



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Sedimentología y registro fósil de vertebrados de
la Formación El Castellar en la subcuenca de
Galve

Sedimentology and vertebrates fossil remain of El
Castellar Formation in Galve's subbasin.

Autora

Ainara Osa Medina

Directores

Beatriz Bádenas Lago

José Manuel Gasca Pérez

Departamento de Ciencias de la Tierra

Facultad de Ciencias

Curso 2019/2020

Contenido

ABSTRACT	4
1. PLANTEAMIENTO.....	4
2. OBJETIVOS	5
3. METODOLOGIA.....	5
3.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.2. TRABAJO DE CAMPO	5
3.3. TRABAJO DE LABORATORIO	6
3.3.1. CALCIMETRIA.....	6
3.3.2. LÁMINAS DELGADAS	6
3.3.3. LEVIGADOS	6
3.3.4. ANÁLISIS DEL CONTENIDO PALEONTOLÓGICO DEL YACIMIENTO ESCARPE-PELEJÓN....	7
3.4. TRABAJO DE GABINETE	7
4. CONTEXTO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO	7
5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	10
5.1. ESTRATIGRAFÍA.....	10
5.2. ANALISIS DE FACIES	14
5.3. PALEONTOLOGÍA.....	19
6. INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	22
6.1. INTERPRETACIÓN DE FACIES	22
6.2. INTERPRETACION DEL YACIMIENTO.....	25
6.3. COMPARACIÓN CON TRABAJOS PREVIOS.....	25
7. CONCLUSIONS	27
8. BIBLIOGRAFÍA	27
ANEXO 1: CALCIMETRÍAS.....	29
ANEXO 2: INVENTARIO DE FÓSILES DEL YACIMIENTO ESCARPE-PELEJÓN.....	30

ABSTRACT

This work consists of a detailed sedimentological-paleontological study of a stratigraphic section of the lower Barremian El Castellar Formation located in Galve (Teruel province), which includes the Escarpe-Pelejón fossil site. It consists on a 30 m thick series of palustrine-lacustrine limestones, lutites and marls with abundant fossil content.

The detailed field and laboratory work, has allowed differentiating 12 facies based on lithology, sedimentary structures and fossil remains, which characterize 3 main depositional environments. The lower part of the unit is dominated by lutites, marly lutites and discrete sandstone beds, whose deposition took place in an alluvial-palustrine transition subenvironment with fluvial influence. In this context, a fossil-bearing bed with a great paleodiversity has been found, whose origin is given by the superposition of subenvironments due to lake dynamics during a lake expansion event. This fossil site named Escarpe-Pelejón, bear remains of organisms (vertebrates, charophytes, ostracods, mollusks...) with different lifestyles (aquatic, land and amphibious). Those remains are broken, disarticulated and dispersed, and some of them, look like allochthonous. The middle and upper part of the unit is formed by marls and marly limestones, with different proportions of charophytes, ostracods and mollusks and traces suggesting aerial exposure (nodules, root traces). These facies formed in a palustrine subenvironment with energy flood events. Finally, the bioclastic limestones (with charophytes, ostracods, mollusks, fishes remains...) mostly bioturbated were deposited in a shallow lacustrine subenvironment with variations in energy and periods of subaerial exposure.

Overall, the studied unit reflects the evolution from an alluvial environment with small ponds to a shallow lake environment. The highest paleodiversity is found in lutites-marly lutites facies in the alluvial-palustrine transition subenvironment.

1. PLANTEAMIENTO

La Formación El Castellar es una unidad de edad Barremiense inferior (Cretácico Inferior), característica del dominio oriental de la Cordillera Ibérica (Cuenca del Maestrazgo) y está constituida por una serie de hasta 60 m de potencia de calizas, lutitas y margas en facies continentales de origen lacustre y palustre, que cuentan con un abundante registro fósil, principalmente en cuanto a microfósiles, pero también macrofósiles de vertebrados, en concreto de dinosaurios.

Los estudios previos de la formación (Meléndez et al., 2009; Aurell et al., 2016; Ruiz-Ocaña et al., 2004; Gasca et al., 2015) se han enfocado bien desde el punto de vista estratigráfico y sedimentológico o bien desde el paleontológico, pero no existe hasta el momento un estudio detallado de la relación entre facies y subambientes de depósito, y el registro paleontológico, en especial en lo que se refiere a restos de vertebrados. En la subcuenca de Galve, dentro de la Cuenca del Maestrazgo, existen diversos afloramientos de la Formación El Castellar, incluido los del entorno de la localidad de Galve, donde se han descrito algunos yacimientos de dinosaurios (Ruiz-Ocaña et al., 2004).

El estudio de la posible relación entre los subambientes sedimentarios representados por las facies y el contenido paleontológico que contienen, no solo es clave para la correcta interpretación de las mismas, sino también para entender los procesos involucrados en la generación de los yacimientos.

2. OBJETIVOS

El principal objetivo de este trabajo consiste en la realización de un estudio detallado combinado sedimentológico-paleontológico de la Formación El Castellar en un afloramiento de esta unidad en el entorno de Galve, denominado El Pelejón que se caracteriza por contener uno de los yacimientos de vertebrados inédito de la unidad. Para alcanzar este objetivo principal se establecen tres objetivos parciales:

- 1) Analizar las facies y el registro paleontológico y proponer un modelo de sedimentación.
- 2) Proponer un modelo de génesis para el yacimiento de vertebrados, según las características de la asociación fósil y de las facies.
- 3) Realizar una comparativa crítica con trabajos anteriores sobre la sedimentología, paleoambientes y tipo y/o origen de yacimientos de vertebrados de la unidad.

3. METODOLOGIA

3.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El trabajo bibliográfico se ha llevado a cabo de manera previa al trabajo de campo y durante el estudio e interpretación de resultados. Esta revisión ha abarcado aspectos geológicos generales de cartografía geológica; de estratigrafía y sedimentología: Pérez, 1989; Alonso-Zarza, 2003; Aurell et al. 2016; y de paleontología: Ruiz-Omeñaca., 2004; utilizados para conocer el contexto geológico y sedimentológico de la Formación El Castellar en Galve y elaborar una interpretación de los resultados; así como aspectos de carácter más específico (Meléndez et al., 2009; Gasca et al., 2015); que han permitido recopilar información preexistente acerca de la Formación El Castellar en Galve.

3.2. TRABAJO DE CAMPO

El trabajo de campo ha consistido en el levantamiento de un perfil estratigráfico-sedimentológico de la Formación El Castellar en el afloramiento denominado El Pelejón, así como la toma de muestras.

El estudio de esta serie se realizó capa a capa, estudiando en detalle litología, color, textura, componentes (incluido contenido fósil) y estructuras sedimentarias. El material empleado para la medida y realización de observaciones fue vara de Jacob, metro, martillo, brújula y lupa de mano.

Durante el levantamiento de la columna, se prestó especial atención a la localización particular en la serie del yacimiento de vertebrados denominado Escarpe-Pelejón. Así mismo, se tomaron un total de 41 muestras a lo largo del perfil, de las cuales 3, se destinaron para estudio de levigado, 22, para estudio de la calcimetría, y 17, para la realización de láminas delgadas. Estas muestras fueron sigladas y transportadas en bolsas estancas.

Por otro lado se tomaron fotografías tanto de aspectos generales de la serie, como de aspectos concretos (estratificación, estructuras...) de la misma.

3.3. TRABAJO DE LABORATORIO

El trabajo en laboratorio permitió realizar observaciones en detalle de las distintas facies y contenido paleontológico, que complementaron las observaciones realizadas en el campo, a través del estudio de las 41 muestras incluyendo calcimetrías, láminas delgadas y levigados. Por otra parte se realizó el análisis del contenido paleontológico del yacimiento de vertebrados Escarpe-Pelejón.

3.3.1. CALCIMETRIA

Es un método utilizado para calcular el porcentaje de CaCO_3 de muestras de litologías intermedias entre lutitas y calizas. En el presente estudio, se aplicó a 22 muestras de litologías clasificadas *a priori* en el campo como lutitas, margas o margocalizas.

Para determinar el porcentaje de CaCO_3 , cada muestra se muele con ayuda de un mortero y de ella se toman 2 g, de los cuales se emplea para el análisis 1 g, ya que la otra mitad se utilizará en caso de que haya algún error en la medición. La muestra se pasa por un tamiz de luz de malla de 100 μm , y se coloca en una ampolla para hacerla reaccionar con 5 ml de HCl diluido al 50%. Como producto de esta reacción se obtiene CO_2 . La medida de este producto corresponde al porcentaje de carbonato de la muestra.

Una vez obtenido el % de CaCO_3 , cada muestra se clasificó siguiendo la clasificación de Vatán (1967): de 0 a 10% se considera lutita; de 10 a 35%, se denomina lutita margosa; de 35% a 65%, sería marga; de 65% a 90% se clasifica como caliza margosa; y con un % de CaCO_3 mayor de 90, la muestra se considera caliza.

3.3.2. LÁMINAS DELGADAS

La elaboración de 17 láminas delgadas de las muestras de roca dura, se llevó a cabo por el Servicio de Preparación de Rocas y Materiales Duros de la Universidad de Zaragoza.

Una vez hechas las láminas delgadas, se estudiaron en un microscopio de luz transmitida para identificar sus componentes y determinar su textura, precisando así las características de las posibles diferentes facies identificadas *a priori* en el campo. Para la identificación de componentes se utilizaron los manuales de Flügel (2004) y Schöller y Ulmer-Schöller (2003). Las texturas de las muestras de calizas se clasificaron siguiendo la clasificación de Dunham (1962).

3.3.3. LEVIGADOS

Los 3 levigados para el estudio paleontológico se realizaron en régimen de autoservicio a partir de una cantidad aproximada de 1,3 Kg de cada muestra tomadas en el campo.

Cada muestra se deja secar un día y, a continuación, se dejó en remojo un día en agua oxigenada diluida al 10% para disgregar la muestra y atacar la materia orgánica.

A continuación se procedió al lavado de la muestra en tamices superpuestos, con una luz de malla de 0,5 mm, 1 mm y 2 mm para la recuperación de restos fósiles de microvertebrados, así como de ostrácodos, caráceas, bivalvos... Los restos obtenidos en cada tamiz se dejaron secar en diferentes recipientes, dentro de un horno refractario hasta 50°C. Para finalizar, cada muestra se guardó en bolsas sigladas.

Una vez preparadas las muestras, se procedió a su triado a través de un estereomicroscopio, con ayuda de un pincel. En este estudio se han identificado los diferentes restos fósiles a nivel de grupo y orden en algunos casos y se han clasificado en dos grandes categorías: vertebrados y no vertebrados.

3.3.4. ANÁLISIS DEL CONTENIDO PALEONTOLÓGICO DEL YACIMIENTO ESCARPE-PELEJÓN

El contenido paleontológico del yacimiento Escarpe-Pelejón ha sido proporcionado por el paleontólogo José Manuel Gasca del grupo *Aragosaurus*. Este consiste en una asociación de vertebrados fósiles con gran diversidad. Su análisis ha consistido en identificar señales de resedimentación o reelaboración, así como su estado de preservación, articulación... para inferir los procesos tafonómicos que sufrieron hasta su depósito final.

