

# Estudio preliminar sobre Geología y Tafonomía del yacimiento paleontológico de "Lo Hueco" (Cretácico Superior, Cuenca, España)

## Preliminary study on Geology and Taphonomy of the palaeontological site of "Lo Hueco" (Upper Cretaceous, Cuenca, Spain)

Fernando Barroso-Barcenilla<sup>1,2,\*</sup>, Oscar Cambra-Moo<sup>3</sup>, Manuel Segura<sup>1</sup>

*1. Departamento de Geología. Facultad de Ciencias.*

*Universidad de Alcalá de Henares. 28871 Alcalá de Henares, España*

*2. Departamento de Paleontología. Facultad de Ciencias Geológicas.*

*Universidad Complutense de Madrid. 28040 Madrid, España*

*3. Departamento de Biología. Facultad de Ciencias.*

*Universidad Autónoma de Madrid. 28049 Madrid, España*

*\* e-mail: fbarroso@geo.ucm.es*

**PALABRAS CLAVE:** Yacimiento paleontológico, Vertebrados, Cretácico Superior, Geología, Tafonomía, "Lo Hueco", Cuenca, España.

**KEY WORDS:** Palaeontological site, Vertebrates, Upper Cretaceous, Geology, Taphonomy, "Lo Hueco", Cuenca, Spain.

### RESUMEN

"Lo Hueco" ha proporcionado abundantes y diversos fósiles del Campaniense superior-Maastrichtiense inferior correspondientes, mayoritariamente a vertebrados, aunque también a plantas e invertebrados. El yacimiento se encuentra en un tramo en facies "Garumn" de la Formación Villalba de la Sierra. En él, se distingue una sucesión de arcillas margosas versicolores (V, G1, R1, G2, R2 y M) separadas por límites graduales. Esta sucesión resulta parcialmente modificada por un primer intervalo sulfatado (S1), que corta el nivel V mediante un límite neto; por una estructura canaliforme (C), que corta los niveles V, G1 y R1 por medio de una superficie erosiva; y por un segundo intervalo sulfatado (S2), que distorsiona, al menos, el nivel G2 mediante un límite neto. La práctica totalidad de los fósiles obtenidos proceden de cuatro conjuntos estratigráficos (estructura C, niveles G1 y G2, y parte inferior del nivel R2) que pueden considerarse unidades de acumulación y definirse como tafofacies, atendiendo a sus particularidades tafonómicas y geológicas. La estructura C mayoritariamente contiene macrorrestos de vertebrados con elevada alteración bioestratinómica (superficies de abrasión y elementos desarticulados y fragmentados) y distribución aleatoria. Por el contrario, las arcillas margosas grises (en especial el nivel G1) principalmente muestran macrorrestos con escasa alteración bioestratinómica y elementos asociados, parcialmente articulados o constituyendo esqueletos casi completos. La mayoría de los macrorrestos de vertebrados presentan: una primera precipitación de yeso (interna), una costra ferruginosa (superficial), y una segunda precipitación de yeso (externa, aunque puede atravesar la costra y la primera precipitación). Además, los macrorrestos óseos de la estructura C y el nivel G1 por lo general microscópicamente muestran microfracturas radiales y anillos ferruginosos (interiores). La excepcional riqueza y calidad de este yacimiento parece haberse concentrado en una llanura de inundación continental fangosa, atravesada por canales distribuidores arenosos, y expuesta intermitentemente a aguas dulces, salobres o marinas.

### ABSTRACT

The palaeontological site of "Lo Hueco" (Cuenca, Spain) contains an extraordinarily rich and varied fossil assemblage assigned to the upper Campanian-lower Maastrichtian (Upper Cretaceous), mainly composed by vertebrates, but also by plants and invertebrates, and preserved in an stratigraphic interval in "Garumn" facies (informal term for marls, clays and gypsums, mainly of reddish coloration, deposited in shallow marine, coastal or continental environments of south-western Europe during Latest Cretaceous and Early Palaeogene) belonging to the upper part of the Villalba de la Sierra Formation. In ascending stratigraphic order, a succession of green (V), grey (G1), red (R1), grey (G2), red (R2) and brown (M) levels of marly mudstones separated by gradual boundaries can be identified in the site. This succession becomes partially modified in the eastern and southern area of the outcrop by a first sulphated interval (S1) that cuts the V level by means of a net boundary, in the southern area of the outcrop by a sandy channel structure (C) that interrupts the V, G1 and R1 levels by means of an erosive surface, and in the north-eastern area of the outcrop by a second sulphated interval (S2) that distorts at least a part of the G2 level by means of a net boundary. Nearly all the macrofossil remains are concentrated in four stratigraphic lithosomes (C structure, G1 and G2 levels and lower part of the R2 level) that can be considered as accumulation units and defined as taphofacies, in view of their particular taphonomical and geological characteristics. Vertebrate macrofossils show different preservational patterns in which specific biostratinomic and fossiligenetic pathways can be differentiated. C structure contains the major

number of highly altered (with evidences of abrasion and fragmentation) and randomly distributed macrofossils. By contrast, grey marly mudstone levels (especially G1) preserve the major number of totally or partially articulated specimens (mainly of sauropods), with a relatively low degree of bone scattering. Most of vertebrate macroremains present from inside to outside: a first infilling of gypsum (reaching internal natural cavities), a ferruginous crust (covering the remains), and a second precipitation of gypsum (eventually passing through the ferruginous crust and the first infilling of gypsum). Additionally, most of vertebrate bony macroremains from the C structure and the G1 level microscopically show radial microcracks and ferruginous rings (all of them inside the bones). The exceptional richness and quality of the fossil concentration of this site seems to have been accumulated in a specific sedimentary environment (near coast continental muddy flood plain crossed by distributary sandy channels, exposed to intermittent fresh, brackish or marine water).

## 1. INTRODUCCIÓN

El yacimiento de "Lo Hueco" se encuentra al oeste del término municipal de Fuentes, en el centro de la provincia de Cuenca, centro-este de España, entre las carreteras N-320 y N-420. Está situado en una trinchera de 156.6 m de longitud y N160°E de dirección principal, excavada entre los kilómetros 106+821.70 y 106+978.30 de la línea del ferrocarril de alta velocidad Madrid-Levante, siendo sus coordenadas 2°02'50'' de longitud y 39°57'15'' de latitud en la Hoja de Fuentes (635) del Mapa Geológico 1:50.000 de España (RAMÍREZ DEL POZO *et al.*, 1975a) (Fig. 1A-C).

En el año 2007, durante el desarrollo de las obras de construcción de la plataforma del ferrocarril de alta velocidad en el tramo Arcas-Fuentes, los trabajadores que excavaban una trinchera en un pequeño cerro denominado "Lo Hueco" dejaron al descubierto, bajo conglomerados cenozoicos y a una profundidad de unos 15 m, unas arcillas margosas cretácicas con "grandes huesos" (debido a su excepcional talla y peso). Los arqueólogos encargados del seguimiento de la obra se pusieron en contacto con paleontólogos que identificaron los restos encontrados como pertenecientes a dinosaurios, posiblemente saurópodos.

Durante los siguientes meses se realizó una excavación paleontológica de urgencia, con el objetivo de recuperar de la manera más rápida y sistemática posible la máxima cantidad de restos fosilizados. Esta excavación fue singular tanto en los métodos como en los medios utilizados, dada la premura existente por continuar con la obra civil y alcanzar los plazos de finalización predeterminados (Fig. 1D). Tras el esfuerzo realizado por más de 60 especialistas y 100 peones de obra, más de 8500 macrorrestos fueron recuperados del yacimiento.

La muestra paleontológica obtenida consiste principalmente en macrorrestos de vertebrados, pero también presenta una interesante asociación de fósiles de diferentes taxones, tanto de plantas como de invertebrados. Entre los vertebrados se han encontrado, no sólo restos fósiles aislados, sino también ejemplares articulados. La mayoría de estos fósiles corresponden a restos óseos de dinosaurios saurópodos pertenecientes al grupo de los titanosaurios, habiéndose identificado además otros vertebrados, como peces (actinoptergios

y teleosteos), anfibios, tortugas (panpleurodiras de la familia Bothremydidae y pancryptodiras), reptiles escamosos, cocodrilos eusuquios, pterosaurios, y otros grupos de dinosaurios, como los euornitópodos (rabdodóntidos) y los terópodos (mayoritariamente dromeosáuridos) (ORTEGA *et al.*, 2008; BARROSO-BARCENILLA *et al.*, 2009a, CAMBRA-MOO, ESCASO *et al.*, 2009; CARENAS *et al.*, *In press.*). Esta extraordinaria asociación constituye una relevante muestra, no sólo del registro fósil de vertebrados del Campaniense superior-Maastrichtiense inferior de la Península Ibérica, sino también de todo el suroeste de Europa (Fig. 2A-F).

En el presente trabajo se resume el estado actual de los conocimientos sobre la Geología y la Tafonomía de "Lo Hueco", y se presentan los principales retos a los que se está enfrentando el equipo científico pluridisciplinar que trata de avanzar en la interpretación del entorno y las condiciones que permitieron la formación y la preservación de este interesante yacimiento paleontológico.

## 2. GEOLOGÍA

El yacimiento Campaniense superior-Maastrichtiense inferior (ORTEGA *et al.*, 2008; BARROSO-BARCENILLA *et al.*, 2009a) de "Lo Hueco" se sitúa en el extremo SO de la Rama Castellana de la Cordillera Ibérica, en el flanco E del Sinclinal Arcas-Fuentes, cerca del eje central del pliegue. Este sinclinal, relativamente grande y ligeramente asimétrico, en su extremo septentrional sigue una dirección NW-SE, curvándose progresivamente hacia el S, hasta adoptar en su extremo meridional una dirección WNW-ESE. La potencia y el buzamiento de las capas que constituyen el pliegue se incrementan progresivamente en su flanco oriental (RAMÍREZ DEL POZO *et al.*, 1975a). El sinclinal se formó por la acción de los esfuerzos compresivos de la Orogenia Alpina, que afectaron a materiales del Mesozoico, aflorando en la actualidad mayoritariamente niveles del Cretácico y el Paleógeno (Fig. 1C). Puede obtenerse información adicional sobre el contexto geológico general en los trabajos de MAS *et al.* (2002) y GARCÍA *et al.* (2004).

