

# CUEVATUR 2016

## VI CONGRESO ESPAÑOL SOBRE CUEVAS TURÍSTICAS

*El karst y el hombre:  
Las cuevas como Patrimonio Mundial*

CONVOCA



ORGANIZA



Editores:  
Bartolomé Andreo Navarro  
Juan José Durán Valsero

## La Cueva del Orón-Arco (Cartagena, Región de Murcia): una cavidad costera con génesis y espeleotemas singulares

F. Gázquez<sup>(1)</sup>, J.M. Calaforra<sup>(2)</sup>, F. Rull<sup>(3)</sup>, J. Medina<sup>(3)</sup>, A. Ros<sup>(4)</sup>, J. L. Llamusí<sup>(4)</sup> y J. Sánchez<sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> Department of Earth Sciences, University of Cambridge, Downing Street, Cambridge, CB2 3EQ, United Kingdom  
f.gazquez@ual.es

<sup>(2)</sup> Departamento de Biología y Geología y CAES Cambio Global, Universidad de Almería, Carretera de Sacramento s.n, La Cañada de San Urbano, Almería, 04120, España  
jmcalaforra@ual.es

<sup>(3)</sup> Departamento de Física de la Materia Condensada, Cristalografía y Mineralogía. Universidad de Valladolid. Paseo de Belén, 7, 47011, Valladolid, España

<sup>(4)</sup> Centro de Estudios Ambientales y del Mar. CENM-naturaleza, Alcántara, 5, Cartagena, Murcia, 30394, España  
cenm@cenm.es

---

### RESUMEN

La Cueva del Orón, también conocida como Cueva del Arco (Cabo Tiñoso, Cartagena), fue descubierta en 1980 y explorada espeleológicamente durante la década de los noventa. Desde su hallazgo, se ha convertido en un reclamo espeleoturístico de la Región de Murcia debido a la espectacularidad de sus espeleotemas y su morfología singular, que difiere considerablemente de otras cavidades de su entorno. La cueva se desarrolla a lo largo de una fractura en las calizas y dolomías Alpujarrides de la Formación Cabo Tiñoso y su recorrido discurre en paralelo a la línea de costa. Esta fractura y la cavidad en sí están estrechamente relacionadas con la evolución geomorfológica del acantilado de Cabo Tiñoso. La cavidad no muestra evidencias claras de procesos de disolución freática o escorrentía subterránea, siendo las únicas masas de agua visibles dos lagos de agua salobre situados al nivel del mar. La roca encajante muestra evidencias de procesos de meteorización por precipitación de sales (yeso y halita) debido a la infiltración de agua de mar que posteriormente es evaporada en el interior de la cavidad. Este mecanismo da lugar al desprendimiento de lascas, disgregación y lajamiento mecánico de la roca, lo cual ha generado grandes salas en su interior y depósitos detríticos acumulados *in-situ* por este peculiar proceso de meteorización. En sus salas aparecen multitud de espeleotemas singulares que van desde grandes estalactitas-cristaloides de yeso (candelabros, *chandeliers*) con ápices de halita, a espectaculares *boxwork* dolomíticos, excéntricos y semiesferas huecas de yeso (*blisters*) asociadas a estalactitas de aragonito. La infiltración de agua de mar a través de la matriz carbonática y su evaporación en el interior de la cavidad han generado la mayoría de estos espeleotemas. Estos elementos singulares confieren a la Cueva del Orón-Arco un sello distintivo en el contexto de las cavidades españolas.

**Palabras clave:** cuevas costeras, dolomita, espeleogénesis, espeleotemas, halita, meteorización, yeso.

### ***El Orón-Arco Cave (Cartagena, SE Spain): a coastal cave of singular origin and peculiar speleothems***

#### ABSTRACT

*El Orón Cave, also known as Arco Cave (Cabo Tiñoso, Cartagena), was discovered in 1980 and has been explored by speleologists over the past decade. This cavity has turned into a tourist attraction of the Murcia Region (SE, Spain)*

*because of its striking speleothems and unique morphologies, which considerably differ from the ones found in other cavities in this region. The main cave passages run along a fracture parallel to the shoreline in limestones and dolostones of the Alpujárride complex of the Cabo Tiñoso Formation. This fault is closely related to the cave formation and the morphology of the Cabo Tiñoso cliff itself. No clear evidence for phreatic dissolution or signs of subterranean runoff are found in this cave, whereas two brackish water lakes placed at the sea-level are the only visible waterbodies at present. The carbonate bedrock shows clear evidence for chemical and mechanical weathering by soluble salts (halite and gypsum) precipitation due to seawater seepage and subsequent evaporation in the cave. This mechanism has produced detachment of rock fragments and mechanical spalling, giving rise to massive chambers and in-situ accumulations of detrital deposits. The cave also hosts a wide variety of peculiar speleothems, including monocrystalline gypsum stalactites (chandeliers) with halite apices, relevant examples of dolomitic boxwork, helictites and hollow gypsum semi-spheres (blisters) associated to calcite stalactites. Seawater seepages through the carbonate bedrock and evaporation within the cave created most of these speleothems. Such unique features lend El Orón-Arco Cave a distinctive fingerprint amongst the cave in Spain.*

**Keywords:** coastal caves, dolomite, gypsum, halite, speleogenesis, speleothems, weathering.

## Introducción

Los mecanismos de formación de cavidades suelen estar ligados a la disolución de la roca encajante, normalmente de naturaleza carbonática, por parte de masas agua subsaturadas en carbonato cálcico (Audra y Palmer, 2015). Estos procesos disolutivos generan oquedades en la roca, y en fases avanzadas del proceso de karstificación pueden dar lugar al desprendimiento de bloques y colapso de techos que conllevan la formación de grandes salas y galerías. En el ámbito de las cuevas costeras, la corrosión de la roca caliza se debe en muchos casos a los procesos de mezcla de agua dulce y agua salada que derivan soluciones subsaturadas en cal-cita y por lo tanto, con gran capacidad para disolver la roca caliza (Mylroie y Mylroie, 2007). Recientemente, Ginés y Ginés (2007) propusieron el desprendimiento gravitacional de bloques y colapso como un agente a tener cuenta en la formación de evolución del karst en áreas costeras.

