

Correlación de registros paleoambientales y ocupacionales en los últimos 14 ka de Cueva Mayor en Atapuerca (Burgos, España)*

Paleoenvironmental and occupational correlation in the last 14 kyr in different records of Cueva Mayor in Atapuerca (Burgos, Spain)

Virginia Martínez-Pillado^{1,2}, Arantza Aranburu^{1,2}, Iñaki Yusta¹, Heather Stoll³,
Juan Luis Arsuaga^{4,5}, Blanca Ruiz Zapata⁶, María José Gil García⁶,
José Miguel Carretero^{5,7}, Gema Adán^{7,8}, Laura Juez⁷ y Eneko Iriarte^{2,7}

1. Departamento Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencia y Tecnología, UPV/EHU., 48940 Leioa, Bizkaia. E-mail: vmpillado@gmail.com, arantza.aranburu@ehu.es. 2. ARANZADI Geo-Q, b/ Kortasenebarri s/n, 48940 Leioa, Bizkaia. 3. Facultad de Geología. Campus de Llamaquique Jesús Arias de Velasco s/n. 33005 Oviedo. 4. Departamento de Paleontología. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid. Ciudad Universitaria 28040- Madrid. 5. Centro Mixto UCM-ISCIII de Evolución y Comportamiento Humanos. C/ Monforte de Lemos, 5. 28029- Madrid. 6. Departamento de Geología. Facultad de Ciencias. Universidad de Alcalá. Campus Universitario 28871 Alcalá de Henares, Madrid. 7. Laboratorio de Evolución Humana, Dpto. Ciencias Históricas y Geografía, Universidad de Burgos, Edificio I+D+i . Plaza de Misael Buñuelos s/n, 09001 Burgos. 8. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Av. del Jardín Botánico, 1345 (calle interior). 33203 Gijón.

Recibido: 18-julio-2011. Aceptado: 25-enero-2012. Publicado en formato electrónico: 9-marzo-2012

PALABRAS CLAVE: Paleoambiente, Espeleotema, Palinología, Sedimentos arqueológicos, Impronta humana, Sierra de Atapuerca, Burgos, España

KEYWORDS: Paleoenvironment, Speleothem, Palynology, Archaeological sediments, Human trace, Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es correlacionar las señales ambientales registradas en dos de los yacimientos de Cueva Mayor (Atapuerca), la Galería de Estatuas y el Portalón, durante los últimos 14 ka. Durante este intervalo, en la Galería de Estatuas predomina el desarrollo de espeleotemas, con precipitados de tipo laminar (costras) y goteo (estalagmitas). A partir de la caracterización petrológica de una de las estalagmitas se han diferenciado distintas fábricas cristalinas relacionadas con disponibilidad hídrica, saturación en carbonato, estacionalidad y ocupación de la cavidad. Por otro lado, en el yacimiento del Portalón se conoce una secuencia estratigráfica detrítica que se inicia en el Pleistoceno Superior y registra ocupaciones humanas holocenas, con distinto grado de intensidad. Su secuencia polínica pone de manifiesto un fuerte contraste entre los paisajes relativamente abiertos, desarrollados en el inicio de la misma, frente a un mayor desarrollo de la masa arbórea de forma progresiva, siendo más significativa a lo largo del Holoceno.

La correlación de ambos yacimientos (14-2 ka BP) establece cuatro intervalos paleoclimáticos bien diferenciados, con tránsitos no graduales, y un hiato de al menos 7 ka que abarca el final del Pleistoceno y el Holoceno inicial (ca. 13-6 ka BP).

ABSTRACT

The Atapuerca Mountains are located in the proximity of Sierra de la Demanda, 15 km east of Burgos, between the Ebro and Duero basins (Fig.1). The aim of this study is to correlate the environmental signals recorded on two sites (Galería de Estatuas and El Portalón) of the Atapuerca karst system called Cueva Mayor (Fig. 2), during the last 14 kyr.

During this interval, in Galería de Estatuas, the development of speleothems with laminar precipitates (flowstones) and dripping (stalagmites) was dominant. Several climatic oscillations and human occupation episodes during the Late Pleistocene and Holocene have been detected from the petrological characterization of a stalagmite (Fig. 3; Table I). The result shows variations in crystal growth (Lám. I, figs. 1-4) related to different formation conditions: water availability, carbonate saturation, seasonality and occupation of the cavity.

On the other hand, the stratigraphic sequence of El Portalón starts in the Upper Pleistocene (30 kyr BP) and it records human occupation, with varying intensities, from the Mesolithic to the Middle Ages. Its pollen sequence shows a strong contrast between the relatively open landscapes at the beginning, and the further development of the

* Presentado en la XIX Biental RSEHN-UCLM, Toledo 2011.

woodlands, progressively becoming more significant during the Holocene (Fig. 4, 5). The main component in the phases of climatic optimum is the pine forest associated with temperate taxa, while declines are characterized by the development of xeric taxa and open areas that facilitate erosion under cold and arid conditions (Table II).

The correlation of both sites (14-2 kyr BP) provides that, for the range between 13.9 and 12.8 kyr BP, there were warm and humid conditions in general, without a marked seasonality. There was an increasing forest cover due to the development of both mesophilic and riparian taxa, indicating an increase in the values of both precipitation and temperature. In this period, human occupation has not been detected yet.

A major erosion event (with a possible flood event) and subsequent occupation of the cave by bats (a level of guano) in both studied areas marks the Pleistocene-Holocene transition (12.8-5.9 kyr BP).

Around the 5.9 kyr BP, environmental conditions ranged around a climatic optimum but with a marked seasonality, evidenced by the alternation of sparite-micrite in the stalagmite and typical vegetation of wet conditions, with a development of mesophilic and Mediterranean taxa, alternating with dry conditions associated with a slight increase in xeric taxa.

In addition, Neolithic occupations with presence of remains of macrofauna, bone industry, stone industry, ceramic production and traces of cereals, related to the beginning of agriculture in the area, are found in Level 9 of El Portalón in these chronologies (6.1 and 6.07 kyr BP).

The environmental conditions became drier from the 4.2 kyr BP with a decrease in the woodlands and nitrophilous taxa, and a slight increase in xeric taxa. This increase of aridity could be potentially amplified by the impact of human activity and the consequent alteration of the landscape in the region (deforestation and agriculture), as evidenced by a greater number of ash layers in the stalagmite of the Gallery of Statues, reaching chronologies after 3.1 kyr BP. Human presence in El Portalón is also the most intense and continuous from the Calcolithic period (4.4 kyr BP, Level 7 / 8) to the Middle Bronze Age (3.3 kyr BP, Level 3). After this level there is a stratigraphic-cultural gap that affects the Late Bronze Age, resuming the sequence in an Iron I and some sporadic occupations of high imperial times and the Middle Age (Levels 2 and 1).

1. INTRODUCCIÓN

La Sierra de Atapuerca está localizada en las proximidades de la Sierra de la Demanda, a 15 Km al este de la ciudad de Burgos, entre las cuencas de los ríos Ebro y Duero (Fig. 1).

Uno de los complejos de cavidades más importantes del sistema kárstico que forma la Sierra de Atapuerca es el de *Cueva Mayor-Cueva del Silo*, cuya extensión abarca 4 Km de desarrollo y se articula en torno a 3 pisos formados en diferentes episodios cronológicos (Fig. 2). El nivel superior es el de mayor longitud y tiene unas dimensiones que superan los 10 m de anchura y los 15 m de altura, llegando a alcanzar una cota de 1036 m de altitud en las dolinas de colapso existentes a su entrada (ORTEGA MARTÍNEZ, 2009). Es en este primer piso, en el sector individual de Cueva Mayor, donde se localizan las dos zonas de estudio en este trabajo: La Galería de Estatuas y El Portalón.

