

DATOS PRELIMINARES SOBRE LA MINERALOGÍA DE LOS PRECIPITADOS ASOCIADOS A LOS RESPIRADEROS Y TOBERAS EXISTENTES EN LA COVA DES PAS DE VALLGORNERA (Mallorca)

per Antoni MERINO^{1,2}, Joan J. FORNÓS¹, Bogdan P. ONAC^{3,4}

Resumen

La Cova des Pas de Vallgornera, situada en la isla de Mallorca, es una cavidad excepcional por su desarrollo topográfico, presencia de espeleotemas y rasgos morfológicos. El conjunto de morfologías existentes ilustra el papel jugado por los distintos factores geológicos en su génesis. Contiene evidencias de procesos espeleogenéticos complejos, que incluyen a parte de la típica karstificación costera ligada a los procesos de corrosión en la zona de mezcla de aguas, una marcada recarga de aguas meteóricas juntamente con una posible recarga basal profunda de origen hipogénico, apoyada por la presencia de abundantes canales ascendentes de disolución, *rising solutional channels* en distintas zonas de la cavidad. Una serie de morfologías descritas como respiraderos (*vents*) muestran un conjunto de espeleotemas asociados como son las toberas (*cave rims*) y costras minerales. Las toberas se presentan alrededor de los agujeros y grietas presentes en el suelo de las galerías. Su génesis está relacionada con su posición en el nivel superior de la cavidad, por encima del nivel freático. La circulación de aire desde el nivel inferior (en contacto con el nivel freático que aporta la humedad al aire) al superior podría haber causado el desarrollo de estas morfologías. Parte de la composición química además de la variada mineralogía observada, apuntan a una influencia hipogénica en la génesis de las toberas y costras minerales relacionadas con los respiraderos. Aparte de los minerales carbonatados comunes presentes en las cuevas de Mallorca, se han identificado otros que en su gran mayoría son raros (monohidrocalcita, estroncianita, celestina, todorokita y varios minerales del grupo de las arcillas), u otros completamente inesperados (baritina, nordstrandita, maghmita y paralstonita). Debido a la monótona geología de la superficie alrededor de la cueva, creemos que fluidos ascendentes de origen hipogénico ricos, en Sr y Ba, reaccionaron con la roca encajante para formar este conjunto mineral único hasta el momento en el entorno de Mallorca.

Abstract

Located in the southern part of the island of Mallorca, on upper Miocene limestones, the Cova des Pas de Vallgornera is an exceptional coastal cave because of its length, presence of speleothems, and particular morphological features. Its morphological assemblage illustrates the key-role of geological factors in its genesis. It contains evidences of complex speleogenetic processes including besides the typical coastal karstification, a noticeable meteoric water recharge along with a possible basal, deep recharge of hypogenic origin. Related to the latter one there are some conspicuous upwards rising solutional channels. A series of morphologies interpreted as vents show associated and related speleothems such as crusts and cave rims. Rims occur around the lips of the holes and cracks on the galleries' floor. The genesis of these speleothems closely relates to their location in the upper maze area of the cave, just above the water table level. Air-flow from the lower level (in contact with the water table which supplies moisture to that air) to the upper level can cause the development of these rims. The chemical composition as well as a diverse mineralogy observed, point to a hypogenic influence into the crusts and cave rims genesis related to the vent morphologies. Apart from the common carbonate minerals present in the mallorcan cave environment, the vast majority are rare (monohydrocalcite, strontianite, celestite, siderite, todorokite, and various clay minerals) or completely unexpected (barite, nordstrandite, maghmita, and paralstonite). Given the monotonous surface geology around the cave we suspect that ascending Sr and Ba, hypogene solutions react with the host rock to form this unique mineral assemblage. Iron can be leached from surface or from the limestone.

