

Murciélagos y evolución mineral en la mina Pastora, Aliseda (Cáceres)

Ángel Crespo López (1*), Carlos Pimentel (2), Carlos M. Pina (1,3)

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

(2) Université Grenoble Alpes, Université Savoie Mont Blanc, CNRS, IRD, IFSITTAR, ISTerre, 38000, Grenoble (Francia)

(3) Instituto de Geociencias (IGEO). UCM – CSIC, 28040, Madrid (España)

* corresponding author: angelcre@ucm.es

Palabras Clave: Evolución mineral, Amoniojarosita, Tschermigita, Urea, Murciélagos. **Key Words:** Mineral evolution, Ammoniojarosite, Tschermigite, Urea, Bats.

INTRODUCCIÓN

El concepto de evolución mineral fue introducido por Zhabin en 1979 y posteriormente desarrollado por Hazen et al. (2015), quienes propusieron que la riqueza mineral de la Tierra ha estado determinada por cambios en las condiciones físicoquímicas terrestres a lo largo de su historia. En este trabajo mostramos cómo este nuevo concepto de evolución mineral es también aplicable a microsistemas biogeoquímicos como el de la mina Pastora, Aliseda (Cáceres), en la cual pueden identificarse sucesivos escenarios mineralogénicos.

Geológicamente, la mina Pastora está situada en terrenos del Devónico Superior afectados por la Orogenia Varisca. El yacimiento, constituido principalmente por goethita y hematites, es de tipo gossan, generado a partir de la oxidación de mineralizaciones primarias de pirita. Las labores mineras y su posterior abandono condujeron a una nueva fase de evolución mineral en la que diversos factores biogeoquímicos —entre los que destaca la actividad de una colonia de murciélagos—, han dado lugar a una singular paragénesis de minerales secundarios con cantidades significativas de sulfatos de amonio (tschermigita y amoniojarosita).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se ha realizado un muestreo espacio-temporal sistemático en un lugar seleccionado de la mina, un pozo de unos 5 m de profundidad que comunica los niveles uno y dos y por cuya base drenan las aguas de la mina. Las muestras fueron estudiadas mediante difracción de rayos X y microscopía electrónica de barrido, y analizadas químicamente mediante energía dispersiva de rayos X. El nitrógeno amoniacal total (TAN) del agua de la mina fue estimado mediante el método colorimétrico semicuantitativo basado en la reacción de Berthelot (fenol-hipoclorito). Por otro lado, entre agosto de 2022 y marzo de 2023, se registraron cada hora datos de temperatura y humedad relativa de la mina mediante un termohigrómetro. Además, el pH de las aguas de la mina fue medido *in situ* al menos una vez cada mes durante el mismo periodo de tiempo.

Finalmente, la colonia de murciélagos ha sido caracterizada según el censo realizado en 2007 por la Junta de Extremadura.

RESULTADOS

El área de estudio elegida está situada en una zona profunda de la mina y presenta unas condiciones bastante estables de temperatura y humedad relativa que sólo se ven débilmente afectadas por las variaciones exteriores. El valor medio del pH del agua de la mina es de 2,76 con un máximo de 3,20 (medido en agosto de 2022 y coincidiendo con periodos de gran actividad de los murciélagos que producen amoníaco e incrementan el pH del agua) y un mínimo de 2,50 (medido en diciembre de 2022 cuando la actividad de los murciélagos es mínima).

La colonia de murciélagos que de forma permanente habita la mina está constituida por cerca de 3.000 individuos de unas 10 especies diferentes, mayoritariamente insectívoras. Se estimó el nitrógeno amoniacal total (TAN) del agua de la mina en al menos 10 mg/L medido en abril, fecha de gran actividad de los murciélagos debido a que utilizan la mina como zona de reproducción.

En trabajos precedentes hemos identificado una veintena de especies diferentes de sulfatos de los cuales dos, tschermigita $(\text{NH}_4)\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ y amoniojarosita $(\text{NH}_4)\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$, son sulfatos de amonio (Crespo et al., 2017; Crespo et al., 2023). La formación de estos sulfatos es rara porque las soluciones concentradas de