Además de las cavidades costeras formadas por estos mecanismos clásicos de karstificación, existen otras cuyo origen está asociado a la evolución geomorfológica de la línea de costa, en muchos casos como consecuencia de agentes de erosión costeros que producen deslizamientos y fracturación de los materiales geológicos (Moore, 1954). Las cuevas desarrolladas en fracturas suelen presentar elementos distintivos con respecto a las cavidades formadas por disolución. Por ejemplo, en muchas ocasiones carecen de morfologías creadas por flujos de agua subterráneos, especialmente en galerías subaéreas alejadas del nivel sumergido.

En el presente trabajo realizamos la primera descripción geológica y espeleológica de la Cueva del Orón-Arco de Cabo Tiñoso (Cartagena, Murcia). Esta cavidad costera presenta características peculiares en cuanto a su geomorfología y a la variedad de espeleotemas que contiene. Por ello en este trabajo estudiamos en detalle la mineralogía de sus formaciones subterráneas para entender los procesos que la generaron.

## Entorno geológico y descripción de la cueva

La Cueva del Orón-Arco está ubicada en la vertiente sur de Cabo Tiñoso (Cartagena, Región de Murcia). Su desarrollo actual conocido se debe a la conexión de la Cueva del Arco, explorada

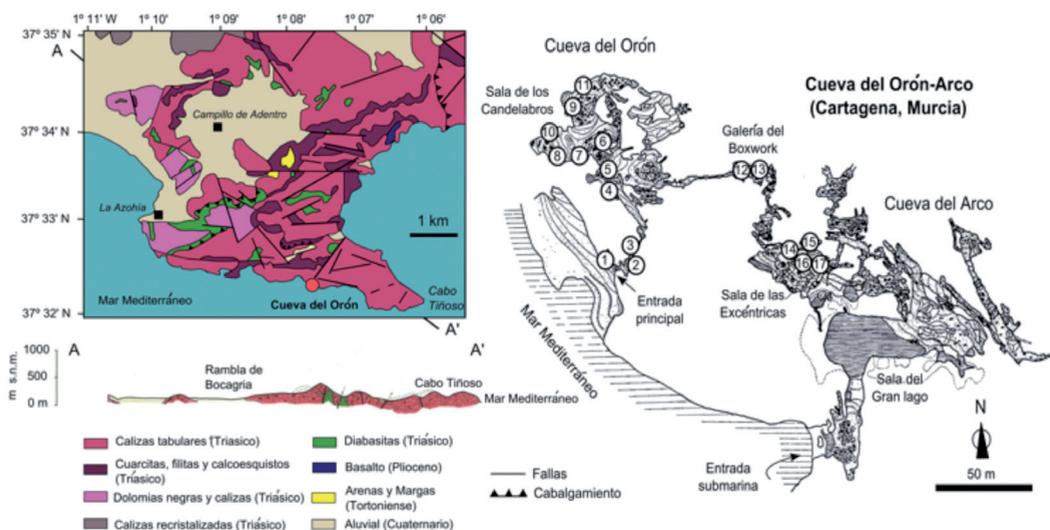


Figura 1. Entorno geológico del Cabo Tiñoso (modificado de Gordillo et al., 1972), plano topográfico de la Cueva del Orón-Arco (Autores: Llamusí, Inglés y Ros, 1984-1998), y puntos de muestreo de espeleotemas

desde 1980 (Llamusí et al., 1990) y la Cueva del Orón (Puch, 1998). Su recorrido total es de aproximadamente 1500 m y tiene dos entradas. Una de ellas es submarina y da acceso a la Cueva del Arco, también conocida como Cueva del Lago por albergar en su interior un lago de más de 1200 m<sup>2</sup> de superficie. La entrada subaérea se encuentra a 200 m de distancia de la subacuática en dirección noroeste, en la pared del acantilado a 10 m s.n.m (Fig. 1).

La cueva se desarrolla a lo largo de una fractura en las calizas y dolomías Alpujárrides de la Formación de Cabo Tiñoso y su recorrido discurre en paralelo a la línea de costa. Estos materiales carbonatados de edad Triásica presentan bajo grado de metamorfismo y yacen en la parte superior de la formación (García-Tortosa et al., 2000). Estratos de calizas grises con alto grado de foliación aparecen intercalados con dolomías rojizas, que se ven expuestas tanto en el acantilado (Fig. 2A) como en el interior de la cavidad (Fig. 2B).