1 Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears, España
2 Federació Balear d'Espeleologia, C/ Margarida Xirgú, 16. 07011 Palma de Mallorca, España

3 Department of Geology, University of South Florida, 4202 E. Fowler Ave., SCA 528, Tampa, FL 33620, USA
4 "Babeş-Bolyai" University Cluj/"Emil Racoviţă" Institute of Speleology, Clinicilor 5, 400006 Cluj, Romania

Introducción

La cueva des Pas de Vallgornera es un extenso laberinto de galerías y salas, parcialmente cubierto por aguas freáticas salobres, cuya extensión supera en estos momentos los 63 km de desarrollo topográfico. Hasta fechas recientes, la espeleogénesis de la cavidad estaba casi exclusivamente relacionada con los procesos de disolución que se producen en la zona de mezcla de aguas debido a las morfologías presentes en la parte conocida de la cavidad (GINÉS & GINÉS, 1992; GRÀCIA *et al.*, 2006). En 2004 se descubre un importante conjunto de nuevas galerías y salas de hundimiento, algunas de ellas de excepcionales dimensiones. El desarrollo que tenía en aquellos momentos la cavidad, 6.400 metros, pasa a más de 59.000 m a finales de 2008 (MERINO *et al.*, 2006, 2007, 2008). A raíz de estos descubrimientos se han hallado nuevas y complejas evidencias de una génesis mucho más compleja en una confluencia de procesos. Además del clásico proceso de la corrosión relacionada con la zona de mezcla de aguas, se han localizado grandes cantidades de rellenos alóctonos que están relacionados con la influencia de la recarga de aguas superficiales. Por otra parte, las nuevas características morfológicas presentes en estas secciones de la cavidad como los canales ascendentes de disolución (*solutional rising channels*), canales de techo (*ceiling channels*), o *feeders*, son una evidencia tangible de la implicación de procesos de tipo hipogénico (GINÉS *et al.*, 2008). En fechas recientes, MERINO (2006), describió por primera vez en Mallorca las toberas, en aquel trabajo ya se dejaba clara la relación de estos espeleotemas con movimientos convectivos del aire entre diferentes niveles de la cueva.

El objeto de este trabajo es describir los respiraderos y toberas presentes en la Cova des Pas de Vallgornera junto con los minerales asociados. Uno de los principales objetivos de este estudio es el análisis mineralógico de las muestras mediante difracción de rayos X, y las observaciones llevadas a cabo mediante EDX y SEM.

La investigación a pesar de estar en una fase inicial, sugiere que la presencia de estos espeleotemas representa un registro importante sobre la génesis y evolución de la cavidad, y por lo tanto debe ser metódicamente analizada.

Respiraderos y toberas

Los respiraderos y las toberas asociadas a los mismos han sido de momento localizados en el Sector F, Galería de les Toveres, Galería d'en Pau, Sector Nord y Galería del Tragus, la mayoría en el nivel superior de la cueva. Al mismo tiempo se han hallado ejemplares aislados de respiraderos a nivel freático en la Galería del Tragus, Galería del Gran Canyó (Fig. 1). La morfología de las toberas está caracterizada por la existencia de una proyección con aspecto de concha, cuyas dos caras muestran notables diferencias. Mientras que el lado



Figura 1: Aspecto general de una tobera asociada a un respiradero. Sector F, Cova des Pas de Vallgornera.

Figure 1: General aspect of a rim along with the associated vent. Sector F, Cova des Pas de Vallgornera.

orientado hacia la galería es rugoso y con textura algo coraloides, el situado en dirección hacia el respiradero es liso, mostrando su superficie claras evidencias de corrosión. Las toberas que se desarrollan alrededor de los orificios y grietas en el suelo de las galerías, presentan un color blanquecino y un espesor variable entre 1 y 4 cm. Las toberas se desarrollan normalmente sobre la parte superior de otra morfología que denominamos respiradero. En general éste consiste en un tubo estrecho y casi siempre impenetrable que une dos niveles diferentes de galerías. Las paredes de los respiraderos son lisas y están cubiertas de caliza muy alterada y diversos precipitados minerales. Las zonas adyacentes a los respiraderos muestran costros minerales de diversa consideración sobre el lecho de roca. Parece razonable considerar que este espeleotema, localizado principalmente en el nivel superior de la cavidad justo sobre otro que está a nivel freático, está claramente relacionado con alguna fase de la génesis de la cueva.