3.4. TRABAJO DE GABINETE

El trabajo de gabinete consistió en el tratamiento de datos, principalmente la elaboración del perfil estratigráfico en detalle a partir del elaborado en el campo y de la información reunida procedente del trabajo de laboratorio.

El perfil, así como la maquetación de las imágenes presentadas se realizaron con el programa de edición *InkScape* y con *Paint*, a partir de la toma de fotografías, la descripción de facies y el estudio paleontológico.

Por último se ha procedido a la interpretación de los datos recopilados. Esta interpretación ha consistido en la definición de facies y la posterior interpretación del paleoambiente de sedimentación. Además, los resultados paleontológicos se han aunado para inferir una interpretación tafonómica. Todo ello ha sido comparado de manera crítica con trabajos previos de la Formación El Castellar (Meléndez et al., 2009; Gasca et al., 2015)

4. CONTEXTO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO

La zona de estudio se encuentra situada al NE de la Península Ibérica, en las inmediaciones de la localidad de Galve (provincia de Teruel) (Fig.1). En concreto, el afloramiento estudiado se denomina El Pelejón, y está situado 4 Km al SE de Galve. Las coordenadas geográficas de la base del perfil son 40° 37' 41'' N y 0° 51' 00'' W; y la coordenadas del techo del perfil son 40° 37' 38'' N y 0° 51' 00'' W.



Figura 1. Situación geográfica de la localidad de Galve así como del afloramiento de la Formación El Castellar denominado El Pelejón (marcado con una estrella roja) que ha sido estudiado en el presente trabajo.

El área estudiada se sitúa en el sector más oriental de la Cordillera Ibérica, formando parte de la Zona de Enlace entre la Cordillera Ibérica y la Cordillera Costero Catalana (Guimerà, 1984). Forma parte de la subcuenca de Galve, situada en una zona marginal de la Cuenca del Maestrazgo (Fig. 2). Se trata de una subcuenca elongada con dirección NNW-SSE que abarca 40 km de longitud y cuya génesis tuvo relación con la etapa de rift del tránsito Jurásico-Cretácico (Liesa et al., 2006).

Durante el Mesozoico se produjeron dos estadios de rift extensional debido a la apertura del Tethys y el Atlántico Central (Salas y Casas, 1993). El segundo estadio de rift, que abarca el Jurásico Superior-Cretácico Inferior, generó una subsidencia diferencial y la formación de fallas de componente normal. La subcuenca de Galve fue producto de la actividad de un conjunto de estas fallas, entre ellas la falla de Turmell, falla normal de orientación ESE-WNW, y la falla de Miravete, falla normal de orientación NNE-SSW; que controlaron además la sedimentación durante el Cretácico Inferior (Salas y Guimerà, 1996) aumentando el espesor hacia el norte mediante una geometría en abanico. (Liesa et al., 2006)

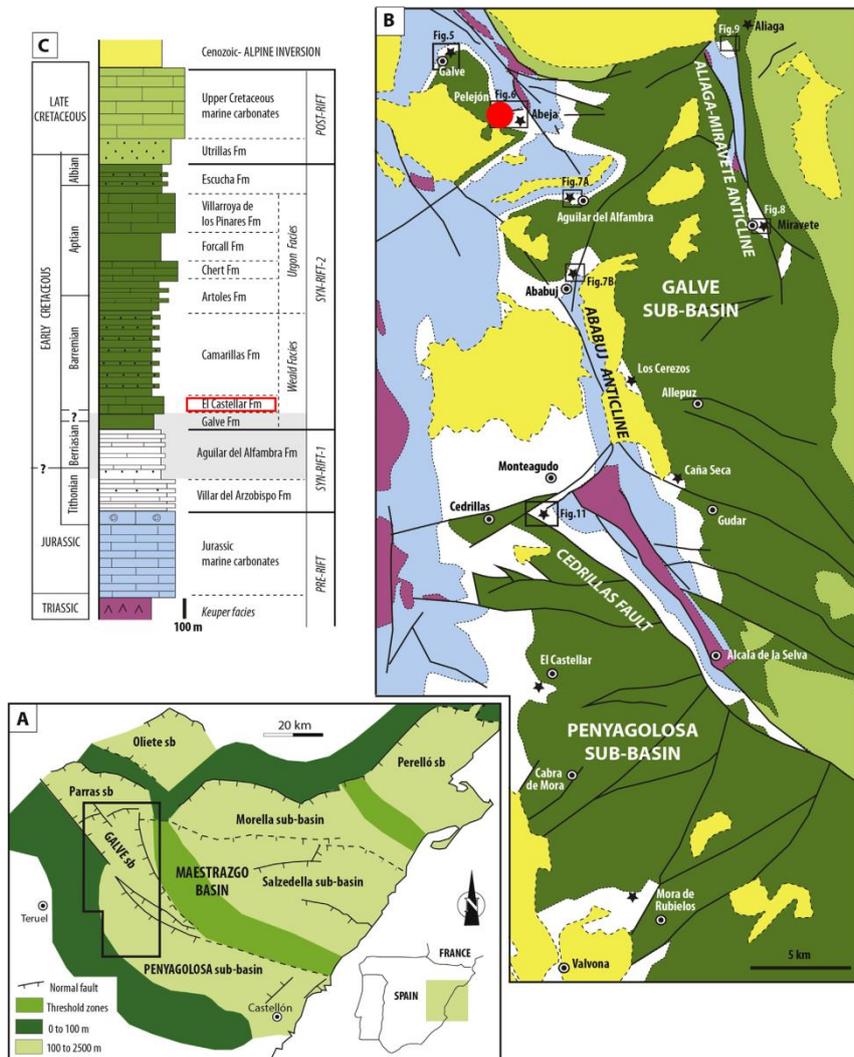


Figura 2. Localización del área de estudio. A. Localización de la subcuenca de Galve al oeste de la Cuenca del Maestrazgo. En verde claro se indican las zonas con mayor subsidencia B. Cartografía de las unidades de la subcuenca de Galve. La localización del afloramiento estudiado está indicada con un círculo rojo. C. Perfil estratigráfico de las formaciones mesozoicas en la zona de estudio. Se recuadra en rojo la Formación El Castellar estudiada en este trabajo (Modificado de Aurell et al., 2016).

La estratigrafía de la subcuenca de Galve queda resumida en la figura 2. Contiene secuencias pre-, sin- y postrift en relación con el segundo estadio de rifting que tuvo lugar durante el Jurásico Superior-Cretácico Inferior (Liesa et al., 2006): La secuencia prerift data del Triásico-Jurásico Medio, y consiste en lutitas y yesos de las facies triásicas Keuper, y facies carbonatadas marinas del Jurásico. La secuencia sinrift queda dividida en dos secuencias: la primera comprende del tránsito Jurásico-Cretácico en facies costeras (Formación Villar del Arzobispo, Formación Cedrillas en su reciente redefinición) y Aguilar del Alfambra (Aurell et al., 2016), y la segunda el Cretácico Inferior. Esta última la componen las facies continentales Weald (entre las que se encuentra la Formación El Castellar, objeto de este trabajo) y las facies marinas Urgan. Estas facies, debido a la actividad extensional, poseen importantes variaciones de espesor.

La secuencia postrift data del final del Cretácico Inferior (Albiense) y Cretácico Superior, y está compuesta por la Formación Utrillas (continental) y por carbonatos marinos someros (Aurell et al., 2016).

La Formación El Castellar, como se ha explicado anteriormente, consiste en facies continentales representadas por calizas, margas y lutitas fundamentalmente. Limita en su base con la Formación Galve por medio de una discordancia erosiva de bajo ángulo (Aurell et al., 2016) y a techo con la Formación Camarillas por medio de una discordancia angular (Liesa et al., 2006).

5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

5.1. ESTRATIGRAFÍA

En el afloramiento de El Pelejón (Fig.3), la Formación El Castellar presenta en torno a 30 m de potencia y en ella alternan lutitas, margas, margocalizas y calizas que muestran un aumento progresivo del contenido en carbonato, pasando de litologías siliciclásticas en la base, areniscas y lutitas, a litologías carbonatadas (margas y calizas) hacia techo (Fig. 4).

El límite inferior con la Formación Galve es difuso y consiste en el paso de areniscas y lutitas rojas de la formación infrayacente a lutitas grises de la Formación El Castellar. El límite superior con la Formación Camarillas se produce de manera neta pasando de calizas *packstone* a limos y arcillas rojas.

La figura 4 representa el perfil sedimentológico de la Formación El Castellar elaborado en este trabajo. Dado el detalle que el estudio sedimentológico requería, los tramos diferenciados en el perfil (28 en total) corresponden en su mayoría a estratos individuales, los cuales pueden ser agrupados en los siguientes conjuntos en función de su litología:

Tramos 1 a 11: Consiste en una sucesión de en torno a 13 m de potencia de lutitas-lutitas margosas grises estratificadas en niveles de 20 cm a 2,5 m de potencia con intercalaciones discretas de diversas litologías, incluyendo: areniscas rojas de grano fino en estratos de 10 a 25 cm de potencia, calizas intraclásticas ocreas en niveles de 5 a 10 cm de potencia y un nivel de margas de 50 cm. En la parte superior del tramo 11 se sitúa el yacimiento Escarpe-Pelejón.

Tramos 12 a 26: Consiste en una sucesión de 12,75 m de potencia, en la que alternan niveles de margas grises, margocalizas grises y calizas ocreas-grises. Las margas tienen espesores que van desde 15 a 150 cm, las calizas margosas forman estratos con espesores de 25 a 140 cm, y las calizas ocreas, con texturas desde *mudstone* a *grainstone*, se disponen en estratos de 25 a 100 cm de potencia.

Tramos 27 y 28: Son sendos tramos semicubiertos con una potencia total de 5,40 m, de los que afloran niveles de calizas ocreas de textura *packstone* de 30 y 40 cm de potencia.

