

# 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

# **El karst y el hombre: las cuevas como Patrimonio Mundial**

B. Andreo y J. J. Durán (Editores)

Nerja (Málaga), 2016

Trabajos del Sexto Congreso Español sobre Cuevas Turísticas,  
celebrado en Nerja (Málaga), en septiembre/octubre de 2016

El karst y el hombre: las cuevas como Patrimonio Mundial / B. Andreo y J. J. Durán, eds. - Nerja (Málaga): Asociación de Cuevas Turísticas Españolas (ACTE), 2016.

528 pags.; 24 cm.

ISBN: 978-84-617-4702-3

Portada:

Columna de la Sala del Cataclismo (Cueva de Nerja). Foto de Mariano Ibáñez.

Contraportada:

Goteo de agua de infiltración en la Cueva de Nerja. Foto de Mariano Ibáñez.

Ninguna parte de este libro puede ser reproducida o transmitida en cualquier forma o por cualquier medio, electrónico, mecánico, incluido fotografías, grabación o por cualquier otro sistema de almacenar información sin el previo permiso escrito del autor o editor. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (Art. 270 y siguientes del Código Penal).

© Asociación de Cuevas Turísticas Españolas (ACTE)

Ríos Rosas, 23. 28003 MADRID

ISBN: 978-84-617-4702-3

Depósito Legal: MA 995-2016

---

Imprime: Imprenta Luque, S.L. - [www.imprentaluque.es](http://www.imprentaluque.es)

Impreso en papel ecológico

# Comité Organizador

## Coordinador:

- **Manuel Durán Hidalgo**, *Presidente de la Asociación de Cuevas Turísticas Españolas (ACTE)*

## Vocales:

- **Ángel Ruiz Ruiz**, *Gerente de la Fundación Cueva de Nerja*
- **Rafael Pagés Rodríguez**, *Vicepresidente de ACTE*
- **Ovidio Altable Argüelles**, *Secretario de ACTE*
- **Pedro Agustín Robledo Ardila**, *IGME*
- **Luis Efrén Fernández Rodríguez**, *Conservador-Arqueólogo de la Cueva de Nerja*
- **Cristina Liñán Baena**, *Técnica geóloga, Fundación Cueva de Nerja*
- **Yolanda Rosal Padial**, *Técnica bióloga, Fundación Cueva de Nerja*



## Comité Científico

### Coordinador:

- **Bartolomé Andreo Navarro**, *Universidad de Málaga*

### Vocales:

- **Ana María Alonso Zarza**, *Universidad Complutense-CSIC, Instituto de Geociencias*
- **José Miguel Andreu Rodes**, *Universidad de Alicante*
- **Arancha Aramburu Artano**, *Universidad del País Vasco*
- **José Benavente Herrera**, *Universidad de Granada*
- **José María Calaforra Chordi**, *Universidad de Almería*
- **Juan Carlos Cañaveras Jiménez**, *Universidad de Alicante*
- **Francisco Carrasco Cantos**, *Universidad de Málaga*
- **Hipólito Collado Giraldo**, *Consejería de Cultura de la Junta de Extremadura*
- **Manuel Corrales Aguilar**, *Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía*
- **José Antonio Crispim**, *Universidad de Lisboa*
- **Juan José Durán Valsero**, *Instituto Geológico y Minero de España*
- **Luis Efrén Fernández**, *Museo de Nerja*
- **Ángel Fernández Cortés**, *Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC)*
- **Joaquín Ginés Gracia**, *Universitat de les Illes Balears*
- **Antonio González Ramón**, *Instituto Geológico y Minero de España*
- **Mariona Hernández Mariné**, *Universidad de Barcelona*
- **Concepción Jiménez de Cisneros**, *Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (CSIC)*
- **Montserrat Jiménez Sánchez**, *Universidad de Oviedo*
- **Valme Jurado Lobo**, *Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología (CSIC)*
- **Cristina Liñán Baena**, *Fundación Cueva de Nerja y Universidad de Málaga*
- **Jerónimo López Martínez**, *Universidad Autónoma de Madrid*
- **Wenceslao Martín Rosales**, *Universidad de Granada*
- **Roberto Ontañón Peredo**, *Instituto Internacional de Investigaciones Prehistóricas de Cantabria - Museo de Prehistoria y Arqueología y de las Cuevas Prehistóricas de Cantabria*
- **Arturo Pérez Plaza**, *Conservador del Patrimonio Histórico de la Junta de Andalucía*
- **Joaquín Rodríguez Vidal**, *Universidad de Huelva*

- **Mónica Roldán Molina**, *Universidad Autónoma de Barcelona*
- **Yolanda del Rosal Padial**, *Fundación Cueva de Nerja*
- **Ángel Ruíz Ruíz**, *Fundación Cueva de Nerja*
- **Cesáreo Sáiz Jiménez**, *Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología (CSIC)*
- **Sergio Sánchez Moral**, *Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC)*
- **Carlos Sánchez de las Heras**, *Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía*
- **José Luis Sanchidrián Torti**, *Universidad de Córdoba*
- **Albert Soler Gil**, *Universidad de Barcelona*
- **Alberto Tinaut Ranera**, *Universidad de Granada*
- **Iñaki Vadillo Pérez**, *Universidad de Málaga*

## Índice

N Jorge. El Turismo Subterráneo en Portugal . . . . .	13
H. Rodrigues de Araujo, M. L. Estêvão-Rodrigues e H. Augusto Santos-Lobo. Grutas turísticas de Portugal: análise da legitimidade e aplicabilidade dos instrumentos jurídicos do Estado . . . . .	21
F. M. Mesa· A. J. Pérez y P. Oromí. La Cueva del Viento (Icod de los Vinos, Tenerife). Recopilatorio de su catálogo faunístico y subfósil . . . . .	35
A. Lainez Concepción. Las Cuevas Turísticas en las Islas Canarias, su importancia y distribución.	49
A.M. Alonso-Zarza, A. Martín-Pérez, R. Martín-García, I. Gil-Peña, P. Muñoz-Barco, E. Martínez-Flores y A.I. Casado. La Cueva de Castañar y su Centro de interpretación . . . . .	61
F. Álvarez-Gómez, Y. del Rosal, R. Guzmán, S. Mohamed, S. Merino, M. Hernández-Mariné, N. Korbee y F.L. Figueroa. Selección de sistemas de iluminación LEDs en Cuevas basado en los espectros de acción de la fotosíntesis: reducción del biodeterioro de espeleotemas por biofilms de algas y cianobacterias. . . . .	71
R. Guzmán Sepúlveda, S. Mohamed Mohamed, F. López Figueroa, M. Hernández Mariné, F. Álvarez Gómez, Y. del Rosa Padial, C. Liñán Baena, S. Merino Córdoba, F. Guzmán Navarro y M. Trillo López. Iluminación y adecuación de la zona peatonal de la Cueva de Nerja. . . . .	81
C. Liñán Baena, Y. del Rosal Padial, L.E. Fernández Rodríguez, A. Atencia Prieto, D. Jimena Fernández y A. Ortega Jiménez. Trabajos de investigación y conservación en Cueva Pintada (Nerja, Málaga) . . . . .	91
Y. del Rosal Padial, V. Jurado Lobo, M. Hernández Mariné, M. Roldán Molina y C. Sáiz Jiménez. Biofilms en cuevas turísticas: la Cueva de Nerja y la Cueva del Tesoro . . . . .	103
I. Ayuso y J.M. Calaforra. Balizamiento de bajo impacto en cavidades con actividad espeleológica . . . . .	115
A. Hernáiz Gómez, C.J. Tejedor Martínez, M.A. Gómez Marquina y R. Zangróniz Cantabrana. Sistema de gestión integral para cavidades turísticas . . . . .	129
I. Fuente-Merino, W. Martín-Rosales, L. Quindós-López, G. Alcaín-Martínez, M. D. Conejo-García, M. José González-Ríos, L. Santiago Quindós-Poncela y E. García-Cuenca. Contenido de Radón en aire en la Cueva de las Ventanas (Píñar, Granada) . . . . .	143
O. A. Dumitru, B. P. Onac, J. J. Fornós, C. Cosma(+), A. Ginés y J. Ginés. Evaluación de las concentraciones de radón y su variabilidad estacional en cuevas turísticas de Mallorca. . . . .	157
M. P. Dorado, F. J. Fernández y R. Pagés. Extremadura Subterránea: el potencial turístico de su espeleodiversidad . . . . .	169
A. Ros Vivancos, J. L. Llamusí Latorre, J. Sánchez Ortega, F. Gázquez Sánchez y J. M. Calaforra Chordi. Hypogenic morphology APP: Una aplicación libre para la identificación de cuevas hipogénicas. . . . .	181
I. Álvarez González, J. Moreno García, A. Aranburu Artano, M. Arriolabengoa Zubizarreta, M. del Val Blanco, P. Bilbao Lasa, I. Yusta Arnal, y E. Iriarte Avilés. Topografía 3D y análisis geológico de la Cueva de Pozalagua y la Torca del Carlista (Bizkaia, España) . . . . .	191