El respiradero que se describe en este trabajo (Fig. 2) se localiza en el lado NW de la Galería del Tragus. Para facilitar la documentación y distribución de los distintos minerales a lo largo de esta morfología, se levantó una planta y perfil topográfico del mismo. A grandes rasgos se trata de una galería estrecha e irregular de techo bajo, orientada en dirección NE-SW, de unos 9 m de longitud y una anchura máxima de unos 2 m. La galería ha sido excavada sobre una fractura estrecha que se puede observar a lo largo del suelo. Normalmente las paredes están caracterizadas por una superficie muy irregular,

la situada en el lado NW tiene una repisa de pequeñas dimensiones sobre la que se han depositado algunos sedimentos y minerales. El techo muestra unos rasgos peculiares, en primer lugar una bóveda lisa y alargada que a modo de acanaladura pone en contacto la parte más interna del respiradero con la sección más exterior, cercana a la galería principal. En segundo lugar, la parte central del techo tiene una bóveda más alta que está cubierta de *ceiling pockets* de pequeñas dimensiones. Sobre la entrada de acceso al respiradero existe un conducto estrecho, como una chimenea, que conecta la galería principal con unos conductos o tubos que pudieran alcanzar el techo de la bóveda antes mencionada.

Composición química y mineralogía

Los análisis realizados sobre las toberas revelan una composición química compleja e interesante. Aparte de los componentes químicos más comunes hallados en otras cuevas de Mallorca (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} , Mn^{2+} , P^{5+}) hay otros que no habían sido documentados hasta la fecha en ninguna otra cavidad de la isla. La presencia



Figura 2: Vista general del respiradero estudiado con la localización de los principales depósitos asociados. Galería del Tragus, Cova des Pas d Vallgornera.

Figure 2: General view of the investigated vent, with indication of the main associated deposits. Galería del Tragus, Cova des Pas de Vallgornera.

