

Evidencias mineralógicas de la fuente de tierras raras en los drenajes ácidos de mina de la Faja Pirítica Ibérica

Rafael León (*), Francisco Macías, Carlos R. Cánovas, Ricardo Millán-Becerro, Jonatan Romero-Matos, José Miguel Nieto

Departamento de Ciencias de la Tierra y Centro de Investigación en Recursos Naturales, Salud y Medio Ambiente. Universidad de Huelva, 21071, Huelva (España)

* corresponding author: rafael.leon@dct.uhu.es

Palabras Clave: Poderosa, Perrunal, Lixiviados ácidos, Minerales de tierras raras. **Key Words:** Poderosa, Perrunal, Acid leachates, Rare earth minerals.

INTRODUCCIÓN

Las tierras raras (REE) son elementos con una creciente demanda debido a su importancia en un gran número de aplicaciones tanto en el sector tecnológico (imanes permanentes, componentes electrónicos, iluminación LED, etc.) como en los sectores nuclear, militar, aeroespacial o médico. La necesidad de estos elementos, junto con su riesgo de suministro en un mercado monopolizado, ha hecho que la búsqueda de fuentes secundarias sea una prioridad estratégica a nivel mundial (Binnemans et al., 2013). La potencialidad de los drenajes ácidos de mina (AMD) como fuente estratégica secundaria de REE ha sido recientemente estudiada (León et al., 2021a). Estos lixiviados suponen una gran preocupación por la liberación de acidez y contaminantes al medio acuoso, sin embargo, presentan una gran oportunidad de revalorización debido a la alta concentración de REE (varios ordenes de magnitud superior que las aguas naturales) y al enriquecimiento relativo que generalmente presentan en el sector del grupo con más valor económico (REE medias; MREE). A pesar de la importancia que pueden suponer las REE en los AMD, aún es incierta la fuente de estos elementos en las aguas ácidas y el origen de dicho enriquecimiento, si bien, estudios isotópicos recientes sugieren la lixiviación preferencial de fases minerales enriquecidas en MREE (Wallrich et al., 2020).

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo resume un estudio enfocado en la determinación e identificación de litologías y fases minerales que podrían constituir la fuente del enriquecimiento de REE en los AMD. Para ello, se ha realizado un trabajo de campo intensivo en dos minas de la Faja Pirítica Ibérica (FPI), Perrunal y Poderosa. La FPI es una de las mayores provincias de sulfuros polimetálicos del mundo. La escasa o nula gestión ambiental de la minería hasta finales del siglo XX ha dejado como resultado un vasto legado de residuos y minas abandonadas, donde se genera hasta 1 m³/s de AMD durante el estiaje. Muestras representativas de las principales litologías (sulfuros y rocas encajantes) de ambas minas han sido sometidas a estudios mineralógicos y químicos detallados a través de microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido de emisión de campo (FESEM) con un equipo de espectroscopía de rayos-X acoplado (EDX), perteneciente a los Servicios Centrales de Investigación de la Universidad de Huelva.

RESULTADOS

La concentración y el patrón de REE en rocas encajantes y sulfuros representativos del entorno de ambas minas, el comportamiento durante la simulación de la lixiviación ácida, y el estudio de las fuentes de AMD en la FPI, han permitido identificar la posible relación entre determinadas litologías y el AMD (León et al., 2021b). En este sentido, las REE se podrían liberar durante la lixiviación conjunta de varias de las litologías mayoritarias en el entorno de la generación del AMD, principalmente pizarras y rocas volcánicas ácidas.

Por otro lado, la identificación de la mineralogía presente en las rocas estudiadas ha puesto de manifiesto la existencia de una gran variedad de minerales con REE, contenidos en las diferentes litologías tanto en mina Perrunal como en mina Poderosa. Los minerales que mayor contenido en REE presentan son fosfatos y carbonatos, y dada su alta

solubilidad en medio ácido, estos minerales parecen ser claros candidatos a la principal fuente de REE de los AMD. En este sentido, se ha observado una cantidad destacable de fosfatos enriquecidos en REE ligeras (LREE) (monacita; $(\text{Ce,Nd,La,REE})\text{PO}_4$), que aparecen de manera sistemática en rocas pertenecientes a la serie volcánica ácida y a las pizarras de ambas minas.