R. Giménez Portero y L. Ezquerro Ruiz. Aspectos geológicos y morfológicos de la cueva de las Güixas (Villanúa, Huesca) . . . . .	205
F. J. Martínez-Moreno, W. Martín-Rosales, M. López-Chicano, J. Galindo-Zaldívar, R. Rodríguez-Durán, R. Hidalgo-Fernández y M. Guerra-González. Descubrimiento de una cavidad durante los trabajos de delimitación del Perímetro de Protección de la Gruta de las Maravillas (Aracena, Huelva) . . . . .	217
M. Meléndez Asensio, D. Ballesteros Posada, M. Jiménez-Sánchez, M. García-Díez y R. Obeso Amado. Caracterización geomorfológica preliminar de la Cueva La Covaciella (Asturias) . . . . .	231
L. Jordá-Bordehore. Aportación a la evaluación de la estabilidad de cuevas naturales mediante métodos empíricos y clasificaciones geomecánicas, primeros resultados . . . . .	243
L. Jordá-Bordehore, A. Riquelme, R. Tomás y M. Cano. Análisis estructural y geomecánico en zonas inaccesibles de cavernas naturales mediante técnicas fotogramétricas: aplicación en la entrada de la cueva de Artá (Mallorca) . . . . .	255
A. González-Ramón, C. Fernández-Leiva, A. Segura-Herrero, T. Sánchez-Díaz, A. Ignatenko, V. García-Benzal, P. Pérez-Martínez, R.D. Gea-López, J. Llamas-Sánchez e I. Quesada. Espeleogénesis por ácido sulfúrico en el SE de España. Caracterización preliminar de la Sima de Peñas Blancas (Lorca-Murcia) . . . . .	267
F. Gázquez, J. M. Calaforra, T. Rodríguez-Estrella, A. Ros, J. L. Llamusí y J. Sánchez. Evidencias geoquímicas preliminares del origen hidrotermal de Sima de la Higuera y Sima Destapada (Región de Murcia) . . . . .	283
F. Gázquez, J.M. Calaforra, F. Rull, J. Medina, A. Ros, J. L. Llamusí y J. Sánchez. La Cueva del Orón-Arco (Cartagena, Región de Murcia): una cavidad costera con génesis y espeleotemas singulares . . . . .	295
S. Cuezva, A. Fernández-Cortés, V. Jurado, C. Saiz-Jimenez, R. Ontañón, P. Arias, I. Hernandez-Vicente y S. Sánchez-Moral. Investigación aplicada a la conservación preventiva del sistema kárstico de La Garma (Omoño, Ribamontán al Monte, Cantabria) . . . . .	307
J. Benavente Herrera, I. Vadillo Pérez, L. Ojeda Rodríguez, C. Liñán Baena, Y. del Rosal Padial y F. Carrasco Cantos. Cuantificación preliminar de los flujos de CO <sub>2</sub> en la Cueva de Nerja (Málaga). . . . .	319
I. Vadillo Pérez, L. Ojeda Rodríguez, J. Benavente Herrera, C. Liñán Baena, F. Carrasco Cantos e Y. del Rosal Padial. Datación del CO <sub>2</sub> mediante <sup>14</sup> C del aire de la zona no saturada en la parcela experimental de la Cueva de Nerja (Andalucía, Málaga) . . . . .	327
C. Liñán Baena y Y. del Rosal Padial. Procesos de ventilación natural Cueva de Nerja - Cueva Pintada (Nerja, Málaga). . . . .	335
G. Carrasco-Huertas, F.J. Fortes-Román· C. Liñán-Baena, F. Carrasco Cantos y J. Laserna. Estudio de las alteraciones del soporte rocoso y de los espeleotemas de la Cueva de Nerja (Málaga) mediante tecnología LIBS. . . . .	347
A. González-Ramón, C. Jiménez de Cisneros, A. Arribas-Herrera, J. J. Durán-Valsero, P. A. Robledo-Ardila· A. Segura-Herrero, T. Fernández-Díaz y P. Pérez-Martínez. Variabilidad paleoclimática a partir de un registro espeleotémico pleistoceno (Sierra de El Mencal, sur de España). Resultados preliminares . . . . .	361

C. Jiménez de Cisneros, A. González-Ramón, B. Andreo, A. Segura y T. Sánchez-Díaz. La Sima del Saliente: reconstrucción paleoclimática mediante registro isotópico en coladas espeleotémicas (Sierra del Saliente, Almería, Sur de España) . . . . .	371
P.A. Robledo Ardila, J. J. Durán Valsero y Hai Cheng. Deducciones paleoclimáticas a partir del estudio de una estalagmita en el Río Subterráneo de las Grutas de Sant Josep, La Vall d'Uixó, Castellón, España . . . . .	383
R. Jordá-Bordehore, L. Navas-Guzmán, L. Jordá-Bordehore, P. L. Romero-Crespo, y J.J. Durán-Valsero. Turismo subterráneo en Ecuador . . . . .	395
V. Otero-Collazo, A. González-Ramón, J. J. Valdés-Ramos, J. M. Pajón-Morejón, M. Alons-Martínez, O. Chávez-Bonor, M. Sluka, G. García-Pulpeiro y A. Pou-Royo Aspectos geomorfológicos del sistema cavernario Majaguas-Cantera. Campañas de exploración y topografía 2012-2016 (Pinar del Río, Cuba occidental). . . . .	407
J. A. Domínguez Sánchez, R. Morales García, L. Vega Martín, J. J. Durán Valsero, L. Rodríguez Hernández, M. Fernández Mejuto y J. A. Hernández Bravo. Un recorrido por el patrimonio hidrogeológico de Alicante. Las formaciones kársticas y su potencial turístico . . . . .	423
R. Morales García, J.A. Domínguez Sánchez, J.J. Durán Valsero, L. Vega Martín, L. Rodríguez Hernández, J.A. Hernández Bravo y M. Fernández Mejuto. Génesis de los enclaves kársticos de mayor interés patrimonial de Alicante. Una aproximación para su geoconservación y aprovechamiento sostenible . . . . .	437
L. Garai Urteaga, B. Abarategi Badiola, M. Zumalde Kortabarria e I. Altube Egaña. Geoizkorri: Iniciativa geoturística para la valorización del patrimonio geológico del Macizo de Aizkorri-Aratz (Guipúzcoa) . . . . .	451
F.J. Fernández Amo y R. Pagés Rodríguez. Las Minas de Burguillos del Cerro: Turismo subterráneo y patrimonio geominero. . . . .	461
R.M. Ruiz-Márquez, R. Moreno-Jimenez, J.L. Sanchidrián-Torti, M.A. Medina-Alcaide, Y. del Rosal-Padial, C. Liñán-Baena, J.M. Cobos-Pastor, C. Molina-Crespo, J.A. Peña-Villaverde y A. Torres-Riesgo. La Cueva de El Morrón (Torres, Jaén): Medidas para su conservación, protección y puesta en valor. . . . .	471
F. Pavón López, E. González Caraballo y M. Ruiz Ortega. Para la pequeña historia. . . . .	483
J. Pereña Ortiz, C. Liñán Baena y Y. del Rosal Padial Proyecto de recuperación y adecuación del sendero de la Cueva de Nerja-Sierra Almajara (Nerja, Málaga) . . . . .	489
J.L. Sanchidrián Torti, L.E. Fernández Rodríguez, M.A. Medina-Alcaide, R.M. Ruíz Márquez, J.M. Cobos Pastor y A.J. Torres Riesgo. Arqueología en el Proyecto de Conservación de Cueva de Nerja. . . . .	497
P. Turrero García, M.J. Domínguez Cuesta y M. Jiménez Sánchez. Inventario de cuevas con yacimientos arqueológicos en Asturias . . . . .	509
A. Martínez-Villa, P. Solares Villar y A. Alvarez Vena. Nuevos descubrimientos de arte paleolítico en cuevas de la comarca de Picos de Europa en Asturias (Benia de Onís). Recursos patrimoniales y geológicos para un turismo cultural y sostenible desde el Ecomuseo Centro de la Fauna Glacial de Avín (Onís, Asturias, España) . . . . .	515