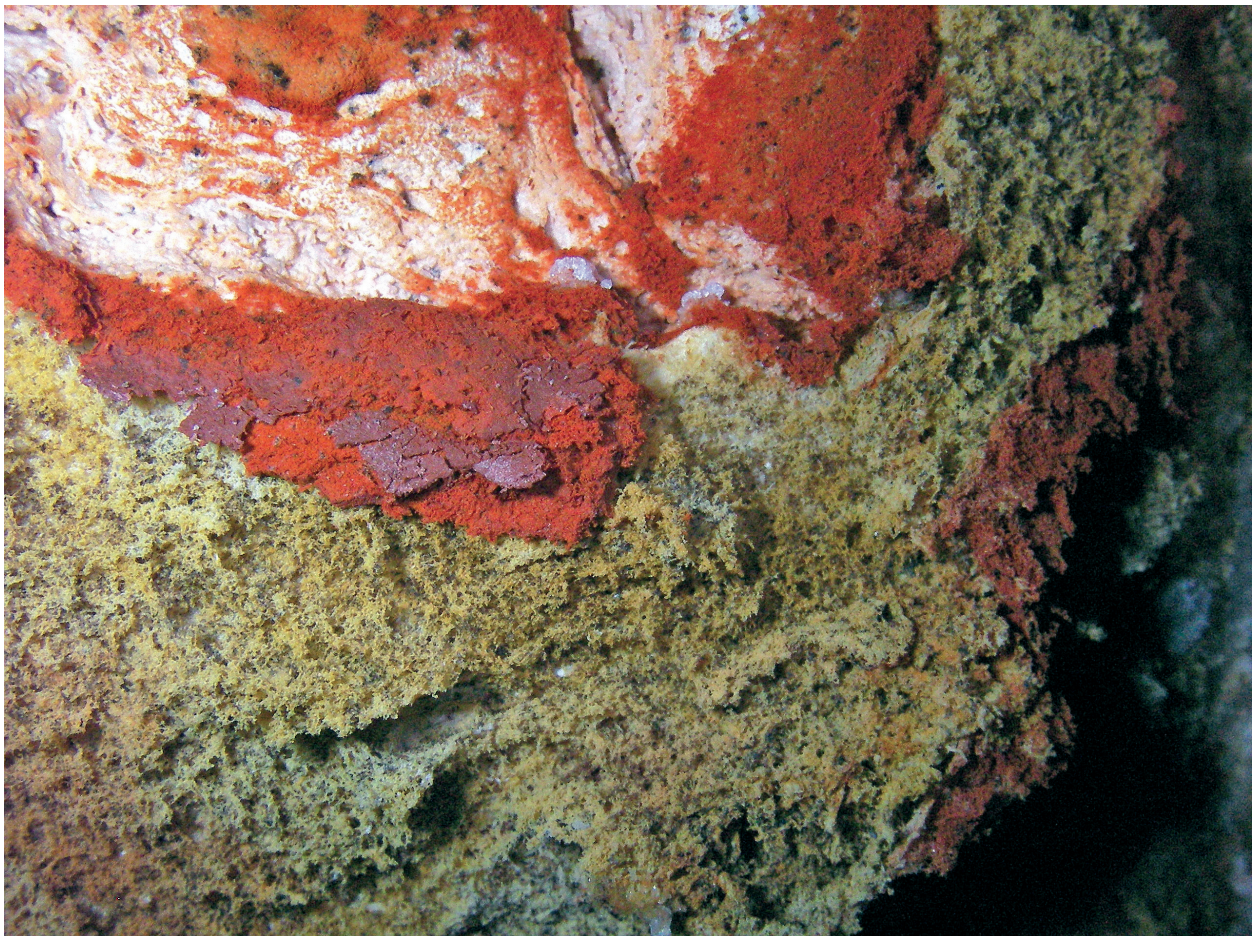


Figura 3: Depósitos multicolor de composición férrico-mangánica. Ver localización en Fig. 2.

Figure 3: Ferro-manganese deposits. See location in Fig. 2.

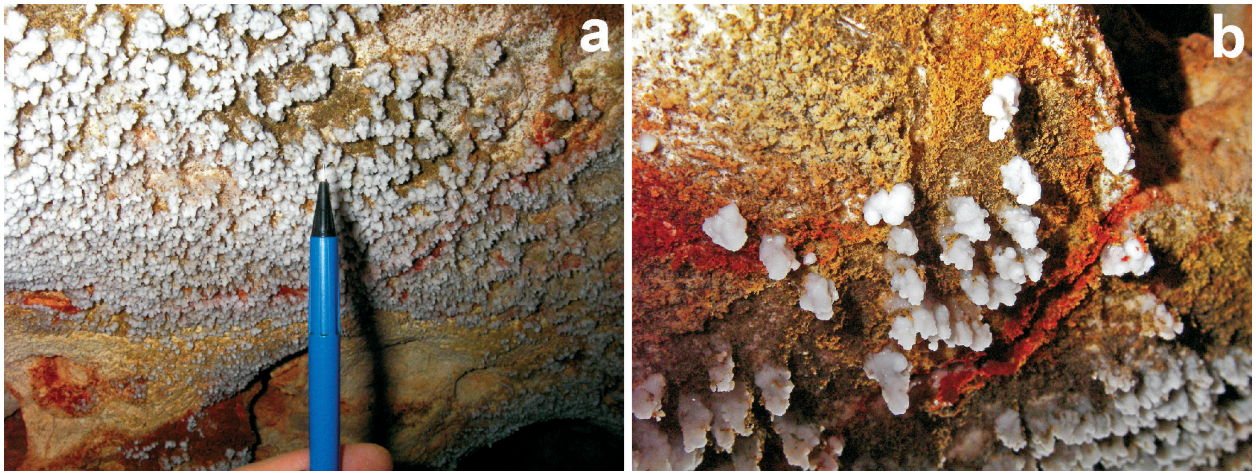


Figura 4: a) Excrecencia mineral carbonatada de color blanco; b) las mismas excrecencias rodeadas de depósitos multicolores. Ver localización en Fig. 2.

Figure 4: a) White carbonate mineral excretion; b) same excretions surrounded by multicolored deposits. See location in Fig.2.

