

4 Espeleotemas y formas de cavernamiento de origen hidrotermal en la Sima de la Higuera (Región de Murcia)

Hydrothermal morphologies and speleothems in Sima de la Higuera, Region of Murcia

Fernando Gázquez-Sánchez¹; José María Calaforra Chordi²; Andrés Ros³; José Luis Llamusi³; Juan Sánchez³.

¹ School of Earth and Environmental Sciences, University of St. Andrews, Scotland, Reino Unido.

² G. I. Recursos Hídricos y Geología Ambiental, Universidad de Almería, España

³ Centro de Estudios Ambientales y del Mar. CENM-naturaleza, Alcántara, Murcia, España.

RESUMEN

La Sima de la Higuera (Pliego, Región de Murcia) ha sido habilitada recientemente para actividades de carácter espeleológico. Los particulares procesos de formación que dieron lugar a esta cavidad le confieren un valor añadido como georrecurso. De hecho, la gran abundancia de formas no relacionadas con la infiltración de agua de lluvia convierte a la Sima de la Higuera en un ejemplo poco frecuente de cavidad hipogénica. La cueva se originó debido a procesos hipogénicos ligados al ascenso de flujos de agua caliente, con alto contenido en dióxido de carbono (CO₂), de procedencia más o menos profunda, y prácticamente desconectados del flujo superficial.

En este trabajo se describen las morfologías hipogénicas observadas en la Sima de la Higuera. Estas evidencias espeleogenéticas, junto con las características mineralógicas y geoquímicas de algunos de sus espeleotemas han permitido evaluar la importancia que tuvieron los flujos hidrotermales durante la fase espeleogenética y de precipitación mineral, así como establecer un modelo evolutivo para esta cavidad.

ABSTRACT

Sima de la Higuera Cave (Pliego, southeast Spain) has been recently adapted for speleological use. The peculiar genetic mechanisms that originated this cavity are an added value for exploitation and a speleoturistic resource. Most of the mechanisms that gave rise to this cavity were associated with rich-CO₂ hydrothermal fluid rising, deep in origin, instead of being related to meteoric water seepage. The wide variety of speleothems not bound to meteoric water seepage turn the Sima de la Higuera Cave into an unusual example of hypogenic cave in Spain.

In this study we describe some geomorphologic features and unusual speleothems from Sima de la Higuera Cave. This enables us to assess the importance of hydrothermal fluxes during the stages of hypogenic speleogenesis and precipitation of minerals in the form of speleothems, with implications for the genetic model of the cave.

Palabras clave: Cuevas hipogénicas, morfologías hidrotermales, acuífero termal.

Key words: Hypogenic caves, hydrothermal morphologies, thermal aquifer.

Figura 1. Entorno geológico y mapa topográfico de la Sima de la Higuera (Pliego, Murcia) facilitada por los Clubs Cuatro Picos y Pliego España. Ubicación de las principales morfologías de génesis hipogénica (rojo) y de los espeleotemas identificados (amarillo): 1. Mega-scallops, costras de alteración y cúpulas; 2. Canales de corrosión en techos; 3. Surcos de burbujas; 4. Boxwork; 5. Rellenos de calcita tipo "spar"; 6. Torres de coral; 7. Conos de calcita flotante; 8. Folias y nubes de cuevas; 9. Acumulaciones de calcita flotante.