## **Deducciones paleoclimáticas a partir del estudio de una estalagmita en el Río Subterráneo de las Grutas de Sant Josep, La Vall d'Uixó, Castellón, España**

P.A. Robledo Ardila <sup>(1)</sup>, J. J. Durán Valsero <sup>(2)</sup> y Hai Cheng <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Instituto Geológico y Minero de España. Calle Felicià Fuster 7, 07006, Palma de Mallorca, Illes Balears, pa.robledo@igme.es

<sup>(2)</sup> Instituto Geológico y Minero de España. Calle Ríos Rosas 23, 28003 Madrid, jjduran@igme.es

<sup>(3)</sup> Department of Geology and Geophysics, University of Minnesota, 108 Pillsbury Hall, 310 Pillsbury Dr. S.E., Minneapolis, MN 55455, USA.

---

### **RESUMEN**

El Río Subterráneo en las Grutas de Sant Josep está situado en el Parque Natural de la Sierra de Espadán, en La Vall d'Uixó, provincia de Castellón. Se trata de uno de los ríos subterráneos navegables más largos de Europa, con una longitud de 2750 m, de los cuales 800 m corresponden al recorrido turístico. Las Grutas de Sant Josep constituyen un ejemplo excepcional de cuevas turísticas activas en las estribaciones del Sistema Ibérico y del borde meridional de las Cordilleras Costero-Catalanas. La evolución de la cueva parece estar ligada en una parte importante a los cambios climáticos ocurridos durante el Cuaternario, a tenor de las características geomorfológicas observadas sobre terreno. Durante una campaña de campo se recolectó un ejemplar de una estalagmita ubicada sobre unos sedimentos detríticos compuestos por cantos rodados. Se ha realizado un estudio paleoclimático y geocronológico de la estalagmita mediante el análisis de un registro continuo en la vertical de su eje axial de los isótopos d <sup>18</sup>O y d <sup>13</sup>C, junto con dataciones absolutas con series de Uranio (Th/U). Las dataciones han dado como resultado una edad absoluta para la base de 4681 ka BP ( $\pm 25$  años) y en el ápice superior, 2042 ka BP ( $\pm 20$  ka) por lo que su desarrollo se ha producido durante el Holoceno. Los valores isotópicos obtenidos muestran variaciones entre -5,6 y -6,2, para el d <sup>18</sup>O y -9,1 y 10,1 para el d <sup>13</sup>C. En el intervalo de 5000 y 2500 ka BP las condiciones climáticas fueron muy variables a nivel global. Este hecho queda reflejado excepcionalmente en los resultados obtenidos, con algunas anomalías, eventos relativamente críticos del clima y pulsos climáticos que manifiestan periodos cálidos y fríos, secos y húmedos, pero con una tendencia general hacia un clima más cálido. La interpretación de las variaciones isotópicas observada en el registro de la estalagmita es muy útil para interpretaciones paleohidrogeológicas a nivel regional o su relación con la disponibilidad de agua en el Levante español durante más de 2000 años.

**Palabras clave:** agua subterránea, cueva, estalagmita, geocronología, paleoclima.

### ***Paleoclimatic inferences from the study of a stalagmite in the underground river of the Grutas de Sant Josep, La Vall d'Uixó, Castellón, Spain***

#### **ABSTRACT**

*The underground river of the Sant Josep cave is located in the Natural Park of the Range of Spain, in La Vall d'Uixó, Castellón province. It is one of the largest underground navigable rivers in Europe, with a length of 2750 m, with 800*

*m corresponding to show cave. The of Sant Josep cave constitute an exceptional example of show caves in the Iberian System and of the southern margin of the Costal Catalan Range. The evolution of the cave is a key to understand Quaternary climate changes. A stalagmite located on detrital sediments composed by rolled gravels and sands was collected for paleoclimate research. We performed a paleoclimatic and geochronological study of the stalagmite using absolute dating with uranium series (Th / U), together with the analysis of a continuous record in vertical axis of isotopes  $^{18}\text{O}$  y  $d^{13}\text{C}$ . Dating have resulted in an absolute age for the base of 4681 ka BP ( $\pm 25$  years) and the upper apex, 2042 ka BP ( $\pm 25$  ka) so its development has occurred during the Holocene within the Stadium Isotopic 1. The values obtained show isotopic variations between -5.6 and -6.2, for  $d^{18}\text{O}$  and -9.1 and 10.1 for  $d^{13}\text{C}$ . In the range between 5000 and 2500 ka BP the global climate conditions were highly variable. This fact is reflected in the obtained results with some critical climate anomalies and climate pulses showing warm and cold, wet and dry periods, with a general trend toward a warmer climate. The interpretation of all isotopic variations observed in this sequence is useful, for paleohydrological interpretations at the regional level and to understand the relationship between the availability of water in the east of Spain during r more than 2000 years.*

**Key words:** cave, geochronology, groundwater paleoclimate, stalagmite.

## Introducción

Las secuencias sedimentarias en el interior de las cavidades son excelentes registros para obtener información sobre el pasado climático en los últimos miles o cientos de miles de años debido al carácter conservativo de estos ambientes. Los espeleotemas, junto con los depósitos detríticos en de las cavidades, constituyen una de las respuestas sedimentarias endokársticas a las condiciones climáticas externas (Ford y Williams 1991; Durán, 1989). Durante el Cuaternario, el desarrollo de estos depósitos está determinado por los diferentes estadios climáticos de forma que, en términos generales, parece existir una relación directa entre el desarrollo de estos depósitos y la sucesión de periodos fríos y secos, cálidos y húmedos (Henning *et al.*, 1983; Durán, 1989; Muñoz, 2001; Barea *et al.*, 2000; Cuenca *et al.*, 2016). Por ello, algunos espeleotemas, han sido utilizados en los últimos años como efectivos proxies paleoclimáticos en ámbitos continentales, como el caso que ocupa este trabajo. Su importancia estriba en que, al igual que los testigos de los sondeos realizados en los hielos del Ártico y de la Antártida y en los fondos marinos profundos, los espeleotemas proporcionan registros muy continuos y de gran calidad para su estudio. En la actualidad, los estudios paleoclimáticos a partir de espeleotemas han alcanzado un notable estado de desarrollo, como lo corroboran los diferentes trabajos que se han publicado en los últimos años (McDermont, 2004; Fairchild *et al.*, 2006; Lachniet, 2009), así como la aparición de algunas monografías o artículos específicos sobre el tema (Fairchild y Baker, 2012; Robledo y Durán, 2016; Durán *et al.*, 2013).

El Río Subterráneo en las Grutas de Sant Josep está situado en el Parque Natural de la Sierra del Espadán, en La Vall d'Uixó (Vall d'Uixò, Castellón), es un ejemplo de sistema kárstico subterráneo atravesado en su interior por un río subterráneo, que en este caso es navegable en algunos de sus tramos por pequeñas embarcaciones, para realizar visitas turísticas. En esta cavidad se ha recogido un espeleotema para su estudio isotópico y geocronológico. Las dataciones absolutas realizadas han permitido deducir las principales fases de precipitación desde el Pleistoceno Medio al Holoceno, poniendo de relieve cambios notables en el comportamiento hidrogeológico local del acuífero deducidos a partir de su respuesta en la secuencia sedimentaria. Con los análisis isotópicos se han podido determinar distintas fases climáticas y correlacionarlas con los estadios isotópicos globales, obteniendo así la evolución paleoclimática local.