La entrada ubicada en el acantilado da acceso a una serie de galerías de dimensiones reducidas que remontan un desnivel de aproximadamente 15 m en dirección noroeste. Algunas de estas "gateras", que están excavadas en materiales altamente fracturados e inestables, tienen menos de 1 m de altura y requieren frecuentemente de labores de desobstrucción. Sobre las paredes de estas galerías se observan concreciones blanquecinas a modo de costras (Fig. 3A), en algunos casos ligeramente cubiertas por materiales arenosos (Fig. 3B). A 150 m de la entrada, donde la cavidad adquiere mayor volumen se encuentra la Sala de los Candelabros, con aproximadamente 50 m de largo por 30 m de ancho y 5 m de alto. En las paredes de esta sala se observan concreciones de minerales en planos de la roca encajante (Fig. 2C, 3C). Junto a las paredes aparecen acumulaciones de fragmentos de roca, en ocasiones de varios metros de altura apoyados sobre la pared. El tamaño de los fragmentos varía entre unos pocos centímetros hasta varios decímetros (Fig. 2D). Desde el punto de vista de sus espeleotemas, los elementos

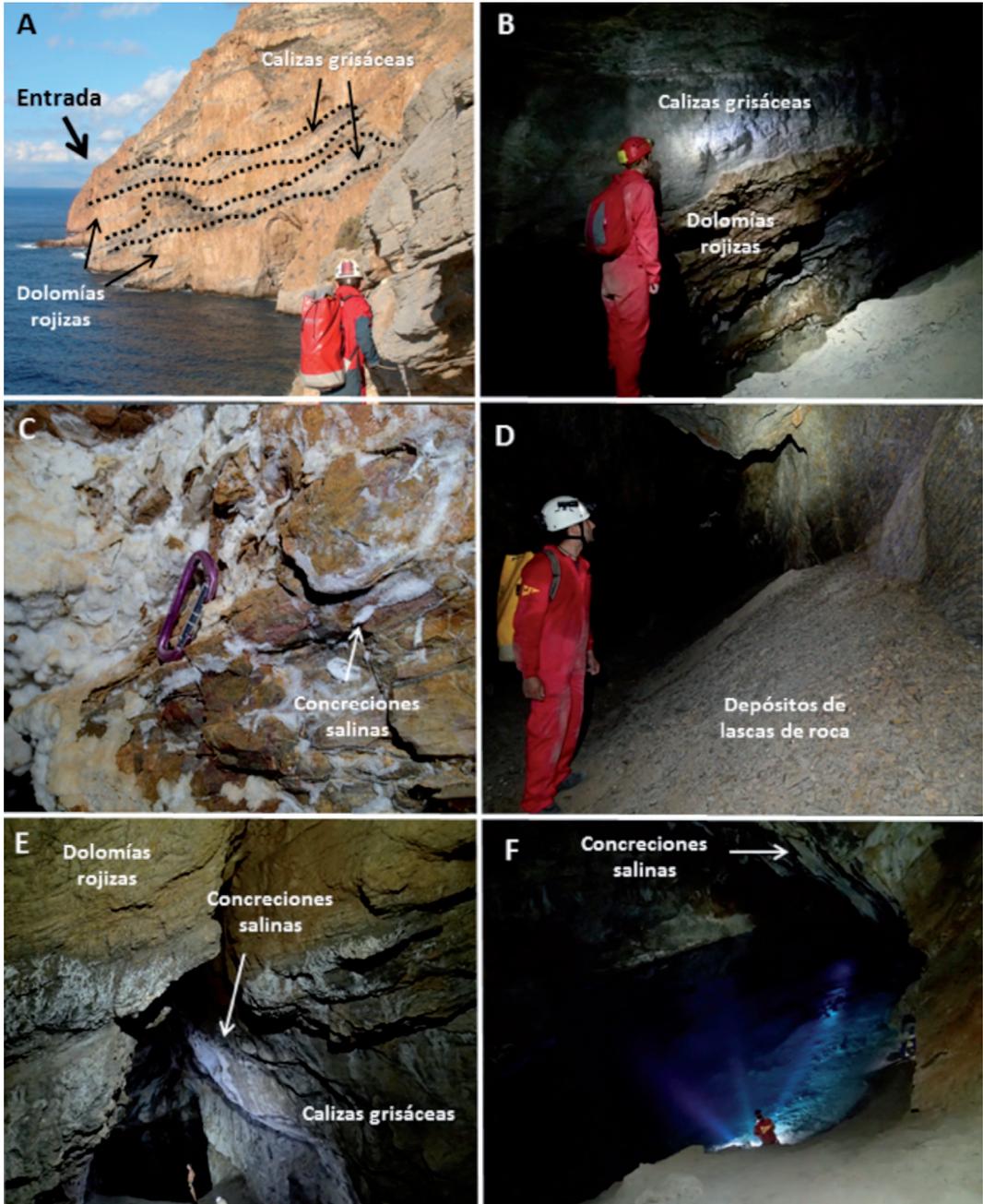


Figura 2. A. Alternancia de calizas grisáceas con alto grado de foliación y dolomías rojizas en las que se desarrolla la Cueva del Orón-Arco; B. Contacto entre las calizas y las dolomías en el interior de la cavidad; C. Concreciones salinas. D. Pilas de fragmentos de roca desprendidos de las paredes de la cueva; E. Calizas alteradas y concreciones salinas; F. Sala del Gran Lago donde se observa la roca de caja cubierta por concreciones salinas

más destacados de esta sala son los grandes cristaloides de yeso selenítico (candelabros o *chandeliers*) cuyo tamaño alcanza 1 metro en algunos casos (Fig. 3 F, G).

