

Trabajo Fin de Grado

PALEONTOLOGÍA Y SEDIMENTOLOGÍA DEL MAASTRICHTIENSE
SUPERIOR DE ARÉN (FM. TREMP INFERIOR; HUESCA)

PALEONTOLOGY AND SEDIMENTOLOGY OF THE UPPER
MAASTRICHTIAN FROM ARÉN (FM. LOWER TREMP; HUESCA)



AUTOR

Jerome Hidalgo Sanz

DIRECTORES

José Ignacio Canudo Sanagustín

Beatriz Bádenas Lago

Índice

AUTOR.....	1
DIRECTORES.....	1
1. ABSTRACT	3
2. PLANTEAMIENTO.....	3
3. OBJETIVOS	3
4. METODOLOGÍA	4
4.1. Trabajo de gabinete previo	4
4.2. Trabajo de campo	4
4.3. Trabajo de laboratorio	4
4.3.1. Estudio de muestras de roca en lámina delgada.....	4
4.3.2. Preparación y estudio de fósiles en el laboratorio	4
4.4. Elaboración de datos y síntesis	5
5. MARCO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO.....	5
5.1. Situación geográfica y geológica.....	5
5.2. Contexto estratigráfico y sedimentológico	6
6. ESTRATIGRAFÍA	8
6.1. Series estudiadas	8
6.2 Análisis de facies y modelo de sedimentación.....	10
6.2.1 Facies detríticas	10
6.2.2. Facies mixtas	11
PALEONTOLOGÍA.....	12
DISCUSIÓN poner junto a interpretación?	21
CONCLUSIONS (en inglés)	22
BIBLIOGRAFÍA(Provisional, faltan citas y ponerlas en el formato adecuado)	23
ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.

1. ABSTRACT

The sedimentological and paleontological analyses of a 200 m-thick succession of the lower part of the Tremp Fm (Maastrichtian) at Collada Blasi outcrop (Arén, Huesca province, NE Spain) has allowed characterizing a rich assemblage of vertebrate fossils preserved in the transitional paleoenvironments developed in this área of the South-Pyrenean Basin at this time. The facies model established in this study allow infer that the fossil record and the preservation of the fossils are influenced by the stratigraphic units that contains them. The paleontological vertebrate record in Arén is wide and is mostly composed by dinosaurs remains, mainly hadrosaurs and other taxa like crocodiles or turtles.

2. PLANTEAMIENTO

El Maastrichtiense superior (Cretácico terminal) del sinclinal de Tremp (Huesca) está constituido por una sucesión de en torno a 120 m de espesor de lutitas, areniscas, margas y calizas perteneciente a la parte inferior de la Fm. Tremp, en concreto a los miembros informales denominados como "Garum gris" y "Garum rojo inferior". Estos materiales representan facies transicionales marino-continentales y contienen uno de los registros fósiles más ricos de vertebrados de Europa, especialmente de dinosaurios (icnitas y restos directos). Diversos estudios han abordado el análisis del contenido fósil e interpretación del medio de sedimentación de esta unidad en diferentes afloramientos a lo largo del sinclinal de Tremp: Leymerie, 1868; Mey *et al.* 1968; López-Martínez *et al.*, 1998; Rosell *et al.*, 2001 Cruzado-Caballero *et al.*, 2015; Company *et al.*, 1998, entre otros.

Una de las zonas no exploradas en profundidad hasta el momento son los afloramientos situados al oeste de Arén, en la zona denominada Collada Blasi. En trabajos previos realizados en la zona de Arén se describen nueve yacimientos de restos directos en el "Garum gris" y en la parte inferior del "Garum rojo inferior", así como de pisadas de hadrosaurios en la parte superior del "Garum rojo inferior", destacándose la importancia de estos aforamientos para caracterizar la riqueza fósil del Maastrichtiense superior, así como su contexto sedimentológico.

3. OBJETIVOS

El objetivo de este Trabajo Fin de Grado es realizar la caracterización paleontológica y sedimentológica de la parte inferior de la Fm. Tremp ("Garum gris" y "Garum rojo inferior") en el afloramiento de Collada Blasi, con los siguientes objetivos parciales:

- (1) Caracterizar la sucesión sedimentaria de las facies y realizar la descripción (sistemática paleontológica) de fósiles de vertebrados y huellas encontrados en dicha sucesión;
- (2) Realizar la interpretación paleoambiental de las facies, contextualizando los yacimientos reconocidos y las paleoambientes y facies más propicias para la conservación de fósiles de vertebrados;
- (3) Comparar los resultados con los estudios realizados en otros afloramientos de la Fm. Tremp y del Prepirineo aragonés.

4. METODOLOGÍA

La metodología empleada para la elaboración del trabajo consta de cuatro partes fundamentales.