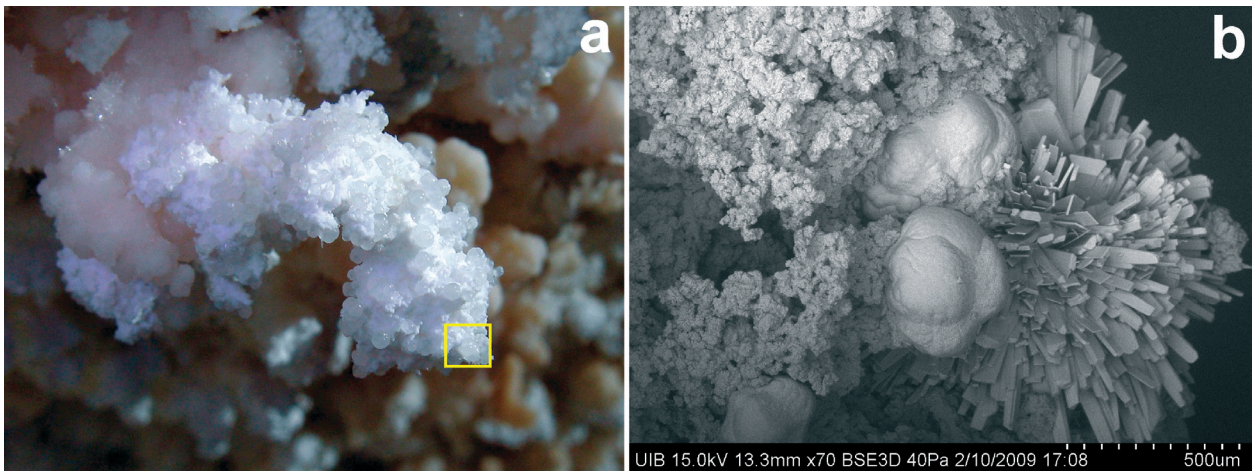


Figura 5: a) Precipitados esféricos característicos de la huntita; b) observación al microscopio electrónico (SEM) de las esferas de huntita y precipitados asociados de aragonito.

Figure 5: a) Typical spherical precipitates of huntite; b) SEM image of huntite spheres associated with aragonite precipitates.

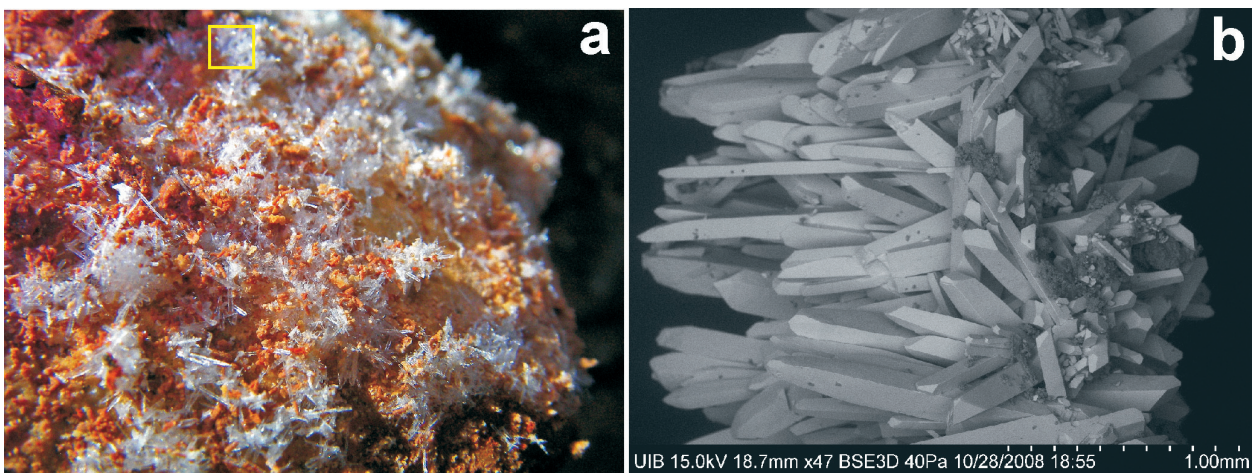
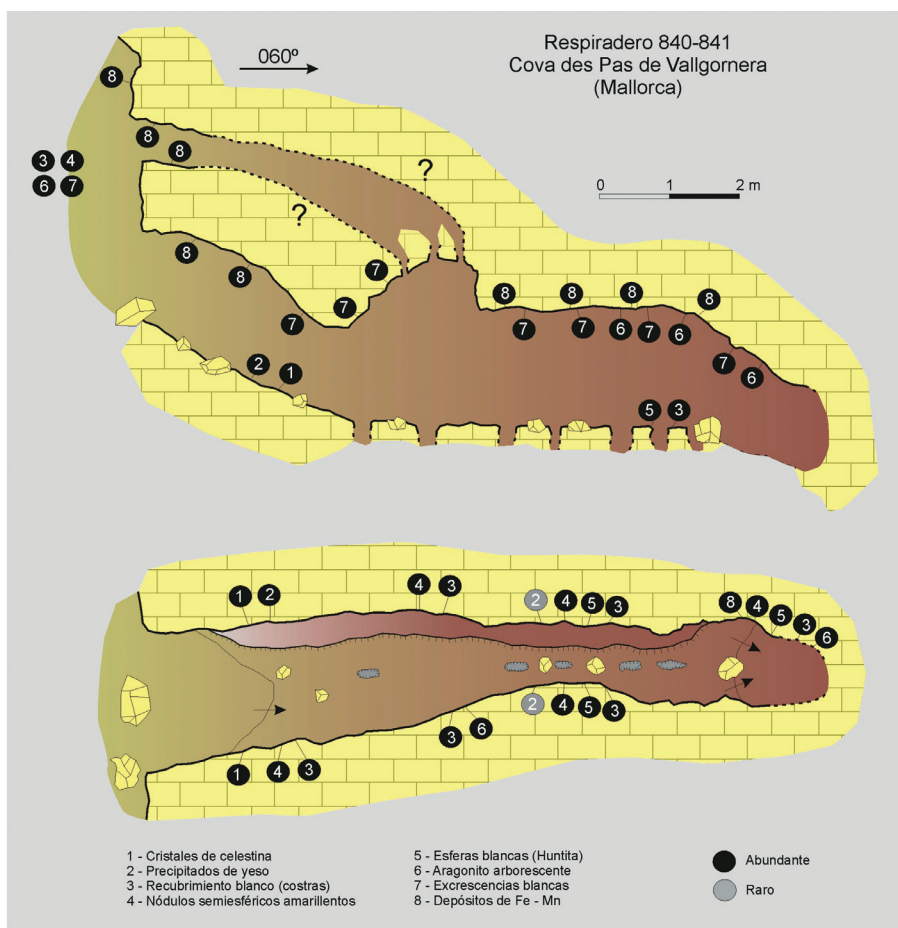


