

MUNIBE (Antropología-Arkeología)	nº 61	89-102	SAN SEBASTIÁN	2010	ISSN 1132-2217
----------------------------------	-------	--------	---------------	------	----------------

Recibido: 2010-10-15
Aceptado: 2010-10-30

Clima y ocupaciones en la Galería de Estatuas (Atapuerca, Burgos) en los últimos 14.000 años: Relatos de una estalagmita

Climate and occupations in the Galería de Estatuas (Atapuerca, Burgos) in the last 14.000 years: Stories of a stalagmite

Galería de Estatuas-ko (Atapuerca, Burgos) klima eta okupazioak azken 14.000 urtetan: Estalagmita baten kontaketak

PALABRAS CLAVES: Paleoclima, espeleotemas, Pleistoceno Superior-Holoceno, petrología, registro antrópico.

KEY WORDS: Paleoclimate, speleothems, Upper Pleistocene-Holocene, petrology, human evidences.

GAKO-HITZAK: Paleoklima, espeleotemak, Goi Pleistozenoa-Holozenoa, petrologia, erregistro antropikoa.

Virginia MARTÍNEZ-PILLADO⁽¹⁾, Arantza ARANBURU⁽¹⁾, Iñaki YUSTA⁽¹⁾, Heather STOLL⁽²⁾ y Juan Luis ARSUAGA^(3,4)

RESUMEN

Los espeleotemas constituyen uno de los principales registros para establecer secuencias evolutivas paleoclimáticas del Cuaternario. Además, en cavidades que presentan evidencias de ocupación humana registran los cambios ambientales producidos en el interior de las mismas como resultado de las actividades llevadas a cabo. La estalagmita *llargi*, procedente de la Galería de Estatuas (Atapuerca, Burgos) representa un archivo de los principales acontecimientos de los últimos 14 Ka de la historia de la cavidad, reflejados en la microestratigrafía, mineralogía y fábrica de crecimiento. La impronta humana en el desarrollo de la estalagmita queda registrada en las láminas oscuras de calcita por la presencia de fragmentos de hueso y carbón, y ceniza.

ABSTRACT

Speleothems are one of the main evolutionary sequences set records for Quaternary paleoclimate. But in cavities with evidences of human occupation also record environmental changes produced within them as a result of human activities. *llargi* stalagmite, from the *Galería de Estatuas* (Atapuerca, Burgos) is an archive of the main events of the last 14 Ky in the history of the cavity and reflected in the microstratigraphy, mineralogy and fabric. The human imprint on the development of the stalagmite is recorded in the dark sheets of calcite by the presence of bone and charcoal fragments, and ash.

LABURPENA

Espeleotemak dira Kuaternarioko Paleoklimaren sekuentzia ebolutiboa ezartzeko erregistrorik garrantzitsuenetarikoa. Baina giza-erabilera aztarnak dituzten kobetan, hauen ekintzen ondorioz gauzaturiko koba barneko ingurune aldaketak ere erregistra daitezke. Galería de Estatuas-en (Atapuerca, Burgos) garaturiko *llargi* estalagmitak, azken 14.000 urtetan koba zuloan gauzaturiko gertaera nagusiak biltzen ditu, mikroestratigrafía, mineralogia eta hazkuntza-fabrikaren ikus daitekeen modura. Estalagmitaren bilakaera giza inpronta kaltzitazko nibel beltzetan dago gorderik hezur eta ikatz-zati eta errautsen bitartez.

1.- INTRODUCCIÓN

Los espeleotemas constituyen uno de los principales registros para establecer secuencias evolutivas paleoambientales y paleoclimáticas durante el Cuaternario, y complementar los registros obtenidos a partir de testigos en ambientes lacustres o zonas marinas próximas. Su formación está direc-

tamente controlada por las oscilaciones climáticas, de manera que existe una estrecha relación entre etapas cálidas y el crecimiento espeleotémico (HENNING *et alii*, 1983). Así, su análisis cronológico, junto con el estudio petrográfico y mineralógico de los cristales, permite conocer las condiciones paleoambientales existentes durante su formación.

⁽¹⁾ Dpto. Mineralogía y Petrología. Facultad de Ciencia y Tecnología, UPV/EHU. Ap 644-48080 Bilbao. vmpillado@gmail.com, arantza.aranburu@ehu.es

⁽²⁾ Dpto. Geología, Universidad de Oviedo, Arias de Velasco s/n, 30005, Oviedo, Asturias.

⁽³⁾ Departamento de Paleontología, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, Spain.

⁽⁴⁾ Centro Mixto Universidad Complutense-Instituto de Salud Carlos III de Evolución y Comportamiento Humanos, Madrid, Spain.

Según MARTÍN-CHIVELET *et alii* (2004), el potencial de los espeleotemas en el campo de la reconstrucción paleoclimática viene determinado por múltiples aspectos:

1) Reflejan los **cambios ambientales del exterior** de la cueva a través de las variaciones texturales en su estructura.

2) Son sensibles al cambio climático en lapsos anuales e incluso décadas, pero no a eventos de tipo meteorológico, debido a su fuerte inercia térmica e hidrológica.

3) Pueden ser datados con alta precisión mediante técnicas radiométricas ($^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$) para ubicar la información paleoclimática en un marco temporal concreto.

4) Su resolución puede llegar a ser incluso anual, siendo así muy superior a la del resto de indicadores paleoclimáticos.

La secuencia paleoclimática temporal durante el Pleistoceno-Holoceno en la Península Ibérica se está determinando a partir de datos más o menos continuos tomados de registros de sondeos marinos, depósitos lacustres y, últimamente, a partir de series cronológicas en espeleotemas.

En general se acepta que tras las condiciones glaciales alcanzadas durante el **Último Máximo Glacial (LGM, 23-19 Ka)** tuvo lugar el último gran cambio climático a escala planetaria, en el que se produjo un aumento general de las temperaturas y de la concentración atmosférica de gases de efecto invernadero, y cuyo inicio en la Península Ibérica se produjo hace unos 15,5 Ka (CACHO *et alii*, 2001).

Posteriormente a este calentamiento tuvo lugar uno de los episodios climáticos más estudiados y controvertidos hasta hoy, el denominado **Younger Dryas (YD)**. Tuvo la peculiaridad de interrumpir el calentamiento que se estaba produciendo durante la última deglaciación. Los registros en aguas profundas muestran evidencias de este cambio abrupto hace entre 12,9 y 11,5 Ka (BROECKER, 2006) y aunque todavía existen incertidumbres acerca de su desencadenante, se sabe que debido a la fusión progresiva de los casquetes polares se produjo un aporte masivo de aguas dulces al océano que interrumpió la transferencia energética (lo que se conoce como "cinta transportadora") y reorganizó el patrón de circulación del Atlántico Norte (HUGHEN *et alii*, 2000).

Cada vez son más numerosos los estudios paleoclimáticos del Holoceno que muestran oscilaciones con carácter rápido, de décadas a centenares de años, que alteraron significativamente las condiciones climáticas. Uno de los eventos más marcados durante esta época fue el llamado **Evento 8.2**, haciendo referencia a su edad (8,2 Ka BP) en el que se produjo un repentino descenso en la temperatura, aunque no tan acusado como el ocurrido durante el YD, siendo así una excepción significativa en la evolución general del óptimo climático Holoceno. Las mejores representaciones de este evento se registran en sedimentos marinos, por ejemplo en el Mar de Alborán, en el que se registra un enfriamiento del orden de 1°C (CACHO *et alii*, 2001).

En el norte peninsular sin embargo, las fluctuaciones de baja y alta frecuencia durante el LGM y la deglaciación muestran un aumento gradual de la humedad, y posiblemente de la temperatura, entre 15,5 y 13,5 Ka. Este cambio gradual de la humedad contrasta con cambios más bruscos en el Mediterráneo, lo que sugiere un umbral climático diferente de la precipitación entre el margen Mediterráneo y el Atlántico (MORENO *et alii*, 2010). En la cueva de Kaitte, al sur de la Cordillera Cantábrica, se han obtenido en espeleotemas registros de $\delta^{18}\text{O}$ que son resultado de variaciones en la composición del agua de lluvia, mientras que la temperatura y el fraccionamiento cinético tienen efectos menores o insignificantes. La intensidad de las lluvias o la cantidad de precipitaciones durante la estación lluviosa son los mecanismos que más contribuyen a esta variabilidad (TURRERO *et alii*, 2004; DOMÍNGUEZ-VILLAR *et alii*, 2008).