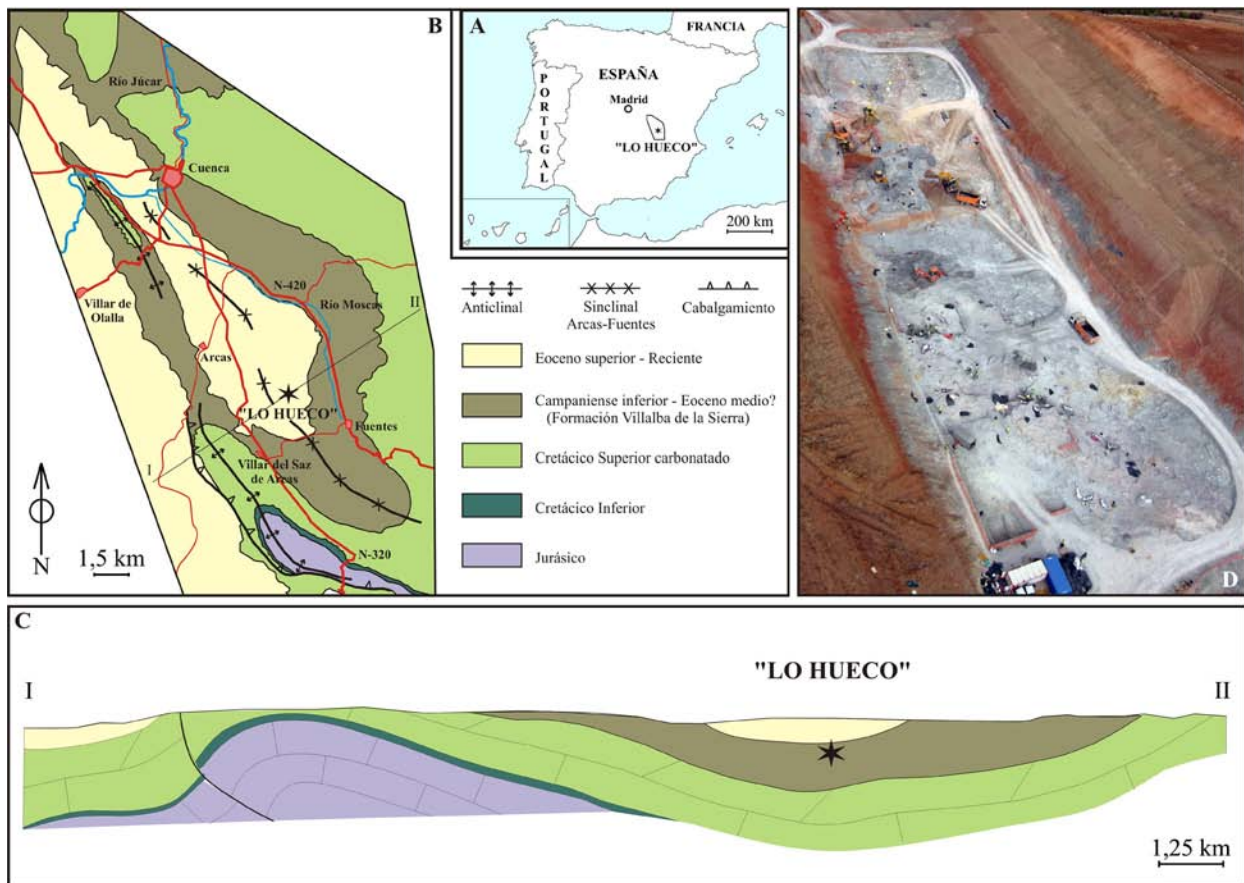


Fig. 1. - Emplazamiento geográfico y geológico del yacimiento paleontológico de "Lo Hueco". A) Localización general. B) Situación detallada dentro del Sinclinal Arcas-Fuentes, con el trazado de la siguiente figura. C) Perfil del mismo sinclinal. D) Vista aérea del yacimiento.

- Geographical and geological setting of the palaeontological site of "Lo Hueco". A) General location. B) Detailed situation inside the Arcas-Fuentes Syncline, with the transect of the next figure. C) Cross section of the same syncline. D) Aerial view of the site.

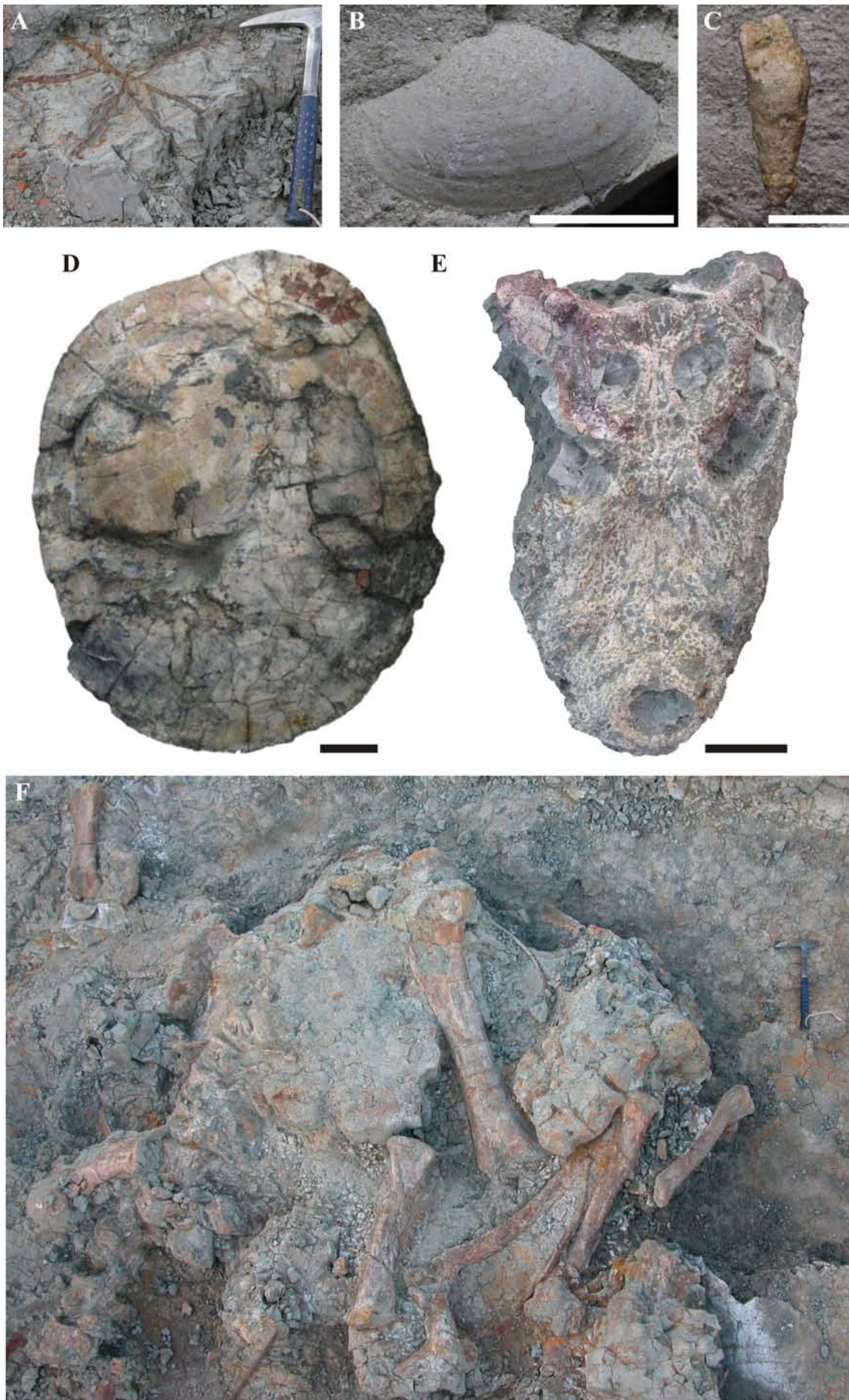
## 2.1. Estratigrafía y Sedimentología

Dentro del Sinclinal Arcas-Fuentes, las obras de construcción de la línea del ferrocarril de alta velocidad Madrid-Levante han proporcionado una de las mejores y más continuas secciones de materiales del Cretácico de todo el SO de la Rama Castellana de la Cordillera Ibérica, ya que comprende desde la Formación "Margas de Chera" (VILAS *et al.*, 1982, Albiense superior-Cenomaniense inferior) en las proximidades del Puerto de Tórdiga, hasta la Formación Villalba de la Sierra, en el Yacimiento de "Lo Hueco", mostrándose sólo ligeramente distorsionada por algunos tramos con fallas compresivas.

