

REE en las bauxitas kársticas de la Sierra de Bahoruco (República Dominicana): geoquímica y mineralogía

Cristina Villanova-de-Benavent (1*), Joaquín A. Proenza (1), Thomas Aiglsperger (2), Lisard Torró (3), Cristina Domènech (1), Diego Domínguez-Carretero (1), Australia Ramírez (4), Jesús Rodríguez (4)

(1) Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada. Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona, Barcelona (Espanya)

(2) Department of Civil Engineering and Natural Resources. Division of Geosciences and Environmental Engineering, Luleå University of Technology, Luleå (Suecia)

(3) Geological Engineering Program. Facultad de Ciencias e Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima (Perú)

(4) Servicio geológico Nacional, Santo Domingo (República Dominicana)

* corresponding author: cvillanovadb@ub.edu

Palabras Clave: Bauxitas kársticas, REE, Fosfatos, Carbonatos. **Key Words:** Karst bauxites, REE, Phosphates, Carbonates.

INTRODUCCIÓN

Los elementos de las tierras raras (REE, divididas en LREE: La- Gd y HREE: Tb-Lu+Y, a veces distinguiendo las MREE: Sm-Gd) tienen un papel muy relevante en la denominada transición del sector energético hacia fuentes renovables que permitan alcanzar el objetivo de cero emisiones netas de carbono. Esta transición depende de la disponibilidad de metales y en particular de REE (p. ej. en la fabricación aerogeneradores y vehículos eléctricos) (Goodenough et al., 2018; Charles et al., 2021). En la actualidad, las principales fuentes de REE son los yacimientos de carbonatitas y rocas alcalinas (típicamente ricos en LREE±U±Th). Sin embargo, los yacimientos secundarios como los de REE adsorbidos en arcillas, y las bauxitas kársticas, destacan por su potencial de concentrar significativamente estos elementos (Goodenough et al., 2018). En la Sierra de Bahoruco (suroeste de la República Dominicana) existen importantes afloramientos de bauxitas kársticas con contenidos muy altos en REE (Torró et al., 2017). Este trabajo tiene como objetivo estudiar la mineralogía de las fases portadoras de REE en el contexto de los perfiles de bauxitas kársticas de la Sierra de Bahoruco, a partir de muestras representativas de una veintena de depósitos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se han analizado 84 muestras de varios depósitos de bauxitas kársticas mediante FUS-ICP y ICP-MS. El contenido en Al₂O₃ varía entre 35 y 52 % en peso, el de SiO₂ se encuentra mayoritariamente por debajo de 5 % en peso, y el de Fe₂O₃ está entre 16 y 24 % en peso. En base a su contenido en Al₂O₃, SiO₂ y Fe₂O₃, se identifican como bauxitas ricas en hierro según Bárdossy (1982) y están dentro del campo de laterización intensa según Schellman (1986). En cuanto a las REE (La-Lu), estas bauxitas contienen unas 1.900 ppm de promedio, y concentraciones importantes en Nd, La, Ce, Gd y Sm, entre otros. Los contenidos de Y superan las (>1.200 ppm de promedio). Los contenidos en REE (La-Lu)+Y varían entre los depósitos y a lo largo de los perfiles bauxíticos. Además, se observan dos tipos de patrones de REE normalizados al condrito: i) muestras con enriquecimientos de REE entre 50 y 1.200 veces los valores condriticos, ligeramente enriquecidas en LREE (por ejemplo, el depósito de Las Mercedes); y ii) muestras con enriquecimientos de REE entre 800 y 10.000 veces los valores condriticos (p.ej., Km-30, Aceitillar y Sombrero), algunos con un importante enriquecimiento en MREE y HREE respecto a las LREE. En general, hay una correlación positiva entre el contenido en P₂O₅ y ΣREE, indicando que al menos una parte de estos elementos se encontrarán formando fosfatos.

Se analizó mediante DRX de polvo una fracción representativa de las muestras. Se observó que la gibbsita era el componente principal (> 70 %), seguida de hematites (9-19 %) y anatasa (3-5 %). En las muestras de Las Mercedes, Km-30 y Aceitillar se encuentran cantidades menores de boehmita (1-10 %), en Km-30 y Aceitillar asbolana (3-6 %) y en algunas muestras de Las Mercedes y de Aceitillar, caolinita (12-20 %). Cabe destacar que en todas las

muestras de Km-30 y en una de Aceitillar se han logrado detectar minerales de REE, con estructuras de tipo xenotima y de tipo florencita.