Por otro lado, fosfatos enriquecidos en REE pesadas (HREE) (xenotima; $(\text{Y,Dy,Er,REE})\text{PO}_4$) han sido localizados en la mayoría de rocas volcánicas ácidas, mientras que carbonatos de REE (parisita; $\text{Ca}(\text{Ce,La,Nd,REE})_2(\text{CO}_3)_3\text{F}_2$) han sido observados en pizarras carbonatadas procedentes de mina Perrunal. Además, se han detectado en todas las litologías otros minerales que, a priori, se han descartado como fuente de REE debido a sus bajas concentraciones (apatito) o a su menor solubilidad bajo condiciones ácidas (zircón). Finalmente, se han encontrado evidencias de la lixiviación preferencial de algunos de estos minerales ricos en REE. En la figura 1 se puede observar la existencia de varias fases de crecimiento en los apatitos de las pizarras carbonatadas de Perrunal (Fig. 1A), quedando separadas ambas fases de crecimiento por la formación de un halo de monacita. Por su parte, en rocas de la serie ácida de mina Perrunal (Fig. 1B), se observa el mismo tipo de apatito, pero dónde dichos halos de monacita han sido lixiviados, quedando sólo pequeños restos ($< 1 \mu\text{m}$) y un ligero enriquecimiento en REE en los bordes del apatito.

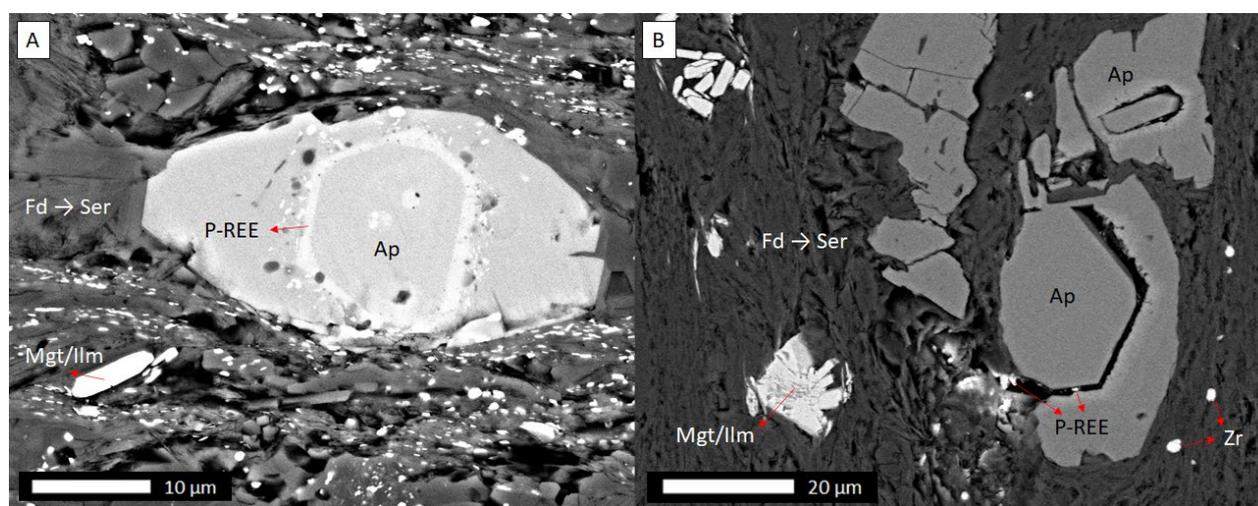


Fig 1. (A) Apatito con halo de P-REE en pizarra carbonatada. (B) Apatito con restos del halo de P-REE lixiviado en roca volcánica ácida. (Perrunal). Fd: feldespato, Ser: sericita, Mgt: magnetita, Ilm: ilmenita, Ap: apatito, P-REE: fosfato de tierras raras.

CONCLUSIONES

Los resultados del estudio químico y mineralógico de las rocas encajantes de mina Poderosa y Perrunal, muestran evidencias de la existencia de cierta variedad de minerales de REE. Además, se han detectado signos de la lixiviación preferencial de dichos minerales, y, por tanto, de su liberación al medio ácido. Estos dos factores parecen confirmar la relación existente entre dichos minerales y el origen de REE y los patrones que presentan en los AMD de la FPI.

REFERENCIAS

- Binnemans, K., Jones, P.T., Blanpain, B., Van Gerven, T., Yang, Y., Walton, A., Buchert, M. (2013): Recycling of rare earths: a critical review. *J. Clean. Prod.*, **51**, 1-22. DOI: 10.1016/j.jclepro.2012.12.037.
- León, R., Macías, F., Cánovas, C.R., Pérez-López, R., Ayora, C., Nieto, J. M., Olías, M. (2021a). Mine waters as a secondary source of rare earth elements worldwide: The case of the Iberian Pyrite Belt. *J. Geochem. Explor.*, **224**, 106742. DOI: 10.1016/j.gexplo.2021.106742.
- , —, Fuentes, J.M., Nieto, J.M. (2021b): Geología y geoquímica de mina Poderosa. Evaluación de la fuente de tierras raras en los drenajes ácidos de mina. *Geogaceta*, **70**, 35-38.
- Wallrich, I.L., Stewart, B.W., Capo, R.C., Hedin, B. C., Phan, T.T. (2020): Neodymium isotopes track sources of rare earth elements in acidic mine waters. *Geoch. Cosmoc. Acta*, **269**, 465-483. DOI: 10.1016/j.gca.2019.10.044.