### 2.1.1. Formación Villalba de la Sierra

En concreto, "Lo Hueco" se sitúa en un intervalo en facies "Garumn" (término informal utilizado para margas, arcillas y yesos, principalmente de coloración rojiza, depositados en ambientes marinos someros, costeros o continentales de Europa suroccidental durante el Cretácico Terminal y el Paleógeno Temprano) que

corresponde a la parte superior de la Formación "Margas, Arcillas y Yesos de Villalba de la Sierra" (VILAS *et al.*, 1982). Esta heterolítica y poco estudiada unidad litoestratigráfica inicialmente recibió diversos nombres y fue generalmente asignada al Paleógeno. Más tarde, fue atribuida a la parte alta del Cretácico Superior, en su totalidad por VIALARD & GRAMBAST (1968) y VIALARD (1973), o en parte por MELÉNDEZ-HEVIA (1971), RAMÍREZ DEL POZO & MELÉNDEZ-HEVIA (1972) y RAMÍREZ DEL POZO *et al.* (1975b). Posteriormente, fue caracterizada informalmente por GUTIÉRREZ & ROBLES (1976), comentada en detalle por GUTIÉRREZ & ROBLES (1979), y definida formalmente como una formación por VILAS *et al.* (1982). Finalmente, fue relacionada con el ciclo eustático de segundo orden UZA-4 de HAQ *et al.* (1988) por ALONSO *et al.* (1993), SEGURA *et al.* (2002, 2006), GIL *et al.* (2004) y TORRES *et al.* (2006), entre otros. La Formación Villalba de la Sierra se encuentra separada por un límite neto de la formación infrayacente del Coniaciense al Campaniense basal denominada "Brechas dolomíticas de Cuenca" (VILAS *et al.*, 1982), y por un límite, que por lo general corresponde a una discordancia



erosiva, de un intervalo Terciario suprayacente que aún no ha sido definido formalmente (TORRES *et al.*, 2006). Lateralmente, la Formación Villalba de la Sierra parece encontrarse relacionada, hacia el norte con la Formación "Calizas, Arcillas y Arenas rojas de Santibáñez del Val" (FLOQUET *et al.*, 1982) y, hacia el sureste, probablemente, con la Formación "Calizas y Margas de la Sierra Perenchiza" (VILAS *et al.*, 1982).

La potencia de la Formación Villalba de la Sierra varía ampliamente, por lo general como resultado del carácter habitualmente erosivo de su límite superior. En los alrededores de la sección-tipo (situada a unos 2.5 km al norte de la localidad que da nombre a esta unidad litoestratigráfica), su potencia oscila entre los 150 y los 115 m (RAMÍREZ-MERINO, 1989). En aquellas áreas en las que esta formación alcanza un mayor desarrollo, su potencia puede llegar a los 500 m (VILAS *et al.*, 1982), y parece comprender del Campaniense inferior (GIL *et al.*, 2004) al Eoceno medio? (RAMÍREZ-MERINO, 1989). Paleontológicamente, con anterioridad al descubrimiento del yacimiento de "Lo Hueco", en esta unidad litoestratigráfica se habían identificado estromatolitos, foraminíferos, ostrácodos, bivalvos, gasterópodos, carofitas, rizocreciones y fragmentos de huevos de dinosaurios (VIALARD & GRAMBAST, 1968; VIALARD, 1969; GRAMBAST, 1975; GUTIÉRREZ & ROBLES, 1976; OLMO-ZAMORA & ÁLVARO, 1989; ORTIZ *et al.*, 1998). Esta formación ha sido asignada a medios lagunares costeros atravesados por canales distribuidores de materiales terrígenos, que sufrieron el establecimiento esporádico de "sebkhas", la entrada de clastos (principalmente por acción de las tormentas) y el drenaje de ciertas áreas (ALBERT-COLOMER & FERREIRO-PADÍN, 1998; LENDÍNEZ-GONZÁLEZ *et al.*, 1998).

La Formación Villalba de la Sierra se puede dividir en tres intervalos. Como indicaron ALBERT-COLOMER & FERREIRO-PADÍN (1998) y LENDÍNEZ-GONZÁLEZ *et al.* (1998), el inferior consiste en margas verdes y arcillas con intercalaciones de canales con terrígenos, y parece corresponder a una llanura o laguna costera. El intervalo intermedio, definido informalmente como "Miembro Bascuñana" (MELÉNDEZ-HEVIA, 1971), se compone de potentes niveles de yesos masivos o nodulares con delgadas intercalaciones de dolomías y calizas bioclásticas, y puede relacionarse con una "sebkha" costera con periódicas intervenciones de tormentas. El intervalo superior consiste en arcillas margosas versicolores (verdes, grises, rojas y marrones) con intercalaciones carbonatadas

y arenosas, y parece corresponder a una llanura costera fangosa con períodos edáficos (Fig. 3A).

### 2.1.2. Yacimiento de "Lo Hueco"

En "Lo Hueco" se puede observar una sucesión estratigráfica representativa del intervalo superior de la Formación Villalba de la Sierra, siguiendo una dirección general N160°E y un buzamiento principal de 10°W. En detalle, esta sucesión muestra pequeños cambios de buzamiento, horizontalizándose o, incluso, buzando ligeramente en sentido opuesto en el talud oriental del yacimiento. Sobre este pliegue sinclinal principal de mayor escala y siguiendo una dirección general aproximadamente perpendicular, se pueden identificar otros pliegues secundarios de menor escala que describen dos suaves anticlinales (en las áreas norte y sur del yacimiento, respectivamente) separados por un tenue sinclinal (en el área central del yacimiento) (BARROSO-BARCENILLA *et al.*, 2009a).

En esta sucesión se pueden diferenciar, en orden estratigráfico ascendente y separados por límites graduales, los siguientes niveles. Un intervalo de arcillas margosas verdes (V), 2 m de arcillas margosas grises (G1), 2.75 m de arcillas margosas rojas (R1), 1.5 m de arcillas margosas grises (G2), 2.25 m de arcillas margosas rojas (R2) y un intervalo de arcillas margosas marrones (M). Estos niveles muestran estratificación planar o paralela y, ocasionalmente, ondulada y masiva, y algunas delgadas intercalaciones arenosas con estratificación cruzada (especialmente en la mitad superior de los niveles G1 y G2), y, lateralmente, pueden alcanzar variaciones de espesor de hasta 0.75 m. Esta sucesión estratigráfica cambia ligeramente en tres áreas del yacimiento. En el área oriental y meridional se puede diferenciar un primer intervalo sulfatado (S1), que contiene puntos especialmente enriquecidos en arcillas y carbonatos. Este intervalo sulfatado alcanza, al menos, 50 m de longitud, 15 m de anchura y 1 m de potencia, interrumpe por medio de un límite neto el nivel V, y se hace especialmente evidente en el extremo sur del talud oriental de la trinchera. En el área sur del yacimiento se puede observar una estructura canaliforme (C), que sigue una dirección N120°E y se compone de conglomerados y brechas arenosas, arenas y arcillas arenosas. Esta estructura alcanza hasta 10 m de anchura y 3 m de potencia, en sección transversal, interrumpe los niveles V, G1 y R1 mediante una superficie erosiva, y se hace especialmente notable en el extremo sur de

Fig. 2. - Fósiles procedentes de "Lo Hueco". A) Resto vegetal carbonificado. B) Molde interno de un bivalvo. C) Molde interno de un gasterópodo. D) Tortuga Bothremyidae indet., vista dorsal del plastrón. E) Cocodrilo Eusuchia indet., vista dorsal del cráneo. F) Acumulación de restos óseos de un único ejemplar de dinosaurio saurópodo Titanosauria indet. Las escalas representan 5 mm en 2B-C, y 5 cm en 2D-E.

- Fossils collected in "Lo Hueco". A) Carbonified vegetal remain. B) Internal mould of bivalve. C) Internal mould of gastropod. D) Turtle Bothremyidae indet., dorsal view of the plastron. E) Crocodile Eusuchia indet., dorsal view of the skull. F) Accumulation of bone remains of a single specimen of sauropod dinosaur Titanosauria indet. Scale bars are 5 mm for 2B-C, and 5 cm for 2D-E.