Esta sala da acceso a otra de menor tamaño cuyo elemento más relevante es la presencia de un enorme montículo de lascas de roca con una pendiente aproximada de 45° y 5 m de altura apoyado sobre una de sus paredes. Un pasaje angosto de 20 m de longitud desemboca en una pequeña sala con espectaculares ejemplos de *boxwork* cuyas láminas alcanzan profundidades de hasta 20-30 cm (Fig. 3H). Cuando la cueva fue visitada (4 de enero de 2014), la temperatura del aire en esta sala era de 19,7°C y la concentración de CO<sub>2</sub> de 507 ppp. Más adelante, un pozo angosto de 3 m de profundidad desemboca en una pequeña sala de 10 m de longitud, 3 de ancho y 4 de altura. A pocos metros de ésta, se accede a la Sala de las Excéntricas, que debe su nombre a la gran cantidad de helictitas y antoditas que cubren su techo. Esta sala de aproximadamente 800 m<sup>2</sup> alberga relevantes ejemplos de "blisters" o semiesferas de yeso microcristalino que aparecen perforadas en muchas ocasiones por estalactitas o excéntricas que crecen en su interior (Fig. 3I). También, aparecen algunas formaciones estalactitas cuyos ápices están constituidos por monocristales de yeso (Fig. 3J). Al final de esta sala aparece la primera masa de agua visible en la cavidad, un pequeño lago de 10 m<sup>2</sup> de superficie cuya temperatura ronda los 20,1°C y pH de 8,1. La temperatura del aire en esta sala durante la visita fue de 19,8°C y la concentración de CO<sub>2</sub> de 841 ppm.

El último sector de la cavidad corresponde a la Sala del Lago, con una superficie de 2000 m<sup>2</sup> y hasta 15 m de altura donde se ubica el lago de agua salobre que conecta la cavidad con el mar mediante un sifón submarino. Sobre las paredes de esta sala aparecen concreciones salinas a modo de costras y eflorescencias hasta la altura aproximada de 10 m sobre el nivel del lago.

## Metodología

### *Descripción de los materiales*

Se tomaron 17 muestras para su análisis mineralógico y estudio microscópico. Cerca de la entrada de la cavidad, se tomó una muestra de concreciones salinas en planos de la roca encajante (Orón-01), otra de concreciones que aparecían expuestas sobre una pared (Orón-02; Fig. 3A) y una muestra de cristalizaciones a modo de "rosas del desierto" (Orón-03; Fig. 3B) que se encontraban ligeramente cubiertas por arena sobre una pared.

En el pasillo de entrada a la Sala de los Candelabros se tomó una muestra de microcristales de aspecto sacaroideo que aparecen a lo largo de planos de foliación (Orón-04; Fig. 3D), concreciones salinas precipitadas en planos de la roca (Orón-05; Fig. 3C) y otras a modo de costras de aspecto vítreo que recubren algunas zonas de las paredes (Orón-06; Fig. 3G). En esta zona también se tomaron muestras de la roca de caja, tanto de los materiales grises altamente foliados (Orón-07) como de los carbonatos rojizos (Orón-08). En planos de foliación de la roca se tomó una muestra de materiales arenizados de color amarillento (Orón-09). En la zona donde se encuentran los grandes cristaloides de yeso se tomaron muestras de la parte superior de los mismos donde aparecen concreciones blancas de aspecto microcristalino a modo de costras

(Orón-10; Fig. 3E), un fragmento de yeso de los candelabros (Orón-11; Fig. 3E) y una muestra del ápice de uno de ellos, constituida por un cilindro de material cristalino de aproximadamente 10 cm de longitud y 1 de diámetro (Orón-12; Fig. 3F).

En la Galería del Boxwork, se tomaron muestras de las láminas de *boxwork* (Orón-13; Fig. 3H) y de materiales blancos microcristalinos que lo recubren en algunas partes (Orón-14). En la Sala de las Excéntricas se muestrearon las semiesferas huecas del techo (Orón-15; Fig. 3I) y las estalactitas que aparecen en su interior (Orón-16; Fig. 3I), así como un monocristal desprendido de la punta de una estalactita, similar al de la Figura 3J (Orón-17).

### Metodología analítica

Los análisis mineralógicos mediante difracción de rayos X (DRX) se realizaron con un equipo Terra basado en la tecnología desarrollada por la NASA para el instrumento CheMin a bordo