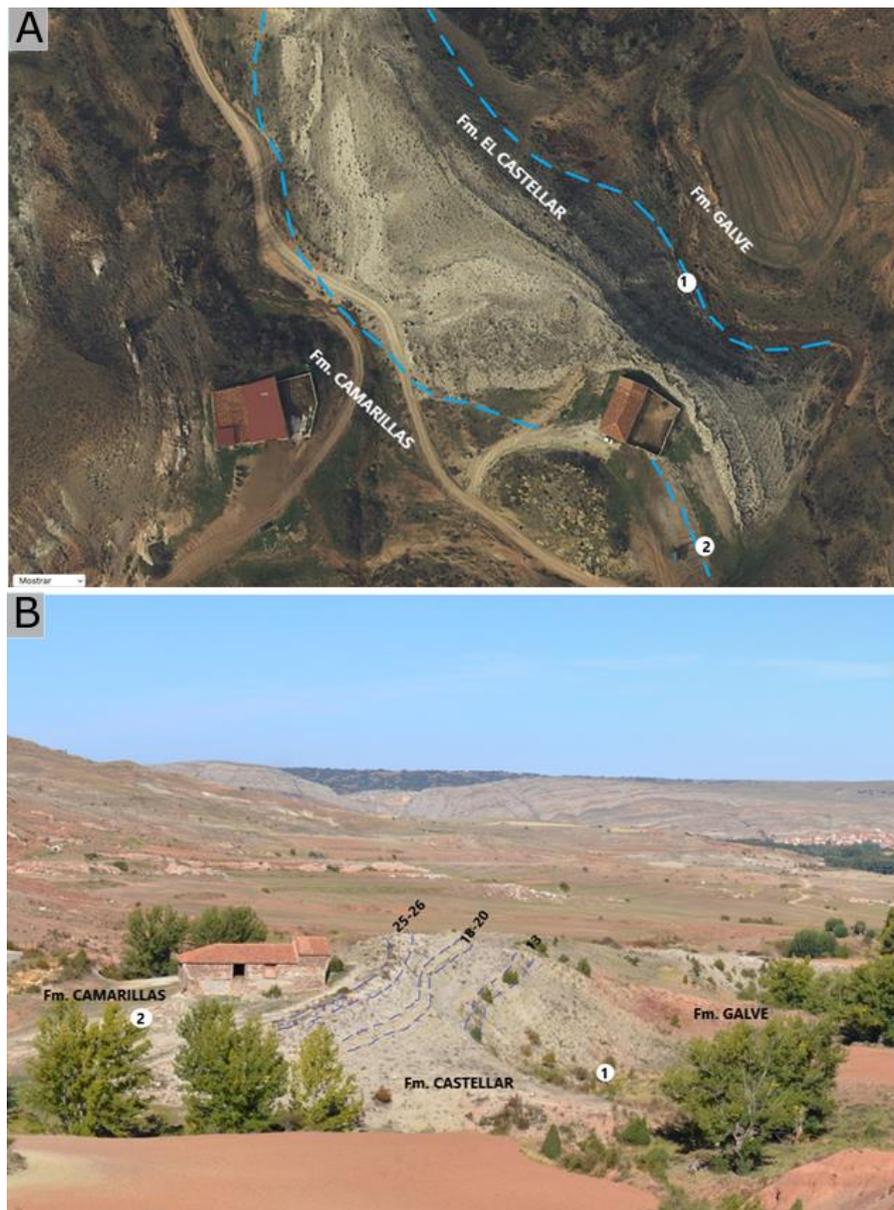


Figura 3. A. Vista aérea de la Formación El Castellar en el afloramiento El Pelejón en contacto con las Formaciones Galve y Camarillas. B. Vista de la Formación El Castellar en el afloramiento El Pelejón. Se señalan los tramos calcáreos duros con mayor relieve. La base y el techo del perfil se señalan con un 1 (base) y un 2 (techo) en ambas imágenes.

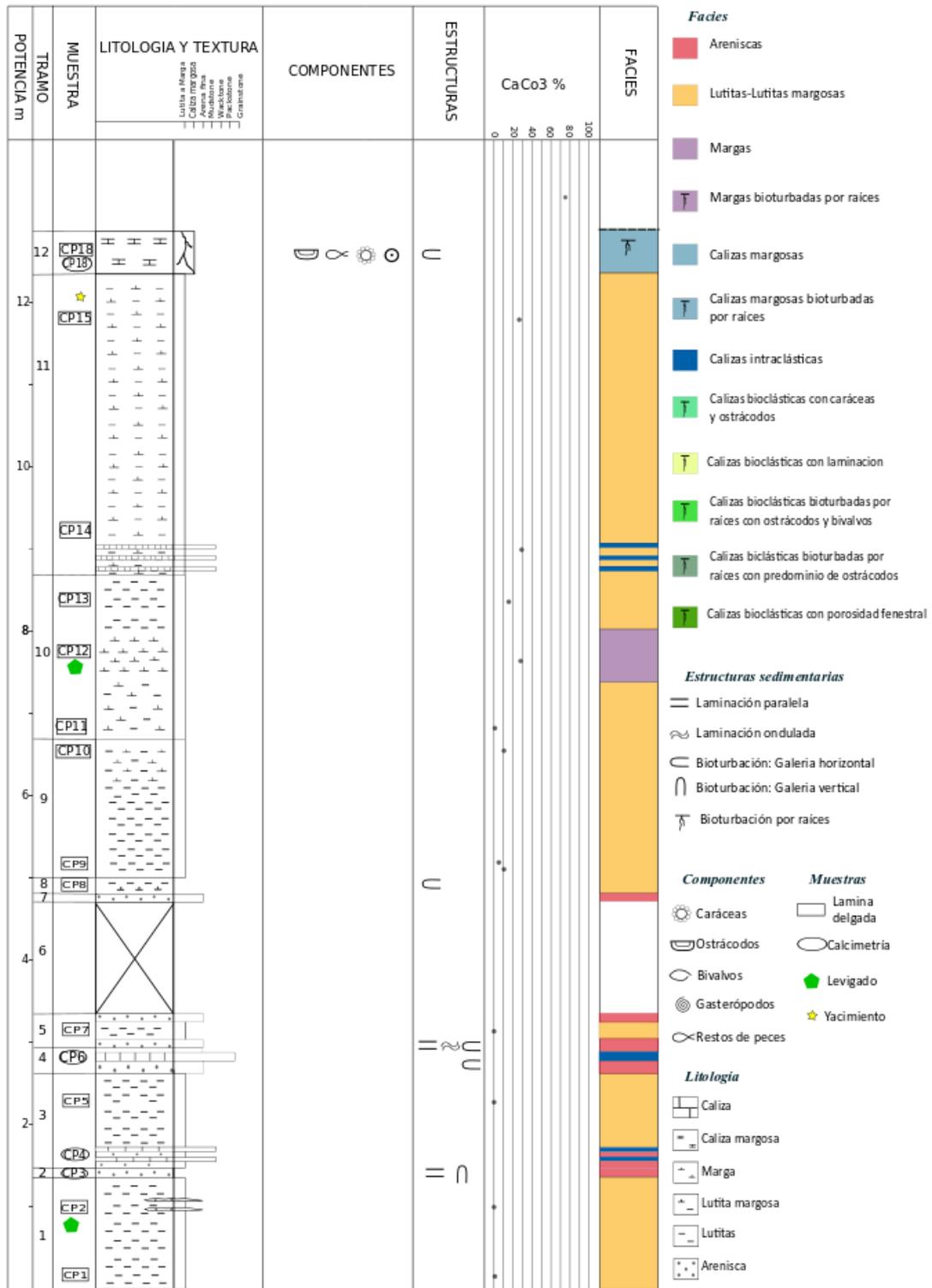


Figura 4. Perfil estratigráfico de la parte basal de la Formación El Castellar en el afloramiento El Pelejón (tramos 1 a 12).

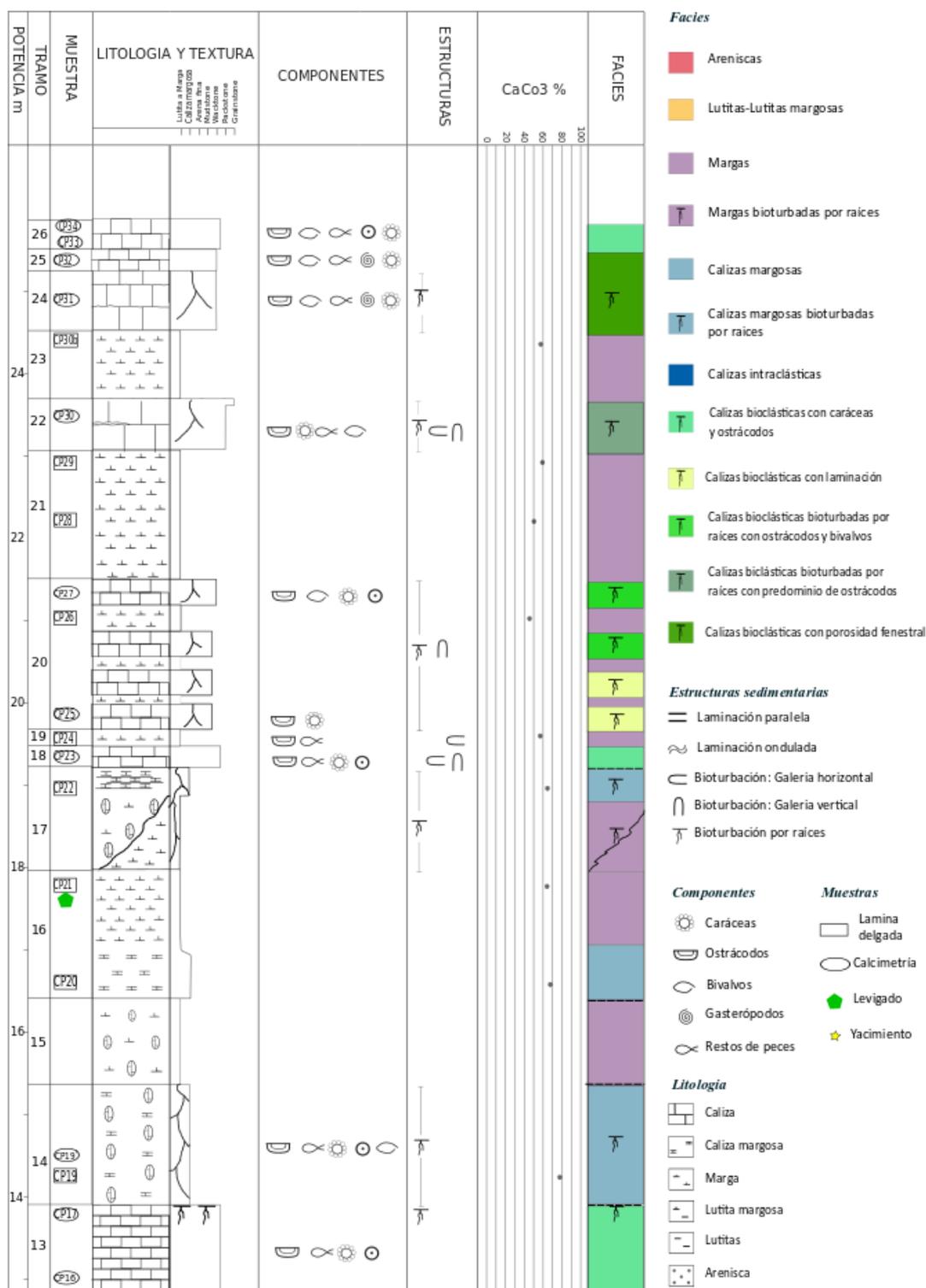


Figura 4. (Continuación). Perfil estratigráfico de la parte media de la Formación El Castellar en el afloramiento El Pelejón (tramos 13-26).