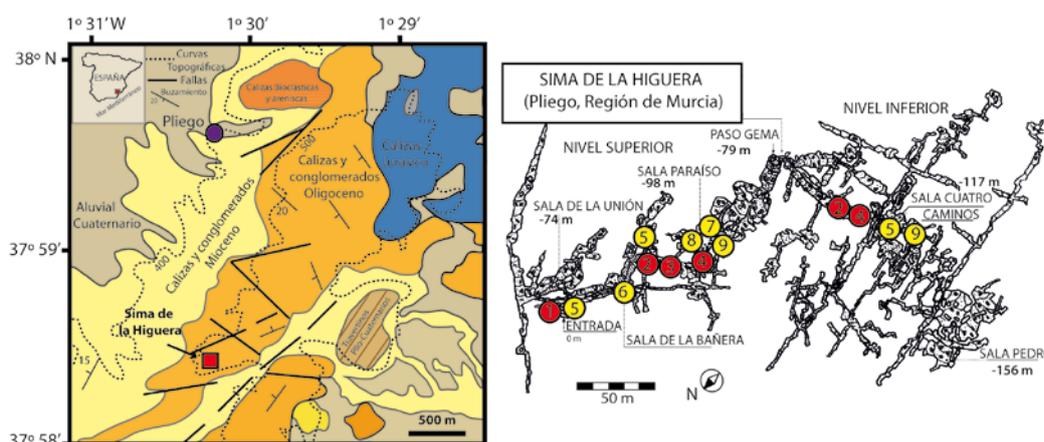


Figure 1. Location and geological setting of Sima de la Higuera Cave provide by Clubs Cuatro Picos y Pliego España; B. Location of the main hypogenic geomorphological features (squares) and speleothem formations (circles) in Sima de la Higuera Cave: 1. Mega-scallops, corrosion domes and alteration crusts; 2. Bubble trails; 3. Bubble grooves on mammillary crusts; 4. Boxwork and ferromanganese coatings; 5. Calcite "spars" infilling fractures; 6. Tower coral; 7. Calcite raft cones; 8. Folia and cave clouds (mammillary crusts); 9. Piles of calcite rafts.

ENTORNO GEOLÓGICO Y CARACTERÍSTICAS DE LA SIMA DE LA HIGUERA

La Sima de la Higuera está ubicada en la Sierra de Espuña, en el término municipal de Pliego (Región de Murcia). Su entrada se encuentra a 485 m s.n.m y está coronada por una gran higuera, a la que debe su nombre. Las labores de exploración espeleológica de esta sima-cueva empezaron en 1997 aunque existen evidencias de que su descubrimiento fue anterior a esta fecha (CLUB CUATRO PICO & CLUB PLIEGO ESPAÑA, 2001; FERRER, 2010). Su desarrollo conocido es de 5500 m y la profundidad máxima alcanzada es de 156 m con respecto a la entrada del pozo y de 82 con respecto a su base. La cavidad se desarrolla en conglomerados y calizas del Oligo-Mioceno, relativamente fracturadas debido a empujes dirigidos en dirección NO-SE que dieron lugar a un conjunto de diaclasas y fallas que controlaron su morfología, sobre todo en sus niveles más profundos (Fig. 1). En el entorno de la cueva aparecen importantes manantiales hidrotermales con temperaturas comprendidas entre 30 y 50°C, entre los que destacan los de las localidades de Mula y Archena, a 10 y 20 km de la cueva, respectivamente (BAÑOS, 1995). El alto flujo calorífico se debe al relativo adelgazamiento de la corteza terrestre y a la presencia de masas magmáticas recientes originadas por

erupciones volcánicas que tuvieron lugar hace aproximadamente un millón de años (PINUAGA-ESPEJEL *et al.*, 2000).

La cueva presenta marcadas evidencias que apuntan a un origen hipogénico, como indican la presencia de formas de disolución específicas de cavidades hipogénicas así como espeleotemas relacionados típicamente con este tipo de sistemas hidrotermales. Su elevada temperatura ambiental (18,6 – 21,7°C) con respecto a la media exterior (13,8°C), y su ligero aumento hacia las zonas más profundas, indica una importante anomalía térmica positiva que podría apuntar a un origen relativamente reciente. La humedad relativa del aire oscila entre 87,5 y 90% (CLUB CUATRO PICO & CLUB PLIEGO ESPAÑA, 2001).

Aunque las evidencias en cuanto a espeleotemas y formas espeleogenéticas apuntan a que los aportes de agua a la cueva en el pasado fueron de origen hidrotermal y profundo, actualmente la entrada de agua es únicamente de origen meteórico, y se produce mediante infiltración. La presencia de espeleotemas vadosos generados por goteo (estalactitas, estalagmitas...) es muy escasa y se limita a los sectores más someros, en torno a -74 m y por encima del nivel de la Sala de la Bañera.



Figura 2. A. Ubicación de los principales elementos morfológicos y espeleotemas de la Sima de la Higuera sobre un alzado topográfico de la cavidad; B. Vista en planta de la Sala Paraiso y ubicación de los conos de calcita flotante simples (azul, n = 38) y dobles (rojo, n = 56).

Figure 2. A. Location of the main morphological features and speleothems in Sima de la Higuera on a cave profile; B. Spatial distribution of cave cones in Paradise Chamber of Sima de la Higuera Cave, distinguishing simple-tower cones (n=38, in blue) and double-tower cones (n=56, in red).