Otro aspecto a destacar del estudio de espeleotemas en cavidades que presentan rasgos de ocupación antrópica, como es el caso de Atapuerca, es su capacidad de registro de los **cambios ambientales internos** provocados por la acción directa e indirecta de sus ocupantes, como por ejemplo los derivados de la combustión de las antorchas o los excrementos orgánicos de murciélagos. GRADZŃSKI *et alii* (2002, 2007) estudiaron la cueva de Domica (Eslovaquia) y determinaron la presencia antrópica en su interior a partir de láminas oscuras de la estructura cristalina de las estalagmitas, resultado de la combustión vegetal que cronológicamente coincidía con dos episodios de ocupación prehistórica en la cueva. Este tipo de láminas coloreadas tam-

bién fueron descritas por GRADZŃSKI *et alii*, (2003) en estalagmitas al sur de Polonia.

El objetivo de este trabajo es el estudio paleoambiental de una de las estalagmitas (bautizada como *Ilargi*) que recubre la colada que, a su vez, fosiliza el yacimiento arqueopaleontológico de la Galería de las Estatuas (Atapuerca). Los análisis petrológicos, cronológicos y mineralógicos realizados en la estalagmita nos han permitido observar diferencias significativas relacionadas tanto con variaciones paleoclimáticas como con distintos episodios de ocupación de las cuevas.

2.- LA GALERÍA DE ESTATUAS

La Sierra de Atapuerca está situada en el centro-Norte de la Península Ibérica, a 15 Km. de la ciudad de Burgos, entre los sistemas montañosos de la Sierra de la Demanda, al Norte del Sistema Ibérico, y la Cordillera Cantábrica (Fig.1a). Se trata de una zona poco elevada (1.078 m.) dominada por el valle del río Arlanzón, que comprende gran cantidad de cavidades kársticas formadas en rocas calizas del Cretácico superior. El sistema kárstico ha sido rellenado por distintos tipos de sedimentos a lo largo del Pleistoceno, desde al menos 1,4 Ma (FALGUÈRES *et alii*, 2001; CARBONELL *et alii*, 2008) y durante el Holoceno, hasta 1.000 años BP (CARRETERO *et alii*, 2008).

Uno de los complejos más importantes del sistema kárstico que forma la Sierra de Atapuerca es el de Cueva Mayor - Cueva del Silo, que corresponde con el primer piso del karst y por tanto, supuestamente, constituye el episodio más antiguo de formación del sistema de galerías.

La Galería de las Estatuas (Fig. 1b) es una galería subhorizontal que conecta con el Portalón de Cueva Mayor a través de un amplio espacio llamado Salón del Coro. A lo largo de la galería se observan numerables evidencias de actividad humana relacionada con el uso de la misma desde, al menos, el Neolítico antiguo (ORTEGA MARTÍNEZ, 2009): estructuras negativas (silos) localizadas en el sector final de dicha galería permiten observar, en corte, restos óseos indeterminados pleistocenos y fragmentos de estructuras neolíticas de madera carbonizada.

Este sector, actualmente aislado del exterior por colmatación de sedimentos detríticos y espeleotemas, permite establecer la estratigrafía de relleno de la cavidad de techo a muro:

- **Espeleotema:** que cubre la práctica totalidad de la Galería de las Estatuas fosilizando la secuencia detrítica (yacimento), con potencias variables, mayores en las zonas que coinciden con filtraciones de agua por el techo de la cueva. Presenta una doble estructura interna:

- o La parte superior destaca por la proliferación de formas de goteo (estalagmitas) de 20-30 cm. de altura, muchas de ellas activas en la actualidad.

- o La parte basal, de carácter tabular con un espesor que varía entre 13 cm. al W y 20 cm. al E., está formada a su vez por 3 niveles centimétricos de tipo *flowstone*, de calcita blanquecina más o menos alterada, separados por niveles de materia orgánica (raíces) a techo y discretos niveles arcillosos en la base. Este tramo basal está formado, fundamentalmente, por cristales de CaCO₃ blancos precipitados a partir de flujos de agua de carácter laminar. La intercalación de arcilla evidencia eventos de mayor aporte detrítico, correlacionable con momentos de mayor caudal de agua y menor capacidad de precipitación de carbonato.

- **Sedimento detrítico:** a lo largo de una potencia mínima de 150 cm. se diferencian cinco niveles litoestratigráficos en base a la proporción de clastos (trama)- limo/arcilla (matriz), la coloración y contenido fosilífero. Se trata de un depósito

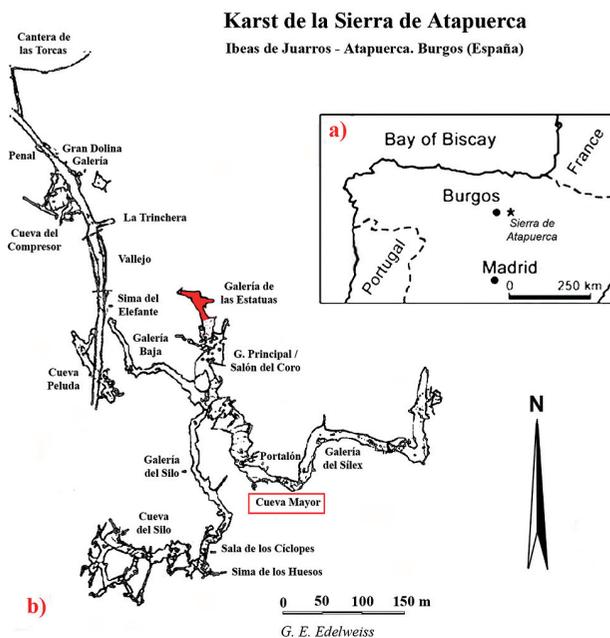


Fig. 1. a) Localización de la Sierra de Atapuerca. **b)** Situación del yacimiento Galería de Estatuas dentro del sistema kárstico de Cueva Mayor (área sombreada en rojo). Modificado de G. E. Edelweiss (1997).

detrítico alóctono con aporte de sedimento (parte de los clastos, la matriz, industria lítica y fósiles) desde la boca de la cueva por la acción de la gravedad, junto con flujos laminares de baja capacidad de transporte y alto contenido arcillo-limoso. La caída de bloques de las paredes y techo de la cueva (clastos planares hincados) así como los grandes fragmentos de espeleotemas desgajados de la pared pueden dar lugar a deformaciones de la estructura deposicional primaria, acentuando así los contactos irregulares entre los distintos niveles deposicionales. Todo este nivel detrítico constituye el marco del yacimiento arqueopaleontológico de la Galería de Estatuas.

3.- OBJETIVO Y METODOLOGÍA DE ESTUDIO

Este estudio ha sido realizado en una estalagmita ("llargi") perteneciente a la parte superior del espeleotema que recubre la parte final de la Galería de las Estatuas (Atapuerca), extraída en 2008 al inicio de las excavaciones del yacimiento de mismo nombre.

El objetivo planteado ha sido inferir datos paleoambientales a partir de los cambios registrados por la estalagmita, y para ello ha sido necesario vertebrar la investigación en a) la *caracterización petrológica* de las principales fases de formación de la estalagmita y b) la *datación* de las mismas. Sin embargo, ha de tenerse presente que los precipitados químicos endokársticos son susceptibles de sufrir importantes modificaciones diagenéticas que alteran significativamente los precipitados originales (MARTÍN-GARCÍA *et alii*, 2009), y por tanto también los resultados que se puedan obtener en el laboratorio.