La *Galería de Estatuas* (Fig. 2), es una galería subhorizontal en la que, desde los ~14 ka BP, predomina la formación de espeleotemas, con precipitados de tipo laminar (costras) y una última fase de goteo que da lugar a un extenso desarrollo de estalactitas y estalagmitas que cubren tanto el techo como el suelo de la cavidad, fosilizando un registro arqueopaleontológico pleistoceno. Estas formas de goteo siguen activas en la actualidad.

En ella también existen evidencias de la actividad humana holocena constatadas por la presencia de silos (ORTEGA MARTÍNEZ, 2009).

El *Portalón de Cueva Mayor* (Fig. 2) constituye, tanto en la actualidad como en el pasado, una apertura natural del nivel superior del karst, convirtiéndose en uno de los puntos clave para la existencia y localización de un área

de hábitat en la entrada a Cueva Mayor, además de presentar pinturas rupestres y presencia de fauna pleistocena (CARBALLO, 1910 y BREUIL & OBERMAIER, 1913). En este yacimiento se conoce una secuencia estratigráfica que se inicia en el Pleistoceno Superior (~30 ka BP) y registra ocupaciones humanas, con distinto grado de intensidad, desde el Mesolítico hasta la Edad Media (CARRETERO *et al.*, 2008).

El objetivo de este trabajo es correlacionar las señales ambientales registradas en estos dos yacimientos del sector de Cueva Mayor (Atapuerca), la Galería de Estatuas y el Portalón. Esta comparativa se ha llevado a cabo a partir de diferentes registros en cada uno de ellos: el petrológico, en base a una estalagmita de la Galería de las Estatuas, y el arqueológico y polínico en la secuencia detrítica del Portalón, tomando el intervalo temporal en el que sus cronologías solapan (14-2 ka BP).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo el estudio paleoambiental en el sector de Cueva Mayor entre los 14 y 2 ka BP se ha realizado una comparativa entre diferentes registros paleoambientales: estalagmítico y polínico.

En la Galería de Estatuas, el estudio se ha centrado en la última fase de precipitado espeleotémico. Para ello se ha trabajado con una estalagmita de 25 cm de altura, realizando sobre ella 6 dataciones absolutas a partir de la relación U/Th (MARTÍNEZ-PILLADO *et al.*, 2010) a lo largo de su eje longitudinal, análisis químicos (SEM-EDS), y estudiando su caracterización petrológica a partir de 10 láminas delgadas, en base a la metodología propuesta por FRISIA *et*

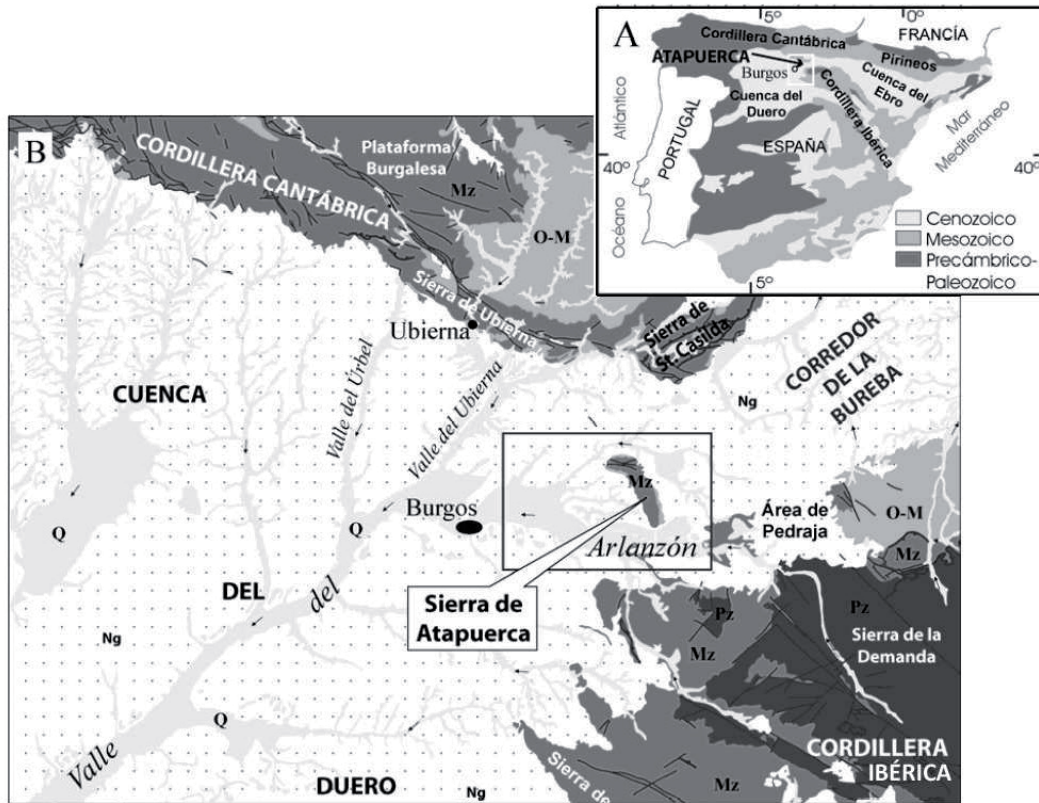


Figura 1. Localización de la Sierra de Atapuerca (Modificado de ORTEGA MARTÍNEZ, 2009)
 - Location of the Sierra de Atapuerca (Modified from ORTEGA MARTÍNEZ, 2009)

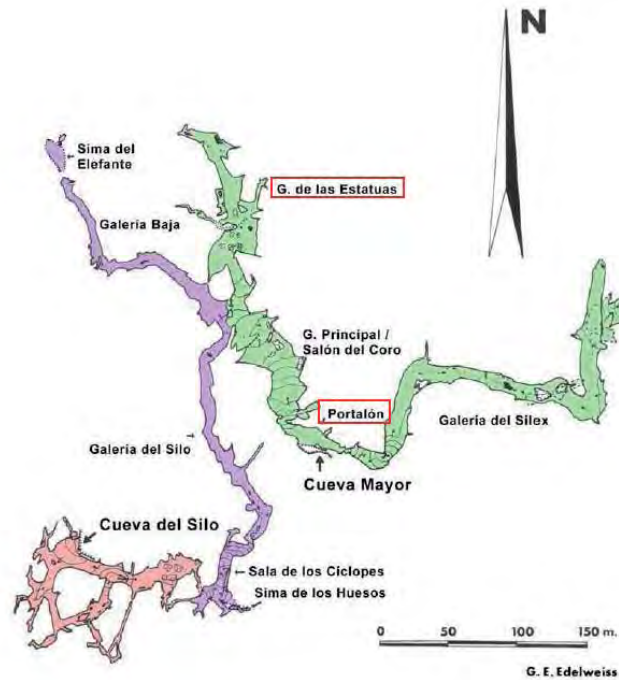


Figura 2. Planimetría del sistema Cueva Mayor-Cueva del Silo del karst de la Sierra de Atapuerca. En verde se representa el Nivel Superior; en morado el Nivel Intermedio, y en rosa el Nivel Inferior. Modificado de ORTEGA MARTÍNEZ (2009).
 - Plan of Cueva Mayor-Cueva del Silo system at the Sierra de Atapuerca karst. Upper Level is represented in green colour; Middle Level in purple, and Lower Level in pink. Modified from ORTEGA MARTÍNEZ (2009).

al., (2000, 2002) y FRISIA & BORSATO, (2010). A partir de estos análisis se han detectado diversas oscilaciones climáticas y episodios de ocupación durante el Pleistoceno Superior y el Holoceno, siendo el rango cronológico de la estalagmita desde ~14 ka BP hasta la actualidad (MARTÍNEZ-PILLADO *et al.*, 2010).