FORMAS DE CAVERNAMIENTO HIPOGÉNICO

La Sima de la Higuera alberga una gran cantidad de elementos morfológicos poco convencionales que apuntan a que su origen es distinto del descrito tradicionalmente para cuevas epigénicas o meteóricas, generadas a partir de la infiltración de agua de lluvia. En los niveles superiores y en el pozo de acceso aparecen elementos típicos de espeleogénesis hipogénica como son las costras de corrosión, constituidas por calcita micritizada cuyo origen está relacionado con la interacción entre el agua hidrotermal de carácter ácido y la roca caliza. Por otro lado, también se observan formas típicas de erosión freática, como son los scallops, en este caso de gran tamaño e indicando flujos lentos y ascendentes, así como cúpulas y domos de corrosión de poco desarrollo.

En los niveles intermedios, en torno a la Sala de la Bañera (-85 m), se han observado canales de corrosión (bubble's trails) en el techo, cuyo origen está relacionado con la interacción en condiciones freáticas entre la roca de caja carbonática y la fase gaseosa ("burbujas") como consecuencia del alto contenido en CO₂ y/o H₂S que normalmente presenta el agua termal (FORTI, 1996; AUDRA *et al.*, 2009) (Fig. 3). Por otro lado, sobre los espeleotemas tipo "nubes" o "cebollas" que aparecen en el techo de la Sala de los Fantasmas se han observado

surcos o acanaladuras, en ocasiones de varios centímetros de profundidad, también relacionadas con la corrosión provocada por el ascenso de burbujas de CO₂. La entrada de agua termal en los niveles intermedios de la cavidad se produjo principalmente a través de una gran fractura que aparece en la parte inferior de la Sala Paraiso (-98 m) y que se habría comportado como una vía preferencial de alimentación (feeder) de agua cargada en CO₂ de origen profundo y que ascendía a los sectores superiores a través de esta sala.

La morfología de la cueva en los niveles inferiores a la Sala Paraiso cambia considerablemente con respecto a los sectores más someros. La ausencia de formas de disolución preferencial debido al ascenso de burbujas de CO₂ da paso a formas de disolución freática tipo "pendants". Estas diferencias morfológicas están relacionadas con los distintos mecanismos de disolución ácida condicionados por las diferencias en la presión hidrostática a la que estuvo sometido el CO₂ disuelto en el agua. Durante el ascenso del agua hacia los niveles superiores la presión hidrostática disminuía, dando lugar a un aumento del volumen de la fase gaseosa y en consecuencia de las burbujas, que se canalizaban generando formas de disolución verticales y ascendentes (tubos y surcos de burbujas). Otras formas de corrosión, en este caso de carácter

Figura 3. Espeleotemas relacionados con el origen hidrotermal de la Sima de la Higuera. A Torres de coral (suelo), "nubes de cuevas" (pared) y folias (techo) en el nivel del Lago de la Bañera; B. Folia; C. Cristales de calcita tipo spar recubiertos por óxidos de hierro y manganeso; D. Conos de calcita flotante y "nubes de cuevas" en la Sala de los Fantasmas; E. Acumulaciones de calcita flotante en la Sala Cuatro Caminos; F. Conos de calcita flotante "dobles" en la Sala Paraíso; G. Cono de calcita flotante a modo de "volcán" debido a un goteo agresivo en condiciones vadosas en la Sala de los Fantasmas; H e I. Boxwork cubierto de óxidos de hierro y manganeso en la Galería del Manganeso (Fotos: Víctor Ferrer).