El primer paso del estudio consistió en realizar un análisis en muestra de mano (visu) para caracterizar la morfología y estructura interna del espeleotema y determinar las principales fases de crecimiento. Para ello se realizó un corte longitudinal al eje de crecimiento de la estalagmita.

A continuación se realizó un análisis petrográfico mediante microscopio petrográfico Olympus, modelo BH2 proporcionado por la Universidad del País vasco (UPV – EHU) que lleva acoplado un sistema fotográfico digital Olympus DP10. Para ello se realizaron 10 láminas delgadas, cada una de ellas con una zona de solape con la anterior, tomadas en el eje de precipitación (EP, Fig. 2). Durante el estudio de los distintos intervalos

que conforman el espeleotema, se tuvo en cuenta tanto la fábrica primaria de los cristales principales, como las posibles alteraciones secundarias que pudieran haber sufrido los precipitados originales. El estudio petrográfico se completó por microscopía electrónica de barrido con sistema de análisis SEM-EDS en equipos JEOL JSM-7000F y JEOL JSM-6400 (SGIker, UPV/EHU). La composición química de los niveles más representativos se ha determinado en una selección, mediante lupa binocular, de 12 muestras de niveles de ruptura en el crecimiento del espeleotema y 2 láminas delgadas pulidas.

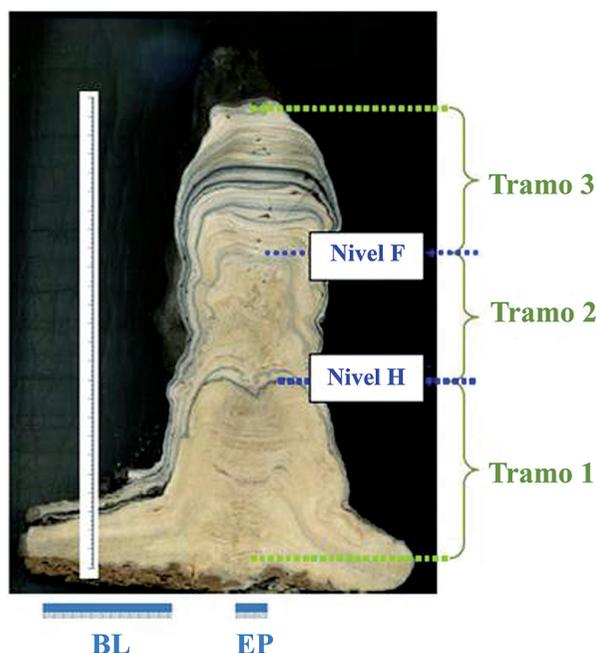


Fig. 2. Sección longitudinal de la Estalagmita llargi, donde se pueden apreciar los diferentes tramos (1 a 3) delimitados por los niveles F y H. Las siglas BL y EP corresponden respectivamente a la Base Lateral y al Eje Principal del crecimiento.

Los datos micromorfológicos determinaron las zonas más favorables para el muestreo cronológico. En total se seleccionaron 6 puntos de los que se extrajo una pequeña cantidad de material con una broca dental de widia o microtalladro, siguiendo las técnicas de DORALE *et alii* (2004). Las cantidades de polvo extraído oscilaron entre 80 y 270 mg. y fueron tratadas para separar el Uranio y el Torio. El polvo de calcita obtenido fue disuelto en ácido nítrico al que se añadió un indicador mixto de $^{229}\text{Th}/^{233}\text{U}/^{236}\text{U}$ y se dejó secar. Tras la adición de una solución de cloruro de hierro se agregó NH_4OH gota a gota hasta hacer precipitar el hierro, y la muestra se

centrifugó para separarlo del resto de la solución. A continuación se retiró el líquido. Después de cargar la muestra en columnas con una resina aniónica, se añadió HCl para separar el Th, y se añadió agua para separar el U. Con los dos elementos separados, cada muestra se dejó secar y se procesó en un espectrómetro de masas con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS). El análisis fue realizado en los laboratorios de la Universidad de Minnesota (EE.UU).

4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La estalagmita *llargi* presenta una morfología prácticamente cilíndrica, con una longitud de 24 cm. y un diámetro de aproximadamente 8,5 cm., en la que se aprecian al menos dos puntos de goteo diferentes. En su base se observa un nivel de arcillas que se corresponde con eventos de mayor aporte detrítico, correlacionable con momentos de mayor caudal de agua y menor capacidad de formación del espeleotema.

Se reconocen tres tramos bien diferenciados, limitados por los niveles (H y F) que marcan un cambio en la petrografía y/o tasa de crecimiento (Fig. 2). A lo largo del desarrollo de la estalagmita se distinguen dos tipos principales de texturas cristalinas; por un lado las originales o primarias, relacionadas con la tasa de nucleación y crecimiento del CaCO_3 , bien como calcita o como aragonito que, a su vez, dependen de las variaciones ambientales de la cueva a lo largo del tiempo, y por otro lado aquellas producidas durante la *diagénesis*, siendo la más habitual la recristalización/neomorfismo agradacional del aragonito a calcita.

De acuerdo con la clasificación publicada en FRISIA *et alii* (2000) y FRISIA y BORSATO (2010),

se han distinguido las siguientes **fábricas cristalinas primarias**: fábrica columnar, en abanico, dendrítica y micrítica. Defectos cristalinos tales como dislocaciones, lamelas o maclas, pueden ser el resultado de las perturbaciones del sistema que está en condiciones de quasi-equilibrio, generando a su vez diferentes subtipos dentro de una misma fábrica cristalina. En cuanto a las **microfacies diagenéticas**, son aquellas que se generan como resultado de las modificaciones postsedimentarias, tanto cristalográficas dentro de un mismo mineral (neomorfismo de aragonito a calcita) como por reemplazamiento mineralógico (calcita-hidroxiapatito).

4.1. Tramo 1

Abarca los primeros 10 cm. de crecimiento de la estalagmita y destaca por su coloración blanquecina y aspecto cristalino. Se distinguen dos microfacies carbonatadas primarias principales (de muro a techo):

- **Fábrica primaria columnar**: El comienzo del desarrollo de la estalagmita *llargi* se caracteriza por la presencia de cristales de calcita prismáticos de extinción plana, de entre 1 y 2,5 mm. -de longitud (L) y unos 0,5 mm.- de grosor (W). Crecen de forma perpendicular a la superficie de crecimiento y se disponen de forma paralela unos a otros en idénticas orientaciones cristalográficas presentando contactos irregulares. Esta textura cristalina es frecuente en la base y a techo del tramo 1, por debajo del nivel H (Fig. 3).
- **Fábrica primaria dendrítica**: Se trata de cristales alargados (entre 1 y 1,5 mm.) cuyo grosor es extremadamente fino (romboedros de 4-10 μm .) que predominan en la zona interna del



Fig. 3. a) Fábrica columnar de calcita vista al microscopio petrográfico b) Detalle de los cristales donde se aprecia su morfología prismática c) Cristales prismáticos vistos al microscopio electrónico (SEM).

tramo 1. El crecimiento de estos cristales se caracteriza por la formación de haces en abanico, mediante un entramado de acículas que se desarrollan en dos direcciones oblicuas que se superponen entre sí, originándose en un único punto de nucleación (formación de esfelulitas). FRISIA *et alii* (2000) describen dos subtipos de fábrica dendrítica: dendrítica *abierta* y *cerrada*. El subtipo dendrítico abierto es el más frecuente en la estalagmita *Ilargi*, mostrando la porosidad primaria intercrystalina entre los límites de los cristales (Fig. 4).

El nivel H, que marca el techo del tramo 1, es un nivel complejo en el que se amalgaman varios procesos (Fig. 5a): una superficie erosiva corta las líneas de crecimiento antiguas, marcando un vacío erosional en el registro de la estalagmita, y sobre ésta, una generación de cemento formada por cristales aciculares de color caramelo que crece directamente de forma perpendicular a la superficie y/o rellenando la porosidad intercrystalina

na asociada a la ruptura sedimentaria. Una capa de micrita de color oscuro, con granos de cuarzo y micas, tapiza los cristales anteriormente descritos (Fig. 5b). Estudios realizados al SEM (Tabla 1) han puesto de manifiesto la existencia de una capa de fosfato de calcio (probablemente *hidroxiapatito*, en base a la aparición de cristales hexagonales entre 1-2 μm ., y la relación P/Ca), como fase de cementación *diagenética* que tapiza la superficie erosiva (Fig. 6).