Figura 6: a) Agregados cristalinos de celestina (ver localización en Fig. 2); b) observación al microscopio electrónico (SEM) de la forma acicular de los cristales.

Figure 6: a) Crystalline aggregates of celestine (see location in Fig. 2); b) SEM image of acicular crystals.

Figura 7: Representación esquemática del respiradero de la Fig. 2 con la distribución de los principales depósitos minerales presentes.

Figure 7: Vent sketch with the distribution of the main mineral facies present observed on Fig. 2.



de los poco habituales S^{3+} , Si^{4+} , K^+ , Sr^{2+} , e incluso Ti^{4+} , Ni^{2+} , Zr^{4+} , Cu^{2+} , Cr^{3+} , Ba^{2+} , y La en diferentes concentraciones sugiere un origen geotermal, posiblemente con una notable influencia microbiológica, de los minerales relacionados con los respiraderos de la Cova des Pas de Vallgornera.

Algunas de las especies minerales identificadas en los respiraderos mediante difracción de rayos X son comunes dentro de otras cavidades de la isla, como calcita, aragonito, yeso o goetita; (ONAC *et al.*, 2005), sin embargo la mayoría son raras (huntita, monohidrocalcita, estroncianita, siderita, todorokita, celestina, entre otros) o completamente inesperados (baritina, nordstrandita, maghmita, paralstonita).

Los depósitos minerales se distribuyen principalmente sobre el techo y las paredes de los respiraderos, entre los cuales destacan por su abundancia los depósitos de composición ferro-manganesa (FMD). Éstos se presentan como masas esponjosas con aspecto de malla, con un grosor variable que no suele superar los 5 mm. (Fig. 3). Exhiben diferentes colores, desde los tonos amarillentos, rojizos, negros, marrones e incluso verdes. Debajo de este depósito existe una segunda capa de un espesor medio de 6 mm consistente en una caliza muy alterada, denominada *punk rock* (HILL, 1987). Finalmente, y por debajo de la anterior, tenemos la roca madre sin alterar. En algunas ocasiones se observan mallas filamentosas de estos depósitos colgando del techo, cuando caen se van depositando en el suelo