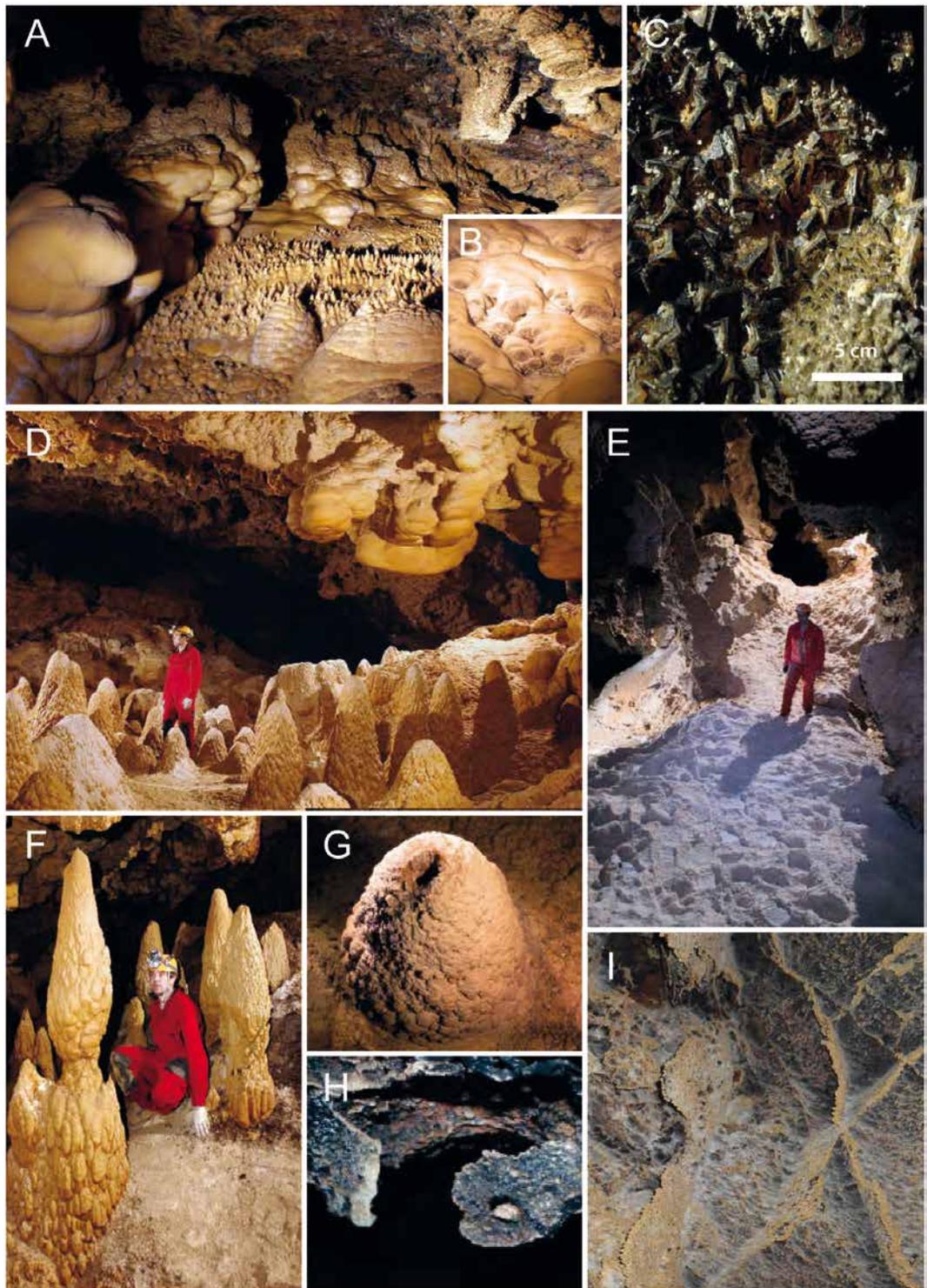


Figure 3. Speleothems linked to the hypogenic origin of Sima de la Higuera Cave. A. Tower coral (floor), cave clouds (wall) and folia (ceiling) in the Bath Chamber level; B. Folia; C. Calcite "spar" crystals coated with ferromanganese oxyhydroxides; D. Calcite raft cones and cave clouds in Ghost Chamber; E. Piles of calcite rafts in Four Paths Chamber; F. Double-tower raft cones in Paradise Chamber; G. "Volcano cone" in Ghost Chamber; H and I. Boxwork and ferromanganese coatings in Manganese Gallery (Photos: Víctor Ferrer).

vadoso, aparecen en los niveles inferiores de la cavidad. En una etapa posterior a la precipitación de calcita hidrotermal en forma de venas que rellenan fracturas de la roca caja, el ascenso de aire caliente cargado de vapor de agua procedente de niveles más profundos dio lugar a condensación sobre las paredes de la Galería del Manganeso, cuya

temperatura era ligeramente inferior a la del aire de origen profundo. El agua condensada provocó la disolución de la roca, proceso que pudo verse incrementados en consecuencia a la alta concentración de CO_2 en el aire de la cueva, que en la actualidad está en torno a 2000 ppm y pudo ser mayor en el pasado debido a la intensa desgasificación de CO_2