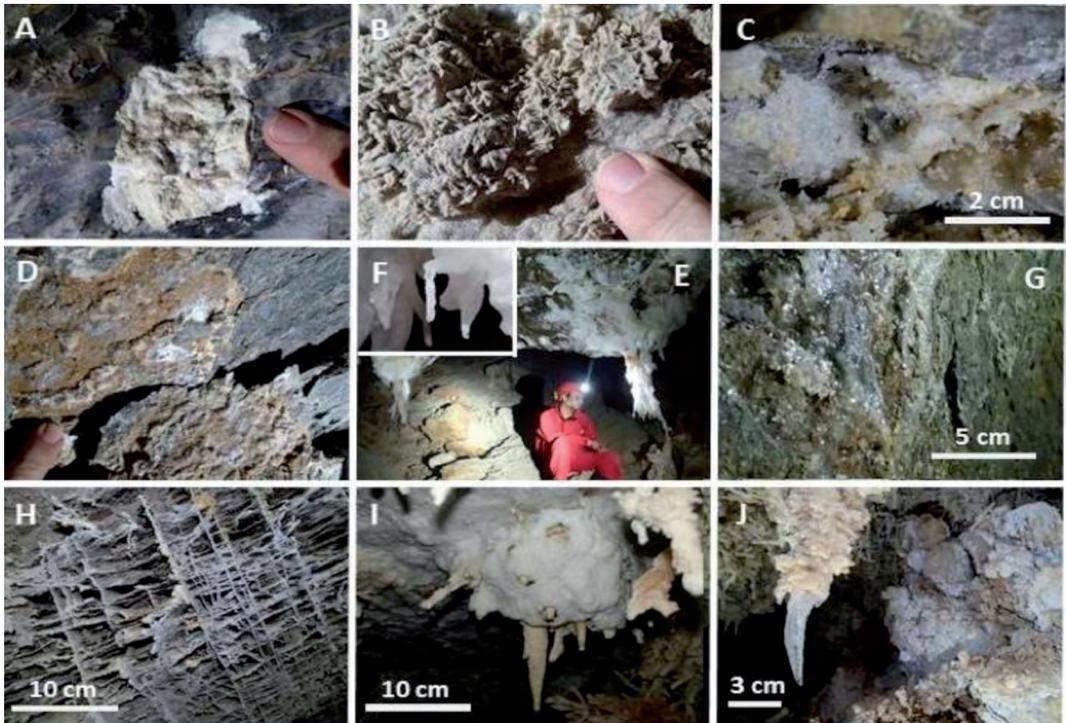


Figura 3. Espeleotemas de la Cueva del Orón: A. Concreción de yeso sobre la roca caja caliza; B. Rosas de yeso precipitadas en el interior de depósitos de arena; C. Concreciones salinas (yeso + halita) entre planos de la roca de caja; D. Concreciones de calcita sacaroidea a modo de rellenos precipitados en planos de la roca de caja; E. Espeleotemas de yeso con morfología de "candelabros" de yeso; F. Detalle de ápice de halita en un candelabro; G. Concreciones de sales a modo de costras sobre las paredes de la cueva; H. Boxwork constituido por láminas de dolomita; I. Semiesferas huecas de yeso perforadas por estalactitas y excéntricas de aragonito; J. Cristal de yeso en la parte apical de una estalactita de aragonito recubierta de concreciones carbonáticas

del rover Curiosity de la misión MSL, comercializado por inXitu, Inc. (California). Las muestras fueron molidas previamente al análisis e introducidas en una célula vibratoria. La radiación de rayos X procede de una fuente de Co (10 W). El equipo utiliza una CCD desarrollada por Andor y la muestra fue escaneada en el rango 5-55° del ángulo 2θ. La resolución de los difractogramas es de 0,3° del ángulo 2θ.

Para los análisis micro-Raman no se requirió de preparación de muestra. La fuente de excitación fue un láser Research Electro-Optics (REO) (632,8 nm) y el espectrómetro usado fue un Holospec f/1.8i de Kaiser Optical Systems (KOSI), que trabaja en el rango 0 a 3800 cm<sup>-1</sup>, con una resolución espectral de 5 cm<sup>-1</sup>. Se utilizó una CCD DV420A-OE-130 de Andor y un cabezal Raman KOSI MKII, HFPH-FC-S632.8 de Kaiser acoplado a una fibra óptica. El diámetro de los puntos analizados fue de 15 μm y se realizaron mediante un microscopio Nikon Eclipse E600. La potencia del láser sobre la muestra fue de 15 mW a 50X. El tiempo de adquisición fue de 10 segundos y se hicieron 10 acumulaciones para cada espectro. Ambas técnicas mineralógicas se aplicaron en el Departamento de Física de la Materia Condensada, Cristalografía y Mineralogía de la Universidad de Valladolid. Las microfotografías de microscopía electrónica de barrido (SEM, *Secondary Electron Microscopy*) se tomaron con un equipo HITACHI S-3500 en Área de Servicios Técnicos de la Universidad de Almería.

## Resultados

Los análisis mineralógicos por DRX y espectroscopia Raman indican que los materiales grisáceos muy fracturados en los que se desarrolla la cueva son calizas (Orón-07), mientras los materiales beige y rojizos que aparecen en algunas localizaciones (Orón-08), como por ejemplo en la Sala de los Candelabros, son dolomías con pequeñas cantidades de goethita (Tabla 1).

Muestra	Descripción	Mineralogía
Orón -01	Concreciones salinas en planos de la roca encajante	Halita, Yeso
Orón -02	Concreciones salinas microcristalinas a modo de costras	Yeso
Orón -03	Rosas del desierto de 2 cm de diámetro semienterradas en arena	Yeso
Orón -04	Concreciones a modo de rellenos con textura sacaroidea en plano de la calizas grisáceas	Calcita
Orón -05	Concreciones salinas en planos de las calizas grisáceas	Yeso, Halita
Orón -06	Concreciones salinas a modo de costras sobre la roca encajante	Yeso
Orón -07	Roca de caja grisácea	Calcita
Orón -08	Roca de caja rojiza	Dolomita, Goethita
Orón -09	Arenas amarillentas y blanquecinas en planos de la roca grisácea	Halita, Yeso, Cuarzo
Orón -10	Concreciones microcristalinas a modo de costras sobre los candelabros	Yeso

Orón -11	Monocristal candelabros	Yeso, Halita
Orón -12	Cilindro translucido procedente del ápices de candelabros	Halita
Orón -13	Láminas de <i>boxwork</i>	Dolomita, Cuarzo, Calcita
Orón -14	Concreciones microcristalinas blanquecinas sobre <i>boxwork</i>	Yeso
Orón -15	Semiesferas huecas de material microcristalino ( <i>blisters</i> )	Yeso
Orón -16	Estalactita interior en semiesfera huecas	Aragonito
Orón -17	Monocristal en punta de estalactita	Yeso

Tabla 1. Mineralogía de los espeleotemas y roca de caja de la Cueva del Orón-Arco.