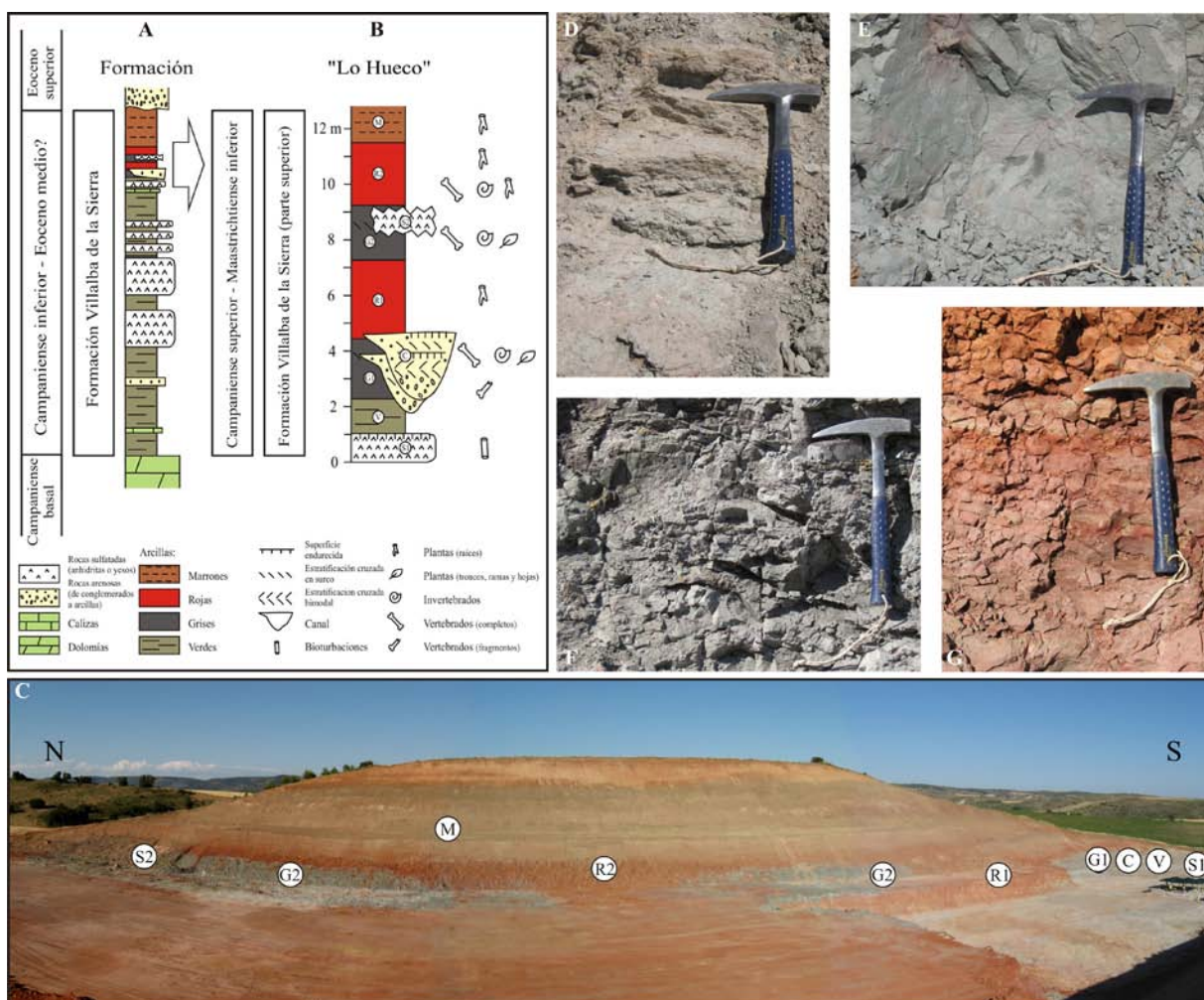


Fig. 3. - Estratigrafía de la Formación Villalba de la Sierra y de "Lo Hueco". A) Sección de la Formación Villalba de la Sierra (esquemática). B) Sección del yacimiento (detallada). C) Vista lateral del talud oriental del yacimiento. D-G) Vistas detalladas de los niveles fosilíferos: estructura C (3D), y niveles G1 (3E), G2 (3F) y R2 (3G).

- Stratigraphy of the Villalba de la Sierra Formation and "Lo Hueco". A) Section of the Villalba de la Sierra Formation (schematic). B) Section of the site (detailed). C) Lateral view of the eastern talus of the site. D-G) Detailed views of the fossiliferous levels: C structure (3D), and G1 (3E), G2 (3F) and R2 (3G) levels.

ambos taludes de la trinchera. Asimismo, muestra numerosas superficies erosivas y depósitos de tracción (estratificación cruzada en surco y, ocasionalmente, en "espina de pez" o bimodal). En el área nororiental del yacimiento se puede diferenciar un segundo intervalo sulfatado (S2), que contiene puntos especialmente enriquecidos en arcillas y carbonatos. Este intervalo sulfatado alcanza 25 m de longitud, 15 m de anchura y 1.5 m de potencia, interrumpe por medio de un límite neto, al menos, el nivel G2 y se hace especialmente evidente en el extremo norte del talud oriental de la trinchera (BARROSO-BARCELILLA *et al.*, 2009a, CARENAS *et al.*, *in press.*) (Fig. 3B-C).

## 2.2. Litología y Mineralogía

La sucesión de arcillas margosas versicolores (de V a M) contiene una proporción relativamente elevada de minerales de la arcilla (>85%), y moderada de yesos (10-5%) y carbonatos de calcio (aparentemente calcita). Los minerales

arcillosos de estos niveles comprenden illita (65-30%), caolinita (50-20%), esmectita (25-0%) y clorita (2.5-0%) (BARROSO-BARCELILLA *et al.*, 2009a). La estructura arenosa (C) presenta una proporción comparativamente alta de clastos (mayoritariamente cantos de sílice y fragmentos de hueso, pero también de "cantos blandos" de arcillas y carbonatos), y moderada de matriz y cemento (<20%) (BARROSO-BARCELILLA *et al.*, 2009a; GONZÁLEZ-ACEBRÓN *et al.*, 2010). En su fracción de arcillas arenosas muestra una proporción relevante de cuarzo (30-25%), calcita (20-15%), feldespato (10-5%) y minerales de la arcilla (55-45%).

Todos los niveles estratigráficos de este yacimiento contienen una proporción significativa de yeso, pero este mineral es especialmente abundante en los intervalos S1 y S2. En estos dos intervalos irregulares, aunque se identifican ciertos puntos especialmente enriquecidos en carbonatos (~20%), los sulfatos pueden sobrepasar el 65%. El yeso adquiere una amplia

diversidad de morfologías de cristales (selenita, lenticular, acicular, roseta, agregado de dos microcristales, asociación de dos macrocristales, empalizada, alabastrina, especular-tabular, fibrosa), variedades (macla en "punta de flecha", macla en "codo", textura "sacaroidea", estructura "malla de gallinero") y colores (incolore, blanco, rojo, negro). Las morfologías selenita, lenticular, acicular, roseta, agregado de dos microcristales, asociación de dos macrocristales, empalizada, alabastrina y especular-tabular se localizan generalmente en oquedades centimétricas, mientras que la morfología fibrosa se encuentra habitualmente en diaclasas decamétricas. Algunas de estas fracturas, que son especialmente numerosas en la parte sur del talud oriental de la trinchera actuaron como pequeñas fallas en las que se han podido apreciar deslizamientos de hasta 10 cm. La mayoría del sulfato parece proceder del potente, yesífero e infrayacente "Miembro Bascuñana", correspondiente a la parte media de la Formación Villalba de la Sierra, por procesos post-deposicionales de transporte y precipitación de fluidos enriquecidos en este compuesto químico. Sin embargo, no puede descartarse que una parte del sulfato presente en los intervalos S1 y S2 no tenga un origen primario, es decir, que se haya formado por primera vez durante la sedimentación del propio yacimiento (BARROSO-BARCENILLA, *et al.*, 2009a; CARENAS *et al.*, *in press.*).

### 3. TAFONOMÍA

La totalidad de los fósiles extraídos en el yacimiento de "Lo Hueco" constituye una muestra que puede ser considerada como una extraordinaria acumulación en todo lo referido a su riqueza y su abundancia (*sensu* SHIPMAN, 1981; LYMAN, 1994). Pero estas dos no son las únicas características que definen la muestra recuperada. La mayoría de los macrorrestos, pertenecientes a distintos grupos de plantas y animales, se han preservado con excepcional calidad teniendo en cuenta el tipo de afloramiento paleontológico. Las plantas, principalmente representadas por macrofragmentos de tallos y hojas de herbáceas, y troncos y ramas de leñosas, aparecen casi exclusivamente preservadas como restos carbonificados (*sensu* FERNÁNDEZ-LÓPEZ, 2000) (Fig. 2A). En el caso de los troncos y las ramas de mayor grosor, los macrorrestos fósiles habitualmente mantienen gran parte del volumen original y presentan el interior casi completamente reemplazado por yeso. Los invertebrados, en su mayoría se preservan como moldes internos de arcilla margosa (los bivalvos y algunos gasterópodos) o de yeso (gran parte de los gasterópodos) (Fig. 2B-C). Los vertebrados, como es habitual en este tipo de yacimientos paleontológicos, se encuentran representados casi exclusivamente por restos biomineralizados (*sensu* OLSON, 1980; LÓPEZ-MARTÍNEZ & TRUYOLS,

1994; ROGERS *et al.*, 2007), constituyendo los huesos, los dientes, las placas, los osteodermos y las escamas la inmensa mayoría de los elementos preservados en "Lo Hueco" (Fig. 2D-F). No se han obtenido cáscaras de huevos ni se han observado marcas de huellas de vertebrados. En lo referente a los microfósiles, los palinomorfos se hayan representados principalmente por esporas y pólenes de aspecto blanquecino (PEYROT *et al.*, 2010), lo que probablemente refleja un bajo grado de carbonificación. Por su parte, las carofitas, las conchas de moluscos y los peloides fecales resultan muy escasos. Asimismo, se debe destacar que, por el momento, no se han obtenido ostrácodos (BARROSO-BARCENILLA *et al.*, 2009a), lo que puede revelar una cierta tendencia en la diagénesis hacia la desaparición de muchos de los restos originalmente carbonatados.

#### 3.1. Bioestratinomía

Los fósiles de la estructura C principalmente presentan tamaños centimétricos y aparecen con grados de alteración (abrasión y fragmentación) elevados, probablemente debido al efecto de un entorno sin-deposicional altamente dinámico, o como consecuencia de eventos post-deposicionales de reelaboración (GONZÁLEZ-ACEBRÓN *et al.*, 2010). Por el contrario, los fósiles de los niveles G1 y G2 y la parte inferior del nivel R2 generalmente alcanzan tamaños decimétricos y aparecen poco alterados (sin signos evidentes de procesado mecánico por transporte prolongado o reelaboración). En concreto, G1 presenta los macrofósiles de mayor tamaño recuperados en "Lo Hueco" que, cuando aparecen aislados y muestran morfologías alargadas (generalmente elementos óseos correspondientes a las extremidades), además suelen presentar orientaciones preferenciales paralelas y perpendiculares a la estructura C. G1 también contiene varios esqueletos parcialmente articulados (BARROSO-BARCENILLA *et al.*, 2009a; CAMBRA-MOO *et al.*, 2009). De hecho, más de 14 esqueletos parcialmente articulados han sido identificados y atribuidos al grupo de los saurópodos titanosaurios. Si bien es necesario un estudio más profundo, estos esqueletos parcialmente articulados presentan una serie de características que deben ser tenidas en cuenta para interpretar su alteración bioestratinómica. Concretamente, estos ejemplares muestran posiciones de enterramiento mayoritariamente paralelas a la estructura C que, en principio, no parecen fortuitas, con torsiones en el esqueleto (contracciones que afectan al eje axial, principalmente localizadas en el cuello y la cola, y a las extremidades). En G1 también se han identificado algunas fracturas oblicuas en varios huesos largos, posiblemente originadas con anterioridad al enterramiento y sobre las que posteriormente ha precipitado yeso (BARROSO-BARCENILLA *et al.*, 2009a). Por su parte, G2 y R2 (parte inferior) contienen fósiles que rara vez están articulados y normalmente aparecen distribuidos

aleatoriamente (no presentan orientación preferencial).