4.2. Tramo 2

Con un máximo desarrollo de 6,5 cm. en el eje de goteo, se caracteriza por presentar un color crema y una organización interna aparentemente irregular. Destacan dos niveles oscuros, uno en la base y otro a techo del tramo. A nivel petrológico se diferencian las siguientes texturas de crecimiento:

- **Fábrica primaria dendrítica:** Con rasgos similares a los descritos para el tramo 1, se carac-



Fig. 4. a) Fábrica dendrítica de aragonito vista al microscopio petrográfico **b)** Detalle de los haces en abanico **c)** Cristales aciculares de aragonito vistos al microscopio electrónico (SEM).

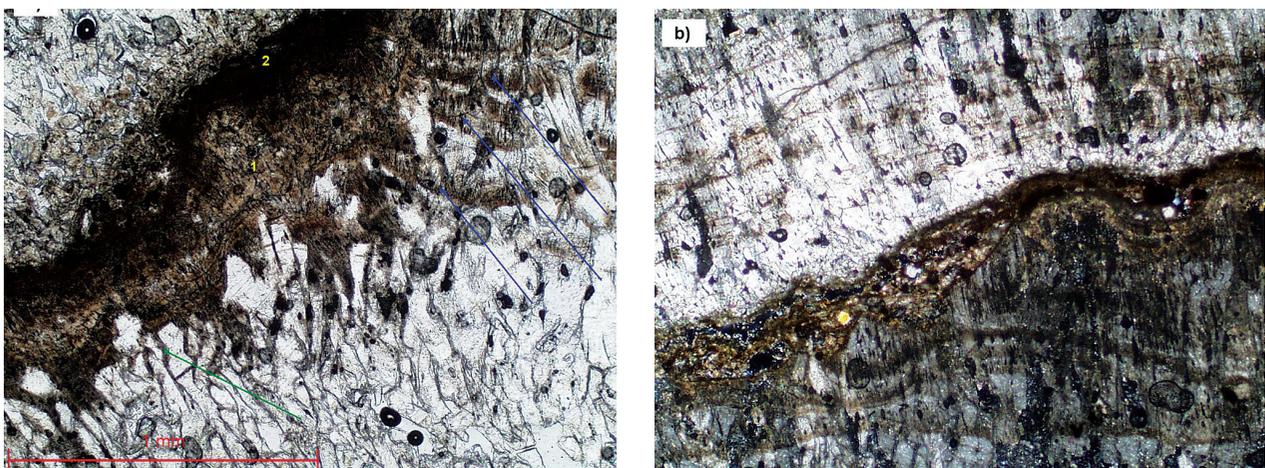


Fig. 5. a) Nivel H al microscopio petrográfico. Se puede observar cómo está formado por dos unidades diferenciadas (1 y 2) así como la base erosiva sobre la que se apoya (flecha verde) y las líneas de crecimiento que aparecen cortadas (flechas azules). **b)** Material detrítico de una banda micrítica, representado por granos de cuarzo en el nivel H.

muestra	Mayoritarios (%)				observaciones
	O	P	Ca	P/Ca	
tramo 1, nivel H	31,3	16,2	52,2	0,40	agregado coloforme de HAp
	61,3	11,7	27,0	0,56	agregado coloforme de HAp
	57,8	12,6	28,5	0,57	agregado coloforme de HAp
	59,5	12,9	25,6	0,65	pátina μm de HAp
	60,5	9,0	28,0	0,41	crisales $1\mu\text{m}$ de HAp
tramo 3	63,2	9,7	19,7	0,64	agregado coloforme de HAp
	42,8	16,8	39,7	0,55	pátina μm de HAp
	45,1	14,2	37,3	0,49	hueso quemado

Análisis SEM-EDS expresados en % en peso; Si, Al, Fe, Mn, Mg, Na, K < 1%.
P/Ca: relación molar P/Ca; Hap: hidroxiapatito.

Tabla 1: Análisis SEM-EDS de fosfatos de calcio depositados en la estalagmita *llargi* (Atapuerca, Burgos).

teriza por la formación de haces aragoníticos que parten desde un único punto de nucleación desplegándose en distintas direcciones. El subtipo *dendrítico abierto* (FRISIA *et alii*, 2000) es el más frecuente en este tramo, mostrando la porosidad primaria intercrystalina entre los límites de los cristales (Fig. 4).

- **Fábrica primaria en abanico (“Fans”):** Es el término microscópico que describe la fábrica formada por cristales con una relación L/W muy superior a 6:1 y que se abren desde un punto hacia el exterior de forma radial (en abanico). Es muy típico en espeleotemas aragoníticos pero también en calcitas con alto contenido en Mg. Al microscopio se distinguen dos subtipos, rayo (“rays”) y acicular, siendo este último subtipo frecuente en el tramo 2 de la estalagmita de Estatuas (Fig. 7).

- **Fábrica diagenética en mosaico con estructuras relicto:** Son grandes cristales equidimensionales subhedrales de calcita esparítica (>10 μm .), con bordes curvos, en los que se conservan morfologías relictas aciculares de los cristales primarios de aragonito (Fig. 8). Con luz polarizada, cada cristal calcítico presenta extinción propia, que no afecta a los vestigios aragoníticos.

El nivel F (Fig. 9), de coloración oscura debido al acúmulo de cenizas en la porosidad intercrystalina de la calcita, marca el límite entre los tramos 2 y 3. No presenta rasgos de erosión ni hiato, pero marca un cese de crecimiento cristalino y un cambio neto en la fábrica de los cristales. Asociado a este nivel F y en la base del tramo 2 en otro nivel oscuro (nivel G) de características similares, se observan varios fragmentos de carbón de tamaño centimétrico (Fig. 10).

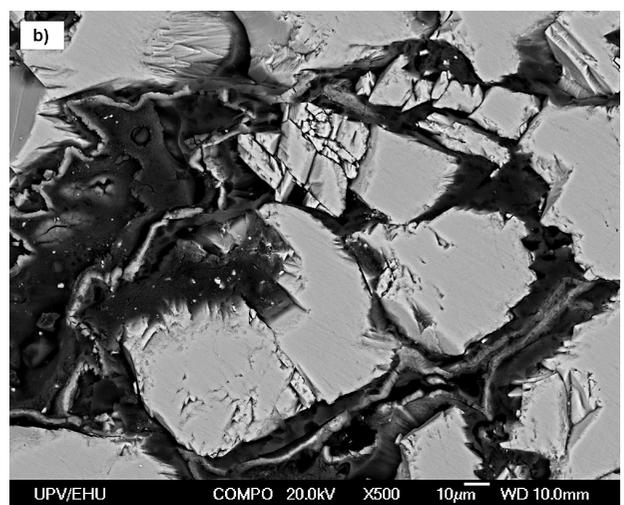
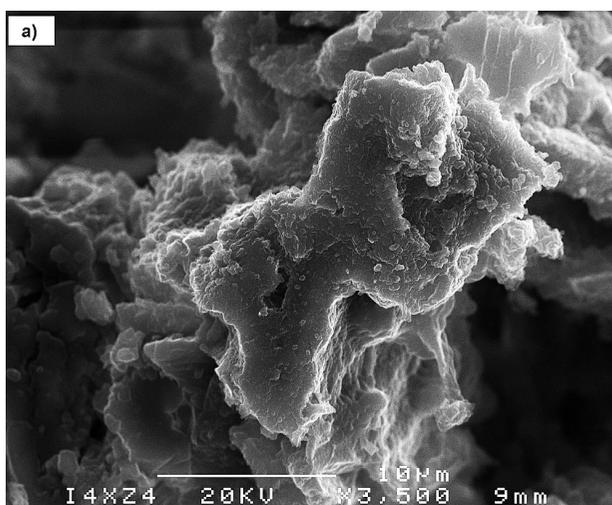


Fig. 6. a) Fosfatos presentes en el Nivel H. **b)** Zona de muestreo para la realización de la analítica del cemento isópaco que bordea los cristales de calcita (SEM).