## Área de estudio

El municipio de la Vall d'Uixó está ubicado en la provincia de Castellón, en la comarca de la Plana Baja (figura 1). Su situación geológica es relativamente particular ya que está en la zona de confluencia de dos dominios con características litoestratigráficas y tectónicas distintas: los macizos mesozoicos de la Sierra de Espadán y la Plana de Castellón.

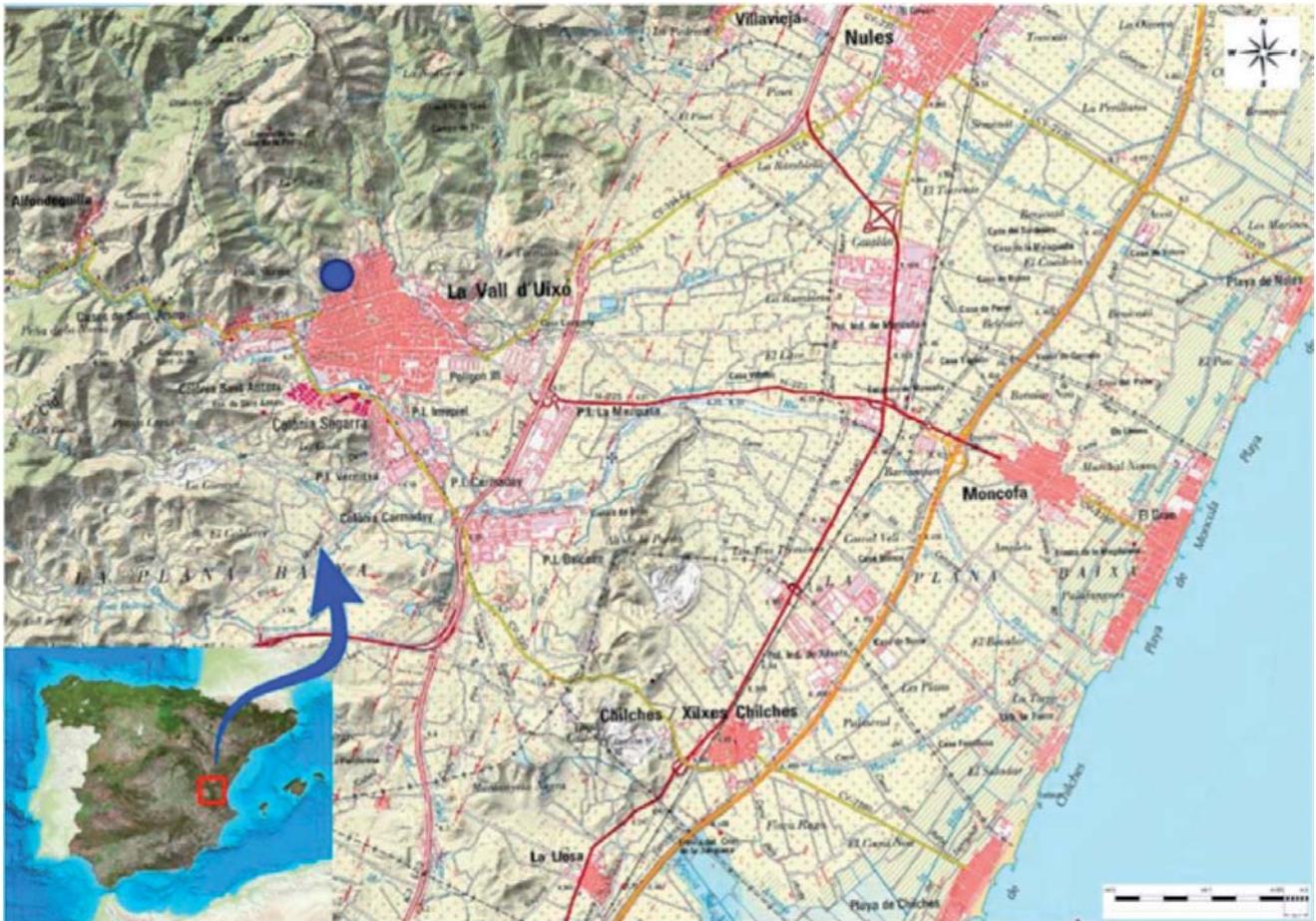


Figura 1. Situación geográfica el Río Subterráneo de las Grutas de Sant Josep, La Vall D'Uixó, Castellón, España

La primera presenta una topografía abrupta en contraste con el llano aluvial de la Plana. Los materiales que afloran son todos prácticamente mesozoicos, salvo alguna excepción, ya que algunas depresiones contienen materiales del Terciario. Los sedimentos mesozoicos son tanto calizos como silíceos y con gran variedad de facies. También el Cuaternario aparece en las superficies adyacentes a los relieves mesozoicos, incluyendo materiales detríticos que fueron transportados por sistemas fluviales en fases de denudación reciente. Estructuralmente, en la zona domina una tectónica que divide el macizo en bloques y que da lugar a una serie de elevaciones y depresiones rellenas de materiales cenozoicos (Blázquez *et al.*, 1994). Las unidades morfoestructurales individualizadas coinciden con las unidades morfológicas de los macizos mesozoicos de la Sierra de Espadà-Pina y la Plana de Castellón. Los límites de la sierra en su margen costero están ligados a fallas con direcciones NE-NO y NO-SE. Desde el punto de vista hidrogeológico destaca el Río Subterráneo de Sant Josep que es una cavidad ubicada

en el acuífero que da nombre a la comarca. Presenta una surgencia activa que constituye el dren principal del sistema hidrogeológico, de tipo kárstico cuya área de recarga se extiende en más de 30 km<sup>2</sup>, coincidiendo aproximadamente con la cuenca hidrográfica del río Belcaire (Blázquez et al., 1994). Tiene una longitud de 2750 m de desarrollo, aunque existen todavía galerías que no han sido exploradas. La cavidad presenta un desarrollo NO-SE y NE-SO, con algunos tramos N-S. En la última parte visible de la cavidad se han detectado varios tramos sifonados (figura 2).