4.1. Trabajo de gabinete previo

Previamente al trabajo en campo se llevó a cabo el estudio de la información preexistente sobre la geología y paleontología del sinclinal de Tremp y, en particular en lo referente a la Fm. Tremp en el entorno de la localidad de Arén, con el motivo de familiarizarse con la serie estratigráfica local y los trabajos paleontológicos en yacimientos con restos de vertebrados.

4.2. Trabajo de campo

El trabajo de campo consistió en la realización de 4 campañas (4 días en total) y abarcó el levantamiento de perfiles estratigráficos-sedimentológicos y la prospección paleontológica de restos de vertebrados.

Se levantaron dos perfiles estratigráficos-sedimentológicos de referencia: uno abarcando casi la totalidad de la parte inferior de la Fm. Tremp inferior ("Garum gris" y "Garum rojo inferior") y otro parcial en la parte superior del "Garum rojo inferior" para completar observaciones.

Se estudió el espesor y geometría de los estratos, litología, color, textura, componentes (incluidos restos fósiles) y estructuras sedimentarias (incluidas huellas de dinosaurios), con objeto identificar las facies y situar los yacimientos paleontológicos. Además, se realizaron fotografías y se tomaron 10 muestras de roca para su posterior estudio en lámina delgada, 24 muestras de restos fósiles de vertebrados y una muestra de unos 1,5 kg aproximadamente de lutita para su posterior levigado y estudio micropaleontológico.

Para este trabajo se utilizó el material habitual en el trabajo de campo sedimentológico y paleontológico: vara de Jacob y cinta métrica, cámara fotográfica, brújula, lupa de mano, martillo, cinceles, consolidantes (Paraloid B-72 disuelto en acetona) y pegamento Imedio, así como el material necesario para tomar notas y siglar muestras.

4.3. Trabajo de laboratorio

El trabajo de laboratorio consistió en el estudio de las muestras de roca en lámina delgada, así como realizar la preparación y estudio de fósiles en el laboratorio.

4.3.1. Estudio de muestras de roca en lámina delgada

Se elaboraron láminas delgadas de las 10 muestras de roca dura tomadas en el campo, por parte del Servicio de Preparación de Rocas y Materiales Duros de la Universidad de Zaragoza. Posteriormente, se estudiaron con el microscopio de luz transmitida con el fin de completar la información sobre la textura y componentes (incluido contenido fosilífero) de las facies, obtenida en campo. Además, se realizaron fotografías de las láminas delgadas mediante cámara fotográfica conectada al microscopio de luz transmitida. Se utilizó el manual de Flügel (2004) para la identificación de restos fósiles en lámina delgada.

4.3.2. Preparación y estudio de fósiles en el laboratorio

Para el estudio de restos macropaleontológicos, las 23 muestras tomadas se prepararon siguiendo los siguientes pasos: 1) se procedió a la individualización de los restos paleontológicos de las rocas que los contienen, mediante técnicas mecánicas (de abrasión y percusión) en las que se utilizaron percutor de aire comprimido y martillo y

cinel; 2) Se consolidaron los restos fósiles y se pegaron piezas fósiles con resinas acrílicas (Paraloid B-72 diluido en acetona y pegamento Imedio); 3) Se realizó la limpieza superficial de los restos fósiles mediante abrasión mecánica y química leve, con el uso de acetona, hisopos y bisturí.

Para el estudio micropaleontológico de la muestra de 1,5 kg de lutita se realizó el siguiente tratamiento: 1) Se dejó a remojo la muestra 24 horas con agua oxigenada al 10% con el fin de disgregarla; 2) Se hizo pasar la muestra a través de una serie de tamices con luces de malla de 1 mm, 500 µm, 250 µm y 100 µm; 3) Las fracciones de sedimento con microfósiles retenidas en cada tamiz se dejaron secar en diferentes recipientes dentro de un horno refractario a 50°C; 4) Una vez secas las muestras se procedió a realizar un triado de cada fracción por separado a través de una lupa binocular. Finalmente, algunos de los ejemplares fósiles recuperados durante el levigado se estudiaron usando microscopio electrónico de barrido (JEOL JSM 6400 SEM) mediante electrones secundarios.

Para el estudio sistemático se han utilizado los trabajos: Mikhailov (1997), Cruzado-Caballero (2012), Bernat Vila *et al.* (2013) y Pérez-Pueyo *et al.* (2021) y. Buscar un trabajo de foraminíferos porque se ha identificado sin ningún artículo.

4.4. Elaboración de datos y síntesis

El trabajo de gabinete consistió en el tratamiento de datos, incluyendo: la elaboración de los perfiles estratigráficos-sedimentológicos, sintetizando la información obtenida en el campo y en el laboratorio y realizando una integración de los datos paleontológicos en el contexto paleontológico de la Fm. Tremp. Tanto los perfiles, como la edición de las fotografías de campo y laboratorio se realizó con el programa Adobe Illustrator versión 2020. También, se ha llevado realizado un modelo fotogramétrico generado a partir de fotos a icnitas que han sido procesadas por el software Agisoft Photoscan (versión estándar 1.1.4).