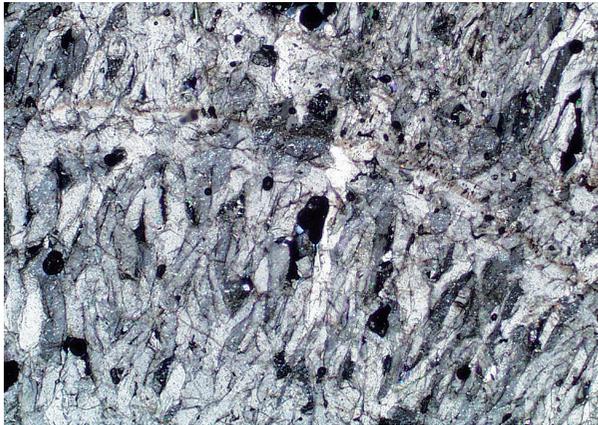


Fig. 7. Fábrica en abanico de cristales aciculares de aragonito. Microscopio petrográfico.

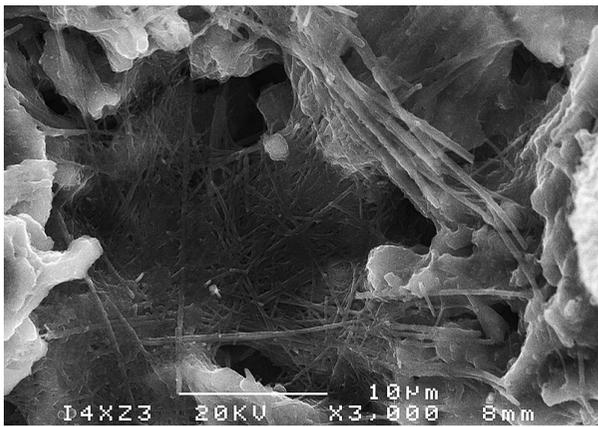


Fig. 8. Cristales en mosaico dentro de los que se aprecian cristales aciculares aragoníticos (SEM).



Fig. 9. Nivel F al microscopio petrográfico, sin superficie de erosión entre los tramos 2 y 3.

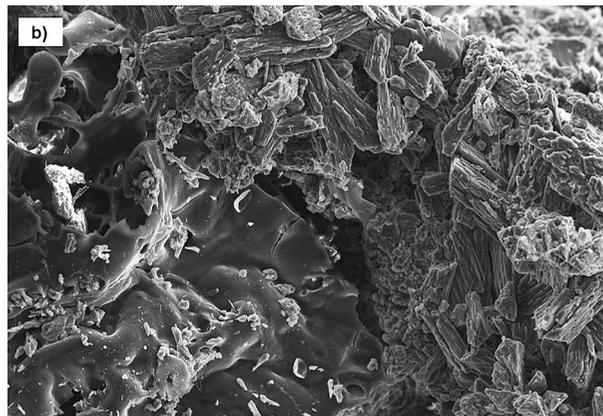


Fig. 10. a) Fragmentos de carbón centimétricos asociados a la base del tramo 2. b) Fragmento de carbón junto a cristales de calcita por encima del nivel H (SEM).

4.3. Tramo 3

Este tramo de 8 cm. de potencia, destaca por una alternancia de niveles claros y oscuros que se hace más intensa y rítmica hacia el techo de la muestra. Las láminas oscuras (niveles A – E) están compuestas por partículas microscópicas isométricas, opacas o semi-opacas, que otorgan esa coloración característica a la calcita. Estas partículas se adaptan a los cristales previos, envolviéndolos o tapizándolos sin presentar signos de corrosión. En las depresiones formadas entre los cristales aciculares de calcita, las partículas oscuras se concentran formando cúmulos de mayor espesor que sobre ellos, lo que indica que la forma de acumulación más probable para estas partículas fuera la deposición por gravedad (Fig. 11).

Junto a estos niveles oscuros también han sido observadas texturas asociadas a huesos, que en análisis realizados al SEM-EDS han mostrado un alto contenido en oxígeno, calcio y fósforo (Tabla 1).

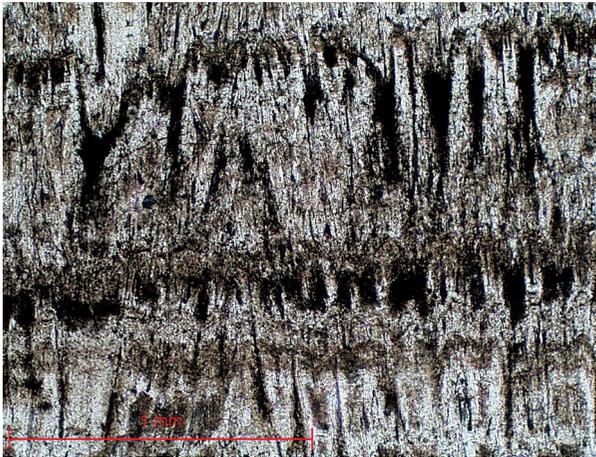


Fig. 11. Detalle de partículas microscópicas isométricas, opacas, relleno de los espacios entre acículas de calcita.

- **Fábrica primaria columnar:** Los cristales de calcita prismáticos de extinción plana, crecen de forma perpendicular a la superficie de crecimiento y se disponen de forma paralela unos a otros en idénticas orientaciones cristalográficas. Destaca el subtipo *microcristalino* (FRISIA *et alii* 2000), con un aspecto lechoso, poroso en la muestra de mano y cristales con extinción “*patchy*” al microscopio óptico. Predomina en la parte superior de la estalagmita dando lugar a cristales de hasta 26 mm. de longitud y 5 mm. de grosor abarcando varias líneas de crecimiento que no pierden su visibilidad (Fig. 12).
- **Fábrica primaria micrítica:** Son cristales euhedrales a subhedrales de calcita, menores de 4 μm . de diámetro, sin ninguna elongación preferencial. Al microscopio óptico forman láminas opacas, compactas, que tapizan las líneas de crecimiento de los cristales precipitados

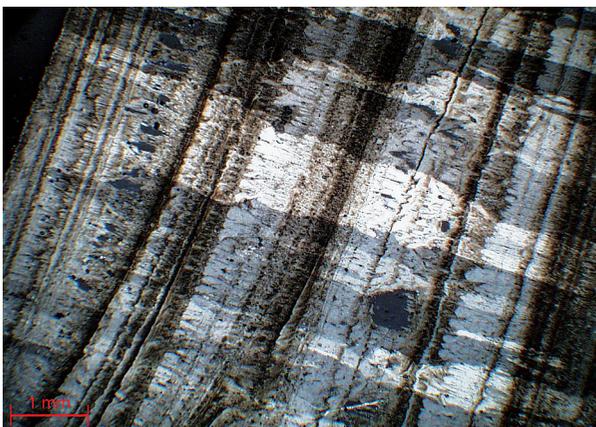


Fig. 12. Fábrica columnar microcristalina de calcita englobando las texturas primarias sin modificar las líneas de crecimiento. Microscopio petrográfico.

en estadios previos, sin producir ninguna alteración sobre ellos (Fig. 13). Asociados a estos niveles micríticos, observaciones al SEM-EDS han revelado la existencia de pátinas micrométricas de fosfato de calcio (probablemente hidroxiapatito) de origen diagenético.

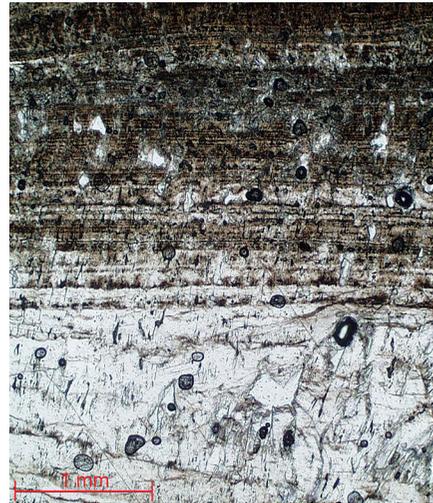


Fig. 13. Bandas de micrita depositadas sobre las líneas de crecimiento de los cristales del tramo 3.