### 3.2. Fosildiagénesis

Como ya se ha indicado, los macrorrestos óseos constituyen la mayor parte de la muestra fósil obtenida, por lo que no sorprende que presenten la mayor variabilidad de estados de alteración tafonómica. A pesar de esta variabilidad, resulta posible identificar en la mayoría de los fósiles de vertebrados un patrón similar de preservación en el que se distingue (Fig. 4A-C): una primera precipitación de yeso (con morfologías especular-tabular, selenita o lenticular, y que alcanza el interior de los tejidos óseos), una costra ferruginosa que cubre la superficie externa de los huesos, y una

segunda precipitación de yeso (con morfologías fibrosa y selenita, y que eventualmente atraviesa la costra ferruginosa y el primer relleno de yeso arriba descrito) (BARROSO-BARZENILLA *et al.*, 2009a; CAMBRA-MOO *et al.*, 2009). La costra ferruginosa, compuesta por hematites y/o goethita, es generalmente más gruesa en los fósiles de la estructura C y el nivel G1, que en los del nivel G2 y la parte inferior del nivel R2. Sobre algunos fósiles de vertebrados, casi todos pertenecientes al nivel G2, también se ha identificado pirita microcristalina precipitada en el interior de sus tejidos (BARROSO-BARZENILLA *et al.*, 2009a).

Además de estas transformaciones macroscópicas generales, que pueden ser observadas con facilidad a simple vista, se han explorado las transformaciones microscópicas realizando y estudiando láminas delgadas en

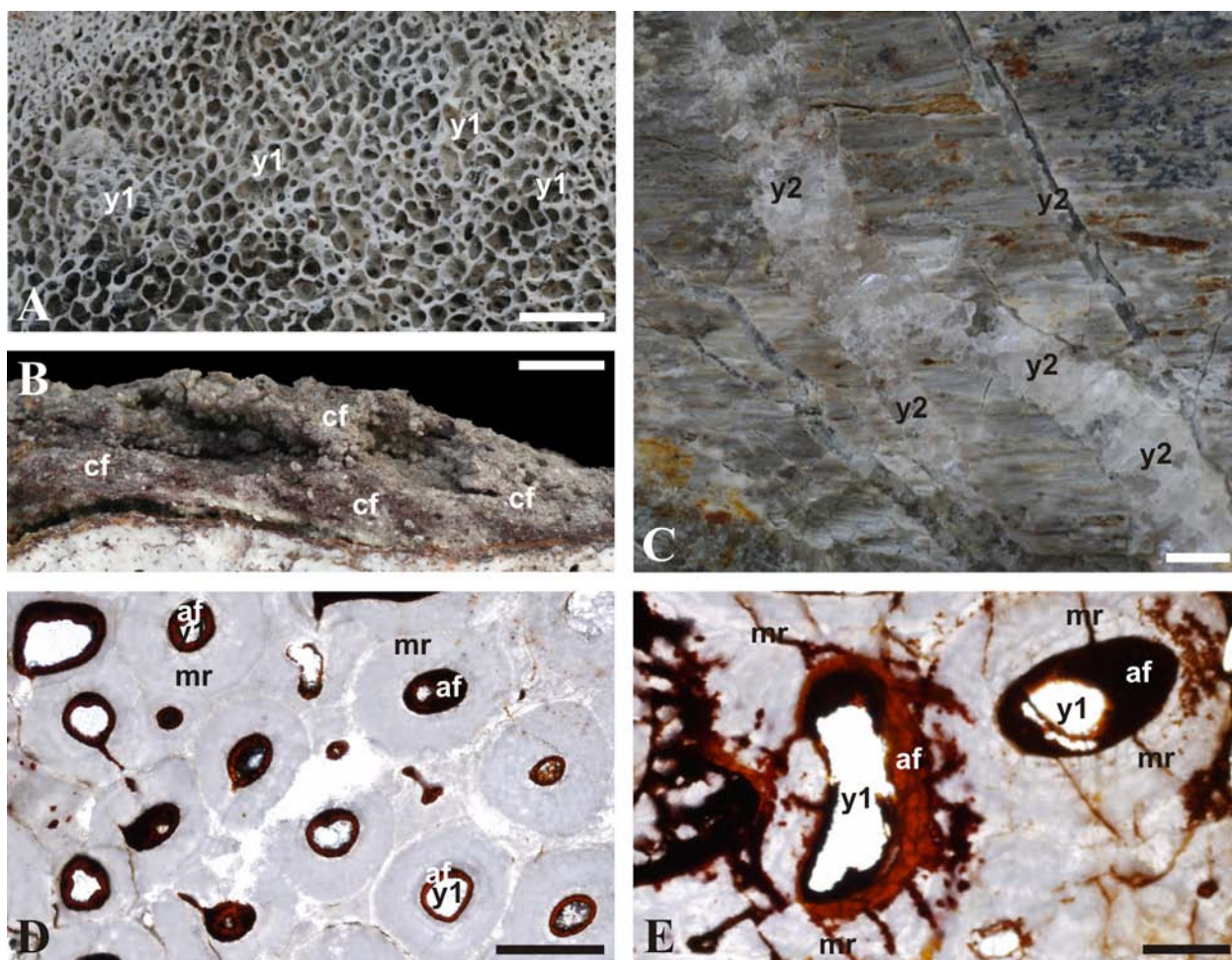


Fig. 4. - Fosildiagénesis. A) Primera precipitación de yeso (y1) en el interior de un hueso del nivel G2. B) Costra ferruginosa (cf) sobre un hueso del nivel G1. C) Segunda precipitación de yeso (y2) afectando a la costra ferruginosa y el primer relleno de un hueso del nivel G2. D-E) Vistas general (4D) y detallada (4E) de una lámina delgada de un hueso del nivel G1, mostrando microfisuras radiales (mr), anillos ferruginosos (af) y la primera precipitación de yeso (y1). Las escalas representan 5 mm en 4A, 2 mm en 4B-C, 500  $\mu$ m en 4D, y 200  $\mu$ m en 4E.



diversos restos óseos de la muestra fósil (Fig. 4D-E). En el interior de la mayoría de los restos procedentes de la estructura C y el nivel G1 se pueden identificar microalteraciones relacionadas con procesos acontecidos durante la fosildiagénesis. Se han reconocido ciertas alteraciones irregulares de la microestructura ósea que, en principio, parecen estar relacionadas con las descritas por HACKETT (1981) en yacimientos arqueológicos. Según el mismo autor, estas señales evidenciarían la dinámica destructiva y/o preservadora de los microorganismos saprófitos implicados en la descomposición de los vertebrados ("microscopical focal destruction"). Entre ellas, por el momento, se han identificado microfracturas radiales (PFRETZSCHNER, 2004) correspondientes a la alteración física del hueso al perder su matriz orgánica y comenzar el reemplazamiento del compuesto químico original. Estas microfracturas atraviesan el hueso lamelar de las osteonas secundarias y los espacios intersticiales del hueso compacto. Por su parte, la mayoría de los canales vasculares o haversianos presentan un anillo de color rojizo, formado por material ferruginoso que ha precipitado en la zona periférica del lumen del canal vascular, similar al mostrado por PREVIETA & GONZÁLEZ-RIGA (2009). Esta precipitación ferruginosa tiñe los tejidos colindantes dentro de la osteona secundaria. Las partes internas del lumen de los canales de Havers están rellenas de yeso (correspondiente a la primera precipitación de este mineral arriba citada), quedando en la mayoría de las ocasiones rodeadas por el anillo de material ferruginoso. Como muestra el patrón macroscópico, la superficie externa de los huesos se suele encontrar recubierta por una costra ferruginosa y una segunda precipitación de yeso. En el interior de esta costra ferruginosa, se pueden reconocer cristales de yeso (con morfologías especular-tabular, selenita o lenticular), que parecen corresponder a la primera fase de precipitación de este mineral y, en ocasiones, también resulta posible identificar cristales de cuarzo (de procedencia detrítica). A pesar de todas estas observaciones, resulta evidente que serán necesarios análisis adicionales para poner de manifiesto las diferencias entre las fases tempranas y tardías de los procesos diagenéticos apuntados (*sensu* PFRETZSCHNER, 2004).

### 3.3. Tafofacies

Los patrones bioestratinómicos y fosildiagenéticos descritos anteriormente permiten caracterizar, dentro de la muestra fósil de "Lo Hueco", los cuatro conjuntos estratigráficos o litosomas fosilíferos como tafofacies (*sensu* FERNÁNDEZ-LÓPEZ, 2000): estructura C, niveles G1 y G2, y parte inferior del nivel R2. Estas cuatro tafofacies se caracterizan atendiendo a sus particularidades geológicas y tafonómicas. Su caracterización como tafofacies permite aunar toda la información extraída de la sección

estratigráfica y proponer hipótesis para inferir el origen de la acumulación fósil y, por tanto, de la formación del propio yacimiento de "Lo Hueco". A pesar de que G2 y R2 (parte inferior) compartan numerosas características geológicas y tafonómicas, se ha decidido proponerlos como dos tafofacies diferentes tomando como base la mayor proporción de materia orgánica que contiene el primer nivel, y la mayor proporción de hierro que presenta el segundo (CAMBRA-MOO *et al.*, 2009) (Fig. 5).