Por último, se llevó a cabo la interpretación y discusión de los resultados. La interpretación consistió básicamente en la definición de facies, deducción de paleoambientes de sedimentación, caracterización paleontológica y asociación fósil-facies. Todo esto se ha comparado con los trabajos previos realizados en la zona y en el mismo entorno geológico, sobre todo a nivel aragonés.

5. MARCO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO

5.1. Situación geográfica y geológica

El área de estudio se encuentra situada al NE de la Península Ibérica, en el entorno de la localidad de Arén, provincia de Huesca (Aragón) (Fig. 1). Arén se sitúa en la margen derecha del valle del río Noguera Ribagorzana, que hace de límite entre las comunidades de Cataluña y Aragón. En concreto, el afloramiento estudiado en detalle se denomina Collada de Blasi y está situado 2 Km al NO de dicha localidad. Los dos perfiles estratigráficos-sedimentológicos de referencia levantados en esta área se sitúan en las siguientes coordenadas:

Perfil 1; Base: 31T 309262E 4683210 N; Techo: 31T 309183 E 4683149 N

Perfil 2: Base: 31T 309265E 4683020 N; Techo: 31T 309185 E 4683006 N

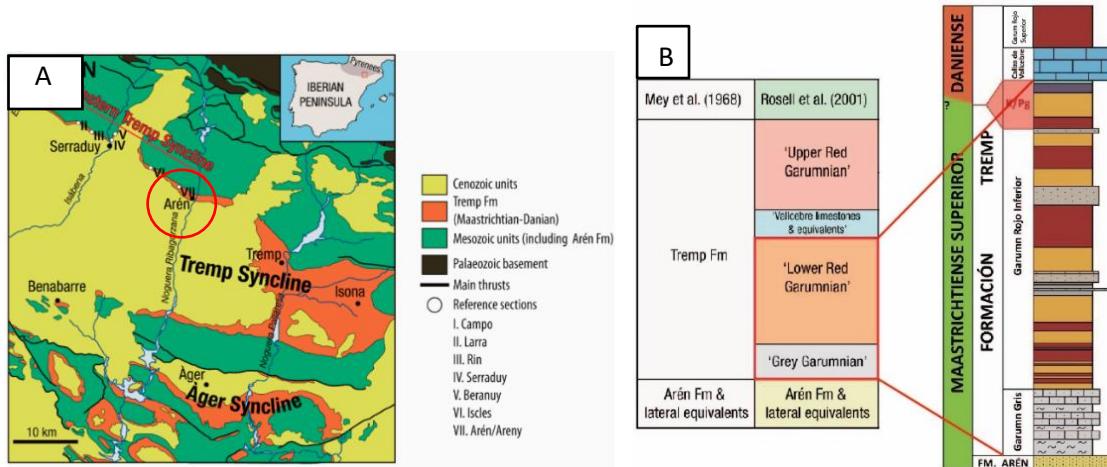


Figura 1: Contexto geográfico y geológico del área estudiada. A) Mapa geológico de la zona de la cuenca Surprenaica, donde se localiza el Sinclinal de Tremp. Se marca en rojo la zona de estudio. Tomado de Pérez-Pueyo *et al.* 2021 (modificado López-Martínez y Vicens, 2012). B) Propuesta de unidades estratigráficas del Sinclinal de Tremp que abarcan desde el Maastrichtiense hasta el Paleoceno. Modificado de López-Martínez *et al.* 2006. Y columna estratigráfica sintética de las unidades estratigráficas del Sinclinal de Tremp y señalando las estudiadas en este trabajo. (Pérez-Pueyo *et al.* 2021).

Además, de estudiar el contenido fósil en los dos perfiles mencionados, se ha estudiado material fósil procedente de los yacimientos de Blasi (a 1,8 km de Arén) y de San Pere de Cornudella (a 4 km de Arén).

A nivel geológico, la zona estudiada pertenece a la Cordillera Pirenaica (Fig.1), una cadena orogénica alpina de dirección NO-SE, situada al norte de la Península Ibérica. Su estructura está conformada por una serie de láminas de cabalgamiento y pliegues a generados desde el Cretácico Superior hasta el Mioceno Inferior por la colisión de las placas Ibérica y Europea (Puigdefábregas y Souquet, 1986).