En la cueva del Portalón, el estudio polínico se ha centrado en la secuencia ubicada en el perfil Sur (ATAP-HP) cuyo intervalo temporal abarca desde ~17 a ~2 ka BP. Dicho estudio ha permitido reconstruir la evolución de la vegetación del pasado, si bien es aún necesario un mayor conocimiento, tanto de los procesos genéticos y tafonómicos de la secuencia sedimentaria como del registro arqueológico que engloba. La toma de muestras polínicas se realizó sobre un perfil previamente limpiado, de acuerdo con las técnicas estandarizadas para los yacimientos arqueológicos (LÓPEZ SÁEZ *et al.*, 2003) y datado mediante ^{14}C (CARRETERO *et al.*, 2008). La extracción del polen se realizó mediante el ataque químico con ácidos (HCl y HF) y álcalis (KOH), de acuerdo con el protocolo estándar propuesto por COÛTEAUX (1977), GIRARD & RENAULT-MISKOVSKY, (1969) y MOORE *et al.*, (1991), modificado de acuerdo con las necesidades impuestas por la litología de cada muestra. Posteriormente, el residuo obtenido fue sometido a técnicas de enriquecimiento, a fin de concentrar los granos de polen mediante flotación en el licor denso de Thoulet (GOEURY & BEAULIEU, 1979). El tratamiento estadístico de los datos y su representación gráfica se ha llevado a cabo con el paquete informático TILIA® y TILIA-GRAPH® (GRIMM, 1987). Los valores relativos de los taxones, tanto arbóreos, como arbustivos y herbáceos, se han obtenido a partir de la suma de los valores absolutos de cada uno de ellos y vienen referidos a la suma base polínica, que excluye a los taxa hidro-higrófitos y los microfósiles no polínicos (NPMs), ya que su carácter local hace que puedan estar sobrerrepresentados. El porcentaje relativo de estos palinomorfos se ha calculado respecto a la suma polínica total.

La zonación polínica se ha realizado mediante una clasificación divisiva con el programa CONISS (GRIMM, 1987), incluido en el paquete TILIA. Con el fin de facilitar la lectura de los datos polínicos se ha realizado un Diagrama Polínico sintético, resultante de la agrupación de los taxones más relevantes, de acuerdo a sus afinidades ecológicas. Para conocer la diversidad biológica se ha realizado un análisis de rarefacción (BIRKS & LINE, 1992; FOOTE, 1992; HECK *et al.*, 1975; ODGAARD, 1999), utilizando el programa ANALYTIC RAREFACTION 1.3, (BRONK RAMSEY *et al.*, 2002); disponible en <http://www.uga.edu/strata/software/Software.html>.

3. RESULTADOS

A lo largo del desarrollo de la estalagmita de la Galería de Estatuas, se observaron

diferencias significativas en las fábricas de las láminas de crecimiento (Fig. 3) relacionadas con cambios en las condiciones ambientales de formación (temperatura, humedad, saturación en carbonato...) (MARTÍNEZ-PILLADO *et al.*, 2010). Estas variaciones se producen generalmente de forma neta y rápida, aunque en ocasiones coinciden con importantes eventos erosivos o hiatos, y permiten diferenciar cuatro intervalos según la mineralogía y el tipo de textura cristalina del carbonato (Tabla I).

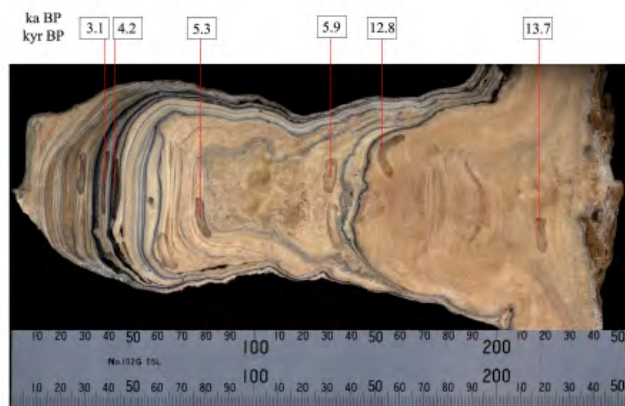


Figura 3. Estalagmita estudiada de la Galería de Estatuas. Los vacíos correspondientes a las extracciones de material para datar (U/Th) son visibles.

- Studied stalagmite of Galería de Estatuas. The holes for the U/Th dating samples are visible.

El intervalo 13.7-12.8 ka BP se caracteriza por la presencia de una fábrica calcítica **columnar** (Lám. I, fig. 1), tanto a base como a techo, y ausencia de láminas micríticas. Estos rasgos indican condiciones de velocidad de goteo uniforme, con un grado de saturación en calcita bajo pero constante en un ambiente húmedo.

Entre los 12.8 y los 5.9 ka BP se observa un **vacío erosional** que disuelve significativamente el espeleotema (Lám. II, fig. 1) y crea una porosidad intercrystalina que aparece rellena por una fase de cementación diagenética de color caramelo con restos de hidroxiapatito, derivado de depósitos de guano (Lám. II, fig. 2). Sobre esta fase se asienta una capa micrítica de entre 0.5 y 2 mm, con cristales de cuarzo y filosilicatos de tamaños inferiores a 2 μm (Lám. I, fig. 2).

El intervalo 5.9-5.3 ka BP se caracteriza por la presencia de aragonito como fase mineral original pseudomorfizado a calcita, con una alternancia de fábrica cristalina **dendrítica** (Lám. I, fig. 3) y **acicular** o en abanico (Lám. I, fig. 4). Estos rasgos se corresponden con un periodo de cambios posiblemente estacionales, en el que se intercalan momentos de goteo y precipitación de carbonato, con momentos de no-goteo.

Tabla I. Interpretación de los diferentes intervalos identificados en función de las fábricas cristalinas observadas en la estalagmita de la Galería de Estatuas.

– Interpretation of the different intervals according to the crystal fabrics observed on the Galería de Estatuas stalagmite.

Intervalo cronológico (ka BP)	Espesor (cm)	Fábrica cristalina	Interpretación paleoambiental
5.3 – Actualidad	7,5	Calcítica columnar microcristalina Láminas micríticas Depósitos de ceniza	Condiciones constantes Marcada estacionalidad Ocupación humana
5.9 – 5.3	6,5	Aragonítica dendrítica y acicular (fans)	Periodo de cambios: intercalación momentos de goteo y no-goteo
12.8 – 5.9	1,5	Vacío erosional Precipitados de hidroxiapatito (derivados de guano) Tapiz micrítico	Ambiente árido Presencia de murciélagos Posible inundación
13.7 – 12.8	10	Calcítica columnar	Velocidad de goteo uniforme Bajo grado de saturación en CaCO ₃ Ambiente húmedo

Por último, el intervalo 5.3 ka BP – Actualidad, refleja unas condiciones de crecimiento relativamente constantes de la calcita esparítica, con una fábrica **columnar microcristalina** (Lám. II, fig. 3). Este crecimiento alterna pequeños intervalos de no-crecimiento, representados por las láminas micríticas y/o depósitos de cenizas sedimentadas por gravedad sobre la estalagmita, que a veces llevan asociados restos micrométricos de hidroxiapatito (Lám. II, fig. 4). Esta alternancia rítmica sugiere una marcada estacionalidad, que en ocasiones viene acompañada por irrupciones antrópicas en la cavidad ligadas al uso de fuego (MARTÍNEZ-PILLADO *et al.*, 2010).