## 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

1. El yacimiento paleontológico de "Lo Hueco" ha proporcionado una extraordinaria cantidad y diversidad de fósiles del Campaniense superior-Maastrichtiense inferior. La mayoría de ellos corresponden a vertebrados, aunque también se han obtenido numerosos macrorrestos de plantas e invertebrados. Geológicamente, el yacimiento se encuentra en un tramo estratigráfico en facies "Garumn" perteneciente a la parte alta de la Formación Villalba de la Sierra. En el mismo, se distingue una sucesión de niveles de arcillas margosas verdes (V), grises (G1), rojas (R1), grises (G2), rojas (R2) y marrones (M), separadas por límites graduales. Esta sucesión se encuentra parcialmente modificada en la parte este y sur del yacimiento por un primer intervalo sulfatado (S1), que corta el nivel V mediante un límite neto; en el extremo sur por una estructura canaliforme (C), que corta los niveles V, G1 y R1 por medio de una superficie erosiva; y en la parte noreste por un segundo intervalo sulfatado (S2), que distorsiona, al menos, el nivel G2 mediante un límite neto. La práctica totalidad de los fósiles obtenidos proceden de cuatro conjuntos estratigráficos o litosomas (estructura C, niveles G1 y G2, y parte inferior del nivel R2).

2. La excepcional riqueza y calidad de este yacimiento parece haberse concentrado en una llanura de inundación continental fangosa costera, atravesada por canales distribuidores arenosos. Este paleoambiente experimentó períodos sucesivos de influencia acuática, principalmente de agua dulce (*e.g.*, bivalvos uniónidos), pero ocasionalmente también de agua salobre o marina (*e.g.*, *Thalassinoides*, estratificación cruzada en "espina de pez" o bimodal, tortugas pancryptodiras), durante los cuales la energía y el volumen del medio osciló notablemente. En concreto, la estructura C parece corresponder a uno de los canales distribuidores arenosos, y el nivel G1 a la parte proximal (adyacente a este canal distribuidor) de la llanura de inundación fangosa. Por su parte, el nivel G2, y la parte inferior del nivel R2 posiblemente representan la parte distal (alejada de los canales distribuidores) y la porción parcial o totalmente desecada de la llanura de inundación fangosa, respectivamente (BARROSO-BARCENILLA *et al.*, 2009a; SEGURA *et al.*, 2010).

## TAFOFACIES

		C	G1	G2	R2 (Parte inferior)
<b>GEOLOGÍA</b>					
<b>Sedimentología</b>	Composición	Areniscas, conglomerados, brechas y arcillas arenosas	Arcillas margosas Alta proporción de materia orgánica	Arcillas margosas Alta proporción de materia orgánica	Arcillas margosas Alta proporción de hierro
	Estructura	Estratificación cruzada en surco y en "espina de pez" o bimodal	Estratificación planar o paralela y ondulada	Estratificación planar o paralela	Estratificación planar o paralela
<b>TAFONOMÍA</b>					
<b>Muestra Fósil</b>	Tamaño	Centimétrico	Decimétrico	Decimétrico	Decimétrico
<b>Bioestratinomía</b>	Erosión	Abrasión Fragmentación	No	No	No
	Dispersión	Aleatoria	Orientada (respecto a C)	Aleatoria	Aleatoria
	Complejidad	Aislado Fragmentado	Articulado Completo (> 14 esqueletos de saurópodos)	Poco articulado Incompleto	Poco articulado Incompleto
<b>Fosildiagénesis</b>	Vertebrados	Microfracturas (internas) Anillos ferruginosos (internos) Dos fases de yeso (interna y externa) Costra ferruginosa gruesa (superficial)	Microfracturas (internas) Anillos ferruginosos (internos) Dos fases de yeso (interna y externa) Costra ferruginosa gruesa (superficial)	Dos fases de yeso (interna y externa) Costra ferruginosa delgada (superficial)	Dos fases de yeso (interna y externa) Costra ferruginosa delgada (superficial)
<b>Inferencia</b>	Energía	Alta - Media	Media - Baja	Baja	Baja
	Tasa de sedimentación	Alta	Media	Baja	Baja

Fig. 5. - Caracterización geológica y tafonomía de las cuatro tafofacies diferenciadas en "Lo Hueco".  
- Geological and taphonomical characterization of the four taphofacies differentiated at "Lo Hueco".

3. Al respecto de la Tafonomía de los macrorrestos obtenidos en el yacimiento de "Lo Hueco", se debe destacar que las plantas se encuentran preservadas como fragmentos carbonificados, con la parte interna de los ejemplares más gruesos reemplazada por yeso. La mayoría de los invertebrados se presentan como moldes internos de arcilla margosa o yeso. Los vertebrados se encuentran representados exclusivamente por restos biomineralizados (principalmente huesos, dientes y escamas). La mayoría de los macrorrestos de la estructura C alcanzan tamaños centimétricos, y se encuentran altamente alterados (con evidencias de abrasión y fragmentación) y distribuidos aleatoriamente, posiblemente como consecuencia de un entorno de depósito de alta energía. Por el contrario, los macrorrestos de los niveles G1 y G2, y de la parte inferior del nivel R2 generalmente alcanzan tamaños decimétricos y se mantienen enteros (con una proporción inusualmente alta de porciones

de vertebrados anatómicamente conectados en G1, incluyendo varios ejemplares con esqueletos prácticamente completos y próximos a la estructura C). La mayoría de los fósiles morfológicamente alargados (*e.g.*, fémures, húmeros) que aparecen aislados en el nivel G1 se presentan orientados en paralelo y en perpendicular al eje principal de la estructura C. Por lo general, los vertebrados, macroscópicamente, presentan, del interior al exterior: una primera precipitación de yeso rellenando las cavidades naturales que quedan tras la degradación de los tejidos orgánicos, una costra ferruginosa cubriendo su superficie externa, y una segunda precipitación de yeso que en ocasiones atraviesa la costra ferruginosa y el primer relleno de yeso. Microscópicamente, la mayoría de los vertebrados de la estructura C y el nivel G1 muestran microfracturas radiales, anillos ferruginosos y una primera precipitación de yeso (en el interior de los huesos), y una costra ferruginosa y una segunda precipitación de yeso

(cubriendo y atravesando, respectivamente, los huesos).

4. La estructura C, los niveles G1 y G2, y la parte inferior del nivel R2 constituyen cuatro conjuntos estratigráficos o litosomas de acumulación de fósiles que pueden ser definidos como tafofacies, considerando sus respectivas caracterizaciones tafonómicas y particularidades geológicas. Los esqueletos de mayor tamaño, más completos y articulados registrados en el nivel G1 parecen haber quedado orientados y enterrados en paralelo a la estructura C. Estos espectaculares dinosaurios, cuya asociación podría considerarse una tafocenosis (*sensu* FERNÁNDEZ-LÓPEZ, 2000), mantienen posiciones de muerte que, en principio, no parecen fortuitas y, algunos de ellos, muestran ciertas características que pueden estar asociadas al enterramiento relativamente rápido y la influencia acuática durante la descomposición (*e.g.*, torsiones en el eje axial, contracciones en las extremidades; WEIGELT, 1927/1989; SEILACHER *et al.* 1985; HAYNES, 1995; CAMBRA-MOO, 2006; CAMBRA-MOO *et al.*, 2008). La ausencia de alteraciones significativas producidas por grandes carroñeros, la escasa dispersión de los huesos (manteniéndose esqueletos con alto grado de articulación), la notable preservación de la microestructura de los mismos (sin signos evidentes de procesado mecánico de elementos óseos causado por transporte prolongado o reelaboración intensa) y la carencia de señales destacables de alteración subaérea permiten conjeturar sobre los posibles orígenes de esta tafocenosis. Respecto al mecanismo que generó la extraordinaria acumulación (*sensu* BEHRENSMEYER, 2007) presente en el nivel G1, se puede sugerir que semejante concentración de grandes dinosaurios posiblemente se produjo tras uno o varios eventos de mortalidad elevada (masiva o no) por causas "biogénicas" de tipo intrínseco (relacionadas con las actividades normales de los organismos, como los comportamientos gregarios; ROGERS & KIDWELL, 2007). Las causas de acumulación "físicas" (debidas a la acción del agua o el sedimento) no parecen tan probables en un escenario donde existen ejemplares de gran tamaño, que son difíciles de transportar, y donde el grado de articulación resulta tan elevado. Consiguientemente, la hipótesis más plausible relacionaría la formación de G1 con eventos de desbordamiento de un canal acuático (estructura C) que podrían haber formado "lodazales-trampa" sobre corredores habituales de tránsito de animales, o incluso bebederos asociados a charcas regulares o esporádicas que también actuaran como atolladeros naturales. Por su parte, en el nivel G2 y en la parte inferior del nivel R2 la mayoría de los macrorrestos aparecen dispersos, escasamente articulados y distribuidos aleatoriamente, por lo que entre las causas de acumulación de los mismos parecen ser más probables las "físicas" y/o las "biogénicas" de tipo externo.

5. Analizándolo en su conjunto, "Lo Hueco" puede considerarse como un yacimiento con cuatro tafofacies distintas, es decir, con diferentes concentraciones de restos biomineralizados que pueden distinguirse geológica y tafonómicamente y que probablemente corresponden a distintas facies de un mismo entorno de depósito. Sin embargo, se debe destacar que la fase de investigación de este reciente y sorprendente yacimiento acaba de empezar, por lo que aún son necesarios numerosos estudios geológicos, tafonómicos y paleontológicos adicionales para inferir todos los procesos implicados en la formación de "Lo Hueco". Precisamente, para progresar en la interpretación del entorno y las condiciones que permitieron la formación y preservación del yacimiento paleontológico, ya han comenzado a realizarse diversos análisis de carácter, tanto geológico como tafonómico.