de las galerías formando pequeñas acumulaciones verisicolores. Una gran cantidad de estos materiales cubren totalmente las paredes y el techo de la parte más interna del respiradero, mientras que es menos abundante en la parte más exterior del mismo. Los análisis químicos preliminares de estos depósitos ofrecen una notoria similitud con los resultados obtenidos en estudios llevados a cabo en cavidades como Spider cave y Lechuguilla cave en New México, USA. Estas cavidades contienen vastas acumulaciones de estos materiales que cubren paredes, techos y suelos, habiéndose descubierto en ellos comunidades bacterianas (DAVIS *et al.* 2000; NORTHUP *et al.* 2000, 2003; SPILDE *et al.* 2005, 2006; BARTON *et al.* 2007).

Estos depósitos podrían ser consecuencia de procesos de condensación corrosión inducidos por fenómenos convectivos del tipo Rayleigh-Benard (SPILDE *et al.*, 2006). Este proceso abiótico podría haber tenido también la participación asociada de microorganismos bacterianos en la producción de estos residuos.

Otro mineral identificado es una excrescencia cristalina de color blanquecino que sobresale del techo (Fig. 4a), generalmente a lo largo de la bóveda alargada o en los límites de las abundantes irregularidades del techo. Se observan cristales aislados en diferentes puntos, algunos de ellos desarrollados rodeados de depósitos ferro-manganesos (Fig. 4b). Cuando un gran número de cristales crece uno al lado del otro se forma una costra mineral muy uniforme.

Por lo que respecta a las mineralizaciones que cubren paredes y repisas hay que destacar una costra mineral de color blanco, superficie irregular y grosor variable. Sobre éstas existen unos nódulos semiesféricos de color amarillento, formados por cristales. Al mismo tiempo una masa de pequeño tamaño, forma esférica y color blanco (Fig. 5) se desarrolla en el extremo de dichos cristales (huntita). En algunos lugares se han localizado acumulaciones de este agregado mineral de color blanco cubriendo la parte baja de las paredes donde hay nódulos y costras minerales blancas.

En las paredes del tercio más exterior del respiradero se han identificado cristales transparentes de celestina de pequeño tamaño (Fig. 6). Se presentan como grupos de cristales formados por docenas de individuos cuya longitud suele ser de entre 1 y 2 mm. El yeso también ha sido hallado en este tramo del respiradero, normalmente en forma de cristales fibrosos, depósitos sacaroides y algunas flores de yeso de pequeño tamaño. El yeso se encuentra en las repisas y también entre los sedimentos que cubren el suelo del respiradero. Normalmente los cristales de yeso y los de celestina pueden encontrarse unos al lado de otros.

En el techo y las paredes del respiradero se observan también algunos grupos de cristales aciculares de aragonito que no son abundantes (Fig. 7).

Conclusiones

La composición química además de los principales minerales identificados en primera instancia apunta de algún modo a una influencia hipogénica en la génesis de las costras minerales y toberas relacionadas con los respiraderos. Dada la monótona geología superficial de la zona alrededor de la cavidad, sospechamos que flujos hipogénicos ascendentes conteniendo Sr y Ba, reaccionaron con la roca encajante para formar este conjunto mineral único. La serie de estudios de detalle mineralógicos e hidroquímicos complementarios que se están llevando a cabo en la actualidad, sin duda permitirán documentar mejor la existencia de procesos mixtos convectivos relacionados con el ascenso de flujos profundos en la zona de Vallgornera.

Agradecimientos

Buena parte de los trabajos realizados se enmarcan dentro del proyecto de investigación CGL2006-11242-C03-01/BTE del *Ministerio de Ciencia e Innovación – FEDER*. Un agradecimiento especial se hace extensible a los siguientes compañeros por su contribución y apoyo durante las labores de campo: Toni Mulet, Guiem Mulet, Anders Kristofersson, Toni Croix y Joaquín Ginés; y de laboratorio: Joan Cifre y Ferran Hierro de la Universitat de les Illes Balears (Serveis Científico-Tècnics).