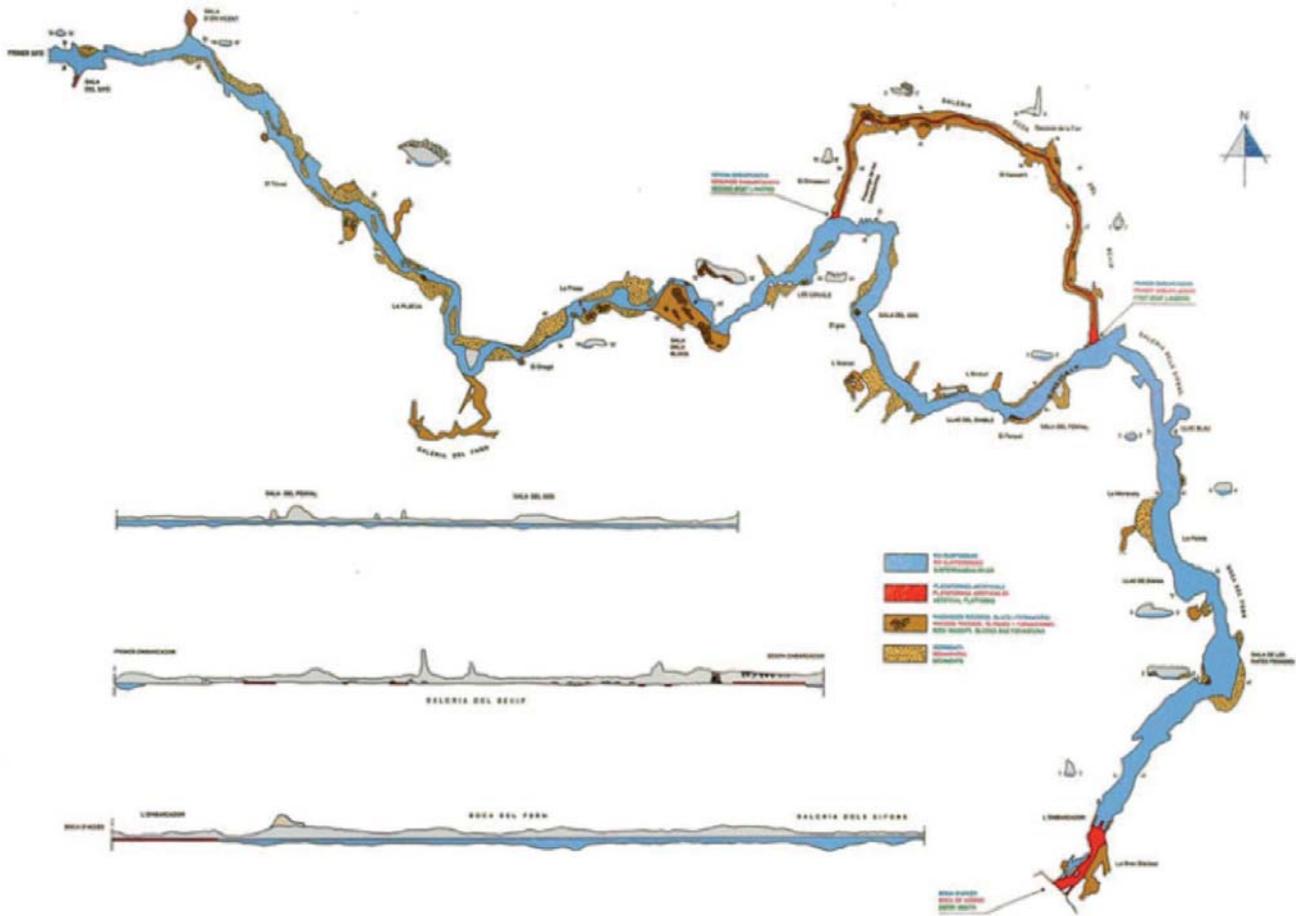


Figura 2. Plano topográfico el Río Subterráneo de las Grutas de Sant Josep, La Vall s'Uixó, Castellón (<http://www.riosubterraneo.com/historia.html>)

## Metodología

Las espeleotemas en general y las estalagmitas en particular, son registros sedimentarios que permiten obtener una rigurosa señal paleoclimática a partir de indicadores químicos, físicos y biológicos (Fairchild et al., 2006; Durán et al., 2013). Debido a que el depósito de carbonatos al interior de cavidades ocurre en muchas ocasiones en condiciones isotópicas de equilibrio, es posible asociar el  $\delta^{18}\text{O}$  con procesos climáticos que afectan a la composición isotópica del agua de lluvia (Linge et al., 2001). Por ello, las estalagmitas son sensibles a cambios climáticos y puesto que la cronología de crecimiento se puede datar mediante técnicas radiométricas y la resolución cronológica puede llegar hasta una precisión anual, permite alcanzar una resolu-

ción temporal mayor que otros proxies (Chivelet *et al.*, 2004, Durán *et al.*, 2013). De hecho, la Subcomisión de Estratigrafía ha propuesto para un estratotipo de límite global del Holoceno inferior y superior el espeleotema de la Mawmluh Cave, Meghalaya, al noreste de la India, con un estratotipo auxiliar para el Holoceno medio a partir del registro del espeleotema de la Gruta do Padre, Brasil (Walker *et al.*, 2012).

La estalagmita el Río Subterráneo de las Grutas de Sant Josep objeto de este trabajo, es un ejemplar que precipitó sobre un paquete de sedimentos detríticos groseros (gravas). Se trata de una estalagmita que tiene una longitud de 25 cm desde su base hasta su ápice (figura 3). Presenta un registro sedimentario muy nítido en el que la continuidad y el orden estratigráfico son claros, sin anomalías destacables o importantes discontinuidades o interrupciones sedimentarias. En la estalagmita se han realizado dos tipos de análisis; a) estudio geocronológico mediante dataciones absolutas de tres zonas de las estalagmita); b) un estudio paleoclimático mediante la realización de una amplia batería de análisis de isótopos estables del oxígeno y del carbono.



*Figura 3. Sección de la estalagmita en la que se observa las bandas de crecimientos y los sedimentos detríticos sobre los que se apoyaba durante su desarrollo*

Par determinar las edades absolutas se tomaron tres muestras en de la secuencia estratigráfica. Las muestras se identificaron como RSSJ1-1, RSSJ-2, RSSJ-3, siendo la primera la base de la estalagmita, la segunda en su zona central y la tercera en el ápice de la misma. Para obtener la edad de cada muestra se utilizó el método de las series de Uranio ( $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ ) (Jaffey et al, 1971; Cheng et al, 2013). Los análisis se llevaron a cabo en el *Minnesota Isotope Laboratory*, (*Minnesota University*, EEUU).

En cuanto a los contenidos isotópicos del  $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  los métodos utilizados han sido los correspondientes al análisis de los isótopos estables del carbono y el oxígeno en las muestras obtenidas mediante perforación directa en cada capa elegida (figura 4). Posteriormente, han sido analizadas en los laboratorios del SIDI de la Universidad Autónoma de Madrid, utilizando patrones del laboratorio de Isótopos Estables de la Agencia de Energía Atómica de Viena y posteriormente normalizados. La metodología analítica ha consistido en la gasificación de la muestra y su análisis en un espectrómetro de masas de relaciones isotópicas. La reproducibilidad de los resultados para  $1\delta$  se encuentra tanto en  $\delta^{18}\text{O}$  como en  $\delta^{13}\text{C}$  dentro de  $\pm 0,10/00$ . El patrón utilizado usualmente para el C y el O en muestra sólida es el PDB (*Belemnitella americana*, de la *Pee Dee Formation* (Carolina del Sur, EEUU), establecido por Craig (1957), aunque habitualmente se utilizan patrones propios y, posteriormente, los resultados se expresan normalizados respecto al PDB.

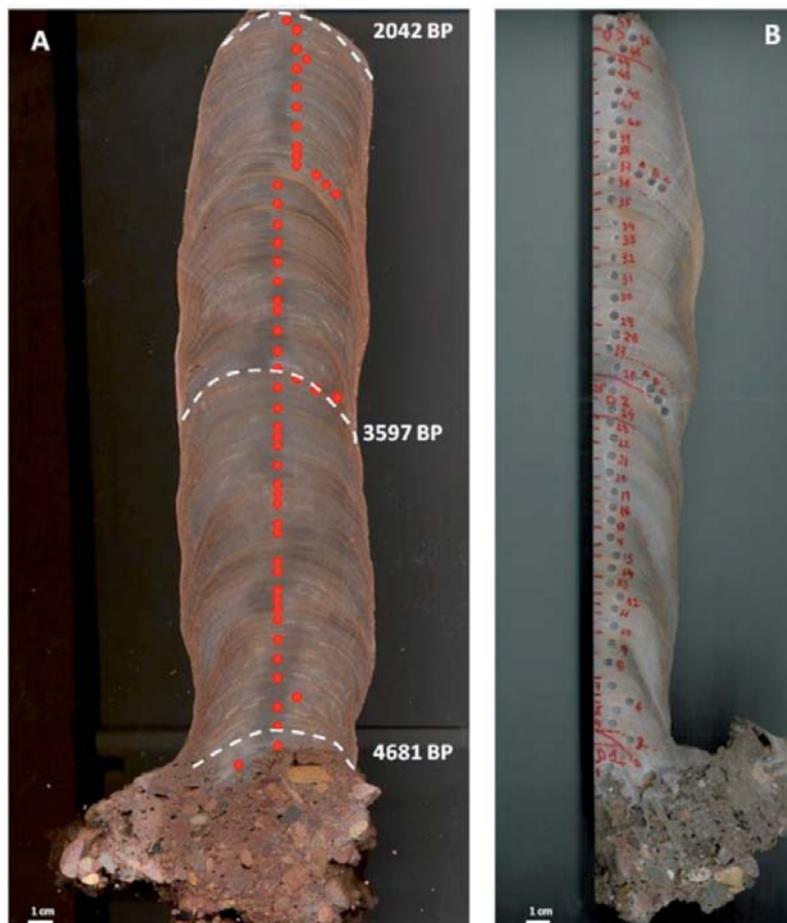


Figura 4. A) Detalle de las zonas muestreadas cada capa seleccionadas para las edades absolutas y los isótopos estables. B) Aspecto de la estalagmita en sección con las perforaciones realizadas para obtener el sedimento en polvo

## Resultados

Los datos obtenidos de las dataciones absolutas han reflejado una edad total para la estalagmita entre 4700 ka BP en su base y 2050 ka BP en su ápice (con una edad para la zona intermedia de 3600 ka BP) (figura 4). Estas edades indican que periodo geológico en el que se ha desarrollado la estalagmita tuvo lugar durante el Holoceno, exactamente en el Holoceno medio y superior de acuerdo con Walker *et al.* (2012). Además, de las edades obtenidas se deduce que el tiempo transcurrido para su desarrollo ha sido de unos 2650 ka, siendo por tanto la tasa media de sedimentación de 0,09 mm/año (9 mm cada 100 años).