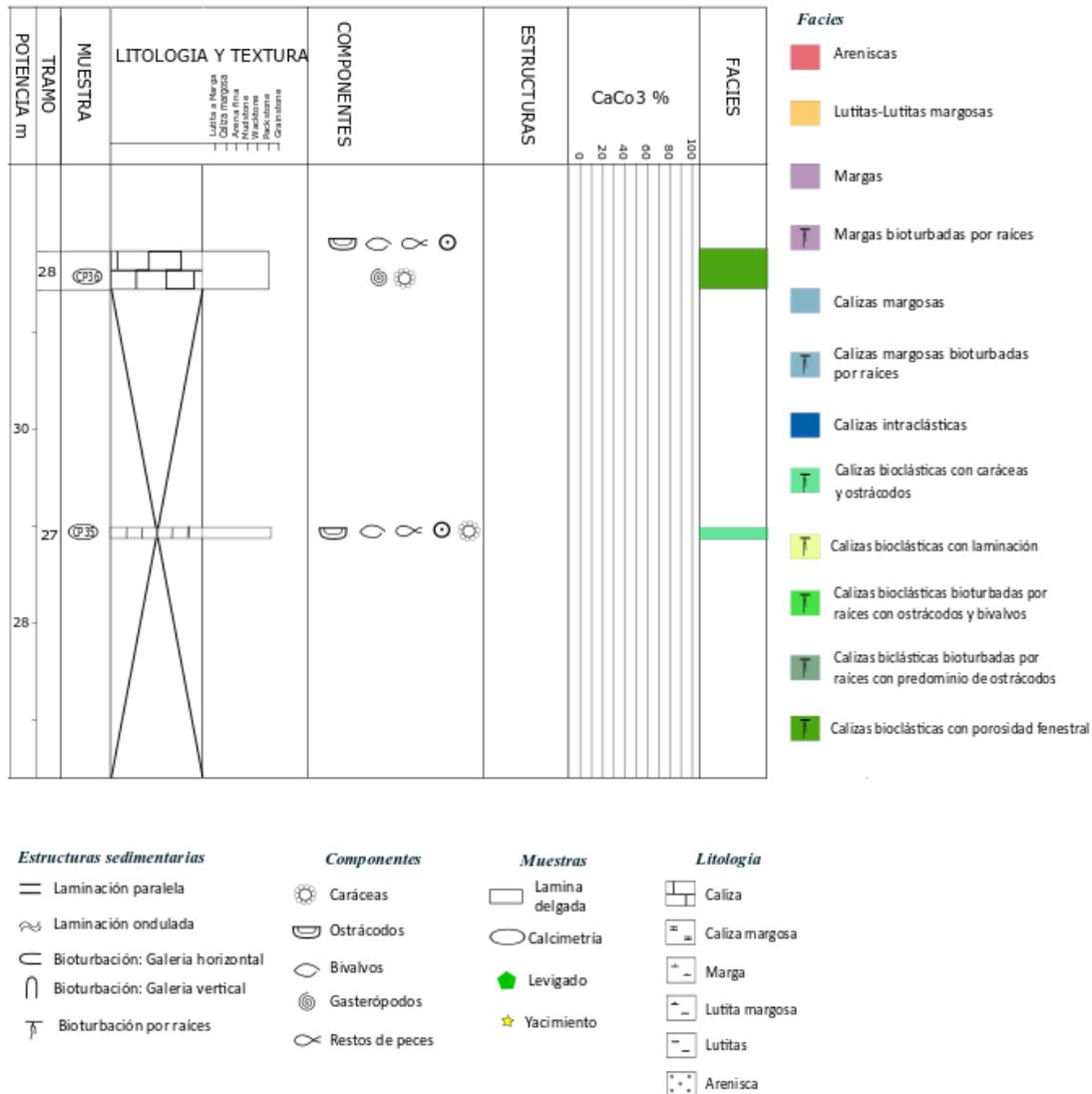


Figura 4. (Continuación) Perfil estratigráfico de la parte superior de la Formación El Castellar en el afloramiento El Peleón (tramos 27 a 28).

5.2. ANALISIS DE FACIES

En función de la características litológicas (incluido el porcentaje de CaCO_3), texturas, componentes y estructuras sedimentarias, se han reconocido un total de 12 facies, incluyendo detríticas, mixtas (detrítico-carbonatadas) y carbonatadas. En el caso de las facies detríticas, se ha reconocido una sola facies de areniscas. Para las litologías mixtas detrítico-carbonatadas se han diferenciado 5 facies en función de su contenido de CaCO_3 (ver Anexo 1) y las estructuras sedimentarias presentes: facies de lutitas-lutitas margosas, facies de margas, facies de margas bioturbadas por raíces, facies de calizas margosas y facies de calizas margosas bioturbadas por raíces. Ya dentro de las calizas, se han reconocido 6 facies en función de la textura y el tipo de componentes relativamente más abundantes: facies de calizas intraclásticas, facies de calizas bioclásticas con caráceas y ostrácodos, facies de calizas bioclásticas con laminación, facies de calizas bioclásticas bioturbadas por raíces con ostrácodos y bivalvos, facies de calizas bioclásticas bioturbadas por raíces con predominio de

ostrácodos y facies de calizas bioclásticas con porosidad fenestral. A continuación se describen las características de las mismas. En las figuras 5 y 6 se ofrecen imágenes de campo y de muestras de lámina delgada de algunas de ellas.

Areniscas

Esta facies se sitúa en la parte inferior de la formación, intercalada entre la facies de lutitas-lutitas margosas. Son areniscas de grano muy fino y color rojizo-ocre estratificadas en estratos tabulares de base irregular y techo plano, de 10 a 20 cm de potencia (Fig.5A). Contienen granos de cuarzo, micas y minerales opacos subangulosos a subredondeados inmersos en un cemento carbonatado (Fig. 6A).

Presentan laminación paralela y ondulada, además de bioturbación horizontal.

La muestra de levigado CP2 obtenida en el tramo 3 no contiene restos fósiles, es azoica.

Lutitas - lutitas margosas

Esta facies domina en los primeros 12 m de la formación y contienen niveles intercalados de areniscas, margas y calizas intraclásticas.

Presentan un color grisáceo y un aumento progresivo en el contenido de carbonato hacia techo con valores que van desde 0% de CaCO_3 a 27%. Poseen restos vegetales, bioturbación horizontal y laminación paralela.

Además, en el último tramo que comprende esta facies (parte superior del tramo 11; Fig.4), se sitúa el yacimiento de vertebrados Escarpe-Pelejón. La descripción del contenido paleontológico de este yacimiento se describe en el apartado 5.3.

Margas

Esta facies está representada por margas de color gris-gris oscuro estratificadas en niveles de 10 cm a 1,5 m de potencia. Se encuentra predominantemente en la parte media de la unidad, intercalada entre facies de margas bioturbadas por raíces, calizas margosas y calizas (Fig.4). Aparecen también ocasionalmente en la parte inferior de la unidad (tramo 10) intercalada en las facies de lutitas-lutitas margosas.

El contenido en CaCO_3 oscila entre 38% y 64% mostrando un incremento en los tramos superiores de las facies. El análisis de sendas muestras de levigados (muestras CP12 y CP21, en los tramos 10 y 16 respectivamente) indican que las margas poseen variedad fosilífera compuesta mayoritariamente por invertebrados, caráceas (tallos y oogonios), ostrácodos, bivalvos, gasterópodos; y en menor medida vertebrados, dientes de cocodrilo, fragmentos óseos, escamas y dientes de peces, fragmentos de cáscaras de huevos y restos carbonosos de plantas.

Margas bioturbadas por raíces

Esta facies está constituida por margas grises estratificadas en sendos niveles de 90 cm y 1,5 m de potencia presentes en la parte media de la unidad (tramos 15 y 17), intercaladas entre las facies de margas y calizas margosas. Presenta bioturbación por raíces, correspondiente a nódulos

(rizoconcreciones) de carbonato (de en torno a 7 cm de diámetro), que afectan a todo el tramo. En el caso del tramo 15, estos tienen una tendencia a decrecer de diámetro hacia techo del tramo.

Las condiciones del afloramiento han permitido observar que el nivel de margas bioturbadas por raíces del tramo 17, que pasa verticalmente a un tramo de calizas margosas bioturbadas por raíces y calizas bioclásticas con caráceas y ostrácodos (tramo 18), también lo hace lateralmente a estas dos facies. En concreto, la facies de margas bioturbadas por raíces se acuña hacia el norte pasando a calizas margosas bioturbadas por raíces, y esta a calizas bioclásticas con caráceas y ostrácodos (Fig. 5E).

Calizas margosas

Esta facies se reconoce únicamente en la parte inferior del tramo 16 y está formada por calizas margosas de color gris oscuro, con un 69% de CaCO_3 , que pasa gradualmente hacia techo a facies de margas en dicho tramo.

Calizas margosas bioturbadas por raíces

Esta facies la forman calizas margosas de color gris oscuro, dispuestas en niveles de 50 a 140 cm de potencia, que aparecen en los tramos 12, 14 y 17 intercaladas con margas bioturbadas por raíces y calizas bioclásticas con caráceas y ostrácodos. Su contenido en carbonato oscila, pasando de 76% en el tramo 12 a 78% en el tramo 14 y finalmente descendiendo a 65% a techo del tramo 17. Posee ostrácodos, caráceas, restos de peces y bioturbación horizontal además de bioturbación por raíces con relleno más carbonatado.

Los rellenos carbonatados de la bioturbación por raíces estudiados en lámina delgada (muestras CP18' Y CP19' respectivamente,) revelan que estos tienen diferente textura que la caliza margosa encajante y que los niveles que suprayacen a esta facies. En concreto, los rellenos carbonatados en la caliza margosa del tramo 12 (Fig. 5C; muestra CP 18') tiene textura *wackestone-packstone*, con matriz micrítica y bioclastos de ostrácodos (55% del total de bioclastos), caráceas (45%) y ocasionales restos de peces, además de peloides. Estas características se corresponden con la de la facies de calizas bioclásticas con caráceas y ostrácodos (Fig. 6C). Es de notar que el nivel suprayacente al tramo 12 corresponde también a la facies de calizas bioclásticas con caráceas y ostrácodos (Fig. 6C y D). Por su parte, los rellenos carbonatados en la caliza margosa del tramo 14 (muestra CP 19'), al igual que el tramo anterior se corresponden con la facies de calizas bioclásticas con caráceas y ostrácodos.

Calizas intraclásticas

Esta facies está representada por calizas intraclásticas arenosas grises en estratos de 10 a 5 cm de potencia, que aparece en la parte inferior de la unidad, intercalada en la facies de areniscas y de lutitas-lutitas margosas. Las calizas tienen textura *packstone*, y están compuestas por intraclastos de textura *mudstone* con porosidad fenestral, con tamaños medios entre 1-2 mm (Fig.6H). Los intraclastos están rodeados de una matriz micrítica que incluye granos de arena de cuarzo subredondeados a subangulosos y que tienen un tamaño medio de 1,5 mm (Fig. 6B). Probablemente proceden de las facies de calizas bioclásticas con porosidad fenestral.

Calizas bioclásticas con caráceas y ostrácodos

Esta facies está formada por calizas bioclásticas de color gris claro, estratificadas en niveles de 0,35 a 1 m de potencia. Se localizan en los tramos 13, 18, 26 y 27 intercaladas entre calizas margosas bioturbadas por raíces, margas y calizas bioclásticas con porosidad fenestral (Fig. 4).

Las calizas tienen textura *wackestone* a *packstone*.

Contienen bioclastos de ostrácodos (55% de total de bioclastos), caráceas (45%), además de ocasionales restos de peces, en los tramos inferiores, a los que se incluyen ocasionales bivalvos en los tramos superiores (Fig. 6C y D). Se distinguen además peloides.

Los niveles más superiores tienen menor proporción de matriz y mayor tamaño de bioclastos (Fig.6D) Presentan bioturbación por raíces en su extremo techo (tramo 13) y galerías horizontales (tramo 23). En los tramos 26 y 27 esta facies carece de bioturbación.

Esta facies se reconoce también formando el relleno de la bioturbación de raíces (muestra CP18' y CP19') que presenta la facies de calizas margosas bioturbadas por raíces de los tramos 12 y 14.