Desde el punto de vista polínico, en la secuencia del Portalón el comportamiento de los taxones revela un fuerte contraste entre los paisajes relativamente abiertos, del Pleistoceno Superior, frente a un mayor desarrollo de la masa arbórea a lo largo del Holoceno (Fig. 4 y 5). A nivel arbóreo, *Pinus* es el elemento dominante de carácter regional; a escala local el taxón más representativo es *Corylus* acompañado por *Quercus* tipo caducifolio y *Quercus* tipo perennifolio. La alternancia observada entre los taxones mesófilos, de ribera y acuáticos, asociados a una mayor humedad frente a Asteraceae liguliflorae-tubuliflorae, Poaceae, Chenopodiaceae, *Artemisia* y *Ephedra*, de carácter más xérico, permiten definir fluctuaciones en la tasa de humedad a lo largo de la secuencia (Tabla II). El grupo arbustivo, poco representativo en el paisaje vegetal, está constituido fundamentalmente por Ericaceae, aunque de un modo más puntual se han identificado Rosaceae, *Calluna* y Cistaceae.

Tras un hiato significativo, el inicio del Holoceno (a partir de 6270±40 ka BP), está marcado por una recuperación progresiva del grupo arbóreo, debido a *Pinus*, así como a *Corylus* y a los taxones de ribera, y finalmente por el incremento de los taxones mediterráneos. Se observa un fuerte

retroceso de los taxones xéricos y estépicos. Los taxones nitrófilos, representados fundamentalmente por *Plantago*, aparecen a lo largo de todo el perfil, asociados a las etapas de mayor humedad y termicidad.

4. DISCUSIÓN

A pesar del carácter fragmentario de los registros estratigráficos de El Portalón (detríticos) y Galería de Estatuas (espeleotemas) se ha podido establecer una secuencia paleoambiental basada en la superposición, bien de intervalos representados en uno de los dos emplazamientos, o bien por la correlación de parámetros representados en ambos.

El techo del Pleistoceno Superior (~17 ka BP) en el registro polínico estudiado, está representado por una fase de estepa de Chenopodiaceae y *Artemisia* que define una pulsación fría y árida (Fig. 4 y 5; Tabla II). En secuencias próximas a nuestra área de estudio, como la de Quintanar de la Sierra (Burgos) (PEÑALBA *et al.*, 1997), Sierra de Urbión (Soria) (RUIZ ZAPATA *et al.*, 2002, 2003a, 2003b y 2003c, VEGAS *et al.*, 2003) y Sierra de Cebollera (La Rioja) (GIL GARCÍA *et al.*, 2001, 2002), se caracteriza por unas condiciones climáticas fluctuantes y cada vez más extremas. Esta tendencia parece evolucionar hacia condiciones más húmedas (y quizá más cálidas) sin una marcada estacionalidad, que dieron lugar a un profuso desarrollo del espeleotema (fábrica columnar, entre 13.7 y 12.8 ka BP) (Lám. I y Tabla I) e incremento de la masa forestal (*Pinus* y *Corylus*), coincidiendo con un acusado descenso del grupo xérico (Fig. 4 y 5). Este incremento de la humedad y de la temperatura también se registra en espeleotemas de la zona cantábrica (MORENO *et al.*, 2010) y pudo alcanzar condiciones climáticas similares a las actuales (*Bølling-Allerød warming event*, SEVERINGHAUS & BROOK, 1999). En el

Portalón, para este periodo, no se ha observado ninguna ocupación humana hasta el momento.

Este registro se ve bruscamente interrumpido por una superficie erosiva que afecta tanto al registro detrítico del Portalón como al químico de la Galería de Estatuas. Este vacío erosivo fosilizado por un depósito de guano en ambas cavidades, abarca desde ~13 ka BP hasta aproximadamente 6 ka BP, englobando la oscilación climática del *Younger Dryas* y el inicio del Holoceno. Durante este intervalo temporal, el balance sedimentario neto de ambos registros es negativo, primando la erosión frente al depósito, hecho que podría explicarse por una importante actividad hídrica. Esta hipótesis se ve reforzada por el carácter erosivo del contacto, tanto en la Galería de Estatuas (Fig. 3) como en el Portalón (Fig. 4) y por la aparición de granos de cuarzo y moscovita que tapizan el hiato erosivo de la estalagmita, evidenciando restos de una posible inundación (MARTÍNEZ-PILLADO *et al.*, 2010). Este vacío erosivo coincide con el período cálido y húmedo que reinó durante los 9 a 6 ka BP (*Hypsiertal period*, URIARTE, 2009) y su excepcional episodio de enfriamiento en torno a los 8.2 ka BP.

Alrededor de los 6 ka BP y hasta los casi 5 ka BP, las condiciones ambientales oscilaron en torno a un óptimo climático con una fuerte tasa de crecimiento general de la estalagmita (MARTÍNEZ-PILLADO *et al.*, 2010), en la que se intercalan momentos de goteo y precipitación de carbonato, con momentos de no goteo (períodos prolongados de desgasificación y posible efecto de la evaporación) o un goteo extremadamente lento y sobresaturación (Lám. 1 y Tabla I). Respecto al registro polínico, se aprecia una vegetación típica de condiciones húmedas, con desarrollo de taxones mesófilos y mediterráneos, alternando con condiciones de mayor aridez asociadas a un ligero aumento de los taxones xéricos (Fig. 5 y Tabla II). A su vez, para estas mismas cronologías se detectan en el Nivel 9 (6.1 y 6.07 ka BP) del Portalón ocupaciones neolíticas (Fig. 4) con presencia de restos de macrofauna doméstica y salvaje, industria lítica y ósea y una producción cerámica típica de estos momentos (CARRETERO *et al.*, 2008) junto con restos de cereales correspondientes al inicio de la agricultura en el área.

Las condiciones ambientales fueron haciéndose más secas a partir de los 5 ka BP con un