Bibliografía

- BARTON, H.A. & NORTHUP, D.E. (2007): Geomicrobiology in cave environments: past, current and future perspectives. *Journal of Cave and Karst Studies*, 69(1): 163-178. Huntsville, Alabama. USA.
- DAVIS, D.G. (2000): Extraordinary features of Lechuguilla cave, Guadalupe Mountains, New Mexico. *Journal of Cave and Karst Studies*, 62: 147-157. Huntsville, Alabama. USA
- GINÉS, A. & GINÉS, J. (1992): Las Coves del Drac (Manacor, Mallorca). Apuntes históricos y espeleogenéticos. *Endins*, 17-18: 5-20. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J., GINÉS, A., FORNÓS, J.J., GRÀCIA, F. & MERINO, A. (2008): Noves observacions sobre l'espeleogènesi en el Migjorn de Mallorca: Els condicionants litològics en alguns grans sistemes subterranis litorals. *Endins*, 32: 49-79. Palma de Mallorca.
- GRÀCIA, F.; CLAMOR, B.; FORNÓS, J.J.; JAUME, D. & FEBRER, M. (2006): El sistema Pirata - Pont - Piqueta (Manacor, Mallorca): geomorfologia, espeleogènesi, hidrologia, sedimentologia i fauna. *Endins*, 29: 25-64. Palma de Mallorca.
- HILL, C.A. (1987): Geology of Carlsbad Cavern and Other Caves in the Guadalupe Mountains, New Mexico and Texas. Socorro, NM. *New Mexico Bureau of Mines and Mineral Resources, Bulletin* 117.
- MERINO, A. (2006): Espeleotemas poco frecuentes y morfologías de corrosión hallados en la Cova des Pas de Vallgornera. *Endins*, 30: 49-70. Palma de Mallorca.
- MERINO, A.; MULET, A. & MULET, G. (2006): La Cova des Pas de Vallgornera: 23 kilómetros de desarrollo topografiado (Llucmajor, Mallorca). *Endins*, 30: 29-48. Palma de Mallorca.
- MERINO, A.; MULET, A.; MULET, G.; CROIX, A. & GRÀCIA, F. (2007): La Cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor, Mallorca): 40 kilómetros de desarrollo topografiado. *Endins*, 31: 101-110. Palma de Mallorca.
- MERINO, A.; MULET, A.; MULET, G.; CROIX, A. & GRÀCIA, F. (2008): La Cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor, Mallorca) alcanza los 55 kilómetros de desarrollo topográfico. *Endins*, 32: 33-42. Palma de Mallorca.
- NORTHUP, D.E.; DAHM, C.N.; MELIM, L.A.; SPILDE, M.N.; CROSSEY, L.J.; LAVOIE, K.H.; MALLORY, L.; BOSTON, P.J.; CUNNINGHAM, K.I. & BARNES, S.M. (2000): Evidence of geomicrobiological interactions in Guadalupe (NM) caves. *Journal of Cave and Karst Studies*, 62: 80-90. Huntsville, Alabama, USA.
- NORTHUP, D.E.; BARNES, S.M.; YU, L.E.; SPILDE, M.N.; SCHELBLE, R.T.; DANO, K.E.; CROSSEY, L.J.; CONNOLLY, C.A.; BOSTON, P.J.; NATVIG, D.O. & DAHM, C.N. (2003): Diverse microbial communities inhabiting ferromanganese deposits in Lechuguilla and Spider caves. *Environmental Microbiology*, 5: 1071-1086.
- ONAC, B.P.; FORNÓS, J.J.; GINÉS, A. & GINÉS, J. (2005): Mineralogical reconnaissance of caves from Mallorca Island. *Endins*, 27: 131-140. Palma de Mallorca.
- SPILDE, M.N.; NORTHUP, D.E.; BOSTON, P.J.; SCHELBLE, R.T.; DANO, K.E.; CROSSEY, L.J. & DAHM, C.N. (2005): Geomicrobiology of cave ferromanganese deposits, a field and laboratory investigation. *Geomicrobiological Journal*, 22: 99-116. Huntsville, Alabama. USA.
- SPILDE, M.N.; NORTHUP, D.E. & BOSTON, P.J. (2006): Ferromanganese deposits in the caves of the Guadalupe Mountains. *New Mexico geological society guidebook*, 57th Field conference. Caves and Karst of Southeastern New Mexico.