6. Los análisis geológicos iniciados pretenden alcanzar varios objetivos, entre ellos, 1) avanzar en la reconstrucción de la arquitectura estratigráfica del yacimiento de "Lo Hueco" y del conjunto de la parte superior de la Formación Villalba de la Sierra. 2) Determinar e interpretar más detalladamente las estructuras sedimentológicas y los componentes litológicos y mineralógicos de los mismos, mediante distintas técnicas (Microscopía Óptica, Microscopía Electrónica de Barrido, Difracción de Rayos X, Microsonda Electrónica de Barrido, Catodoluminiscencia), con el fin de inferir el contexto paleogeográfico y paleoambiental del medio de depósito. 3) Concretar e interpretar el entorno en el que "Lo Hueco" se formó, relacionando cada una de las zonas del medio de depósito (*e.g.*, canal distribuidor, llanura de inundación) con sus respectivas paleoecologías. Para ello, se procederá a la preparación de muestras litológicas y paleontológicas para su posterior estudio mediante técnicas de: a) Espectrometría de Masas con Plasma de Acoplamiento Inducido (porcentaje de tierras raras, como La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Yb, Lu), b) Análisis de Isótopos Estables (contenido en elementos como  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{CO}_3}$ ,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ ), c) Análisis de Isótopos Inestables (contenido en elementos como  $\delta^{87}\text{Sr}$ ,  $\delta^{34}\text{S}$ , especialmente útil en muestras sulfatadas: anhidritas y yesos), y d) Análisis de Carbono Orgánico Total (TOC). Por último, 4) concretar la edad de "Lo Hueco" y del intervalo litoestratigráfico en el que se encuentra, integrando las aproximaciones de datación aportadas por la estratigrafía (posición relativa, correlación), la geoquímica, la magnetoestratigrafía (Magnetización Remanente Natural) y la paleontología.

Por su parte, los análisis tafonómicos pretenden 1) desarrollar un completo estudio estadístico de la riqueza y diversidad de los macrorrestos obtenidos en "Lo Hueco" en relación a su atribución a un grupo biológico y/o morfológico determinado o a una unidad anatómica específica. 2) Analizar en detalle los restos preservados en cada

una de las tafofacias, describiendo sus estados de alteración bioestratinómica (e.g., meteorización, transporte) y su caracterización fosildiagenética (e.g., molde interno, molde externo). 3) Identificar y estudiar los sesgos más significativos asociados a la muestra fósil, examinando los niveles de dispersión, en relación a los grados de preservación de articulaciones biológicas y de solapamiento de elementos. Para todo ello, y ante la evidencia de que los restos acumulados en la asociación fósil de "Lo Hueco" presentan un elevado nivel de disparidad en relación a sus características biológicas (tamaño, forma) y tafonómicas (alteración), deberán analizarse con todo detalle: a) las relaciones entre los factores paleoambientales y las señales que impliquen procesos de alteración (meteorización, transporte, mineralización), b) la dispersión y completitud de los esqueletos encontrados, evaluando sus niveles de "articulación" (en sentido anatómico), y "solapamiento" entre elementos del mismo o de distintos individuos (posición de enterramiento), y c) las "ausencias" o "mermas" de elementos anatómicos y/o evidencias indirectas (e.g., huevos), y de grupos biológicos y/o morfológicos (e.g., ostrácodos) que pueden ser realmente significativas y deben cotejarse detenidamente, con el fin de conocer su significado dentro de la dinámica tafonómica global. Finalmente, 4) caracterizar los factores bióticos y abióticos implicados en la preservación de los restos en los diferentes ambientes sedimentarios, y reconstruir la historia evolutiva de la transformación taxonómica durante la fosilización y su relevancia en la clasificación e interpretación del yacimiento de "Lo Hueco".

#### AGRADECIMIENTOS

Nuestro reconocimiento a la labor realizada por los revisores Prof. Dr. S.R. FERNÁNDEZ LÓPEZ, de la Universidad Complutense de Madrid, y Dr. J.I. RUIZ-OMEÑACA, del Museo del Jurásico de Asturias, cuyas útiles sugerencias han contribuido a mejorar notablemente el manuscrito inicial. Una parte de esta investigación ha sido desarrollada dentro del Grupo de Investigación "Ibercreta" de la Universidad de Alcalá de Henares, y financiada por los proyectos PAI08-0204-1312 de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, y CIT-370000-2008-08, CGL2008-03112, CGL2009-10766 y CGL2009-12008 del Ministerio de Ciencia e Innovación.

Recibido el día 2 de noviembre de 2010

Aceptado el día 30 de diciembre de 2010

#### BIBLIOGRAFÍA

- ALBERT-COLOMER, V. & FERREIRO-PADÍN, E. 1998. *Explicación de la Hoja de San Lorenzo de la Parrilla, 634 (23-25). Mapa Geológico de España 1:50.000. Segunda Serie*. Instituto Geológico y Minero de España, 79 págs.
- ALONSO, A., FLOQUET, M., MAS, R. & MELÉNDEZ, A. 1993. Late Cretaceous carbonate platforms: origin and evolution, Iberian Range, Spain. In: J.A.T. SIMO, R.W. SCOTT, & J.P. MASSE, Eds., *Cretaceous Carbonate Platforms*. págs. 297-313. *The American Association of Petroleum Geologists, Special Memoir*, 56.
- BARROSO-BARCENILLA, F., CAMBRA-MOO, O., ESCASO, F., ORTEGA, F., PASCUAL, A., PÉREZ-GARCÍA PÉREZ, A., RODRÍGUEZ-LÁZARO, J., SANZ, J. L., SEGURA, M. & TORICES, A. 2009a. New and exceptional discovery in the Upper Cretaceous of the Iberian Peninsula: the palaeontological site of "Lo Hueco", Cuenca, Spain. *Cretaceous Research*, 30: 1268-1278.
- BARROSO-BARCENILLA, F., CAMBRA-MOO, O., CARENAS, B., CORUÑA, F. & DOMINGO, L. 2009b. First mineralogical and geochemical overview and interpretation of "Lo Hueco" vertebrate site (Upper Cretaceous, Cuenca, Spain). *Journal of Vertebrate Paleontology*, 29 Suppl. to 3: 59A.
- BEHRENSMEYER, A.K. 2007. Bonebeds through time. In: R.R. ROGERS, D.A. EBERTH & A.R. FIORILLO, Eds., *Bonebeds; genesis, analysis and paleobiological significance*. págs. 65-102. University of Chicago Press, Chicago and London.
- CAMBRA-MOO, O. 2006. *Bioestratinomía y fosildiagénesis de Arcosaurios. Aplicación de la Actuotafonomía al estudio de la influencia paleobiológica en el proceso tafonómico*. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, 335 págs.
- CAMBRA-MOO, O., BARROSO-BARCENILLA, F., BERRETEAGA, A., CARENAS, B., CORUÑA, F., DOMINGO, L., DOMINGO, M.S., ELVIRA, A., ESCASO, F., ORTEGA, F., PÉREZ-GARCÍA, A., PEYROT, D., SANZ, J.L., SEGURA, M., SOPELANA, A. & TORICES, A. 2009. First overview on preservational patterns in "Lo Hueco" fossil site (Upper Cretaceous, Cuenca, Spain). *Abstracts of the X Mesozoic Terrestrial Ecosystems Symposium*, 1: 261-262.
- CAMBRA-MOO, O., BUSCALIONI, A.D. & DELGADO-BUSCALIONI, R. 2008. An approach to the study of variation in early stages of *Gallus gallus* decomposition. *Journal of Taphonomy*, 6: 21-40.
- CARENAS, B., BARROSO-BARCENILLA, F., CAMBRA-MOO, O., CORUÑA, F., BERRETEAGA, A. & SEGURA, M. *In press*. First overview on gypsum in the new and exceptional "Lo Hueco" fossil site (Upper Cretaceous, Cuenca, Spain). In: D.H. SAMPSON, Ed., *Gypsum: Properties, Production and Applications*. Nova Publishers, New York.
- FERNÁNDEZ-LÓPEZ, S.R. 2000. *Temas de Tafonomía*. 167 págs. Departamento de Paleontología, Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- FLOQUET, M., ALONSO, A. & MELÉNDEZ, A. 1982. El Cretácico Superior de Cameros-Castilla. In: A. GARCÍA, Ed., *El Cretácico de España*. págs. 387-456. Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- GARCÍA, A., MAS, R., SEGURA, M., CARENAS, B., GARCÍA-HIDALGO, J.F., GIL, J., ALONSO, A., AURELL, M., BÁDENAS, B., BENITO, M.I., MELÉNDEZ, A. & SALAS, R. 2004. Segunda fase de post-rifting: Cretácico Superior. In: J.A. VERA, Ed., *El Cretácico de España*. págs. 510-522. Sociedad Geológica de España e Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- GIL, J., CARENAS, B., SEGURA, M., GARCÍA-HIDALGO, J.F. & GARCÍA, A. 2004. Revisión y correlación de las unidades litoestratigráficas del Cretácico Superior en la región central y oriental de España.