Los minerales de REE han sido estudiados en láminas delgadas, secciones pulidas, y en secciones monocapa preparadas a partir de concentrados de hidroseparación (www.hslab-barcelona.com), de muestras de Las Mercedes, Km-30, Aceitillar y Sombrero con contenidos importantes en REE+Y. Los resultados del estudio mediante microscopio petrográfico, SEM-EDS, EMPA, Raman y DRX de monocristal revelan una gran variedad mineralógica y textural: i) fosfatos: monacita rica en LREE (Ce, La, Nd en Km-30), rabdofana ($\text{REE}(\text{PO}_4) \cdot \text{H}_2\text{O}$) rica en Y ($\pm\text{Nd}\pm\text{Dy}$), churchita ($\text{REE}(\text{PO}_4) 2\text{H}_2\text{O}$) rica en Y, Gd y Dy, o en Nd y Sm, y florencita ($\text{REEAl}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_6$) rica en Nd y Sm; ii) carbonatos: del grupo de la bastnäsita ($\text{REE}(\text{CO}_3)(\text{OH},\text{F})$), ricos en Gd, Nd, y Sm, de la tenerita ($\text{REE}_2(\text{CO}_3)_3 \cdot 2-3\text{H}_2\text{O}$), ricos en Gd, Sm, Nd e Y, y calcioancilita-Gd ($(\text{REE},\text{Ca},\text{Sr})\text{CO}_3(\text{OH},\text{H}_2\text{O})$); y iii) óxidos: principalmente cerianita (CeO_2). La monacita forma cristales angulosos euhedrales, a veces con evidencias de transporte y erosión, y es especialmente abundante en Las Mercedes. La rabdofana, churchita y florencita forman granos individuales de varias decenas de micrómetros de tamaño, a veces recubriendo oxihidróxidos de Mn, en una matriz de gibbsita, y otras veces, rellenando fracturas, y son predominantes en Km-30. Los carbonatos y los óxidos se encuentran en forma de partículas micrométricas redondeadas, los carbonatos son poco abundantes, y se encuentran en Aceitillar y Sombrero. Se interpreta que la monacita es de origen primario (relictico), mientras que los demás son supergénicos (neoformados durante la bauxitización).

Los cálculos termodinámicos indican que la estabilidad de las fases predominantes de REE en las bauxitas kársticas de la Sierra de Bahoruco depende en gran medida de la disponibilidad de carbonato y de fosfato en solución, del pH y del Eh. Para el Nd, Gd y Sm, los fosfatos son las fases sólidas estables cuando la concentración de fosfato es elevada, mientras que los carbonatos y los hidróxidos aparecen solamente cuando la concentración de fosfato disminuye sustancialmente ($[\text{CO}_3^{2-}]_{\text{total}}/[\text{PO}_4^{3-}]_{\text{total}}=100$). Los carbonatos aparecen a $\text{pH}\sim 7$, y los hidróxidos a pH mayores. El campo de estabilidad del fosfato de Nd se limita a condiciones oxidantes y pH neutros a ácidos, mientras que el del Gd está restringido a pH neutros. Una disminución del pH desestabiliza los carbonatos. En solución, los principales complejos acuosos de REE que se forman son los fosfatados si la concentración de carbonato no es suficiente y/o el pH demasiado bajo.

CONSIDERACIONES FINALES

Las bauxitas kársticas de la Sierra de Bahoruco son importantes recursos potenciales de REE, que se encuentran formando una gran variedad de minerales: i) fosfatos primarios de LREE; ii) fosfatos secundarios de HREE e Y; iii) carbonatos secundarios de LREE y HREE; y iv) cerianita. Conocer cuáles son las fases portadoras de dichos elementos es fundamental para diseñar un programa de exploración y definir los procesos óptimos de concentración y extracción de la mena. Estas bauxitas constituyen un laboratorio natural ideal para estudiar la movilidad de las REE y la estabilidad de los carbonatos, fosfatos y óxidos en los perfiles de meteorización. Hay que tener en cuenta que los minerales de REE descritos en la literatura actualmente aceptados son principalmente de Y, La, Ce, Nd o Sm; y algunos de los identificados en Bahoruco contienen otros elementos, por lo que es posible que se trate de nuevas variedades minerales.

REFERENCIAS

- Bárdossy, G. (1982): Karst bauxites. Bauxite deposits on carbonate rocks. *Developments in Economic Geology*, vol. 14. Elsevier, Budapest.
- Charles, N., Tuduri, J., Lefebvre, G., Pourret, O., Gaillard, F., Goodenough, K. (2021): Ressources en terres rares de l'Europe et du Groenland: un potentiel minier remarquable mais tabou? En "Ressources métalliques: cadre géodynamique et exemples remarquables", Boulvais P. & Decrée S., eds. ISTE Science Publishing Ltd-Wiley.
- Goodenough, K., Wall, F., Merriman, D. (2018): The Rare Earth Elements: Demand, Global Resources, and Challenges for Resourcing Future Generations. *Nat. Resour. Res.*, **27**, 201-216.
- Schellman, W. (1986): A new definition of clayey soil. In "Lateritisation Processes", Banerji, P.K., ed. *Geological Survey of India Memoir, Calcutta*, **120**, 11-17.
- Torró, L., Proenza, J.A., Aiglsperger, T., Bover-Arnal, T., Villanova-de-Benavent, C., Rodríguez, D., Ramírez, A., Rodríguez, J., Mosquea, L.A., Salas, R. (2017): Geological, geochemical and mineralogical characteristics of REE-bearing Las Mercedes bauxite deposit, Dominican Republic. *Ore Geol. Rev.*, **89**, 114-131.