empresa Inabensa, Grupo Abengoa). Las columnas se prepararon con un 20% de material reactivo dispuesto sobre el REM (80%). La capa reactiva se preparó con RCD $< 4\text{mm}$, RCD 0.5-1 mm, RCD mezclado con arena de cuarzo y RCD + Rpor (75-25 %). En la columna C3, el material reactivo (RCD $< 4\text{mm}$) se mezcló con la parte superficial del REM (50-50%). (Fig. 1). Las columnas se irrigaron con agua destilada dos veces por semana durante un mes (se utilizó un volumen de agua equivalente al volumen de poros). En los lixiviados se midió pH, conductividad y Eh, y se seleccionaron muestras para análisis químico por ICP-OES. A partir de los resultados obtenidos se seleccionaron 3 columnas, que se desmontaron para su estudio químico y mineralógico (FRX, DRX y SEM-EDS). El resto de columnas se siguieron regando una vez por semana durante otros 3 meses.

Tabla 1: Caracterización química y mineralógica del REM, RCD y Rpor.

	MINERALOGÍA											ANÁLISIS QUÍMICO										
	Qz	Act	Ms	Ab	Py	Jrs	Gp	Cal	Dol	Por	Mag	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	SO ₃	As	Cd	Cu	Pb	Zn	
REM	19	16			34	5	11	tr			15	0.76	41.3	0.33	0.6	25	60	9	3101	1488	1311	
RCD	20		17	3			2	25	33			4,6	2,0	8,4	27,0	0.7						
Rpor								20		80		0,02	0,13	0,15	63,1	0.8						

Qz: cuarzo; Act: actinolita; Ms: moscovita; Ab: albita; Py: pirita; Jrs: jarosita; Gp: yeso; Cal: calcita; Dol: dolomita; Port: portlandita; Mag: magnetita.

RESULTADOS

Durante el primer mes, el pH de la columna control (sólo REM) aumentó levemente (pH 2.1 a 2.2, Fig. 1C) a la vez que la conductividad disminuyó (de 17 a 8 mS/cm). El pH de las columnas tratadas aumentó hasta 2.7 (Fig. 1C y D) y la conductividad disminuyó hasta 3 mS/cm. El Eh de los lixiviados también disminuyó progresivamente durante el primer mes de lavado (de 500 V a <460 V). Igualmente, el contenido en Cd, Cu, Pb y Zn disminuyó progresivamente en la columna control, pero en las columnas tratadas las concentraciones obtenidas fueron inferiores, especialmente tras la segunda irrigación (Fig. 1E). El estudio mineralógico de las columnas 1, 3 y 6 reveló la formación de jarosita y yeso durante el experimento, especialmente en el contacto entre el material reactivo y el REM. En las imágenes SEM-EDS se ha observado la pirita, con signos de disolución, y la presencia de precipitados con metales pesados (Fig. 1F y G). En concreto se ha observado plomo asociado a jarosita, mientras que Cu y Zn están presentes en geles de hierro y sílice (Fig. 1G).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

De los resultados se deduce que la irrigación 2 veces por semana fue excesiva y provocó un lavado intenso de las columnas. No obstante, los tratamientos pasivos con RCD ayudaron a mitigar la formación de DAM y el lixiviado de EPT. Las columnas con adición de RPor mejoraron los resultados de las preparadas sólo con RCD, posiblemente debido a su tamaño de grano fino y a la reactividad de la portlandita. En cambio, las que peor funcionaron fueron las preparadas con RCD 0.5-1 mm, posiblemente por la falta de fracción fina (<0.5 mm), que es la más reactiva. La columna C3, preparada con RCD mezclado con el REM en la parte superior mejoró el resultado de la C1, preparada con la capa de RCD sobre el REM sin mezclar (con la excepción del Cd, que se mostró bastante móvil en los primeros lixiviados). La formación de jarosita y geles de hierro y sílice ayudó a retener los metales pesados en las 3 columnas estudiadas.

En conclusión, la utilización de RCD como tratamiento pasivo de escombreras mineras puede ayudar a mitigar la contaminación por DAM y EPT, especialmente cuando se le añaden otros reactivos de tamaño de grano fino, como los RPor. No obstante, para el tratamiento de escombreras con alto contenido en pirita puede ser insuficiente, especialmente si el tamaño de grano de las escombreras es grueso (hasta 4 mm o superior). Se recomienda por tanto estudios con nuevas mezclas más reactivas y más prolongados en el tiempo.

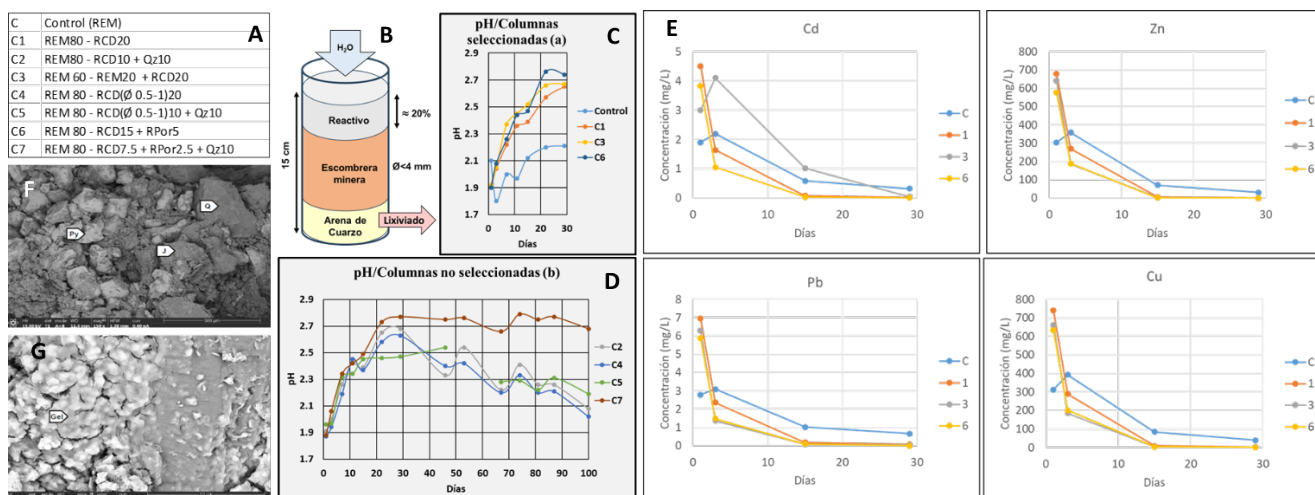


Fig 1. A. Composición de las columnas preparadas. B. Diseño de las columnas. C y D. Valores de pH de las columnas seleccionadas y no seleccionadas. E. Concentración de Cd, Cu, Pb y Zn en las columnas seleccionadas. F y G. Fotos de microscopía electrónica. F. Foto general con presencia de pirita, cuarzo y jarosita. G. Precipitados de geles de hierro y sílice ricos en Cu y Zn.

REFERENCIAS

- Barba-Brioso, C., Martín, D., Romero-Baena, A., Campos, P., & Delgado, J. (2023): Revalorisation of Fine Recycled Concrete in Acid Mine Water Treatment: A Challenge to a Circular Economy. *Minerals*, **13**(8), 1028.
- Madejón P., Caro-Moreno D, Navarro-Fernández CM, Rossini-Oliva S, Marañón T. 2021. Rehabilitation of waste rock piles: Impact of acid drainage on potential toxicity by trace elements in plants and soil. *J. Environ. Manag.*, **280**, 111848.