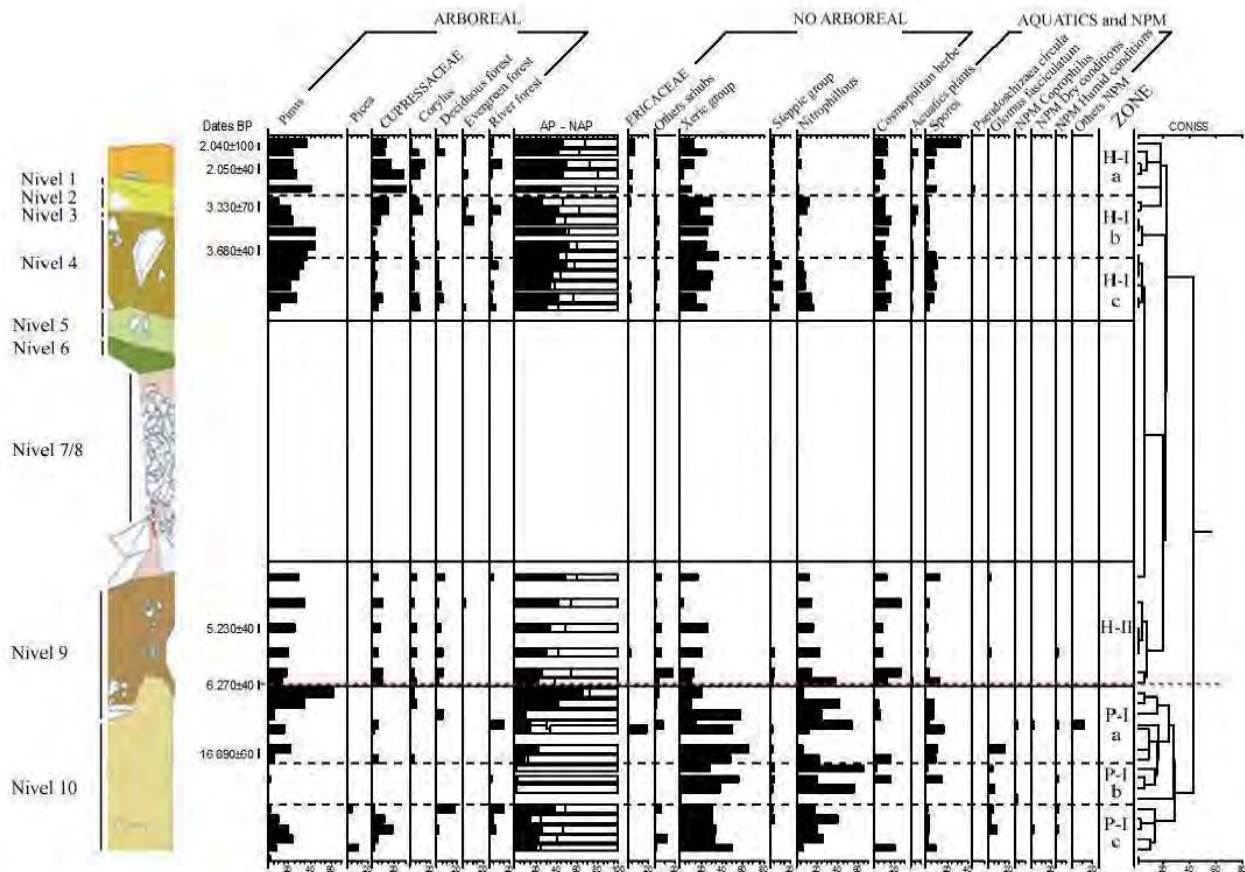


Figura 4. Diagrama polínico detallado y secuencia estratigráfica del Perfil Sur del Portalón de Cueva Mayor (ATAP-HP). La línea punteada de color rojo marca el hiato sedimentario presente en este yacimiento.

- Detailed pollen diagram and stratigraphic sequence of the South Profile at Portalón of Cueva Mayor (ATAP-HP). The red dotted line marks the sedimentary hiatus found at this site.

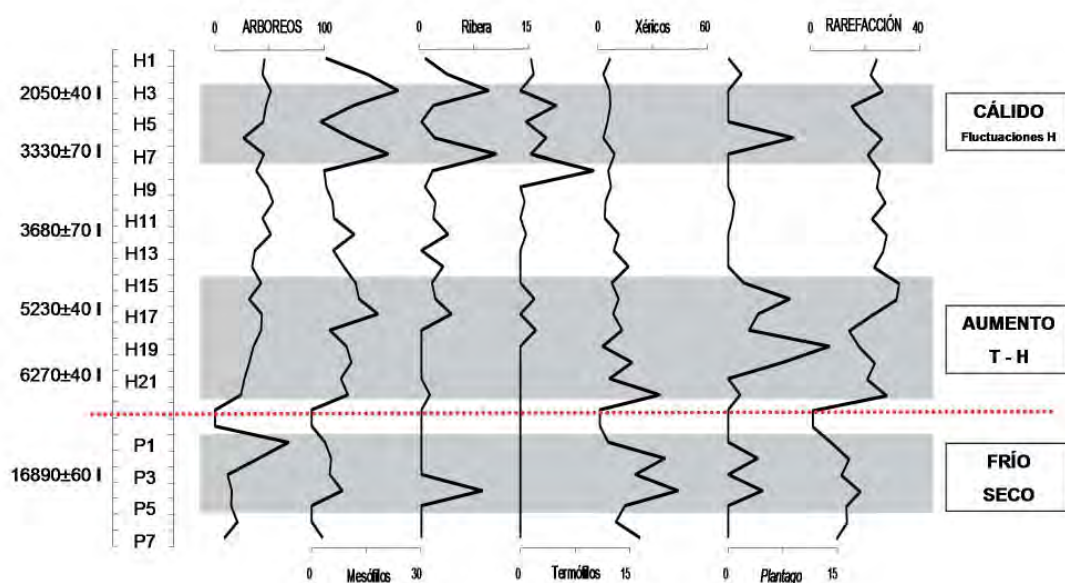


Figura 5. Diagrama polínico sintético del perfil de Portalón de Cueva Mayor (ATAP-HP) y Rarefacción. La línea punteada de color rojo marca el hiato sedimentario presente en este yacimiento.
 - Synthetic pollen diagram of the profile at Portalón of Cueva Mayor (ATAP-HP) and Rarefaction. The red dotted line marks the sedimentary hiatus found at this site.

Tabla II. Características relevantes de las zonas polínicas de la secuencia ATAP-HP.
 - Notable characteristics of the pollen zones at ATAP-HP sequence.

Zona Polínica	Espesor (cm)	Descripción	Interpretación ambiental
H-Ia	60	2040±100 - 2050±40 años BP (¹⁴ C) Pa≈50% Incremento de <i>Pinus</i> , <i>Corylus</i> , <i>Quercus</i> (deciduo y perenne), <i>Juniperus</i> , Ericaceae y taxones acuáticos. Decrecen los taxones de estepa. 22	Bosque mixto, con fluctuaciones en la temperatura y precipitación.
H-Ib	60	3680±40 años BP (¹⁴ C) PA<50 Decrecimiento de <i>Pinus</i> y <i>Corylus</i> y de taxones nitrófilos. Incremento de <i>Olea</i> , Cupresaceae y taxones de estepa. 25	Aumento de la temperatura y en menor medida de la precipitación.
H-Ic	65	PA ≈40% Incremento de <i>Pinus</i> , <i>Corylus</i> , <i>Juglans</i> y <i>Betula</i> , y taxones de ribera. Presencia de Ericaceae 25	Ligero descenso de la temperatura y fluctuaciones de la precipitación.
H-II	125	6270±40 años BP (¹⁴ C) PA <40% Dominancia de <i>Pinus</i> , <i>Corylus</i> y <i>Castanea</i> . Decrecen los taxones de estepa y se incrementan los taxones nitrófilos.	Aumento de la precipitación y temperatura.
P-Ia	77	16890±60 años BP (¹⁴ C) PA ≈20% Expansión de <i>Pinus</i> y presencia de <i>Corylus</i> y <i>Quercus</i> deciduo. Dominio de taxones xéricos. 13.	Aumento de la precipitación y descenso de la temperatura.

descenso de la tasa de crecimiento del espeleotema estudiado y una marcada estacionalidad determinada por láminas micríticas y depósitos de ceniza, interpretados como fuegos antrópicos (MARTÍNEZ-PILLADO *et al.*, 2010). Se ha descartado la posibilidad de vincular estas cenizas a incendios forestales porque la ritmicidad con que aparecen estas láminas no se puede asociar con la aparición/desaparición de tantos incendios consecutivos. Por otro lado, no existen evidencias de incendios en otros registros de la cueva para esas mismas cronologías y sin embargo sí hay evidencias de

uso antrópico dentro de esta misma cavidad (por ejemplo los Silos descritos en ORTEGA MARTÍNEZ, 2009). Además, al estar en continuo desarrollo el espeleotema, se deduce que la cavidad estaba cerrada al exterior en ese intervalo temporal, y su única apertura sería el Portalón, por lo tanto, la entrada de cenizas desde fuera quedaría descartada debido a la dificultad de llegar hasta la Galería de Estatuas.