En cuanto a los resultados isotópicos del  $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^{13}\text{C}$ , se tomaron un total de 45 muestras en su eje axial de crecimiento, con dos zonas en la que se verificó que el espeleotema se había formado en equilibrio isotópico (figura 4), siendo la J-1, la más cercana a la base de la estalagmita y la J-45 la ubicada justo en su ápice. Tanto los resultados del  $\delta^{18}\text{O}$  como de  $\delta^{13}\text{C}$  muestran una importante variabilidad en el contenido, con mayor amplitud para el  $\delta^{13}\text{C}$  (figuras 5 y 6). Los resultados de  $\delta^{18}\text{O}$  presentan unos valores extremos entre -5,58 y -6,24, respectivamente, con un valor promedio de -5,9. En cuanto al  $\delta^{13}\text{C}$ , los valores extremos han resultado entre -9,16 y -10,05 respectivamente, con un valor promedio de -9,7. El  $\delta^{13}\text{C}$  presenta un rango de amplitud máxima cercano a 1, lo cual en sedimentos de precipitación química es habitual ya que el contenido isotópico en carbono puede verse más empobrecido o enriquecido isotópicamente en algunos momentos por la influencia del suelo y la vegetación en la zona de recarga o por el contacto con la roca encajante durante la circulación, mostrando en ocasiones un ruido en los resultados (Mook, 2002; Robledo, 2005).

## Discusión

El Holoceno en general, se ha considerado como un periodo cálido, donde se produce una evolución climática global desde condiciones frías a condiciones más atemperadas similares a las actuales, después de la gran crisis climática del último periodo glacial. El Óptimo Climático Global fue un período cálido que se produjo durante el intervalo comprendido aproximadamente entre 9000 y 5000 ka BP. Sin embargo, por distintas causas el calentamiento probablemente no fue uniforme en todo el Planeta (Bond *et al.*, 2001) y es importante atender a los pulsos climáticos regionales que pueden inducir importantes diferencias con respecto a las curvas globales obtenidas de registros de hielo o de sedimentos marinos. En el levante y sur de la Iberia Mediterránea las condiciones máximas de humedad son algo más tardías, entre 7000 y 6000 ka BP (Fernández *et al.*, 2007; Carrión *et al.*, 2007 y 2008). El inicio de estas condiciones más húmedas del Holoceno temprano parece que tampoco fue sincrónico a lo largo de la península. En algunas zonas del noreste de España hay indicios que lo sitúan a 9500 ka BP (Morellón *et al.*, 2009) pero otros registros del sur de la península lo reflejan hace unos 8000 ka BP (Pantaleón-Cano *et al.*, 2003). A partir de los 5000 BP, se inicia una tendencia hacia un clima más frío en el cual las temperaturas disminuyeron progresivamente hasta la actualidad (en periodos cíclicos de calentamiento/enfriamiento), con probables excepciones como el Óptimo Climático Romano (siglos I a IV) o el Óptimo Climático Medieval (siglos X a XIV). El punto culminante del máximo de enfriamiento fue la Pequeña Edad de Hielo, con tres máximos, 1650, 1770 y 1850. No obstante, las deducciones climáticas globales, casi siempre distan de

las condiciones regionales o locales, donde el efecto de la latitud, altitud o el mismo mar pueden ser claves y desviaciones considerables de las curvas climáticas globales.

En cuanto a la interpretación de los resultados obtenidos a partir de los datos de  $\delta^{18}\text{O}$  en el intervalo 4700-2000 ka BP, la tendencia general de la curva es hacia un clima más cálido, aunque se producen algunas anomalías destacables (figura 5). De los resultados se deduce que el máximo enfriamiento se produce al inicio de la formación del espeleotema (con un  $\delta^{18}\text{O}$  de -5,58) que además coincide, de acuerdo con el registro sedimentario, con una disminución de agua en el sistema y, por consiguiente, con una menor disponibilidad hídrica regional. Esto se ve reforzado por las evidencias de campo, ya que la estalagmita se apoya sobre un paquete de sedimentos detríticos groseros, constituido por cantos rodados de tamaños milimétricos y centimétricos, que sugieren que en ese momento había un flujo de agua lo suficientemente energético para transportar y depositar en el interior de la cueva este tipo de material. La disminución del aporte hídrico en la cavidad se traduce en cambio en el tipo de flujo de agua, pasando de turbulento a laminar o, únicamente un goteo, que además no se ve interrumpido durante al menos 2500 años por la dinámica del Río Subterráneo de las Grutas de Sant Josep.

Los valores del un  $\delta^{18}\text{O}$  muestran que el óptimo climático de la curva de la estalagmita de Sant Josep se produce en torno a los 3000 ka BP, (con un  $\delta^{18}\text{O}$  de -6,24), con un segundo óptimo