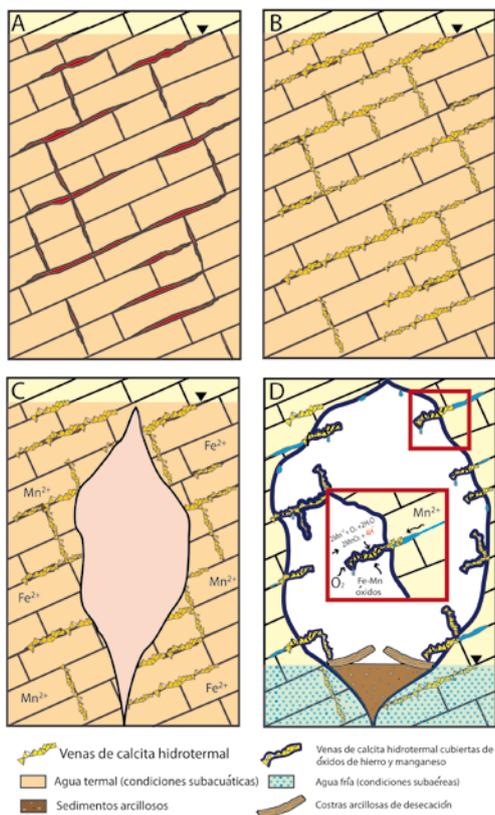


Figura 4. Genesis del “boxwork” de manganeso de la Sima de la Higuera. A. Karstificación y cavernamiento hipogénico inicial. Las fracturas de la roca de caja aumentaron su tamaño debido a los procesos hidrotermales; B. Precipitación de cristales de calcita tipo spar que rellenan las fracturas; C. Cavernamiento debido a los procesos hidrotermales, disolución de la roca de caja y consecuente movilización de hierro y manganeso; Disolución y corrosión de las paredes de la cueva debido a procesos de condensación y oxidaciones de hierro y manganeso que dio lugar a una disminución del pH. En ocasiones aparecen costras arcillosas de desecación que indican procesos intensos de evaporación (GÁZQUEZ et al., 2012).

Figure 4. Genesis of the ferromanganese boxwork of the Sima de la Higuera: A. Karstification and initial hypogene speleogenesis linked to hydrothermal water rising. The cracks were enlarged by the hot water were enlarged by the hot water. B. Precipitation of “spar” crystals of hydrothermal calcite filling host rock fractures by means diminishing temperature. C. Increasing cracks and voids formation due to hydrothermal flow. Dissolution of the carbonate host rock in underwater conditions and mobilisation of Mn and Fe in their reduced forms; D. Walls and ceiling dissolution/corrosion under vadose conditions and oxidation of iron and manganese, producing pH lowering. In places, clayey coatings and desiccation mud crusts appear on the floor of the Manganese Gallery (GÁZQUEZ et al., 2012).

del agua hidrotermal que se encontraba por debajo de este nivel.

Durante esta fase, se generaron elementos tipo “boxwork” constituidos por láminas de calcita de textura sacaroidea que anteriormente rellenan fracturas de la roca caja y que en la actualidad se proyectan desde las paredes y techos de la cavidad. Este tipo de estructuras se formaron debido a la menor resistencia a la disolución que presenta la roca de caja con respecto a los rellenos de calcita hidrotermales (Fig. 4). En la Galería del Manganeso el “boxwork” aparece visiblemente alterado y cubierto por pátinas oscuras azuladas que han resultado estar compuestas por óxidos de hierro y manganeso (GÁZQUEZ et al., 2012) (Fig. 6).

ESPELEOTEMAS DE ORIGEN HIDROTHERMAL

La gran mayoría de espeleotemas que aparecen en la Sima de la Higuera son de origen subacuático y precipitaron a partir

de agua altamente saturada en carbonato cálcico. En general, este tipo de espeleotemas se generan como consecuencia del carácter hidrotermal de la disolución y del alto contenido en CO₂ de procedencia profunda relacionado con la génesis hipogénica de las cavidades.

En esta cavidad se ha observado una gradación en profundidad en cuanto a las características de los espeleotemas, que estuvieron controladas por el grado de saturación en carbonato cálcico de la disolución a su vez relacionado con la presión hidrostática a la que estaba sometida la solución. De este modo, en los niveles más profundos se produjo la precipitación de cristales de calcita de mayor tamaño, en relación a los procesos de desgasificación lenta y baja saturación en carbonato cálcico de la disolución. A medida que los fluidos ascendieron el proceso de desgasificación se intensificó y precipitaron otro tipo de espeleotemas freáticos, como por ejemplo las “nubes de cuevas” o las folias. Estas

Figura 5. Formas de espeleogénesis hipogénica en la Sima de la Higuera: A. Mega-scallops en el pozo de acceso a la cavidad; B. Costras de alteración constituidas por calcita micritizada; C. Tubos de burbujas y formaciones tipo "boxwork"; D. Surcos de burbujas a modo de hendiduras verticales sobre las "nubes" de la Sala de los Fantasmas; E. Formas de corrosión ácida sobre el techo que aparecen en diversos lugares de la cavidad. (Fotos: Víctor Ferrer).