La estacionalidad observada se infiere a partir de la frecuencia de repetición de las secuencias de humedad-aridez, pudiendo ser éstas tanto anuales

como de mayor durabilidad, sin que sea posible establecerlas con una mayor precisión con los datos disponibles.

El aumento de aridez detectado coincide con el marcado cambio climático (intenso calentamiento) registrado tanto en el Sahara como en Oriente Medio (URIARTE, 2009). El registro sedimentológico y polínico del Portalón, sin embargo, nos permite realizar un estudio más detallado de esta evolución. En el intervalo 4-3 ka BP se observa una cierta estabilización de la masa arbórea con un ciclo completo de avance y retroceso de *Pinus*, compensado por Crupessaceae, *Corylus* y *Quercus*, y un grupo no arbóreo de carácter xérico muy acusado (Fig. 4 y 5). Además, se constata la presencia constante de taxones de ribera y acuáticos, que evidencia la presencia de un curso fluvial en las inmediaciones de la Sierra. Dentro de este intervalo, hacia la parte alta del Nivel 3 del Portalón (3.3 ka BP) destaca un importante declive de la masa arbórea (en detrimento de *Pinus* frente a Crupessaceae y *Corylus*), y un ligero aumento tanto de los taxones nitrófilos como de los xéricos (Fig. 4 y 5). En el caso de Atapuerca, esta disminución de la masa arbórea, pudo verse posiblemente amplificada por la antropización y su consecuente alteración del paisaje en la región (deforestación y agricultura), evidenciada por un mayor número de niveles de ceniza en la estalagmita de la Galería de Estatuas (Fig. 3). Este progresivo cambio ambiental se va acelerando rápidamente con un marcado descenso en la tasa de crecimiento del espeleotema (mayor aridez y temperatura) y un mínimo registro sedimentológico en el Portalón (menos de 1 m de potencia en los últimos 3 ka, frente a los 5 m acumulados entre 6 y 3 ka BP Fig. 4).

Un hiato *estratigráfico-cultural* que afecta al Bronce Final marca el inicio de la secuencia que se reanuda con un Hierro I (CARRETERO *et al.*, 2008) caracterizado por un paisaje arbóreo local compuesto principalmente por Cupressaceae, y un descenso relativo de los taxones xéricos (Fig. 4 y 5). La serie culmina con ocupaciones esporádicas en momentos alto imperiales y de la Edad Media (Niveles 2 y 1; CARRETERO *et al.*, 2008) (Fig. 4).

Las lagunas sedimentarias que en ocasiones abarcan miles de años (16.9-6.2 ka en el Portalón, ó 12.8-5.9 ka en la Galería de Estatuas) y marcan los bruscos tránsitos entre los distintos tramos del registro estratigráfico (tanto en la serie detrítica del Portalón como en la estalagmita de la Galería de Estatuas), no nos permiten interpretar la evolución ambiental y/o climática continua, sino eventos discretos relacionados con determinados procesos geológicos que acaecieron en los distintos episodios climáticos.

5. CONCLUSIONES

El intervalo de tiempo registrado en el espeleotema del sector de Estatuas (~14 ka BP –

Actualidad) y en la secuencia polínica estudiada del yacimiento de El Portalón (~17 ka BP – ~2ka) se solapan en *ca.* 14-2 ka BP permitiendo inferir indicadores paleoambientales de distinta naturaleza y evaluar la validez de los distintos tipos de registro paleoambiental. Estudiar las condiciones paleoambientales a partir de registros diferentes (detrítico-antrópico vs. químico) aporta un conocimiento más completo y permite detectar y matizar la influencia que la ocupación humana puede dejar sobre ellas.

De la correlación entre datos polínicos y el estudio petrográfico de estalagmitas se desprende que estas últimas, pueden no sólo aportar información paleoambiental del entorno en el que se forman, sino que además pueden registrar evidencias de actividad humana a lo largo de sistemas de cavidades que aparentemente no presentan yacimiento arqueológico asociado. Además, la posibilidad de llevar a cabo una comparación entre distintos métodos geocronológicos, como son el U/Th y el ¹⁴C, aporta un interés adicional.

La correlación de ambos yacimientos (14-2 ka BP) establece intervalos paleoclimáticos bien diferenciados, con tránsitos no graduales, y un hiato de al menos 7 ka que abarca el final del Pleistoceno y el Holoceno inicial (*ca.* 13-6 ka BP).

A partir de los 5.9 ka BP, se evidencia la existencia de condiciones ambientales alternantes y ocupación humana en Cueva Mayor, tanto en la entrada (Portalón) como en el interior (Galería de Estatuas). Los indicadores polínicos de ambientes relativamente húmedos alternando con asociaciones con un mayor índice de taxones xéricos, la alternancia de láminas de micrita-esparita y los depósitos de cenizas y fragmentos de carbón entre las líneas de crecimiento en el espeleotema estudiado, son claros reflejos de estos parámetros.

Las condiciones ambientales se volvieron más secas hace 4.2 ka BP decreciendo las abundancias de indicadores de bosque y taxones nitrófilos e incrementándose los taxones xéricos. Este hecho podría estar amplificado por la actividad agrícola humana ya patente desde la fase anterior y cada vez más profusa, como demuestra el repetido registro de cenizas provenientes de fuegos antrópicos en el registro espeleotémico estudiado.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido realizada en el marco del Proyecto de Investigación CGL2009-12703-C03-03 (subprograma BTE) del MICINN y dentro de las actividades de investigación "Geología del Karst" del centro Geo-Q. Además, la primera firmante disfruta de una ayuda para la investigación de la Fundación Atapuerca.

Los autores quieren agradecer su esfuerzo y aportación a los grupos de excavación e investigación de la Galería de Estatuas y El

Portalón, así como al Centro Mixto UCM-ISCIH de Evolución y Comportamiento Humanos, con mención especial a Francisco Gracia.

Agradecen su colaboración a los laboratorios de geocronología de la Universidad de Minnesota (EE.UU.) y a los servicios SGIker de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU).

También quieren expresar su gratitud al Comité Editorial y a los revisores por su tiempo y dedicación a la mejora de este manuscrito.