Calizas bioclásticas con laminación

Se trata de calizas de color gris claro, estratificadas en sendos niveles de 20 cm de potencia, presentes en la parte basal del tramo 20, intercalados entre facies de margas.

Las calizas presentan textura *mudstone* con niveles de hasta 2 mm de acumulación de bioclastos de textura *packstone*, compuestos por caráceas y ostrácodos (90% y 10% respectivamente del total de bioclastos) y ocasionales extraclastos de cuarzo de hasta 0,5 mm (Fig. 6E).

Se reconoce también bioturbación por raíces de entre 5 y 10 cm de diámetro que ocupan todo el nivel.

Calizas bioclásticas bioturbadas por raíces con ostrácodos y bivalvos.

Se trata de calizas de color ocre-gris, dispuestas en estratos de 20 cm de potencia a techo del tramo 20, intercaladas con facies de margas.

Presenta textura *wackestone* y bioclastos de ostrácodos (50% del total de bioclastos), bivalvos (40%) y caráceas (10%), lo que las diferencia de las calizas bioclásticas con caráceas y ostrácodos (Fig. 6F).

Además presentan bioturbación por raíces y rellenos de galerías verticales (Fig. 5B).

Calizas bioclásticas bioturbadas por raíces con predominio de ostrácodos.

Se trata de calizas de color ocre-gris. Se localiza en el tramo 22 con 60 cm de potencia, quedando intercalada en facies de margas.

Presentan textura *packstone* que pasan a *grainstone* hacia techo con bioclastos que consisten en ostrácodos (75%), bivalvos (15%), y caráceas (10%), además de escasos restos de peces (Fig. 6G)

Estos bioclastos muestran una mejor preservación que la facies anterior, donde aparecían con un mayor grado de fragmentación (Fig. 6F).

Presentan bioturbación por raíces en todo el tramo con rellenos margosos de entre 3 y 6 cm de diámetro.

Calizas bioclásticas con porosidad fenestral

Se trata de calizas de color ocre-gris, estratificadas en niveles de 70, 25 y 40 cm de potencia en los tramos 24, 25 y 28 respectivamente, intercaladas entre facies de margas y facies de calizas bioclásticas con caráceas y ostrácodos.

Presentan textura *wackestone* y se caracteriza por presentar porosidad fenestral (de hasta 3 mm de diámetro). Presenta también bioclastos: ostrácodos (15%), caráceas (15%), bivalvos (10%), gasterópodos (10%) y ocasionales restos de peces. Cabe destacar que en torno a un 50% de los bioclastos se encuentran fragmentados (Fig.6H).

En el tramo 24, se observa además bioturbación por raíces con relleno más margoso (Fig. 5D).

En el tramo 25, esta facies no posee bioturbación por raíces y tiene un límite neto con la facies suprayacente de calizas bioclásticas bioturbadas por raíces con caráceas y ostrácodos.

En el tramo 28, la porosidad fenestral con relleno de cristales de esparita es mucho más abundante.

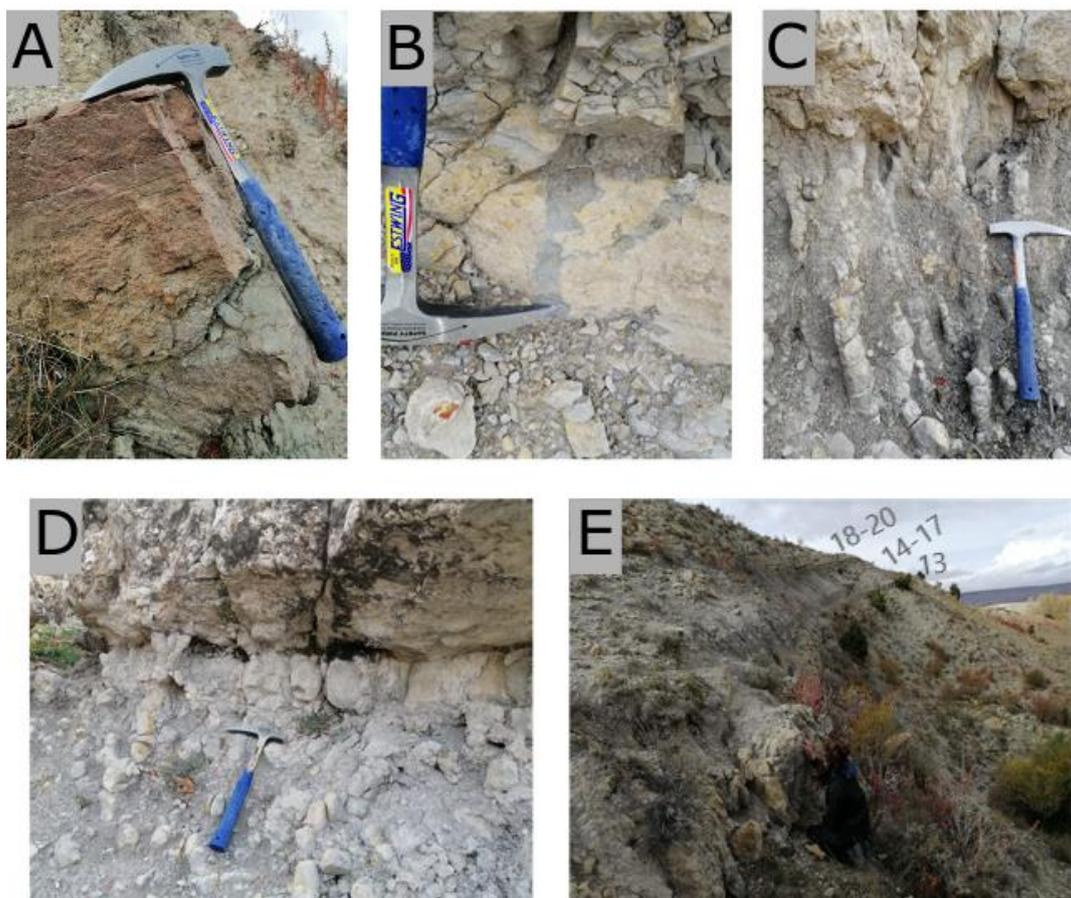


Figura 5. Imágenes de campo de las distintas facies. (A) Facies de areniscas del tramo 3. Obsérvese la base irregular y la laminación paralela. (B) Galerías de bioturbación en la facies de calizas bioclásticas bioturbadas por raíces con ostrácodos y bivalvos del tramo 20. (C) Huellas de raíces con rellenos carbonatados de la facies

de calizas margosas bioturbadas por raíces del tramo 12. (D) Nódulos de raíces de la facies de calizas bioclásticas con porosidad fenestral del tramo 24. (E). Vista general de la parte media del afloramiento, se muestran las variaciones laterales de facies margosas bioturbadas por raíces del tramo 14 a 17 a calizas margosas y calizas de los tramos 13 y 18-20..

5.3. PALEONTOLOGÍA

Aparte de la información proporcionada por las lámina delgadas, el estudio del registro fósil de la formación se ha llevado a cabo mediante la realización de 3 levigados, CP2, CP12 y CP21, situados en los tramos 1, 10 y 16 respectivamente; y el hallazgo del yacimiento de vertebrados Escarpe-Pelejón por parte del grupo *Aragosaurus* en el tramo 11 (Fig.4).

A continuación se describen los resultados del triado de las tres muestras preparadas con el objetivo de describir el contenido fósil de las mismas.

Muestra CP2: Se recogió en el tramo 1, en la facies de lutita-lutita margosa. Esta ha arrojado un resultado negativo en cuanto a contenido fosilífero.

Muestra CP12: Se trata de una muestra recogida en la facies de margas del tramo 10. Su contenido fósil lo forman mayormente oogonios y tallos de caráceas (Fig. 7A), y valvas de ostrácodos (Fig. 7B), además de gasterópodos (Fig. 7F), bivalvos y, en menor proporción, fragmentos de huesos (Fig. 7C) y escamas de peces (Fig. 7G), 2 dientes de cocodrilomorfos (Fig.7D) y peces, fragmentos de cáscaras de huevo (Fig. 7E) y restos carbonosos de plantas.

Los oogonios de caráceas muestran una especie dominante y dos accesorias, y junto con los ostrácodos son los restos fósiles dominantes de la muestra.

Las escamas de peces muestran una mala conservación, se encuentran fragmentados y meteorizados con muestras de erosión.

Uno de los dientes hallados pertenece a un pez del orden Amiiformes, se encuentra meteorizado por erosión; el otro diente pertenece a un crocodilomorfo goniofolídido y muestra, a diferencia del anterior buena preservación.

Muestra CP21: Se trata de una muestra recogida en la facies de margas a techo del tramo 16. Su contenido fósil se asemeja al de la muestra CP12 aunque con menor proporción de caráceas (de las mismas especies que las estudiadas en la muestra CP 12) y ostrácodos y con la ausencia de dientes.

Yacimiento: El yacimiento Escarpe-Pelejón se sitúa a techo del tramo 11 en la facies de lutitas-lutitas margosas (Fig. 4). Los datos del mismo fueron obtenidos durante prospecciones paleontológicas previas por parte de investigadores del grupo *Aragosaurus* de la Universidad de Zaragoza. Su contenido fósil cuenta con vertebrados tales como: dinosaurios, tortugas, cocodrilomorfos, peces óseos e invertebrados tales como: gasterópodos (ver Anexo 2)

Los restos se encuentran desarticulados y fragmentados generalmente, sin muestras de abrasión, disolución o alteración. Uno de los ejemplares, correspondiente a un fragmento del maxilar de un dinosaurio ornitópedo iguanodonto (Fig. 8), muestra concreciones carbonatadas grises en algunos alveolos, donde se distinguen también restos de caráceas y ostrácodos.