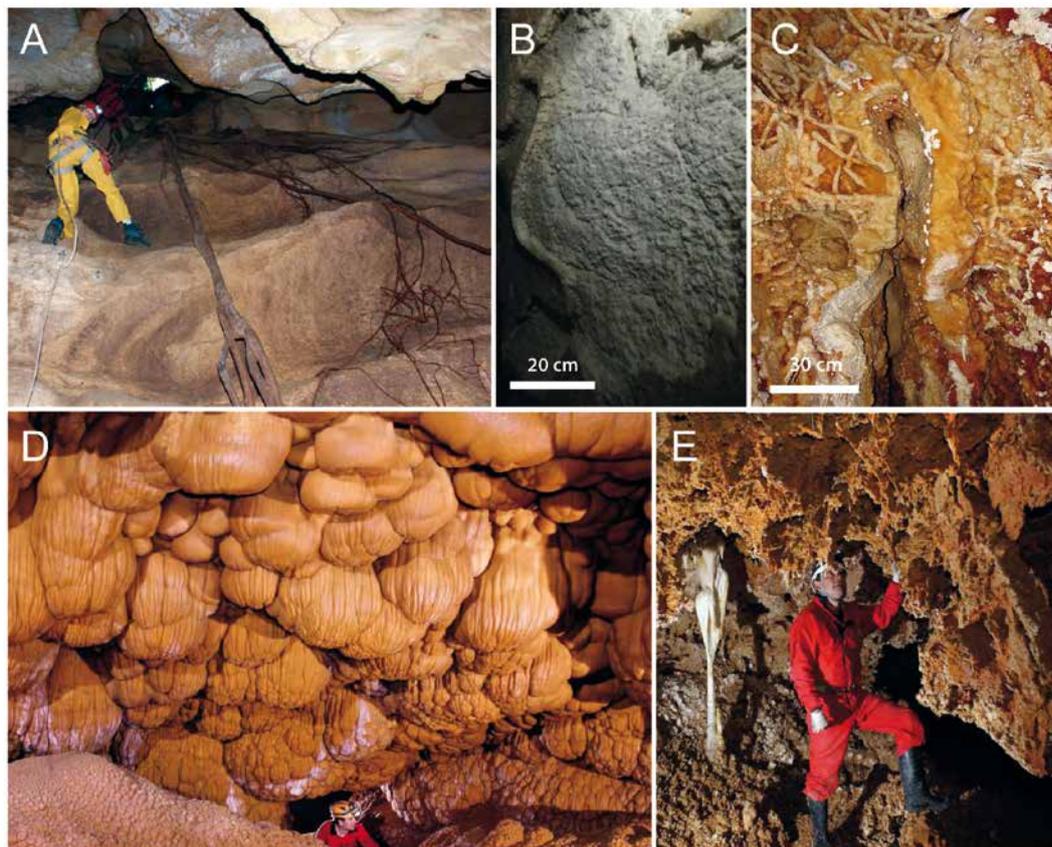


Figure 5. Features related to the hypogenic origin of Sima de la Higuera Cave: A. Mega-scallop in the entrance shaft; B. Alteration calcite crusts; C. Bubble trails and boxwork; D. Bubble grooves on cave clouds in Ghost Chamber; E. Corrosion forms due to acid dissolution appear in several places inside the cave. (Photos: Victor Ferrer).

formaciones se generaron en zonas cercanas a la superficie freática, donde los procesos de desgasificación se hicieron más activos y dieron lugar a la precipitación de calcita sobre las paredes de las galerías, así como a la disolución de las formaciones del techo debido al ascenso de burbujas de CO_2 (Fig. 5D).

En fases posteriores el nivel freático del acuífero descendió progresivamente. En esta situación trifásica (agua-aire-roca) se favoreció la precipitación de calcita flotante sobre la superficie del agua, debido a la intensa evaporación y desgasificación condicionadas por la gran diferencia de temperatura y pCO_2 entre el agua y el aire de la cueva. Este proceso pudo darse inicialmente en las galerías más superficiales, aunque las acumulaciones de calcita flotante son más escasas en estos niveles, probablemente debido a los procesos de erosión y disolución durante las fases vadosas más recientes. Sin embargo, estos depósitos aparecen profusamente en el resto de la cueva, siendo

especialmente importantes en la Sala Paraíso (-98 m) y la Sala Cuatro Caminos (-117 m).