amonio son bastante escasas en entornos naturales. Sin embargo, este tipo de sulfatos es muy frecuente en la mina Pastora, donde su formación obedece a la elevada concentración de nitrógeno amoniacal en las aguas de la mina. La figura 1 muestra los diferentes escenarios de la evolución mineral en la mina Pastora: (1) mineralización primaria de pirita; (2) formación de óxidos e hidróxidos por meteorización de la pirita con liberación de SO_4^{2-} y Fe^{+2} y generación de drenaje ácido de mina; (3) formación de sales divalentes simples a partir de cationes lixiviados de la pirita; (4) formación de sales complejas que incluyen cationes lixiviados de las rocas encajantes; (5) formación de nuevos minerales debido a la actividad biológica de los murciélagos. Las etapas 1 a 4 han sido ampliamente tratadas por la literatura científica. No sucede lo mismo con la quinta. Aunque existen diversos estudios sobre la generación de determinadas especies minerales, generalmente fosfatos, a partir de los detritos de los murciélagos, los estudios sobre la generación de sulfatos de amonio a partir de ellos son escasos. Presumiblemente su formación se produce a partir de la urea de las excreciones de los murciélagos.

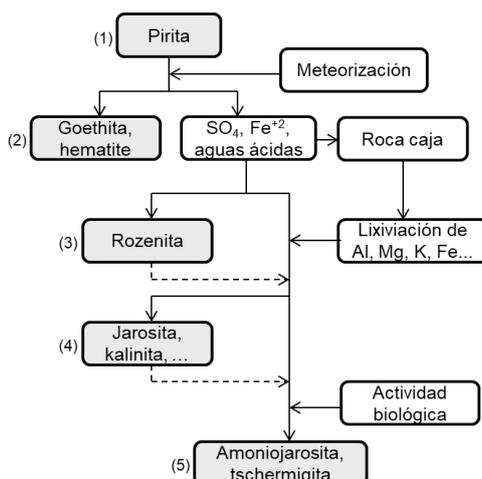


Fig 1. Esquema simplificado de la evolución mineral en la mina Pastora (modificado de Crespo et al., 2023).

Los murciélagos son animales denominados ureotélicos, es decir, que excretan el exceso de nitrógeno en forma de urea. Sin embargo, la urea permanece poco tiempo en solución y es rápidamente transformada en amoníaco por la enzima ureasa. Considerando el bajo pH del agua de la mina, el ion NH_4^+ es predominante con respecto al amoníaco, lo que determina la precipitación de sulfatos de amonio, los cuales son especialmente abundantes en ciertas zonas de la mina Pastora donde, además, muestran una concentración decreciente en altura. El flujo continuo del agua y la alta humedad relativa favorecen el ascenso de las aguas por capilaridad, y la formación de sulfatos de amonio en los niveles más bajos. A unos 2,5 m por encima del nivel freático los sulfatos de amonio son ya más escasos pasando a ser la fibroferrita, $\text{Fe}^{3+}(\text{SO}_4)(\text{OH}) \cdot 5(\text{H}_2\text{O})$, el sulfato mayoritario.

CONCLUSIONES

La mina Pastora muestra una gran riqueza mineral debido a la evolución que han experimentado sus condiciones fisicoquímicas desde que comenzara a ser explotada. En el último y quinto estadio de su evolución mineralógica aparecen sulfatos de amonio (tschermigita y amoniojarosita) como respuesta a las altas concentraciones de ion amonio (NH_4^+), aportado por la extensa colonia de murciélagos que, de forma permanente, habita en esa mina. La presencia de estos sulfatos de amonio demuestra que la actividad biológica puede ser un factor determinante en la evolución mineral en determinados microsistemas biogeoquímicos, como son las minas.

REFERENCIAS

- Crespo, A., Pimentel, C., Pedraz, P., Pina C.M. (2017): New occurrence of the rare mineral slavikite in Spain. *Journal of Iberian Geology*, **43** (3), 487-495. DOI 10.1007/s41513-017-0030-6.
- Crespo, Á., Pimentel, C., Pina, C.M. (2023): Mineral evolution and mineral niches of ammonium sulphates: the case of Pastora mine (Aliseda, Spain). *American Mineralogist* (en prensa). DOI: 10.2138/am-2022-8488.
- Hazen, R.M., Grew, E.S., Downs, R.T., Golden, J., Hystad, G. (2015): Mineral ecology: Chance and necessity in the mineral diversity of terrestrial planets. *The Canadian Mineralogist*, **53**(2), 295.
- Zhabin, A.G. (1979): Is there evolution of mineral speciation on Earth? *Doklady Akademii Nauk*, 247, 199-202 [en ruso]. Traducción al inglés (1981) *Doklady Earth Science Sections*, **247**, 142-144.