El yeso aparece en forma de concreciones a modo de costras (Orón-02, Orón-06), en las rosas del desierto parcialmente enterradas en sedimentos arenosos (Orón-03) y rellenando planos de la roca encajante (Orón-01), que en algunos casos viene acompañado de halita (Orón-05 y Orón-09). Este mineral también aparecen en los grandes cristaloides de yeso de la Sala de los Candelabros (Orón-11) con ápices de halita (Orón-12), en las concreciones a modo de costra microcristalinas sobre los candelabros (Orón-10; Fig. 4A), en los monocristales que aparecen en la punta de algunas estalactitas de la Sala de las Excéntricas (Orón-17) y en las semiesferas huecas o *blisters* (Orón-15) perforadas por estalactitas y excéntricas de aragonito (Orón-16). Pequeñas cantidades de halita se encuentran incrustadas en la superficie de los grandes cristaloides de yeso, como se ha podido observar en las imágenes microscópicas (Fig. 4C).

En los planos de la roca encajante aparecen concreciones a modo de rellenos de cristales milimétricos de calcita de color acaramelado y textura sacaroidea (Orón-04) con hábito romboédrico trigonal (Fig. 4B). Las láminas del *boxwork* (Orón-13) están constituidas por dolomita y cantidades minoritarias de cuarzo y calcita. Sobre la superficie se observan cristales de dolomita formando cadenas (Fig. 4D). Estas láminas aparecen cubiertas de yeso en algunos casos (Orón-14). Cabe destacar que la presencia de calcita espeleotémica en esta cavidad es muy reducida si se compara con la presencia de aragonito y dolomita.

## Discusión

### *Evidencias de meteorización por precipitación de sales de origen marino*

La Cueva del Orón-Arco muestra evidencias morfológicas y mineralógicas que apuntan a un origen no relacionado con procesos convencionales de disolución de la roca carbonática debido a flujos de agua subsaturados en carbonato cálcico. En ninguna localización de la cueva se han observado superficies de disolución originadas por flujos de agua subterráneos como pudieran ser canales en suelos o techos, u otras morfologías freáticas como *scallops* o conductos meandriformes (Palmer, 2007). Por otro lado, tampoco aparecen depósitos de materiales detríticos clasificados ni sedimentos arcillosos en ningún nivel de la cavidad, los cuales podrían ser indicadores de eventos de avenidas ocurridos en el pasado (Gázquez et al., 2014). Estos

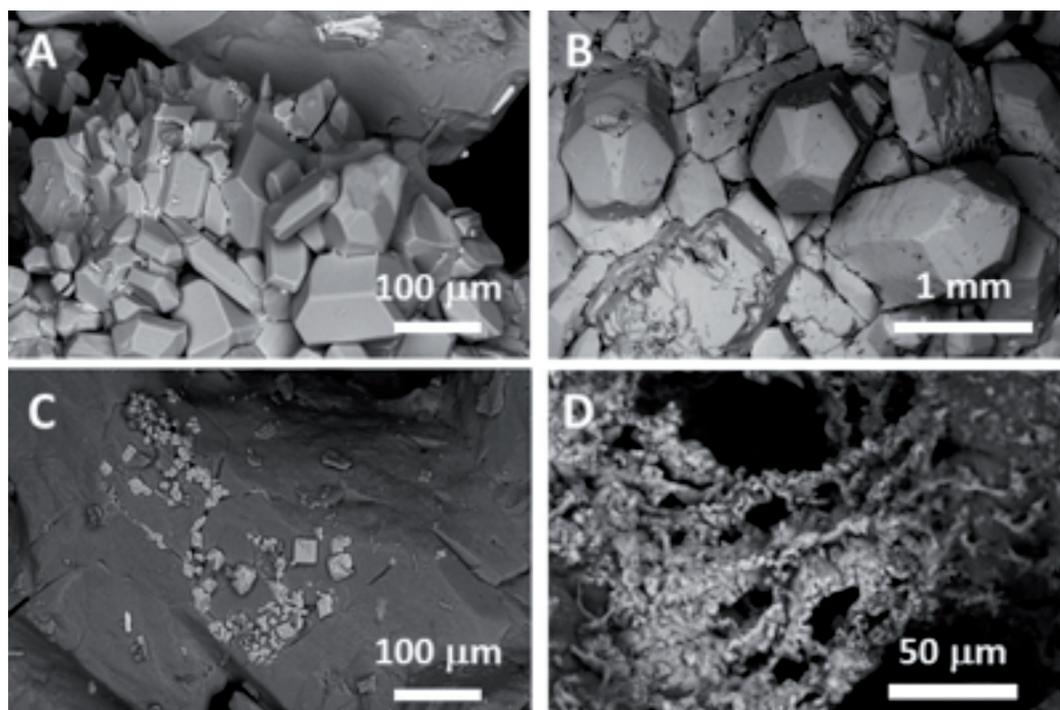


Figura 4. Imágenes de microscopio electrónico de barrido (SEM) de espeleotemas de la Cueva del Orón-Arco. A. Yeso microcristalino sobre los cristaloides de yeso de la Sala de los Candelabros (Orón-10); B. Cristales de calcita sacaroidea en planos de la roca caliza (Orón-04); C. Cristales de halita precipitados sobre monocristales de yeso (Orón-11); D. Microcristales de dolomita a modo de cadena cuya precipitación podría haber estado ligada a la actividad bacteriana (Orón-13)