BIBLIOGRAFÍA

- BIRKS, H.J.B. & LINE J.M. 1992. The use of rarefaction analysis for estimating palynological richness from Quaternary pollen-analytical data. *The Holocene*, **2** (1): 1-10.
- BREUIL, H. & OBERMAIER, H. 1913. Travaux executés en 1912. *L'Anthropologie*, **2**: 5-7.
- BRONK RAMSEY, C., HIGHMAN, T.F.G., OWEN, D.C., PIKE, A.W.G. & HEDGES, R.E.M. 2002. Radiocarbon dates from the Oxford AMS system: archaeometry datelist 31. *Archaeometry*, **44** (3-1): 65-67.
- CARBALLO, J. 1910. «De Espeleología». *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, **X**: 468-481.
- CARRETERO, J.M.; ORTEGA, A.I.; JUEZ, L.; PÉREZ-GONZÁLEZ, A.; ARSUAGA, J.L.; PÉREZ-MARTÍNEZ, R. & ORTEGA, M.C. 2008. A Late Pleistocene-Early Holocene archaeological sequence of Portalón de Cueva Mayor (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain) *Munibe (Antropología-Arkeologia)*, **59**: 67-80.
- COÛTEAUX, M., 1977. A propos de l'interpretation des analyses polliniques de sediments minéraux, principalement archéologiques. En: *Le Milieu Végétal, les faunas et l'Homme*. Supplément Bulletin A.F.E.Q.; **47**: 259-276.
- FOOTE, M. 1992. Rarefaction analysis of morphological and taxonomic diversity. *Paleobiology*, **18** (1): 1-16.
- FRISIA, S & BORSATO, A. 2010. Karst. In ALONSO ZARZA, A.M. & TANNER, L.H. 2010. Carbonates in continental settings: Facies, environments and processes. *Developments in Sedimentology*, **6**: 393 págs.
- BORSATO, A., FAIRCHILD, I.J. & MCDERMOTT, F. 2000. Fabrics of speleothems from temperate-humid settings: growth mechanisms and environmental parameters. *Journal of Sedimentary Research*, **70**: 1183-1196.
- BORSATO, A., FAIRCHILD, I.J., MCDERMOTT, F. & SELMO, E.M. 2002. Aragonite calcite relationships in speleothems (Grotte de Clamouse, France): environment, fabrics, and carbonate geochemistry. *Journal of Sedimentary Research*, **72**: 687-699.
- GIL GARCÍA, M.J.; RUIZ ZAPATA, B.; DORADO VALIÑO, M.; VALDEOLMILLOS, A. & PÉREZ-GONZÁLEZ, A. 2001. Caracterización climática de la transición Pleistoceno superior-Holoceno en el Sistema Ibérico. In: G. MELÉNDEZ; Z. HERRERA; G. DELVENE & B. AZANZA. *Los fósiles y la Paleogeografía*. 100-106. Publicaciones del Seminario de Paleontología (SEPAZ). Zaragoza.
- DORADO VALIÑO, M., VALDEOLMILLOS RODRIGUEZ, A., & RUIZ ZAPATA, M.B., 2002. Late-glacial and Holocene paleoclimatic record from Sierra de Cebollera (northern Iberian range, Spain). *Quaternary International*. (93-94), 13-18.
- GIRARD, M. & RENAULT-MISKOVSKY, J. 1969. Nouvelles techniques de préparation en palynologie appliquées à trois sédiments du Quaternaire final de l'Abri Cornille (Istres, Bouches du Rhône). *Bulletin de l'Association française pour l'Etude du Quaternaire*, **4**: 275-284.
- GOEURY, CL. & BEAULIEU, J.L., 1979. Á propos de la concentration du pollen à l'aide de la liquer de Thoulet dans les sediments minéraux. *Pollen et Spores*, **21**: 239-251.
- GRIMM, E.C. 1987. Coniss: a FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computers & Geosciences*, **13** (1): 13-35.
- HECK, K.L., VAN BELLE, G. & SIMBERLOFF, D. 1975. Explicit calculation of the rarefaction diversity measurement and the determination of sufficient simple size. *Ecology*, **56**: 1459-1461.
- LÓPEZ-SÁEZ, J.A., LÓPEZ GARCÍA & P. BURJACHS, F. 2003. Arqueopalínología: síntesis crítica. *Polen*, **12**: 5-35.
- MARTÍNEZ-PILLADO, V., ARANBURU, A., YUSTA, I., STOLL, H. & ARSUAGA, J. L. 2010. Clima y ocupaciones en la Galería de Estatuas (Atapuerca, Burgos) en los últimos 14.000 años: Relatos de una estalagmita. *Munibe Antropología - Arkeologia*, **61**: 89-102.
- MOORE, P.D., WEBB, J.A. & COLLINSON, M.E., 1991. *Pollen analysis* (Second edition). Oxford. Blackwell.
- MORENO, A., STOLL, H., JIMÉNEZ-SÁNCHEZ, M., CACHO, I., VALERO-GARCÉS, B., ITO, E. & EDWARDS, R. L. 2010. A speleothem record of glacial (25–11.6 kyr BP) rapid climatic changes from northern Iberian Peninsula. *Global and Planetary Change*, **71** (3-4): 218-231.
- ODGAARD, B.V. 1999. Fossil pollen as a record of past biodiversity. *Journal of Biogeography*, **26** (1): 7-17.
- ORTEGA MARTÍNEZ, A.I. 2009. *La evolución geomorfológica del karst de la Sierra de Atapuerca (Burgos) y su relación con los yacimientos pleistocenos*. Tesis Doctoral, Universidad de Burgos, 624 págs.
- PEÑALBA, M.C., ARNOLD, M., GUIOT, J., DUPLESSY, J.C. & DE BEAULIEU, J.L., 1997. Termination of the last Glaciation in the Iberian Peninsula inferred from the pollen sequence of Quintanar de la Sierra. *Quaternary Research*, **48**: 205-214.
- RUIZ ZAPATA, M.B.; GIL GARCÍA, M.J.; DORADO VALIÑO, M.; VALDEOLMILLOS A; VEGAS, J. & PÉREZ-GONZÁLEZ, A. 2002. Clima y vegetación durante el Tardiglacial y el Holoceno en la Sierra de Neila (Sistema Ibérico Noroccidental): *Cuaternario y Geomorfología*, **16** (1-4): 9-20.
- ORTEGA, A., DORADO VALIÑO, M., VALDEOLMILLOS, A., GIL GARCÍA, M.J., CARRETERO, J., MARTÍNEZ MENDIZABAL, I. & ARSUAGA, J.L. 2003a. Vegetational history during Bronze and Iron Ages in Portalón Cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain). In: B. RUIZ ZAPATA, M. DORADO, A. VALDEOLMILLOS, M.J. GIL GARCÍA, T. BARDAJÍ, I. BUSTAMANTE, & I. MARTÍNEZ. *Quaternary climatic changes and environmental crises in the Mediterranean Region*, págs. 99-106. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alcalá. Madrid.
- GIL GARCÍA, M.J.; VEGAS, J.; DORADO VALIÑO, M.; VALDEOLMILLOS, A. & PÉREZ-GONZÁLEZ, A. 2003b. Registro palinológico de los eventos Heinrich

- (H1 y H2) en la secuencia de La Laguna Grande (Sierra de Neila. Sistema Ibérico. España). In: G. FLOR, Ed. *XI Reunión Nacional de Cuaternario*. págs. 293- 300. Ediciones Servitec. Oviedo.
- GIL GARCÍA, M.J., DORADO VALIÑO, M., VALDEOLMILLOS, A., VEGAS J. & PÉREZ-GONZÁLEZ, A. 2003c. Caracterización palinológica de los últimos grandes eventos fríos del Máximo Glaciar en secuencias de la Península Ibérica. En: M.M. COLLANTES, J.M. SAYAGO & L.V. NEDER. *Actas II Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología*: 165-76. Argentina.
- SEVERINGHAUS, J.P. & BROOK, E.J. 1999. Abrupt climate change at the end of the Last Glacial Period inferred from trapped air in polar ice. *Science*, **286**: 930-934.
- UGA Stratigraphy Lab. *Software*. <<http://www.uga.edu/strata/software/Software.html>> [Consulta: 14-02-2012].
- URIARTE, A. 2009. *History of Earth's Climate*. 420 págs. Servicio general de publicaciones del Gobierno Vasco.
- VEGAS, J., PÉREZ-GONZÁLEZ, A., RUIZ ZAPATA, B., GIL GARCÍA, M.J., DORADO VALIÑO, M., VALDEOLMILLOS, A. & LÓPEZ, M.J. 2003. The GS-1/Younges Dryas event in the Laguna Grande Lacustrine record. Late Glacial-Holocene transition in the NW Iberian Range, Spain. In: B.L. VALERO Ed. *Limnogeology in Spain: a tribute to Kerry R. Kelts*, págs. 283-304. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.