5.- DATACIONES

Las dataciones obtenidas para la estalagmita estudiada comprenden gran parte del Holoceno y el Pleistoceno Superior. La transición entre ambas épocas está claramente delimitada por un nivel oscuro (H) que representa una laguna estratigráfica marcada por un hiato y un vacío erosional, tanto sedimentario como temporal.

Según el análisis cronológico realizado a partir de la relación isotópica U/Th (Tabla 2), el intervalo temporal que abarca la muestra estudiada queda comprendido entre los 3,1 y los 13,7 Ka BP. Estos resultados se han obtenido en dos puntos de la estalagmita situados respectivamente a 3,5 y 22 cm. desde el techo de la misma (Puntos a y f, Fig. 14).

6.- INTERPRETACIÓN PALEOAMBIENTAL

Los rasgos paleoambientales que condicionan el crecimiento de la estalagmita *llargi* han sido inferidos a partir de la evolución de la fábrica cristalina y la relación de ésta con las condiciones ambientales, tanto climáticos como los relacionados con la ocupación de la cueva.

Sample ID	Weight g	^{238}U ppb	^{232}Th ppt	$\delta^{234}\text{U}$ measured ^d	$[\text{}^{230}\text{Th}/\text{}^{238}\text{U}]$ activity ^c	$[\text{}^{230}\text{Th}/\text{}^{232}\text{Th}]$ ppm ^d	Age uncorrected	Age corrected ^e	$\delta^{234}\text{U}$ initial corrected	
a	0,1600	147 ± 1	924 ± 6	-14,7 ± 3,7	0,02944 ± 0,00086	77,5 ± 2,3	3.307,5 ± 98,4	3.122	135	-14,8 ± 3,7
b	0,1727	62 ± 0	535 ± 5	-21,3 ± 6,1	0,03907 ± 0,00154	74,9 ± 3,0	4.443,0 ± 180,8	4.187	221	-21,5 ± 6,2
c	0,2370	51 ± 0	1675 ± 7	-14,2 ± 8,2	0,05525 ± 0,00180	27,5 ± 0,9	6.289,9 ± 218,4	5.309	537	-14,4 ± 8,3
d	0,2140	66 ± 0	880 ± 5	-29,0 ± 5,2	0,05478 ± 0,00146	68,2 ± 1,8	6.333,9 ± 177,8	5.936	266	-29,5 ± 5,3
e	0,3254	61 ± 0	1170 ± 5	3,6 ± 3,5	0,11599 ± 0,00162	100,2 ± 1,4	13.391,6 ± 205,2	12.837	344	3,7 ± 3,7
f								13.889	387	

Tabla 2: Tabla de valores para las dataciones realizadas en la estalagmita Ilargi.

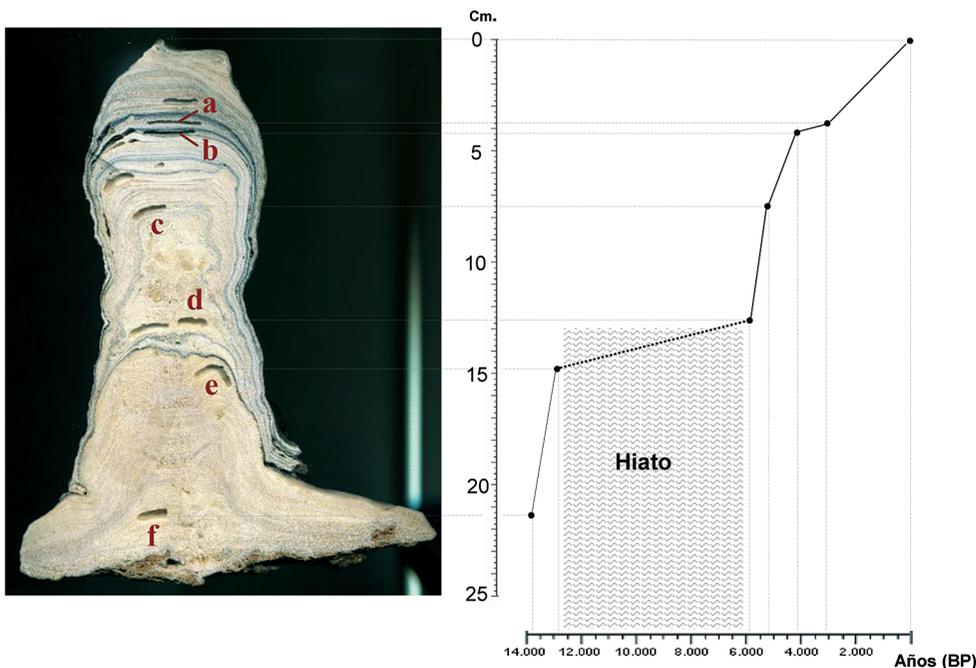


Fig. 14. Gráfica de crecimiento espeleotémico de la estalagmita Ilargi en la que se puede apreciar la tasa de sedimentación a lo largo del tiempo. Los puntos marcados (a-f) indican las zonas de muestreo para el análisis cronológico.

El primer tramo de la estalagmita abarca mil años de crecimiento (13,7-12,8 Ka) y se caracteriza por la presencia de una fábrica calcítica columnar, 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 (una relación molar de Mg/Ca superior a 0,3) pero constante (entre 0,1 y 0,3 ml/min, FRISIA *et alii*, 2000), y en un ambiente húmedo. La fábrica dendrítica, presente en la zona central del tramo 1, parece formarse en condiciones de sobresaturación similares a las de la calcita columnar (o sensiblemente superior) pero en condiciones variables de goteo. En algunos casos, el goteo puede cesar durante varios meses, coin-

ciendo con períodos secos (FRISIA y BORSATO, 2010). Se deduce una velocidad de crecimiento en torno a 0,062 mm/año, aproximadamente.

Asociado al brusco vacío erosional (12,8-5,9 Ka) que disuelve significativamente el espeleotema y crea una porosidad intercrystalina, se observa un precipitado de hidroxiapatito de escaso desarrollo que, probablemente procede del lavado del fósforo de guano depositado encima o cercano a la estalagmita. La capa micrítica con restos de material detrítico que tapiza este nivel podría corresponder a un episodio de inundación, similar al ejemplo descrito en el Pindal (STOLL *et alii*, 2009), aunque también puede tratarse de la fracción insoluble que la roca caja.

El **segundo tramo** (5,9-5,3 Ka) se caracteriza por la presencia de aragonito como fase mineral original, una alternancia de fábrica cristalina dendrítica y acicular (en abanico). Estos rasgos se corresponden con un periodo de cambios, probablemente estacionales, en el 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 alta sobresaturación de soluto (FRISIA *et alii*, 2002). La tasa de precipitación de carbonato deducida para este intervalo es de 0,08 mm/año, aproximadamente. Debido al carácter metaestable del aragonito en condiciones ambientales, el aragonito acicular de espeleotemas pre-Holocenos y Holocenos es frecuentemente remplazado o neomorfizado a calcita, proceso en el cual se altera la composición química e isotópica original (calcita diagenética en mosaico). El tránsito al tramo 3 es neto y rápido (nivel F) marcando un fuerte cambio de las condiciones ambientales de la cueva.