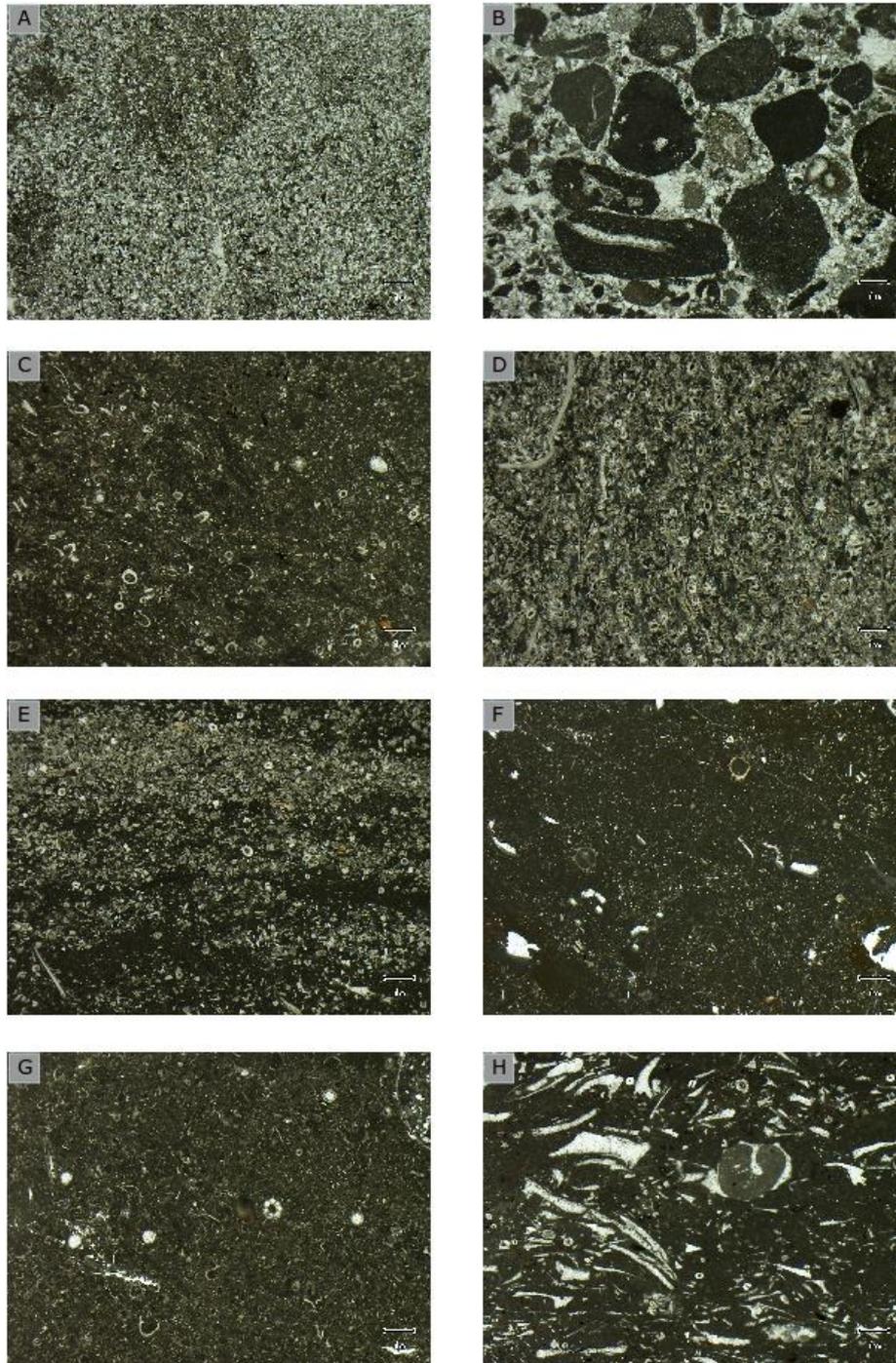


Figura 6. Imágenes de facies en lámina delgada. A. Facies de areniscas B. Facies de calizas intraclásticas. Obsérvese que los intraclastos corresponden a mudstone con porosidad fenestral. C y D. Facies de calizas bioclásticas con caráceas y ostrácodos. E. Facies de calizas bioclásticas con laminación. F. Facies de calizas bioclásticas bioturbadas por raíces con ostrácodos y bivalvos. G. Facies de calizas bioclásticas bioturbadas por raíces con predominio de ostrácodos. H. Facies de calizas bioclásticas con porosidad fenestral. Todas las imágenes están tomadas en nicoles paralelos. Escala=1mm

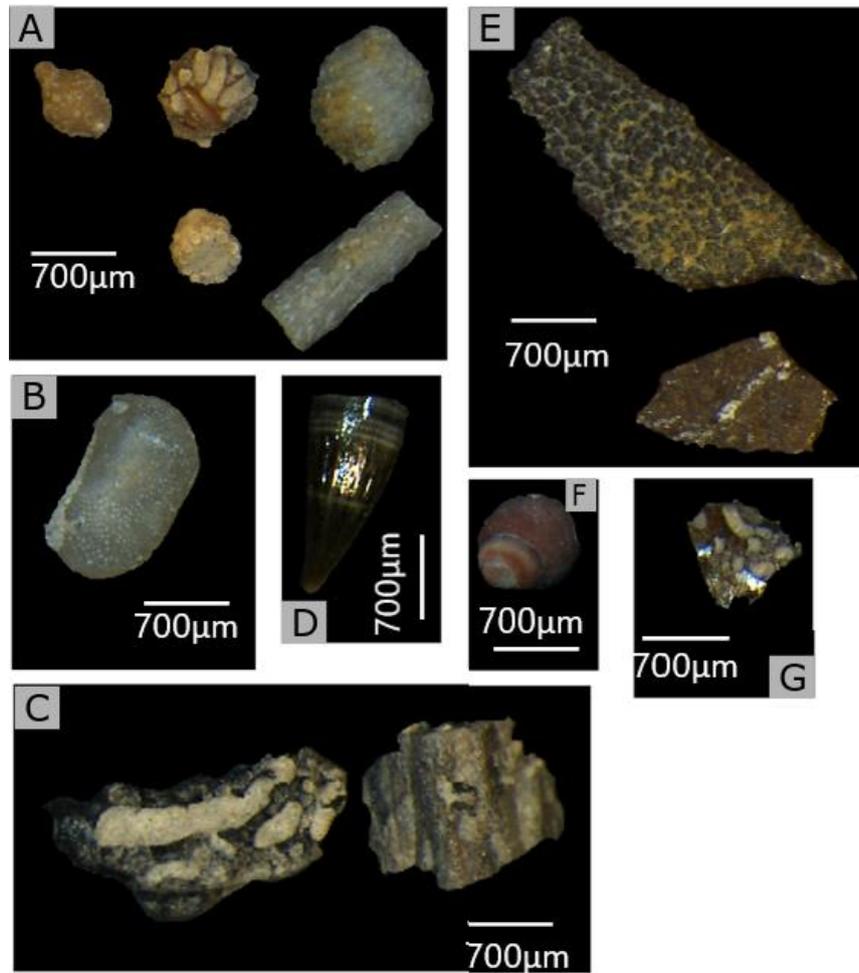


Figura 7. Imágenes del contenido fósil de los levigados CP 12 Y CP 21. A. Tallos y oogonios de caráceas. B. Ostrácodo. C. Restos óseos de peces. D. Diente de cocodrilomorfo. E. Cáscaras de huevos. F. Gasterópodo. G. Escama de pez.



Figura 8. Fragmento de hueso maxilar de ornitópodo iguanodonto hallado en el yacimiento Escarpe-Pelejón.

6. INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. INTERPRETACIÓN DE FACIES

La interpretación de los distintos subambientes sedimentarios y su evolución se ha llevado a cabo a partir de las características de las facies descritas anteriormente, así como por su relación vertical y ocasionalmente su relación lateral observada en el afloramiento.

En la serie levantada, la unidad muestra tres partes bien diferenciadas en cuanto al tipo de facies dominantes:

- 1) En la parte inferior (tramos 1 a 11) dominan las facies detríticas, en concreto la facies de lutitas-lutitas margosas que presentan ocasionales intercalaciones de facies de arenisca, calizas intraclásticas y margas. La evolución de este conjunto de facies, muestra un aumento en el contenido de carbonato en las lutitas-lutitas margosas y un descenso de la componente detrítica gruesa (areniscas), que queda restringida a la parte inferior de la unidad. Esto unido al contenido paleontológico de las muestras analizadas indica un incremento en la presencia de condiciones subacuosas. En concreto, las lutitas-lutitas margosas basales son azoicas (levigado CP 2), mientras que las margas del tramo 10 (levigado CP 12) y las lutitas-lutitas margosas del tramo 11, donde se encuentra el yacimiento Escarpe-Pelejón, presentan restos de invertebrados, caráceas, ostrácodos, bivalvos; y vertebrados, peces, cocodrilomorfos, así como galerías de bioturbación horizontales, indicando presencia de agua dulce, y aguas someras, ya que las carofitas se restringen a la zona fótica (Canudo et al., 2017).

En este contexto, las facies de areniscas y de lutitas basales representarían un ambiente de influencia fluvial, componiendo el tránsito de facies aluviales a facies palustres-lacustres (e.g. Pérez, 1989), que rodearía a estas últimas. Por su parte la facies de calizas intraclásticas, que muestran granos de cuarzo de tamaño arena e intraclastos de las facies de calizas bioclásticas con porosidad fenestral, representan eventos de alta energía que arrastrarían fragmentos del sedimento de facies de calizas bioclásticas con porosidad fenestral desde la orla palustre.

- 2) A partir del tramo 12 y hasta el tramo 17, destaca el predominio de facies mixtas en las que se intercalan un nivel ocasional de facies carbonatada (calizas bioclásticas con caráceas y ostrácodos).

Las facies mixtas incluyen dos tipos de facies margosas (margas y margas bioturbadas por raíces) y dos de calizas margosas (calizas margosas y calizas margosas bioturbadas por raíces). La presencia de restos fósiles de caráceas, ostrácodos, bivalvos y peces reflejan un similar ambiente de sedimentación bajo lámina de agua somera en las facies de margas y calizas margosas, de modo que al producirse el descenso de la lámina de agua, estas serían bioturbadas por raíces (facies de margas bioturbadas por raíces y de calizas margosas bioturbadas por raíces), lo que sitúa a este conjunto de facies en un ambiente de orla palustre (e.g. Pérez, 1989; Armenteros, 1991; Alonso-Zarza, 2013).

La relación de estas facies viene ilustrada en la evolución de los tramos 16 y 17 (Fig. 4), en los que se produce una alternancia tanto vertical como horizontal del depósito de estas facies. Esta alternancia muestra una variación de energía y de la producción de carbonato; ambos parámetros son mayores para el depósito de calizas margosas que para el depósito de las facies

de margas. A lo largo de estos tramos (16 y 17) también se observa una somerización que permite la colonización vegetal tanto en margas como en calizas margosas.

No obstante, el análisis detallado de los rellenos de la bioturbación por raíces en los tramos 12 y 14, refleja una historia de depósito más compleja en los límites entre la facies de calizas margosas bioturbadas por raíces y la facies de calizas bioclásticas con caráceas y ostrácodos. Tras el depósito de las margas en el subambiente de orla palustre, se produciría su emersión y colonización vegetal; tras la muerte de la vegetación, las cavidades de las raíces quedarían abiertas y bien por un evento de tormenta, o bien por un aumento del nivel del agua se depositarían capas bioclásticas que se corresponden con la facies de calizas bioclásticas con caráceas y ostrácodos. Posteriormente, un flujo de mayor energía sin sedimento erosionaría este nivel, dejando su vestigio en el relleno (Fig.9).



Figura 9. Esquema del proceso de formación de la superficie de erosión.

Estas facies se han interpretado como la orla palustre rodeada tanto de ambientes transicionales como de ambientes lacustres ss.

- 3) A partir del tramo 17 y hasta el final de la serie, hay una alternancia de margas y calizas bioclásticas. Las calizas incluyen 5 tipos diferentes de facies, cuyo orden de aparición en la serie es facies de calizas bioclásticas con caráceas y ostrácodos, facies de calizas bioclásticas con laminación, facies de calizas bioclásticas bioturbadas por raíces con ostrácodos y bivalvos, calizas bioclásticas bioturbadas por raíces con predominio de ostrácodos, y calizas bioclásticas con porosidad fenestral.

La alternancia de estos dos tipos de facies refleja una mayor variación de las condiciones ambientales durante su depósito en términos de profundidad, energía y proporción de componentes carbonatados (fango-bioclastos) frente a fango detrítico en el agua.

Las facies de margas requieren condiciones subacuosas con poca energía y posiblemente menor producción de carbonato que las facies de calizas. Las distintas facies de calizas bioclásticas reflejan también diferentes condiciones.