Ligados a la precipitación de estas láminas de calcita se formaron conos de calcita flotante que son especialmente espectaculares en la Sala de los Fantasmas y en la Sala Paraíso (Fig. 7). Estas formaciones epifreáticas están relacionadas con el hundimiento de láminas de calcita flotante debido al impacto continuado de goteos procedente del techo. La acumulación subacuática de estos depósitos sobre el suelo de la cavidad da lugar a espeleotemas en forma de cono (HILL & FORTI, 1997; AUDRA *et al.*, 2002). Sin embargo, de los 94 conos inventariados en la Sala Paraíso, 56 presentan la peculiaridad de ser "dobles". Sobre un primer cono aparece un segundo, de similares características (GÁZQUEZ & CALAFORRA, 2013). Mediante el mismo mecanismo genético de hundimiento de láminas de calcita flotante se generaron las "torres de coral" (Fig. 3D) que aparecen en torno al Lago de la Bañera. Sin embargo, en

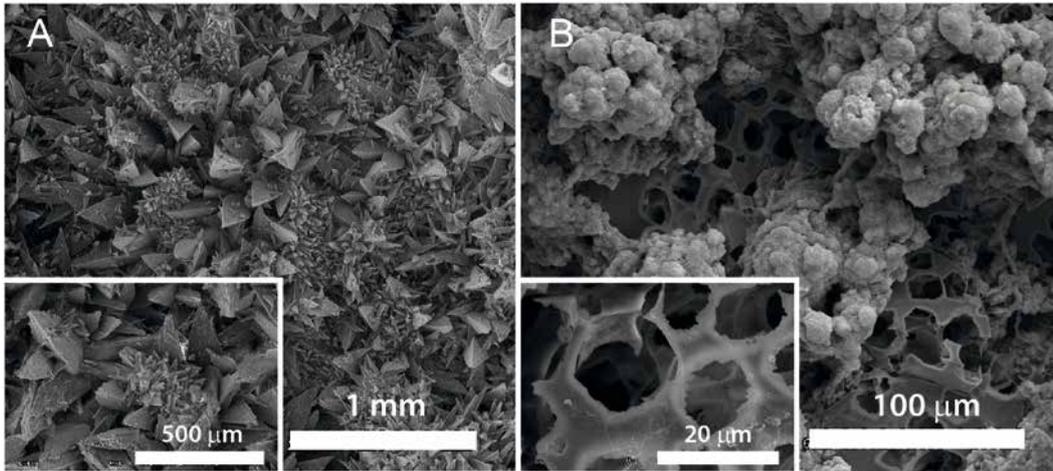


Figura 6. Imágenes microscópicas de espeleotemas de la Sima de la Higuera: A. Láminas de calcita flotante de la Sala Paraíso; B. Superficie del boxwork de hierro y manganeso de la Galería del Manganese. Notar la alteración del sustrato de calcita debido a la precipitación de óxidos que deja formas pseudo hexagonales a modo de "armazones" de calcita.

Figure 6. Secondary electron images of (A) calcite rafts from Four Paths Chamber and (B) ferromanganese coatings on the boxwork of Manganese Gallery. Note the alteration of the calcite substrate and the pseudo-hexagonal features.

este caso la lámina de agua fue de escasos centímetros y el goteo sobre la misma estuvo mejor distribuido espacialmente. De este modo precipitaron pequeños conos de calcita con una altura media de entre 1 y 10 cm y con mayor densidad espacial que en el caso de los conos gigantes de la Sala Paraíso.

Finalmente, cuando el nivel freático principal abandonó definitivamente la cavidad las condiciones freáticas tornaron a vadosas. En esta nueva situación se activaron los procesos de condensación y corrosión que afectaron especialmente a la roca caja, que había sido ya alterada durante la fase freática.

En estas circunstancias también se produjo la disolución de la parte apical de algunos conos debido al goteo continuado de agua subsaturada en calcita, confiriendo a estos espeleotemas el aspecto de "volcanes".

CONCLUSIONES

La Sima de la Higuera alberga una amplia variedad de formas y espeleotemas que indican claramente un origen relacionado con un acuífero hidrotermal. Los peculiares procesos que generaron esta cavidad serán estudiados en futuros proyectos científicos.