El **tercer tramo** refleja unas condiciones relativamente constantes de crecimiento de la calcita (fábrica columnar microcristalina), con alternancia de pequeños intervalos de no-crecimiento, representados por las láminas micríticas y/o depósito de cenizas producida por el fuego y sedimentadas por gravedad, que en ocasiones viene acompañado de fragmentos de hueso (Fig. 15). Relacionando el intervalo temporal que representa este tramo (5,3 Ka BP-actualidad) y el espesor del mismo (8 cm.) se concluye que la tasa media de crecimiento de la calcita fue muy baja

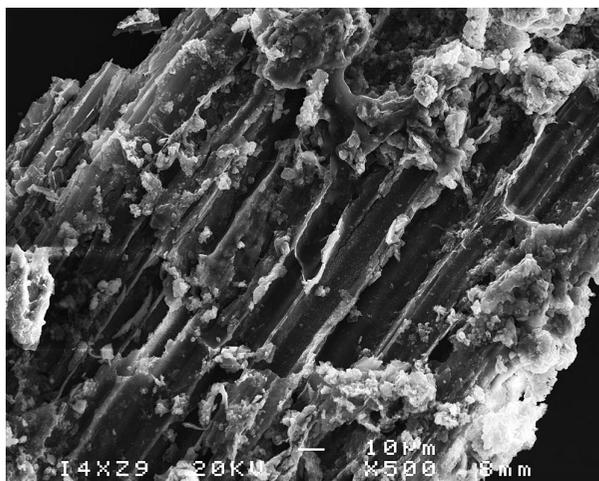


Fig. 15. Fragmento de hueso quemado del Tramo 3, visto al SEM.

variando desde 0,03 mm/año (5,3-4,2 Ka BP) al inicio, 0,0047 mm/año entre 4,2- 3,1 Ka BP y 0,012 mm/año en los últimos 3 Ka (Fig. 14). Aunque a nivel microscópico, debido a su pequeño tamaño y baja cristalinidad, no ha podido ser observado, el microscopio electrónico SEM-EDS revela la existencia de hidroxiapatito asociado a la micrita, indicando la presencia de guano en los momentos de ausencia de crecimiento del cristal. La alternancia rítmica de láminas claras y oscuras sugiere un marcada estacionalidad.

7.- CONCLUSIONES

A partir del estudio del crecimiento de los espeleotemas es posible determinar distintos factores paleoambientales, como las variaciones climáticas o los episodios de ocupación de las cuevas, siempre y cuando preserven la señal original. Conviene destacar que los carbonatos pueden sufrir modificaciones postsedimentarias, bien por estar expuestos a condiciones agresivas, o por el tiempo transcurrido desde su formación. Los análisis petrológicos de la estalagmita *llargi* muestran muy pocas evidencias de alteración diagenética lo que nos permite realizar una estimación paleoclimática y ocupacional de la Galería de las Estatuas durante el pre-Holoceno y el Holoceno. La laguna estratigráfica que marca el brusco tránsito entre los *tramos 1 y 2* (nivel H) no nos permite interpretar la evolución paleoambiental continua de los últimos 14 Ka, sino eventos temporales discretos.

Se han diferenciado tres tramos en función del tipo de crecimiento cristalino condicionado por la **evolución climática**:

7.1. El primer tramo basal (13,7-12,8 Ka BP), con predominio de una tasa de goteo uniforme y un crecimiento constante (0,062 mm/año), refleja un ambiente cálido y húmedo, sin marcada estacionalidad. El crecimiento de la estalagmita aparece interrumpido por un nivel irregular (H) en el que se amalgaman varios procesos que abarcan un lapso de tiempo de casi 6 Ka (laguna estratigráfica). La primera superficie erosiva elimina parte del registro infrayacente y está tapizada por hidroxiapatito, originado a partir del lixiviado del guano existente en la cavidad. Este nivel de murciélago también está presente en otros puntos del sistema de Cueva Mayor, siendo correlacionable, por ejemplo, con el nivel 9a de

Portalón que también marca un hiato de aproximadamente 10 Ka (CARRETERO *et alii*, 2008). La acumulación del guano, junto con la inhibición del crecimiento de la estalagmita y la presencia de micrita se relaciona con momentos de ausencia de goteo debido a un evento climático frío (tránsito Pleistoceno-Holoceno) que redujo la tasa de humedad.

7.2. El segundo tramo, que arranca en torno a los 5,9 Ka BP, muestra una tasa de crecimiento similar al tramo 1 (0,08 mm/año) pero con marcados cambios en la tasa de goteo. Se infiere, por tanto, que las condiciones ambientales oscilaban en torno a un óptimo climático que favorecía la producción de carbonato pero con una marcada estacionalidad.

7.3. El tramo superior (5,3 Ka BP-actualidad), se caracteriza por unas condiciones constantes pero más lentas de goteo en el interior de la cueva, con intercalaciones de niveles de ceniza y/o micrita que indican una pausa sedimentaria. La tasa de crecimiento muestra una brusca disminución entre los 4,2 y 3,1 Ka BP, que podría indicar unas condiciones climáticas más secas, acorde con los datos polínicos de Portalón (RUIZ ZAPATA *et alii*, 2003; 2006). La reconstrucción paleoambiental concluida para este tramo coincide con los registros paleoclimáticos descritos por MARTÍNEZ-CORTIZAS *et alii* (2009). Es posible que estos cambios fueran amplificadas por una fuerte antropización y su consecuente alteración del paisaje en la región, dado que es en éstas fechas donde aparece el mayor registro de ocupación humana de la Galería de Estatuas por la presencia de niveles de ceniza en la estalagmita estudiada. MONTSERRAT-MARTÍ (1992) indica el comienzo del impacto de la actividad antrópica sobre el paisaje en el Noroeste de la Península hacia 4 Ka BP.

Los distintos episodios de ocupación de la cueva quedan reflejados por la presencia de hueso quemado, fragmentos de carbón y cenizas en la estalagmita, indicativos de una actividad antrópica, o por la presencia de hidroxipatito, producto derivado del lixiviado de guano, indicativa de la colonización de la cueva por murciélagos.

Las evidencias de actividad humana empiezan a aparecer dentro el tramo 2 de la estalagmita, en la base y al techo del mismo. El primer registro de carácter antrópico se sitúa justo por

debajo de 5,9 Ka BP y está representado por grandes fragmentos de carbón asociados a un nivel de cenizas. No se observan más evidencias de ocupación humana hasta el techo de este tramo 2, en el que vuelve a parecer un nivel de cenizas en cronologías en torno a los 5,3 Ka BP. Estas evidencias ponen de manifiesto el carácter puntual de la presencia humana en el interior de la cueva durante el Neolítico, correlacionándose perfectamente con la parte inferior del nivel 9 del Portalón, sin llegar a la base Mesolítica (CARRETERO *et alii*, 2008).

Desde 5,3 hasta 4,2 Ka BP se produce una alternancia rítmica entre momentos de uso y abandono de la galería, que temporalmente muestran una correspondencia con los niveles de Portalón, nivel 9 (parte superior), datado entre 5,2 y 4,9 Ka BP (Neolítico), y el nivel 7/8, datado en torno a 4,5 Ka BP e interpretado como un momento de uso sepulcral de la cueva durante el Calcolítico (CARRETERO *et alii*, 2008).

Entre los 4,1- 3,1 Ka BP se produce otro episodio de ocupación en la Galería de Estatuas (presencia de láminas de ceniza), que cronológicamente se correlacionan con los niveles 6 al 3 del Portalón que datan de 3,9 a 3,5 Ka BP (transición Calcolítico-Edad del Bronce y la Edad del Bronce como tal) (CARRETERO *et alii*, 2008).

8.- AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar un especial agradecimiento al grupo de excavación e investigación de la Galería de Estatuas (Cueva Mayor, Atapuerca), así como a J.M. Carretero y B. Ruiz-Zapata por las aportaciones en la discusión.

Así mismo agradecen el apoyo técnico y humano prestado por SGIker (UPV/EHU, MICINN, GV/EJ, FSE) y los laboratorios de la Universidad de Minnesota (EE.UU.).

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.

9.- BIBLIOGRAFÍA

- BROECKER, W. S.
2006 Was the Younger Dryas Triggered by a Flood? *Science* 312 (5777): 1146-1148.