- Revista de la Sociedad Geológica de España*, **17**: 249-266.
- GONZÁLEZ-ACEBRÓN, L., BARROSO-BARCENILLA, F., CAMBRA-MOO, O. & CARENAS, B. 2010. Exploratory diagenetic analysis on vertebrate fossils from "Lo Hueco" site (Upper Cretaceous, Cuenca Spain). *Journal of Vertebrate Paleontology*, **30 Suppl. to 3**: 97-98A.
- GRAMBAST, T.L. 1975. Charophytes du Crétacé Supérieur de la Région de Cuenca. In: B. MELÉNDEZ & F. MELÉNDEZ, Eds., *Acta del 1er. Symposium sobre el Cretácico de la Cordillera Ibérica*. págs. 67-84. Caja Provincial de Ahorros, Cuenca.
- GUTIÉRREZ, G. & ROBLES, F. 1976. Biostratigraphie du Sénonien continental des environs de Villalba de la Sierra (Province de Cuenca, Espagne). *Paléobiologie Continentale*, **7**: 1-17.
- . 1979. Consideraciones sobre la utilización del término "Garumniense" en la Cordillera Ibérica. *Cuadernos de Geología Ibérica*, **5**: 385-405.
- HACKETT, C.J. 1981. Microscopical focal destruction (tunnels) in exhumed human bones. *Medicine, Science and Law*, **21**: 243-265.
- HAQ, B.U., HARDENBOL, J. & VAIL, P.R. 1988. Mesozoic and Cenozoic Chronostratigraphy and Eustatic Cycles. In: C.K. WILGUS, B.S. HASTINGS, C.G.S.C. KENDALL, H. POSAMENTIER, C.A. ROSS & J.C. VAN WAGONER, Eds., *Sea-Level Changes. An integrated approach*. págs. 71-108. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication*, **42**.
- HAYNES, G. 1995. Pre-Clovis and Clovis megamammals: a comparison of carcass disturbance, age profile, and other characteristics in light of recent actualistic studies. In: J. EILEEN, Ed., *Ancient Peoples and Landscapes*. págs. 9-27. Texas Tech University, Lubbock.
- LENDÍNEZ-GONZÁLEZ, A., MUÑOZ DEL REAL, J.L. & INSUA-MÁRQUEZ, M. 1998. *Explicación de la Hoja de Villar de Olalla, 609 (23-24). Mapa Geológico de España 1:50.000. Segunda Serie*. Instituto Geológico y Minero de España, 67 págs.
- LÓPEZ-MARTÍNEZ, N. & TRUYOLS, J. 1994. *Paleontología: conceptos y métodos. Ciencias de la vida*. 334 págs. Editorial Síntesis, Madrid.
- LYMAN, R.L. 1994. *Vertebrate taphonomy. Cambridge Manuals on Archaeology*. 524 págs. Cambridge University Press, Cambridge.
- MAS, R., SEGURA, M., ROBLES, S., FREGENAL-MARTÍNEZ, M.A., SANZ, J.L., GARCÍA, A., MELÉNDEZ, M.N., CHACÓN, B., GARCÍA-HIDALGO, J.F., ORTEGA, F., GIL, J. & MARTÍN-CHIVELET, J. 2002. The Iberian Basin. In: W. GIBBONS & T. MORENO, Eds., *The Geology of Spain*. págs. 284-292. The Geological Society, London.
- MELÉNDEZ-HEVIA, F. 1971. *Estudio geológico de la Serranía de Cuenca en relación a sus posibilidades petrolíferas*. Tesis Doctoral, Publicaciones de la Facultad de Ciencias de la Universidad Complutense de Madrid, Madrid, **A 153/154**, 245 págs.
- OLMO-ZAMORA, P. DEL & ÁLVARO, M. 1989. *Explicación de la Hoja de Cuenca, 610 (24-24). Mapa Geológico de España 1:50.000. Segunda Serie*. Instituto Geológico y Minero de España, 56 págs.
- OLSON, E.C. 1980. Taphonomy: Its history and role in community evolution. In: A.K. BEHRENSMEYER & A.P. HILL, Eds., *Fossils in the making vertebrate taphonomy and paleoecology*. págs. 5-19. University of Chicago Press, Chicago and London.
- ORTEGA, F., SANZ, J.L., BARROSO-BARCENILLA, F., CAMBRA-MOO, O., ESCASO, F., GARCÍA-OLIVA, M. & MARCOS-FERNÁNDEZ, F. 2008. El yacimiento de macrovertebrados fósiles del Cretácico Superior de "Lo Hueco" (Fuentes, Cuenca). *Palaeontologica Nova, Publicaciones del Seminario de Paleontología de Zaragoza*, **8**: 119-131.
- ORTIZ, J.E., GARCÍA-CORTÉS, A., CÓLLIGA, L.A., MANSILLA, H. & TORRES, T. 1998. Yacimientos de Carofitas en la Depresión Intermedia (Cuenca-Guadalajara, España Central). *Geogaceta*, **23**: 115-118.
- PEYROT, D., BARROSO-BARCENILLA, F., BERRETEAGA, A. & CAMBRA-MOO, O. 2010. Preliminar palynological data and paleontological interpretations from "Lo Hueco" fossil site (Upper Cretaceous, Cuenca, Spain). *Journal of Vertebrate Paleontology*, **30 Suppl. to 3**: 145-146A.
- PFRETZSCHNER, H.U. 2004. Fossilization of Haversian bone in aquatic environments. *Comptes Rendus Palevol*, **3**: 605-616.
- PREVIETA, E. & GONZÁLEZ-RIGA, R.J. 2009. Taphonomy of sauropod dinosaur from the Upper Cretaceous of Mendoza, Argentina. *Abstracts of the X Mesozoic Terrestrial Ecosystems Symposium*, **1**: 283-284.
- RAMÍREZ DEL POZO, J. & MELÉNDEZ-HEVIA, F. 1972. Nuevos datos sobre el Cretácico Superior-Eoceno de la Serranía de Cuenca. *Boletín Geológico y Minero*, **83**: 443-456.
- RAMÍREZ DEL POZO, J., PORTERO, J.M. & OLIVÉ, A. 1975a. *Hoja de Fuentes, 635 (24-25). Mapa Geológico de España 1:50.000. Segunda Serie*. Instituto Geológico y Minero de España.
- RAMÍREZ DEL POZO, J., PORTERO GARCÍA, J., OLIVÉ DAVÓ, A. & MELÉNDEZ-HEVIA, F. 1975b. El Cretácico de la Serranía de Cuenca y de la Región Fuentes-Villar del Humo: correlación y cambios de facies. In: B. MELÉNDEZ & F. MELÉNDEZ, Eds., *Acta del 1er. Symposium sobre el Cretácico de la Cordillera Ibérica*. págs. 189-206. Caja Provincial de Ahorros, Cuenca.
- RAMÍREZ-MERINO, J.A. 1989. *Explicación de la Hoja de Las Majadas, 587 (24-23). Mapa Geológico de España 1:50.000. Segunda Serie*. Instituto Geológico y Minero de España, 60 págs.
- ROGERS, R.R. & KIDWELL, S.M. 2007. The origin and interpretation of bonebeds. In: R.R. ROGERS, D.A. EBERTH & A.R. FIORILLO, Eds., *Bonebeds; genesis, analysis and paleobiological significance*. págs. 1-63. University of Chicago Press, Chicago and London.
- ROGERS, R.R., EBERTH, D.A. & FIORILLO, A.R. 2007. *Bonebeds; genesis, analysis and paleobiological significance*. 512 págs. University of Chicago Press, Chicago and London.
- SEGURA, M., BARROSO-BARCENILLA, F., CAMBRA-MOO, O., CARENAS, B. & GARCÍA-HIDALGO, J.F. 2010. Depositional environments in the "Lo Hueco" palaeontological site (Upper Cretaceous, Cuenca, Spain). *Carnets de Géologie*, **7 (Strati 2010)**, 230-232.
- SEGURA, M., GARCÍA, A., CARENAS, B., GARCÍA-HIDALGO, J.F. & GIL, J. 2002. Upper Cretaceous of the Iberian Basin. In: W. GIBBONS & T. MORENO,

- Eds., *The Geology of Spain*. págs. 288-292. The Geological Society, London.
- SEGURA, M., POLO, T., GARCÍA-HIDALGO, J.F., GIL, J., CARENAS, B. & GARCÍA, A. 2006. The Upper Cretaceous in the Tagus Basin (Central Spain): sequential analysis based on oil-well data and outcrop correlation. In: G. MORATTI & A. CHALOUAN, Eds., *Tectonics of Western Mediterranean and North Africa*. págs. 231-244. *The Geological Society, London, Special Publications*, **262**.
- SEILACHER, A., REIF, W.E. & WESTPHAL, F. 1985. Sedimentological, ecological and temporal patterns of fossil lagerstätten. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, **311**, 5-24.
- SHIPMAN, P. 1981. *Life history of a fossil: An introduction to taphonomy and paleoecology*. 222 págs. Harvard University Press, Cambridge.
- TORRES, T., ORTIZ, J.E. & ARRIBAS, I. 2006. El anticlinal y las discordancias de Pareja (Guadalajara): definición de las unidades cenozoicas de la Depresión Intermedia (provincias Cuenca y Guadalajara, España). *Estudios Geológicos*, **62**: 89-102.
- VIALARD, P. 1969. Le Néocrétacé de la Chaîne Ibérique Castellane au SW de la Serranía de Cuenca. *Comptes Rendus Sommaires de la Société Géologique de France*, **6**: 211-212.
- . 1973. *Recherches sur le Cycle Alpin dans la Chaîne Ibérique Sud-occidentale*. Tesis Doctoral, Université Paul Sabatier de Toulouse, Toulouse, **577**, 445 págs.
- VIALARD, P. & GRAMBAST, L. 1968. Présence de Crétacé Supérieur continental dans la Chaîne Ibérique Castellane. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, Série D*, **266**: 1702-1704.
- VILAS, L., MAS, R., GARCÍA, A., ALONSO, A., MELÉNDEZ, N. & RINCÓN, R. 1982. Ibérica Suroccidental. In: A. GARCÍA, Ed., *El Cretácico de España*. págs. 457-508. Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- WEIGELT, J. 1927/1989. *Recent vertebrate carcasses and their paleobiological implications*. 188 págs. University of Chicago Press, Chicago and London.