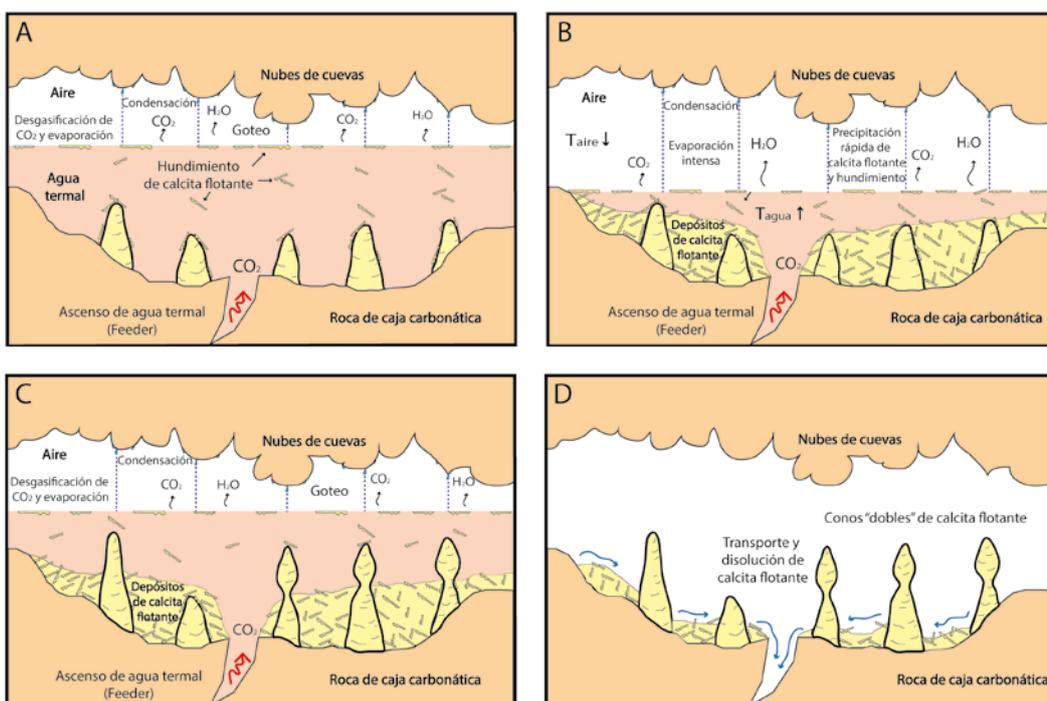


Figura 7. Génesis de los conos dobles de calcita flotante. A. Hundimiento de láminas de calcita flotante por goteos procedentes del techo; B. Acumulación rápida de calcita flotante por intensa evaporación y desgasificación sobre la superficie del agua; C. Hundimiento de láminas de calcita flotante y cementación; D. Lavado y disolución de los depósitos de calcita flotante.

Figure 7. Genesis of the double-tower raft cones. A. Sinking of calcite rafts because of dripping water in the cave; B. Fast accumulation of calcite rafts due to intense evaporation and CO₂-degassing; C. Sinking of calcite rafts and cementation; D. Erosion and dissolution of calcite raft deposits.

BIBLIOGRAFÍA

- AUDRA, PH., BIGOT, J.Y. & MOCOCHAIN, L. (2002). Hypogenic caves in Provence (France). Specific features and sediments. *Acta Carsologica* 31 (3): 33-50.
- AUDRA, PH., MOCOCHAIN, L., BIGOT, J.Y. & NOBÉCOURT, J.C. (2009). The association between bubble trails and folia: a morphological and sedimentary indicator of hypogenic speleogenesis by degassing, example from Adaouste Cave (Provence, France). *International Journal of Speleology*, 38 (2): 93-102.
- BAÑOS, J. (1995). Los baños terminales minero-medicinales de Alhama de Murcia. *Memorias de Arqueología* 5: 354-381.
- CLUB CUATRO PICO & CLUB PLIEGO ESPUÑA. (2001). Sima de la Higuera. El mayor complejo subterráneo topografiado de la Región de Murcia. *Subterránea* 16: 35-41.
- FERRER, V. (2010). La Sima de la Higuera (Pliego-Murcia). 80 pp.
- FORTI, P. (1996). Thermal karst systems. *Acta Carsologica* 25: 99-117.
- GÁZQUEZ, F., CALAFORRA, J.M. Y RULL, F. (2012). Boxwork and ferromanganese coatings in hypogenic caves: an example from Sima de la Higuera Cave (Murcia, SE Spain). *Geomorphology*, 177-178: 158-166
- GÁZQUEZ, F. Y CALAFORRA, J.M. (2013). Origin of double-tower raft condes in hypogenic caves. *Earth Surface and Landform Processes* 38; 1655-1661.
- HILL, C.A. Y FORTI, P. (1997). Cave minerals of the World 2. National Speleological Society, Huntsville. 461 pp.
- PINUAGA-ESPEJEL, J.I., MARTÍNEZ PARRA, M., GONZÁLEZ CASAL, I. (2000). Potencial hidromineral de la Región de Murcia. En: *Panorama actual de las aguas minerales y Mineromedicinales en España*: 361-373. Madrid.