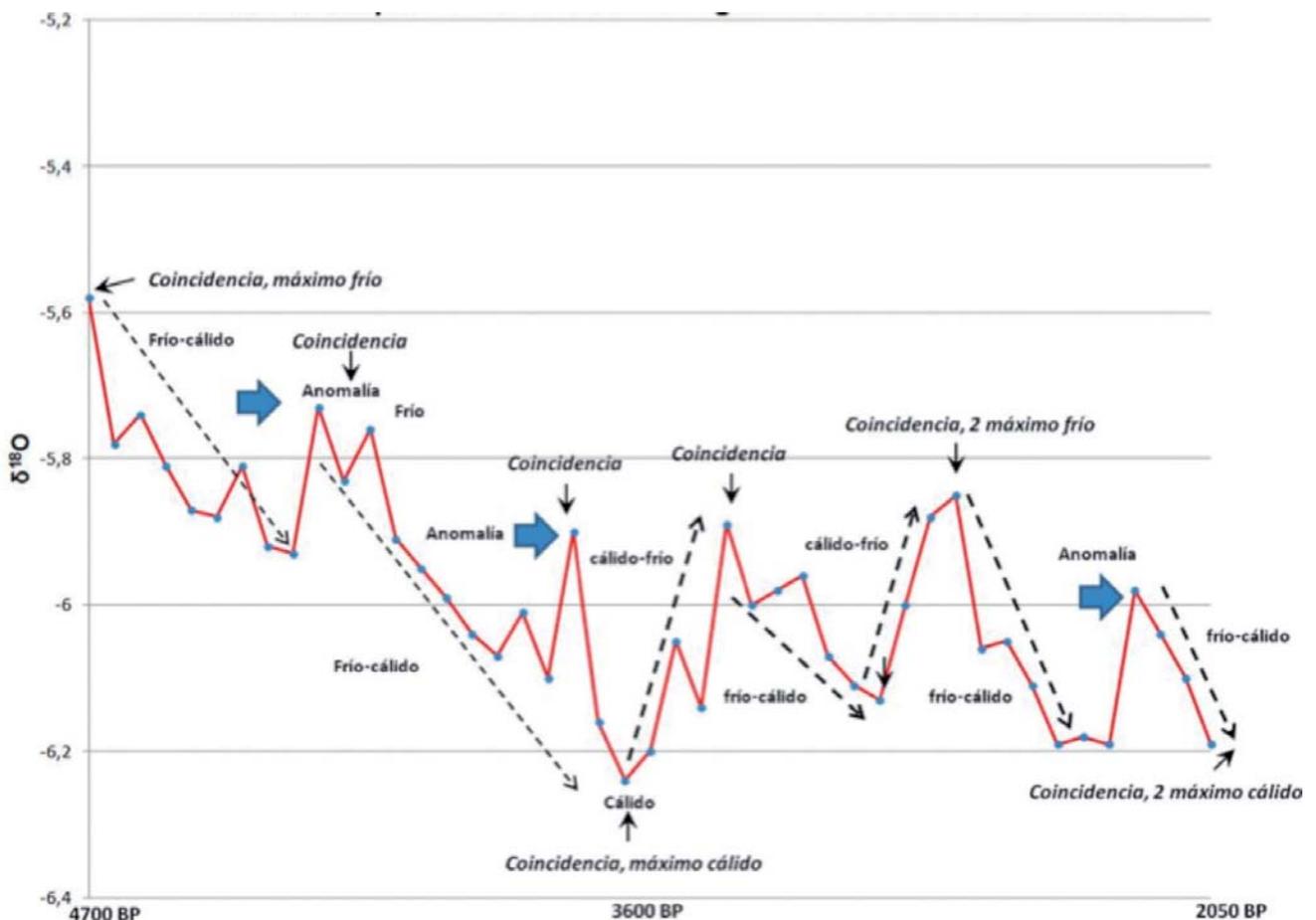


Figura 5. Curva isotópica de  $\delta^{18}\text{O}$  obtenida para la estalagmita el Río Subterráneo de las Grutas de Sant Josep

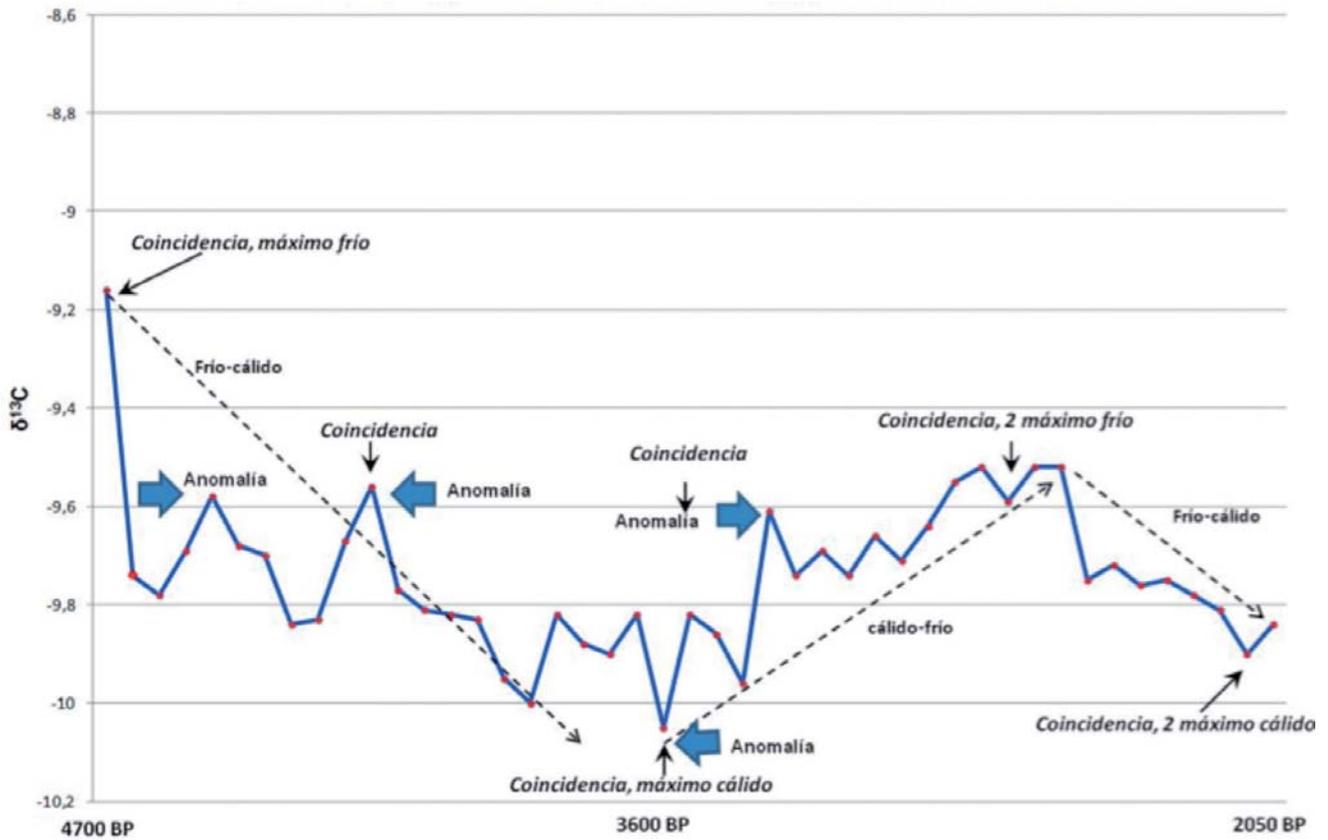


Figura 6. Curva isotópica de  $\delta^{13}C$  en la estalagmita el Río Subterráneo de las Grutas de Sant Josep

regional muy cercano al primero, con un  $\delta^{18}O$  de -6,19 (figura 5). Cabe mencionar que de los resultados también se deducen cambios climáticos abruptos, algunos de los cuales se reflejan en anomalías de los registros obtenidos (tanto del  $\delta^{18}O$  y  $\delta^{13}C$ ), con períodos fríos y cálidos, y secos y húmedos (figura 5 y 6).

La curva del carbono muestra una tendencia similar, con valores que van desde menos negativos a más negativos, aunque también muestra una alta variabilidad (figura 6). La correlación entre  $\delta^{13}C$  y  $\delta^{18}O$  en este caso es directa, ya que ambas curvas muestran una tendencia global hacia valores más negativos (figura 6). Este aspecto es especialmente interesante, ya que una disminución de agua en el sistema puede dar como resultado contenidos isotópicos del carbono más ligeros, como los que se producen en este ejemplo.

Estas consideraciones deducidas de los registros del oxígeno y el carbono en la estalagmita estudiada coinciden con otros estudios globales, como los realizados por Broecker (2001); por una parte muestra la alta variabilidad climática en los últimos 10.000 años, con una importante fluctuación entre los 5000 y 2500 ka BP. Concretamente y coincidiendo con los resultados obtenidos en  $\delta^{18}O$  de la estalagmita, se observa que entre 5000 y 2500 ka BP, los periodos cálidos son los que presentan mayor amplitud temporal.

Esta última hipótesis puede no estar en consonancia con algunos trabajos que asocian casi siempre los eventos fríos a épocas secas. De hecho, en algunos momentos del Holoceno ha sido así, como en el evento 8200 ampliamente descrito (Cheng *et al.*, 2009), donde se produjo

un descenso de temperatura del clima global ligado a condiciones muy áridas. Sin embargo, el registro isotópico de la estalagmita aquí estudiada muestra que los periodos cálidos no necesariamente está asociado a épocas más húmedas, sino que efectivamente pueden coincidir con sequías importantes, por lo menos a escala regional.

## Conclusiones

Las dataciones absolutas y los valores isotópicos obtenidos en la estalagmita el Río Subterráneo de las Grutas de Sant Josep, ponen de relieve pulsos que pueden relacionarse con momentos cálidos y secos, ligados a una menor disponibilidad de agua en el ambiente, pudiendo darse importantes sequías. Teniendo en cuenta que el agua ha sido la clave para el asentamiento de las civilizaciones en el Mediterráneo occidental, estas variaciones son muy importantes, entre otras cosas, para entender la evolución de las poblaciones humanas en el levante español. Los cambios en la disponibilidad de agua regional ligados al acuífero y deducidos del registro sedimentario e isotópico, podrían haber afectado directamente a las civilizaciones que ocupaban el entorno concreto en ese momento, con posibles migraciones de éstas hacia lugares de la Península Ibérica donde el agua fuera más abundante. Estos cambios del clima también fuerzan de alguna forma al poblador del momento a modificar su sistema de vida, con influencias sobre el tipo de comercio o los productos que intercambian, necesarios para paliar ciertos déficits o aprovechar cierta abundancia. Pero también pueden influir de forma muy importante en el cambio y desarrollo de la agricultura, cambiando el tipo de cultivo, más adaptado a un clima cálido y seco.