Por un lado, la facies de calizas bioclásticas con caráceas y ostrácodos reflejan un flujo energético que acumuló los bioclastos (ostrácodos 55% y caráceas 45%) en un ambiente poco profundo. La facies de calizas bioclásticas con laminación muestra una alternancia en sí misma con periodos de menor energía (textura *mudstone*) y mayor energía (acumulación de láminas milimétricas de bioclastos), cuyo depósito requería flujos que acumularan bioclastos. Estos bioclastos consisten en caráceas (90%) y ostrácodos (10%) por lo que se depositaron a poca profundidad en la zona fótica. Las calizas bioclásticas bioturbadas por raíces con ostrácodos y

bivalvos, al igual que la facies bioclástica con caráceas y ostrácodos, reflejan un flujo constante y energético que acumuló los bioclastos (ostrácodos, 50%; bivalvos, 40%; y caráceas, 10%) manteniéndose a poca profundidad. Las calizas bioclásticas bioturbadas por raíces con predominio de ostrácodos, poseen un 75% de ostrácodos, un 15% de bivalvos y un 10% de caráceas además de escasos restos de peces; esto puede deberse a un ambiente con mayor profundidad respecto al resto de facies, manteniendo siempre el carácter somero del lago. Por último, las calizas bioclásticas con porosidad fenestral poseen bioclastos muy fragmentados, ostrácodos (15%), caráceas (15%), bivalvos (10%), gasterópodos (10%) y ocasionales restos de peces. Esta facies requiere un depósito subacuoso con emersiones y flujos de agua de mayor energía que fragmenten los bioclastos. El depósito de facies de calizas bioclásticas con caráceas y ostrácodos, en esta ocasión, presentan menor proporción de matriz y mayor tamaño de bioclastos, lo que requiere un flujo de alta energía que acumule los bioclastos de mayor tamaño e impidiese la decantación de fango carbonatado.

En conjunto, todas las facies de calizas (a excepción de la facies de calizas bioclásticas con caráceas y ostrácodos) poseen bioturbación por raíces lo que muestra que experimentaron procesos de emersión en los que se produjo una colonización vegetal. En este caso, las cavidades de las raíces se encuentran rellenas por material más margoso.

Estas características situarían este conjunto de facies en un ambiente lacustre relativamente somero (e.g. Pérez, 1989; Armenteros, 1991) con continuas emersiones y mayor energía (Meléndez et al., 2009), favoreciendo así el depósito de margas en un ambiente lacustre somero (aunque relativamente más profundo) de menor energía alternados con periodos de mayor energía y producción de carbonato que favorecieron el depósito de facies de calizas y acumulación de bioclastos (Fig. 10) (Pérez, 1989; Armenteros, 1991; Meléndez et al., 2009).

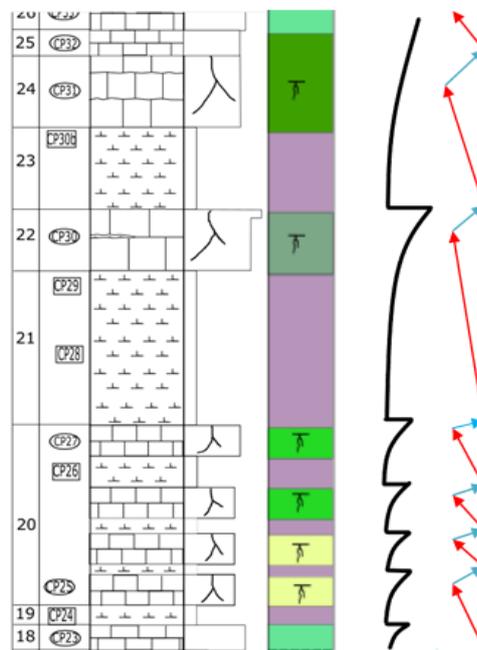


Figura 10. Esquema que muestra las secuencias margas-caliza en la parte superior de la Formación El Castellar, relacionada con la variación de la energía y el aumento de la producción de carbonato (traza negra) y que reflejarían ciclos de somerización-profundización (las flechas azules se corresponderían a los eventos de profundización del límite de secuencias)

6.2. INTERPRETACION DEL YACIMIENTO

El yacimiento paleontológico Escarpe-Pelejón se encuentra inmerso en las facies de lutitas-lutitas margosas del tramo 11, el tramo más potente registrado en la serie. En cuanto al paleoambiente en el que tuvo lugar el depósito, se trata de un subambiente aluvial-lacustre fruto de las primeras extensiones lacustres que afectaron a este ambiente transicional.

Esta asociación posee una gran paleodiversidad con macro y microrestos de vertebrados e invertebrados, aunando especies con modos de vida acuático (peces, moluscos, ostrácodos, caráceas), anfibio (tortugas, cocodrilos) y terrestre (dinosaurios) (Gasca et al., 2015), ver Anexo 2. En su mayoría, los restos se encuentran fragmentados, dispersos y desarticulados.

Todos los restos fósiles pueden haber tenido una historia tafonómica diferente. Algunos de los fósiles vertebrados e invertebrados hallados tales como peces, gasterópodos... que se nombran en el Anexo 2 podrían ser autóctonos, sin embargo, otros fósiles de vertebrados (e.g. maxilar de ornitópodo iguanodontio, tortugas, cocodrilos...) son alóctonos ya que no vivían en el fango subacuoso, y que pudieron sufrir resedimentación.

Si bien el estudio de campo revela que todo el tramo 11 corresponde a las facies de lutitas-lutitas margosas, la presencia de fósiles de vertebrados con relleno carbonatado podría explicarse por tres hipótesis:

- 1) Que existieran depósitos carbonatados milimétricos o preservados en superficies de omisión (bioturbación) no identificados en el campo que contendrían los restos fósiles. Posteriormente un flujo de agua de mayor energía erosionó el sedimento carbonatado, dejando las partículas gruesas (restos fósiles), continuando posteriormente el depósito de lutitas margosas.
- 2) Que los fósiles sean resedimentados, es decir, que se acumularan en un sedimento original (carbonatado en el caso de los fósiles con relleno de esta naturaleza) diferente a las lutitas en las que se encuentran.
- 3) Que el resto haya sufrido una cementación diferencial durante la diagénesis temprana como si se tratase de un proceso de nodulización.

Este yacimiento refleja una asociación de restos de organismos que en vida ocupaban diferentes ambientes y poseían diferentes modos de vida, todos ellos compatibles con un ambiente aluvial-lacustre: los peces habitan medios acuáticos con un modo de vida planctónico, pudiendo alcanzar mayor profundidad que los ostrácodos y carofitas (modo de vida bentónico); los cocodrilos se mueven por ambientes tanto acuáticos como terrestres; y los dinosaurios habitaban en ambientes terrestres. Es decir, el yacimiento muestra una superposición de ambientes fruto de la dinámica lacustre (Gasca et al., 2015)

6.3. COMPARACIÓN CON TRABAJOS PREVIOS

Respecto a la sedimentología estudiada, este trabajo diferencia 4 subambientes de sedimentación que se asemejan a los descritos por Meléndez et al. (2009) para sus unidades 2 y 3 (que se corresponden con la Formación El Castellar:

- 1) Transicional aluvial-lacustre, representado por las facies de lutitas-lutitas margosas, areniscas y calizas intraclásticas, se asemejaría al subambiente mixto siliciclástico-carbonatado de Meléndez et al. (2009). En ambos se observa un aumento progresivo del porcentaje de carbonato. Sin embargo, en el afloramiento El Pelejón, estudiado en este trabajo, no se han reconocido yesos sedimentarios que sí describen Meléndez et al. (2009)
- 2) La orla palustre, que incluye las facies de margas, margas bioturbadas por raíces, calizas margosas y calizas margosas bioturbadas por raíces, difiere en cuanto a las facies que componen la orla palustre en Meléndez et al. (2009). Este describe una asociación de facies formada por margas, lutitas margosas y lutitas rojas y amarillas con bioturbación, nódulos y moteado verde debido a la diagénesis. En este trabajo no se reconocen las facies de lutitas en este subambiente así como tampoco se reconocen moteados diagenéticos. Sin embargo, Meléndez et al. (2009) describe un cambio lateral de facies hacia calizas de los subambientes lacustre de baja y lacustre de alta energía (Meléndez et al., 2009) que coincide con el cambio lateral de facies descrito en este trabajo a subambientes lacustres someros de baja energía y de alta energía.
- 3) Los subambientes lacustre somero de baja energía y lacustre somero de alta energía (que incluyen facies de calizas bioclásticas con caráceas y ostrácodos, facies de calizas bioclásticas con laminación, facies de calizas bioclásticas bioturbadas por raíces con ostrácodos y bivalvos, facies de calizas bioclásticas bioturbadas por raíces con predominio de ostrácodos y facies de calizas bioclásticas con porosidad fenestral) se asemejan a los subambientes lacustre de baja energía y lacustre de alta energía de Meléndez et al. (2009) respectivamente. Cabe destacar que Meléndez et al. (2009) diferencia la presencia de signos de exposición subaérea tan solo en las facies de baja energía, mientras que en este trabajo las evidencias de exposición subaérea se han demostrado en casi todos los tramos de calizas. Además, Meléndez et al. (2009) describe transiciones de ambientes profundos a sublitorales, sin embargo, en este trabajo se ha mantenido el carácter somero y de baja rampa del lago que no permitiría el desarrollo de un ambiente profundo.

Por otro lado, respecto a la paleontología, el trabajo de Ruiz-Omeñaca et al. (2004) se centra en la taxonomía de los restos de la Formación El Castellar, en particular de huevos de dinosaurios que describe en facies de margocalizas. Este trabajo tiene un punto de vista más tafonómico basándose en los estudios tafonómicos previos de Gasca et al. (2015). En ambos casos los restos de vertebrados se hallan principalmente en facies fangosas (margocalizas, lutitas-lutitas margosas) aunque los yacimientos encontrados en los alrededores de la localidad de Gúdar (provincia de Teruel), Gasca et al. (2015) los sitúa en calizas.

Gasca et al. (2015) atañe el origen la asociación de restos de los yacimientos de la Formación El Castellar a la superposición de subambientes debida a la dinámica lacustre favorecida por el bajo gradiente de la rampa del lago así como por su escasa profundidad, en un subambiente lacustre de somero de baja energía, sin embargo, en este trabajo se le asigna un subambiente transicional aluvial-lacustre. Se han propuesto además tres hipótesis en este trabajo que explicarían la presencia de fósiles con relleno carbonatado que apuntaría a dicha superposición en el tiempo de subambientes.