Fig. 1

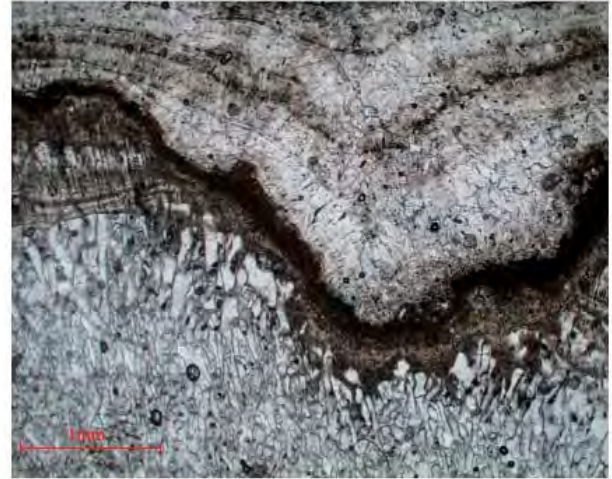


Fig. 2



Fig. 3



Fig. 4

Lámina I / Plate I.

Figura 1. Fábrica columnar de cristales de calcita esparítica (Tomada de MARTÍNEZ-PILLADO *et al.*, 2010).

- Columnar fabric of sparitic calcite crystals (From MARTÍNEZ-PILLADO *et al.*, 2010).

Figura 2. Nivel oscuro que marca el hiato sedimentario y temporal en la estalagmita. Se observa la ruptura sedimentaria (erosión) y sobre ella el nivel de hidroxiapatito (guano) y el nivel detrítico.

- Dark level that marks the sedimentary and temporal hiatus on the stalagmite. The sedimentary break (erosion), and the hidroxiapatite (guano) and the detritic levels are observed.

Figura 3. Fábrica dendrítica de cristales de aragonito pseudomorfizado a calcita (Tomada de MARTÍNEZ-PILLADO *et al.*, 2010).

- Dendritic fabric of aragonite crystals (From MARTÍNEZ-PILLADO *et al.*, 2010).

Figura 4. Fábrica acicular en abanico de cristales de aragonito pseudomorfizado a calcita (Tomada de MARTÍNEZ-PILLADO *et al.*, 2010).

- Acicular fabric fan-like of aragonite crystals (From MARTÍNEZ-PILLADO *et al.*, 2010).

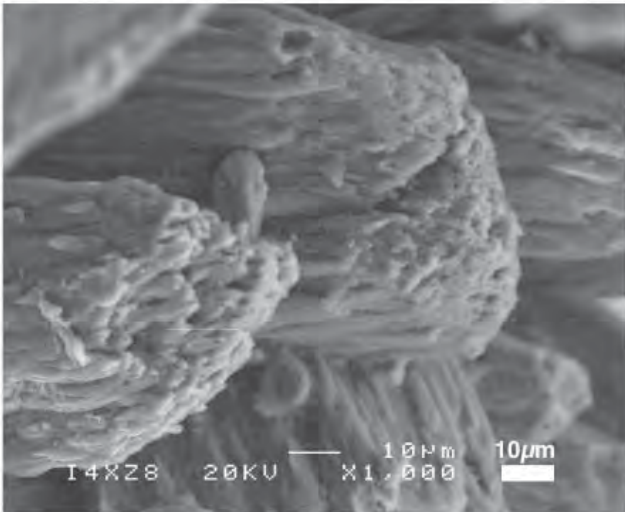


Fig. 1

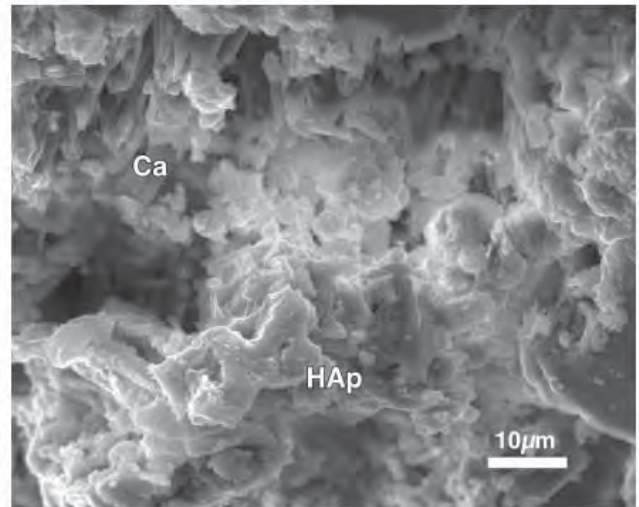


Fig. 2

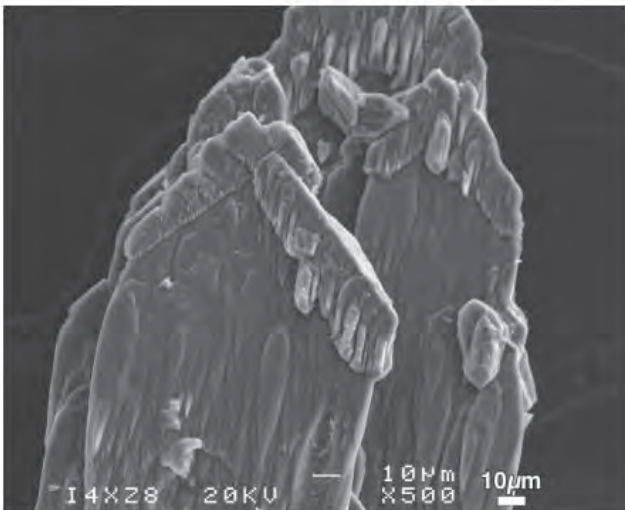


Fig. 3

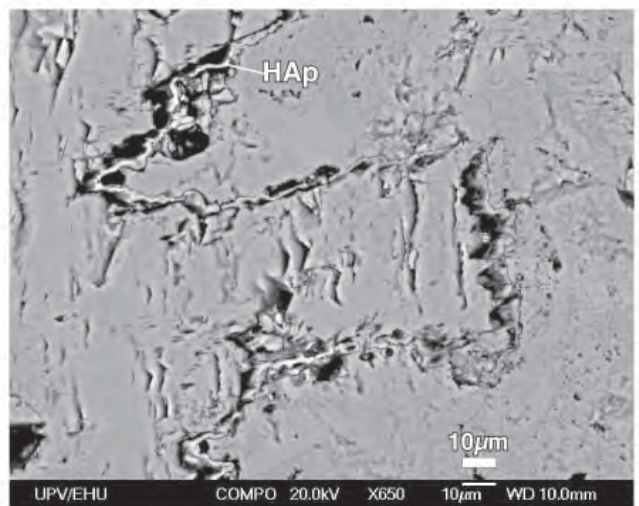


Fig. 4

Lámina II / Plate II.

Fig. 1. Evidencias de corrosión en cristales columnares de calcita en el nivel H (SEM).

- Corrosion evidences on the columnar calcite crystals at level H (SEM).

Fig. 2. Depósito local de fosfatos (HAp) sobre cristales <math><10\ \mu\text{m}</math> aciculares de calcita (SEM).

- Local deposit of phosphates (HAp) over calcite acicular crystals <math><10\ \mu\text{m}</math> (SEM).

Fig. 3. Crecimiento en paralelo de cristales de calcita columnar microcristalina (SEM).

- Parallel growth of calcite microcrystalline columnar crystals (SEM).

Fig. 4. Detención del crecimiento de los cristales columnares y nivel con presencia de hidroxiapatito (SEM).

- Crystal growth stop in columnar calcite and a hydroxiapatite deposit (SEM).