- CACHO, I., J. O. GRIMALT, M. CANALS, L. SBAFFI, N. J. SHACKLETON, J. SCHÖNFELD y R. ZAHN
- 2001 Variability of the western Mediterranean Sea surface temperatures during the last 25,000 years and its connection with the northern hemisphere climatic changes, *Paleoceanography*, 16, 40-52.
- CARBONELL, E., BERMÚDEZ DE CASTRO, J.M., PARÉS, J.M., PÉREZ-GONZÁLEZ, A., CUENCA-BESCÓS, G., OLLÉ, A., MOSQUERA, M., HUGUET, R., VAN DER MADE, J., ROSAS, A., SALA, R., VALLVERDÚ, J., GARCÍA, N., GRANGER, D.E., MARTINÓN-TORRES, M., RODRÍGUEZ, X.P., STOCK G.M., VERGÉS, J.M., ALLUÉ, E., BURJACHS, F., CÁCERES, I., CANALS, A., BENITO, A., DÍEZ, C., LOZANO, M., MATEOS, A., NAVAZO, M., RODRÍGUEZ, J., ROSELL, J. y ARSUAGA, J.L.
- 2008 The first hominin of Europe. *Nature*, 452, 365-370.
- CARRETERO, J.M.; ORTEGA, A.I.; JUEZ, L.; PÉREZ-GONZÁLEZ, A.; ARSUAGA, J.L.; PÉREZ-MARTÍNEZ, R. y ORTEGA, M.C.
- 2008 A Late Pleistocene-Early Holocene archaeological sequence of Portalón de Cueva Mayor (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain) *Munibe (Antropología-Arkeología)*, 59, 67-80.
- DOMÍNGUEZ-VILLAR, D., WANG, X., CHENG, H., MARTÍN-CHIVELET, J. y EDWARDS, R.L.
- 2008 A high-resolution late Holocene speleothem record from Kaité Cave, northern Spain: $\delta^{18}\text{O}$ variability and possible causes. *Quaternary International* 187, 40-51.
- DORALE, J.A., EDWARDS, R.L., ALEXANDER, E.C., SHEN, C.C., RICHARDS, D.A. y CHENG, H.
- 2004 Uranium-series dating of speleothems: current techniques, limits and applications. In: Mylroie, J.E., Sasowsky, I.D. (Eds.), *Studies of Cave Sediments: Physical and Chemical Records of Paleoclimate*. Kluwer Academy/Plenum publishers, New York, pp. 177-197.
- FALGUÈRES, C., BAHAIN, J. J., YOKOYAMA, Y., BISCHOFF J. L., ARSUAGA, J. L., BERMÚDEZ DE CASTRO, J. M., CARBONELL, E. y DOLO, J. M.
- 2001 Datation par RPE et U-Th des sites pléistocènes d'Atapuerca: Sima de los Huesos, Trinchera Dolina et Galería. Bilan géochronologique. *L'Anthropologie*, 105: 71-81.
- FRISIA, S. y BORSATO, A. (2010) Karst. In Alonso Zarza, A.M. y Tanner, L.H.
- 2010 Carbonates in continental settings: Facies, environments and processes. *Developments in Sedimentology, Volume 6*, 393 pp.
- FRISIA, S., BORSATO, A., FAIRCHILD, I.J. y MCDERMOTT, F.
- 2000 Fabrics of speleothems from temperate-humid settings: growth mechanisms and environmental parameters. *Journal of Sedimentary Research* 70, 1183-1196.
- FRISIA, S., BORSATO, A., FAIRCHILD, I.J., MCDERMOTT, F. y SELMO, E.M.
- 2002 Aragonite-calcite relationships in speleothems (Grotte de Clamouse, France): environment, fabrics, and carbonate geochemistry. *Journal Sedimentary Research* 72, 687-699.
- GRADZIŃSKI, M., GÓRNY, A., PAZDUR, A. y PAZDUR, M.F.
- 2003 Origin of black coloured laminae in speleothems from Cracow-Wieluń Upland. *Boreas* 32(3): 532-542.
- GRADZIŃSKI, M., HERCMAN, H., BELLA, P., DEBAENE, G. y NOWICKI, T.
- 2002 Dark coloured laminae within speleothems of the Domica Cave as an indicator of the prehistoric men activity. *Slovenský Kras* 40: 41-48.
- GRADZIŃSKI, M., HERCMAN, H., NOWAK, M. y BELLA, P.
- 2007 Age of black coloured laminae within speleothems from Domica cave and its significance for dating of prehistoric human settlement. *Geochronometria* 28, 39-45.
- HENNING, G.J., GRÜN, R. y BRUNNACKER, K.
- 1983 Speleothems, Travertines and Paleoclimates. *Quaternary Research*, 20, 1-29.
- HUGHEN, K.A., SOUTHON, J., LEHMAN, S. J. y OVERPECK, J.T.
- 2000 Synchronous radiocarbon and climate shifts during the last deglaciation. *Science*, 290, 1951-1954.
- MARTÍN-CHIVELET, J., TURRERO, M.J., MUÑOZ, M.B. y DOMÍNGUEZ-VILLAR, D.
- 2004 Los espeleotemas como indicadores de cambio climático. *Cubía* 7, 29-33.
- MARTÍN-GARCÍA, R., ALONSO-ZARZA, A. M. y MARTÍN-PÉREZ, A.
- 2009 Loss of primary texture and geochemical signatures in speleothems due to diagenesis: Evidences from Castañar Cave, Spain, *Sedimentary Geology*
- MARTÍNEZ-CORTIZAS, A., COSTA-CASAS, M. y LÓPEZ-SÁEZ, J. A.
- 2009 Environmental change in NW Iberia between 7000 and 500 cal BC, *Quaternary International*, 200, 77.
- MONTERRAT-MARTÍ, J.
- 1992 Evolución glacial y postglacial del clima y la vegetación en la vertiente sur del Pirineo: estudio palinológico., 147 pp., Zaragoza.
- MORENO, A., STOLL, H., JIMÉNEZ-SÁNCHEZ, M., CACHO, I., VALERO-GARCÉS, B., ITO, E. y 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.
- 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*, 624 pp.
- RUIZ ZAPATA, M.B., ORTEGA MARTÍNEZ, A.I., DORADO VALIÑO, M., VALDEOLMILLOS RODRÍGUEZ, A., GIL GARCÍA, M.J., ARSUAGA FERRERAS, J.L., CARRETERO DÍAZ, J.M., MARTÍNEZ MENDIZÁBAL, I. y PÉREZ GONZÁLEZ, A.
- 2003 Vegetational history during Bronze and Iron Ages in Portalón Cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain). *Quaternary climatic changes and environmental crises in the Mediterranean Region*: 99-106.

RUIZ ZAPATA, M.B., ORTEGA MARTÍNEZ, A.I., VALDEOLMILLOS RODRÍGUEZ, A., DORADO VALIÑO, M., MARTÍNEZ MENDIZÁBAL, I., GIL GARCÍA, M.J., CARRETERO DÍAZ, J.M., PÉREZ GONZÁLEZ, A., y ARSUAGA FERRERAS, J.L.

2006 Registro polínico de los perfiles sur (ATAP-1) y norte (ATAP-2) del Portalón de Cueva Mayor, Sierra de Atapuerca (Burgos). *Actas de las XX Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología*: 85-91.

STOLL, H., BANASIAK, A., JIMÉNEZ-SÁNCHEZ, M., MORENO, A., FORTES, F.J., VADILLO, J., DOMÍNGUEZ-CUESTA, M.J. y PUMARIEGA, M.

2009 Registros paleoclimáticos de estalagmitas en Asturias en base a su composición química elemental y la presencia de capas de avenida. En: *Durán, J.J. y López-Martínez, J., Cuevas turísticas, cuevas vivas, 53-60. Madrid.*

TURRERO, M.J., GARRAFÓN, A., MARTÍN-CHIVELET, J., GÓMEZ, P., SÁNCHEZ, L., QUEJIDO, A., ORTEGA, A.I. y MARTÍN-MERINO, M.A.

2004 Caracterización química del agua de goteo en la cueva Kaite y monitorización de las variaciones estacionales. *Geogaceta*, 35, 183-186.