7. CONCLUSIONS

The El Castellar Formation in the stratigraphic section of El Pelejón (Galve, Teruel province) is a 30 m thick succession of lutites, marls and limestones. The facies analysis has allowed the characterization of siliciclastic, mixed (carbonate and siliciclastic) and carbonate facies which show a temporal and spatial evolution: from transitional subenvironments with small ponds in palustrine subenvironments, to shallow lakes with palustrine areas. The subenvironments defined are:

1. Transitional alluvial-palustrine subenvironment with predominant deposition of lutites-marly lutites, and scarce sandstones, intraclastic limestones and marls. This low-energy environment suffered different events: high energy events that transported sediment fragments from mudstone facies with fenestral porosity located in the palustrine-lacustrine zone; and lacustrine extensions events, floods, which favored deposition of marls and lutites rich in fossil remains, in particular that gave rise to the association of the Escarpe-Pelejon fossil site.
2. Palustrine subenvironment which contains marls and marly limestones episodically bioturbated by root traces. Moreover, this subenvironment suffered flood events with higher energy flows that deposited bioclastic limestones and later on eroded them generating erosion surfaces. These rare events only preserved in the root trace fillings, and reflect the influence of the shallow lacustrine environments.
3. Shallow lacustrine environments with high a low energy periods and emersion-flood cycles in which marls to limestones with root traces sequences generate.

Regarding the paleontological record of the unit:

- Charophytes, ostracods and mollusks are in carbonate and mixed facies (limestones and marls) what indicate that the lake must be shallow.
- There is a level which contain fossil remains of micro and macrovertebrates that correspond to the Escarpe-Pelejón fossil site. The fossil site is found in lutites- marly lutites facies and its paleodiversity is explained by the superposition of environments favored as it is a shallow lake with a low gradient ramp.
- It should be noted that the rests with carbonated concretions found in the fossil site, are explained by three hypothesis: (1)the rests are related to carbonate millimeter deposits or preserve don omission surfaces which have not been identified; (2)they are resedimented rests; (3) the rests had undergone differential cementing.
- The Escarpe-Pelejón deposit formation also requires a low sedimentation rate and corresponds to the begining of a lake extension.

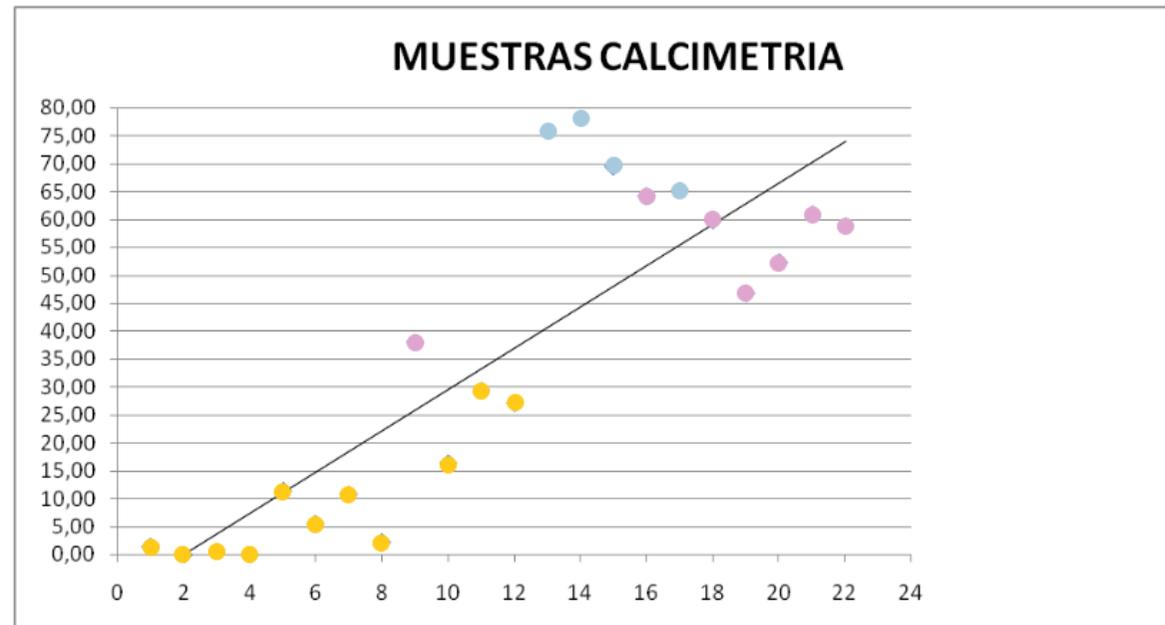
8. BIBLIOGRAFÍA

Alonso-Zarza, A.M., (2003): Paleoenvironmental significance of palustrine carbonates and calcretes in the geological record. *Earth Sci. Rev.* 60, 261-298.

- Armenteros, I.; Acosta, J.M. y Blanco, J.A. (1989): Sedimentología y mineralogía de las facies fluvio-lacustres miocenas en el sector central de la Depresión del Duero (Este de Valladolid). *XII Congr. Esp. Sedim.*, Comunicaciones.
- Aurell, M., Bádenas, B., Gasca, J.M., Canudo, J.I., Liesa, C.L., Soria, A.R., Moreno-Azanza, M., Najes, L. (2016): Stratigraphy and evolution of the Galve subbasin (Spain) in the middle Tithonian—early Barremian: Implications for the setting and age of some dinosaur fossil sites. *Cretaceous Research*, 65: 138–162.
- Canudo, J.I. 2002. Algas calcáreas. En: *Micropaleontología*. Ed. E. Molina, Prensas Universitarias de Zaragoza, 365-384.
- Dunham, R.J. (1962): Classification of carbonate rocks according to depositional texture. En: Classification of Carbonate Rocks (W.E. Ham, ed). *Am. Assoc. Pet. Geol. Mem*, 1, 108-121.
- Gasca, J.M. (2015): *Aportaciones al conocimiento sobre los dinosaurios del Barremiense inferior (Cretácico Superior) de Teruel, España: asociaciones fósiles, sistemática, paleodiversidad y afinidades paleobiográficas*. Tesis doctoral, Universidad de Zaragoza, 170 pp
- Flügel, E. (2010): Microfacies of Carbonate Rocks. Analysis, Interpretation and Application. Springer – Verlag, Berlín, 976 p.
- Meléndez, N., Liesa, C.L., Soria, A.R., Meléndez, A., (2009): Lacustrine system evolution during early rifting: El Castellar Formation (Galve sub-basin, Central Iberian Chain). *Sedimentary Geology* 222, 64-77.
- Pérez, A., Muñoz, A., Pardo, P., Villena, J., (1989): Evolución de los sistemas lacustres del margen ibérico de la Depresión del Ebro (sectores central y occidental) durante el Mioceno. *Acta Geológica*, 24: 243-258.
- Ruiz-Omeñaca, J.I., Canudo, J.I., Aurell, M., Bádenas, B., Cuenca-Bescos, G., Ipas, J., (2004): Estado de las investigaciones sobre los vertebrados del Jurásico Superior y el Cretácico Inferior de Galve (Teruel). *Estudios geológicos* 60, 179-202.
- Salas, R. & Casas, A. (1993): Mesozoic extensional tectonics, stratigraphy and crustal evolution during the Alpine cycle of the eastern Iberian basin. *Tectonophysics*, 228, 33–55.
- Salas, R. & Guimerà, J. (1996): Rasgos estructurales principales de la cuenca del Cretácico Inferior del Maestrazgo (Cordillera Ibérica oriental). *Geogaceta*, 20(7), 1704–1706.
- Schölle, P.A. y Ulmer-Schölle, D.S. (2003): A Color Guide to the Petrography of Carbonate Rocks: The American Association of Petroleum Geologist, Tulsa, Oklahoma, U.S.A. *AAPG Memoir* 77, 474 p.
- Tucker, M.E. y Wright, V.P. (1990): Carbonate Sedimentology. *Blackwell Science Ltd*, Inglaterra, 481p.
- Liesa, C., Soria, A.R., Meléndez, N., Meléndez, A., (2006): Extensional fault control on the sedimentation patterns in a continental rift basin: El Castellar Formation, Galve sub-basin, Spain. *J. Geol. Soc. Lond.* 163, 487–498.
- Vatán, J.M., (1967): *Manuel de sedimentologien*. Ed. Technip. Paris. 397 pp.

ANEXO 1: CALCIMETRÍAS

MUESTRAS CALCIMETRIA		
CP1	1,30	Lutita
CP2	0,00	Lutita
CP5	0,65	Lutita
CP7	0,00	Lutita
CP8	11,41	Lutita Margos
CP9	5,43	Lutita
CP10	10,87	Lutita Margos
CP11	2,17	Lutita
CP12	38,04	Marga
CP13	16,30	Lutita Margos
CP14	29,46	Lutita Margos
CP15	27,17	Lutita Margos
CP18	75,87	Caliza margos
CP19	78,15	Caliza margos
CP20	69,46	Caliza margos
CP21	64,13	Marga
CP22	65,22	Caliza margos
CP24	59,78	Marga
CP26	46,74	Marga
CP28	52,28	Marga
CP29	60,87	Marga
CP30Bis	58,91	Marga



Gráficos de los resultados obtenidos en las calcimetrías realizadas a las muestras recogidas en el afloramiento El Pelejón y su relación con las distintas facies.

ANEXO 2: INVENTARIO DE FÓSILES DEL YACIMIENTO ESCARPE-PELEJÓN

Sigla	Elemento	Asignación	Yacimiento	Formación	Localidad
EPEL/1	Osteodermo	Ankilosaurio	Escarpe Pelejón	El Castellar	Galve
EPEL/10	Epífisis hueso largo. Ulna?	indeterminado	Escarpe Pelejón	El Castellar	Galve
EPEL/11	Fragmento de costilla	indeterminado	Escarpe Pelejón	El Castellar	Galve
EPEL/12	Coprolito	indeterminado	Escarpe Pelejón	El Castellar	Galve
EPEL/13	maxilar	onitópodo Iguanodontia?	Escarpe Pelejón	El Castellar	Galve
EPEL/14	placas de tortuga	Tortuga	Escarpe Pelejón	El Castellar	Galve
EPEL/15	placa de tortuga	Tortuga	Escarpe Pelejón	El Castellar	Galve
EPEL/16	gasterópodos	gasterópodo	Escarpe Pelejón	El Castellar	Galve
EPEL/17	escamas y un diente	osteíctio	Escarpe Pelejón	El Castellar	Galve
EPEL/18	Osteodermo	Ankilosaurio	Escarpe Pelejón	El Castellar	Galve
EPEL/19	vértebra	osteíctio	Escarpe Pelejón	El Castellar	Galve
EPEL/2	Coprolite	indeterminado	Escarpe Pelejón	El Castellar	Galve
EPEL/20	vértebra	osteíctio	Escarpe Pelejón	El Castellar	Galve
EPEL/21	fragmentos de cáscaras de huevo	indeterminado	Escarpe Pelejón	El Castellar	Galve
EPEL/22	coprolitos	indeterminado	Escarpe Pelejón	El Castellar	Galve
EPEL/23	fragmentos de huesos	indeterminado	Escarpe Pelejón	El Castellar	Galve
EPEL/3	Placa	Tortuga	Escarpe Pelejón	El Castellar	Galve
EPEL/4	Diente	Iguanodontoidea	Escarpe Pelejón	El Castellar	Galve
EPEL/5	Espina neural?	indeterminado	Escarpe Pelejón	El Castellar	Galve
EPEL/6	Coprolito	indeterminado	Escarpe Pelejón	El Castellar	Galve
EPEL/7	Concha	gasterópodo	Escarpe Pelejón	El Castellar	Galve
EPEL/8	Concha	gasterópodo	Escarpe Pelejón	El Castellar	Galve
EPEL/9	Osteodermo	cocodrilo	Escarpe Pelejón	El Castellar	Galve

Modificado de Gasca et al., (2015)