hechos unidos a que las únicas masas de agua que se pueden observar son dos lagos de agua salobre a nivel del mar, sugieren que la cueva, al menos en sus etapas genéticas más recientes, ha tenido una evolución prácticamente desconectada de los procesos de infiltración de agua meteórica o a mecanismos de disolución freática relacionados con la interface agua dulce-agua salada. Además, la baja concentración de  $\text{CO}_2$  en la atmosfera subterránea (500-850 ppm) sugiere que los aportes de agua de infiltración procedente del suelo, que suele aportar  $\text{CO}_2$  a la atmosfera de la cueva, son de escasa importancia en la actualidad.

La cueva se desarrolla en una fractura paralela a la línea de costa en dirección NO-SE. El movimiento relativo de los compartimentos dio lugar un área de cizalla que condicionó el desarrollo de los pasajes principales de la cavidad. Los esfuerzos mecánicos generaron una zona de debilidad de los materiales que en algunos casos pudo llevar a la aparición de oquedades. Este mecanismo estuvo acompañado de otro de meteorización química/mecánica derivada del ascenso capilar de agua de mar a través de los materiales carbonáticos de la roca encajante y que aún hoy en día parece seguir activo. Mediante este proceso, la disolución se evapora al alcanzar la cavidad debido probablemente a la baja humedad relativa de su atmósfera y da lugar a la precipitación de concreciones de yeso y halita. El aumento de volumen genera presiones

en poros y fracturas produciendo el lajamiento de la roca y desprendimiento de lascas que se acumulan en depósitos de hasta 5 m de altura apoyados sobre las paredes de la cavidad. Este mecanismo se da a distintas escalas, como revela el distinto tamaño de los fragmentos de roca desprendido, que va desde tamaño arena como se ha observado en paredes de la Sala de los Candelabros hasta fragmentos de varios decímetros (Fig. 2C y D). Este proceso se observa en todo los niveles de la cueva, por ejemplo en las salas y galerías más cercanas al nivel del mar donde aparecen concreciones salinas blanquecinas sobre las paredes (Fig. 2 E y F). En ocasiones, se han observado concreciones de calcita a modo de rellenos en planos de la roca de caja (Fig. 3D) que también podrían estar relacionadas con el proceso de ascenso de agua de mar o más probablemente con la precipitación de carbonatos a modo de rellenos en fases anteriores a la formación de la cueva.

Hasta donde llega nuestro conocimiento, este mecanismo espeleogenético debido casi principalmente a la meteorización de la roca de caja producida por la precipitación de sales no ha sido descrito previamente en otras cavidades. Sin embargo, procesos similares se pueden observar en otros entornos. Por ejemplo, el ascenso capilar de agua del subsuelo que puede desplazarse decenas de metros a través de los poros de la roca, genera importantes problemas de conservación en monumentos debido a la precipitación de sales (yeso, sulfatos de magnesio y nitratos) y desagregación del material original (Gázquez et al., 2015). Los mecanismos de disolución por agua de mar también podrían haber jugado un papel importante en las primeras etapas de formación de la cueva, sin embargo las morfologías que se observan en su interior en la actualidad son claramente indicativas del mecanismo de meteorización expuesto anteriormente.

### ***Espeleotemas singulares***

Cristaloides de yeso (candelabros o *chandeliers*)

La conocida como Sala de los Candelabros alberga un tipo de espeleotemas extremadamente raros, constituidos por cristaloides de yeso de gran pureza y transparencia que se agrupan en forma de penachos (Fig. 3E). A este tipo de espeleotemas se le conoce como “candelabros” (*chandeliers*) y los ejemplos más espectaculares conocidos hasta la fecha se han descrito en la cueva de Lechuguilla (Nuevo México, EEUU) (Davis, 2000). Los espeleotemas de la Cueva del Orón-Arco son la primera ocurrencia de este tipo de formación descrita en cavidades españolas, y probablemente la primera en Europa.

El origen de estos espeleotemas en la Cueva del Orón-Arco se debe a la infiltración de agua de mar, rica en  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{Ca}^{2+}$ , y su evaporación en el interior de la cavidad. La precipitación fraccionada de sales a partir de agua de mar produce primero las sales menos solubles (carbonatos) y posteriormente yeso, halita y finalmente sulfatos de magnesio y sodio. La fina lámina de agua que en el pasado circuló sobre los cristales de yeso, alcanzó en algunos momentos la saturación en halita, como se desprende de la presencia de cristales cúbicos de este mineral incrustados sobre la superficie y los “macarrones” de sal que aparecen en la punta de algunos cristales. La presencia de este mineral, altamente soluble, indica que durante su formación

la humedad relativa en la cueva fue muy baja y que esta sequedad se ha mantenido hasta el presente, lo que evita su disolución por proceso de condensación.