Por todo ello, los resultados que se discuten en este trabajo ofrecen registros paleoclimáticos que abre una nueva ventana al conocimiento de la variación del clima durante casi 3000 años y su influencia con elementos clave como el sistema paleohidrogeológico en el que se desarrolló la estalagmita.

## Referencias

- Barea, J., Casas, J., Durán, J.J., López-Martínez, J. y Martín de Vidales, J.L. 2000. Interés paleoambiental del estudio de sedimentos detríticos endokársticos. Aplicación a cavidades del centro de la Península Ibérica. *Boletín Geológico y Minero*. Vol. 111 (2-3), 17-32.
- Blázquez, A., Garay, P. y Medina, R. 1994. Estudio de la Cova de Sant Josep (LaVall d'Uixó, Comarca de la Plana Baja). Parte 1. Topografía. *Lapiaz*, 23, 19-34.
- Bond, G., Kromer, B., Beer, J., Muscheler, R., Evans, M., Showers, W., Hoffmann, S., Lotti-Bond, R., Hajdas, I. y Bonan, G., 2001. Persistent solar influence on North Atlantic climate during the Holocene. *Science*. Vol. 294 (5549), 2130-2133.
- Broecker, W. S. 2001. Was the Medieval Warm Period Global? *Science*. Vol. 291. 5508: 1497-1499.
- Carrión, J., Finlayson, S., Fernández, S., Finlayson, G., Allué, E., López-Sáez, J., López-García, P., Gil-Romera, G., Bailey, G. y González-Sampériz, P. 2008, A coastal reservoir of biodiversity for Upper Pleistocene human populations: palaeoecological investigations in Gorham's

- Cave (Gibraltar) in the context of the Iberian Peninsula, *Quaternary Science Reviews*, 27, 2118.
- Carrión, J. S., Fuentes, N., Gonzalez-Sampériz, P., Sánchez Quirante, L., Finlayson, J. C., Fernández, S. y Andrade, A. 2007, Holocene environmental change in a montane region of southern Europe with a long history of human settlement, *Quaternary Science Reviews*, 26, 1455.
- Craig H., 1957. Isotopic standards for carbon and oxygen and correction factors for mass spectrometric analysis of carbon dioxide. *Geochemical . Cosmochimica. Acta*, 12, 133-149.
- Cuenca, J., Robledo, P.A., Durán, J.J., Pardo-Iguzquiza, E., Cheng, H., Martos, S. Luque., J.A. y Moreno, L. Deducciones paleoclimáticas a partir del estudio de una secuencia sedimentaria alternante de espeleotemas y sedimentos detríticos en Sima Engañá, Sierra de las Nieves (Málaga). *Cuaternario y Geomorfología*. (En prensa)
- Nonat, J. y Bartolomé, J. 1961. Estudio geoespeleológico de la Cueva de San José (Vall de UxóCas tellón). *Boletín Geológico y Minero*. IGME, 64, 175- 195. Madrid.
- Cheng, H., Fleitmann, D. y Edwards, RL, *et al.* 2009. Timing and structure of the 8.2 kyr B.P. event inferred from  $\delta^{18}O$  records of stalagmites from China, Oman and Brazil. *Geology*, 37: 1007–1010.
- Cheng, H., Edwards, RL. y Shen, C.C. *et al.* 2013. Improvements in  $^{230}Th$  dating,  $^{230}Th$  and  $^{234}U$  half-life values, and U-Th isotopic measurements by multi-collector, inductively coupled plasma mass spectrometry. *Earth and Planetary Science Letters*, 371-372: 82-91.
- Durán, J.J. 1989. Geocronología de los depósitos asociados al karst en España. En: *El Karst en España* (Durán, J.J.; López, J., eds.), Monografías, 4, 243-256. Sociedad Española de Geomorfología.
- Durán, J.J., Pardo-Iguzquiza, E., Robledo, P. A. y López, J. 2013. Ciclicidad en espeleotemas: ¿Qué señales climáticas registran? *Boletín Geológico y Minero*, 124 (2): 303-317
- Fairchild, I.J., Smith, C.L., Baker, A., Fuller, L., Spötl, C., Matthey, D. y McDermontt, F. 2006. Modification y preservation of environmental signals in speleothems, *Earth- Science Reviews*, 75, 105-153.
- Fairchild, I. y Baker, A. 2012. *Speleothem Science: From Processes to Past Environments*. Wiley-Blackwell, Hoboken, NJ, pp. 450.
- Fernández, J., J. P. Montávez, J. Sáenz, J. F. González-Rouco y E. Zorita 2007. Sensitivity of the MM5 mesoscale model to physical parameterizations for regional climate studies: Annual cycle, *Journal of Geophysical Research*. 1029.
- Ford, D.C. y Williams, P.W (Eds.). (1989). *Karst Geomorphology and Hydrology*. Unwin and Hyman. Londres. 601 p.
- Henning, G.J., Grün, R. y Brunnacker, K. 1983. Speleothems, travertines and paleoclimates. *Quaternary Research*, Vol. 20, 1-29.
- <http://www.riosubterraneo.com/historia.html>
- Imbrie, J., Hays, J.D.; Martinson, D.G., McIntyre, A.; Mix, A.C., Morley, J.J., Paces, N.G., Prell, W.L., N. Shackleton, J. 1984. The orbital theory of Pleistocene climate: Support from a revised chronology of the marine  $^{18}O$  record. In: *Milankovitch and Climate*, Part I, edited by A. Berger *et al.*, 269-305, D. Reidel, Norwell, Mass.
- McDermott, F. 2004. Paleo-climate reconstruction from stable isotope variations in speleothems: a review. *Quaternary Science Review*, 23, 901-918.

- Mook, W.G. 2002. *Isótopos ambientales en el ciclo hidrológico. Principios y aplicaciones*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.
- Morellón, M., Valero-Garcés, B., Vegas, T., González-Sampériz, P., Delgado-Huertas, A., Mata, P., Moreno, A., Rico, M. y Corella, P. 2009. Late glacial and Holocene palaeohydrology in the western Mediterranean region: the Lake Estanya record (NE Spain), *Quaternary Science Reviews*, 28, 2582–2599.
- Muñoz, A., Peña, J.L., Sancho, C. y Martínez, M.A. 2001. Los espeleotemas de las cuevas de Ortigosa de Cameros (La Rioja): datos cronológicos y consideraciones paleoambientales. *Geogaceta*, 30, 95-98.
- Pantaleón-Cano, J., Yll, E.-I., Pérez-Obiol, R. y Roure, J. M. 2003. Palynological evidence for vegetational history in semi-arid areas of the western Mediterranean (Almeria, Spain), *The Holocene*, 13, 109-119.
- Robledo P.A. 2005. *Los Paleocolapsos kársticos en las plataformas carbonatadas del Mioceno superior de Mallorca: análisis geográfico, genético, geológico y evolutivo*. Tesis Doctoral, Universitat de les Illes Balears, 305 pp.
- Uzquiano, P. y Arnanz, A.M. 1997. Consideraciones paleoambientales del Tardiglacial y Holoceno inicial en el levante español: macrorrestos vegetales de El Tossal de la Roca (Vall d'Alcalà, Alicante). *Anales Jard. Bot. Madrid* 55(1): 125-133.
- Walker MJC, Berkelhammer M, Björck S, et al. 2012. Formal subdivision of the Holocene Series/Epoch: a Discussion paper by a Working Group of INTIMATE (Integration of ice-core, marine and terrestrial records) and the Subcommittee on Quaternary Stratigraphy (International Commission on Stratigraphy). *Journal of Quaternary Science*: 27, 649-659.