### *Boxwork* dolomíticos

Las formaciones tipo *boxwork* son estructuras generadas por la disolución diferencial de la roca de caja frente a venas de mineral más resistentes, precipitadas en fracturas de la roca caliza durante etapas anteriores. Por lo general, la disolución se produce en condiciones subaéreas, mediante procesos de condensación (Gázquez *et al.*, 2012). En la Cueva del Orón-Arco, las láminas resistentes del *boxwork* están constituidas por dolomita (Fig. 4D). En este caso, la disolución de la roca caliza por procesos de condensación es poco probable, debido a la baja humedad relativa del aire de la cueva, lo cual unido a la presencia de concreciones de yeso a modo de costras sobre las láminas de dolomita nos hace pensar que la desaparición de los “moldes” de caliza se debió a la disgregación producida por la cristalización de yeso en sus poros. De este modo, las láminas de dolomita quedaron expuestas perpendicularmente a las paredes de la cueva. Sobre las láminas aparecen microcristales (~1mm) a modo de cadenas, cuya morfología podría estar relacionada con la actividad de bacterias y sustancias segregadas por las mismas, aunque para confirmar esta hipótesis se requerirán de estudios adicionales.

### Semiesferas huecas de yeso *blisters*

En la Sala de las Excéntricas aparecen semiesferas huecas de yeso de entre 10 y 25 cm de diámetro, que en muchas ocasiones están perforadas por excéntricas o estalactitas de carbonato cálcico. Cabe destacar que la lámina de yeso (1-2 cm de grosos) raramente entra en contacto con la estalactita carbonática, sino que existe una cámara de aire que las separa. Hasta donde llega nuestro conocimiento, este tipo de espeleotemas, también conocidos como *blisters*, había sido identificado solamente en la Cueva Cupp-Coutunn en Turkmenistán, aunque en este caso la fuente de sulfatos es la oxidación de piritita ( $\text{Fe}_2\text{S}$ ). En la Cueva del Orón-Arco, al igual que en el caso de otros espeleotemas, la evaporación de agua de mar dio lugar a la sobresaturación en yeso para formar estas semiesferas. Aunque el origen de estos espeleotemas es todavía una incógnita, podría estar relacionado con los pequeños gradientes de humedad entre la superficie de la estalactita central y la semiesfera de yeso.

## Conclusiones

La génesis de la Cueva del Orón-Arco está ligada a la actividad de una falla paralela a la línea de costa, y a un proceso poco convencional de infiltración y ascenso capilar de agua de mar que da lugar a la cristalización de sales (yeso y halita) cuando ésta se evapora en el interior de la cavidad. La presión ejercida por los minerales secundarios en los planos de la roca da lugar a su meteorización, disgregación, y con el paso del tiempo ha conllevado la aparición de grandes salas. Este proceso de ascenso capilar de agua de mar también ha generado algunos de sus extraordinarios espeleotemas. La Cueva del Orón-Arco constituye un caso único y nuevo para la ciencia de este tipo de mecanismos espeleogenéticos y de formación de espeleotemas.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a todos los espeleólogos que han colaborado en las labores de exploración de esta cavidad durante los últimos 20 años. Agradecemos a la D<sup>a</sup> Esmeralda Urea (Área de Servicios Técnicos, Universidad de Almería) su ayuda durante los análisis de microscopía electrónica. Los análisis realizados en este trabajo han sido financiados por los fondos del Grupo de Investigación de Recursos Hídricos y Geología Ambiental de la Universidad de Almería y los del Departamento de Física de la Materia Condensada, Cristalografía y Mineralogía de la Universidad de Valladolid. La exploración de la cavidad ha estado patrocinada por RODCLE®.

## Referencias

- Audra, Ph. y Palmer, A. 2015. Research frontiers in speleogenesis. Dominant processes, hydro-geological conditions and resulting cave patterns. *Acta Carsologica*, 44(3), 315-348.
- Davis, D.G. 2000. Extraordinary features of Lechuguilla Cave, Guadalupe Mountains. *Journal of Cave and Karst Studies*, 62, 147-157.
- García-Tortosa, F.J., López-Garrido, A. y Sanz de Galdeano, C. 2000. Las unidades de Cabo Tiñoso y Peñas Blancas: Revisión y caracterización estratigráfica de las unidades alpujárrides del sector entre Mazarrón y Cartagena (Murcia, España). *Estudios Geológicos*, 56, 31-40.
- 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., Calaforra, J.M., Forti, P., Stoll, H., Ghaleb, B. y Delgado-Huertas, A. 2014. Paleoflood events recorded by speleothems in caves. *Earth Surface Process and Landforms*, 39, 1345-1353.
- Gázquez, F., Rull, F., Medina, J., Sanz-Arranz, A. Sanz, C. 2015. Linking groundwater pollution to the decay of 15th-century sculptures in Burgos Cathedral (northern Spain). *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 15677–15689.
- Ginés, A. y Ginés, J. 2007. Eogenetic karst, glacioeustatic cave pools and anchialine environments on Mallorca Island: a discussion of coastal speleogenesis. *International Journal of Speleology*, 36, 57-67.
- Gordillo, A., Espinosa, J., Martín, J.M. y Pérez, A. 1972. Mapa Geológico Cartagena. 1:50.000. IGME.
- Llamusí, J.L., Ingles, S., Ros, A., Rodríguez, A. y Pérez, C. 1990. Cavidades Submarinas del Cabo Tiñoso (Cartagena). *Revista Caliza*, 1, 24.
- Moore, D.G. 1954. Origin and development of sea caves. *National Speleological Society Bulletin*, 16, 71–76.
- Myrloie J.R y Myrloie, J.E. 2007. Development of the carbonate island karst model. *Journal of Cave and Karst Studies*, 69 (1), 59-75.
- Palmer A.N., 2007. *Cave geology*. Cave Books, Dayton, 453 p.
- Puch. C. 1998. *Grandes cuevas y simas de España*, Barcelona pp. 781-782.