Los afloramientos y yacimientos estudiados se sitúan en la Zona Surprenaica Central, concretamente en la cuenca de Tremp-Graus o sinclinal de Tremp, localizándose en el flanco norte del sinclinal (Gómez-Gras, *et al.*, 2016). Las láminas de cabalgamiento permitieron el desarrollo de una serie de cuencas de antepaís, de manera paralela a su eje y que fueron activas en varias etapas tectónicas (Costa *et al.*, 2009). Las láminas de cabalgamiento permitieron el desarrollo de una serie de cuencas de antepaís, que compartimentalizaron los Pirineos de manera paralela a su eje y que fueron activas en varias etapas tectónicas (Costa *et al.*, 2009). La cuenca de Tremp limita al norte con el manto de cabalgamiento de Bóixols y al sur con el del Montsec (Rossel, *et al.* 2001) (Figura 1). Durante el Cretácico superior, la cuenca de Tremp-Graus perteneció a la cuenca Surprenaica conectada con el Océano Atlántico desde el Cretácico hasta finales del Eoceno (Costa. E. *et al.*, 2009). En la cuenca de Tremp-Graus, el registro sedimentario del Cretácico superior es inicialmente marino y posteriormente de carácter transicional y continental (durante todo el Maastrichtiense) y continental franco en el Paleoceno. Esta evolución estuvo ligada a una caída global del nivel del mar acaecida en el Cretácico Superior (Haq, 2014).

5.2. Contexto estratigráfico y sedimentológico

En el sinclinal de Tremp, los depósitos de carácter transicional y continental del Cretáceo Superior a Paleoceno, están representados por dos unidades estratigráficas: la Fm. Arén y la Fm. Tremp (Rosell, *et al.*, 2001) (Fig. 1).

La Fm. Arén (Campaniense medio-Maastrichtiense) está constituida por una sucesión de areniscas y calcarenitas con estratificación cruzada. Los depósitos de esta formación representan ambientes transicionales, principalmente deltas e isla-barrera (Díaz-Molina *et al.*, 2007). Estos depósitos pasan verticalmente y lateralmente a la Fm. Tremp, ya que su límite no es isócrono (Pérez-Pueyo, *et al.*, 2021).

La Fm. Tremp (Mey, 1968) informalmente conocida como Facies Garum es una unidad litoestratigráfica de carácter costero y continental de gran heterogeneidad y con límites diacrónicos que abarca del Maastrichtiense al Paleoceno (Leymerie, 1868). En la zona de estudio del presente trabajo esta formación tiene una potencia de 180 m y en ella se reconocen cuatro unidades (Rosell, *et al.*, 2001), dos unidades Cretácicas (“Garum Gris” y “Garum Rojo Inferior”), que son las estudiadas en el presente trabajo, y dos unidades Paleocenas (“Caliza de Vallcebre y equivalentes” y “Garum Rojo Superior”). A continuación, se describen sus principales características.

- “Garum Gris”: se compone de una sucesión de espesor variable (en torno a 17 m en la zona de estudio) de margas y calizas grises con intercalaciones de areniscas, calizas bioclásticas y capas de carbón, que contienen registro fósil de invertebrados. Esta interpretada como depósitos transicionales (lagoon, llanura de mareas) y es de edad Maastrichtiense (Rosell, *et al.*, 2001).
- “Garum Rojo Inferior”: se compone de una sucesión de en torno a 129 metros de espesor en la zona estudiada, de lutitas grises, ocres y marrones, rojas y versicolores, con ocasionales paleosuelos, que intercalan areniscas canaliformes y calizas. Esta unidad es de edad Maastrichtiense y se interpreta como depósitos aluviales y fluviales (Díaz-Molina, 1987), de peri-lagoon con canales arenosos con influencia mareal en el oeste del Sinclinal de Tremp (Eichenseer, 1988). La Figura 2 representa un esquema paleoambiental durante el depósito de esta unidad. Las facies de lagoon asociado al sistema de isla-barrera representarían el “Garum Gris”, mientras que las más marginales y continentales corresponderían al “Garum rojo”.
- “Caliza de Vallcebre y equivalentes”: es una unidad de calizas micríticas con carofitas y *Microcodium* en relación lateral con lutitas. Representan depósitos lacustres (Díaz-Molina, 1987) datados como Daniense superior (Díez-Canseco, *et al.*, 2014). Lateralmente a la unidad, caso del sector estudiado, se encuentra el “horizonte Colmenar-Tremp”, un horizonte de paleosuelos calcimorfos o yesíferos (Rosell, *et al.*, 2001), situado directamente sobre el “Garum Rojo Inferior”.
- “Garum Rojo Superior”: es una sucesión formada por calizas micríticas rojas, areniscas, y conglomerados. Se encuentran además ocasionalmente la presencia de paleosuelos y yesos. Representan ambientes fluviales y aluviales (Díaz-Molina, 1987). Estos materiales poseen una edad Selandiense-Thanetiense (Serra-Kiel, *et al.*, 1994).

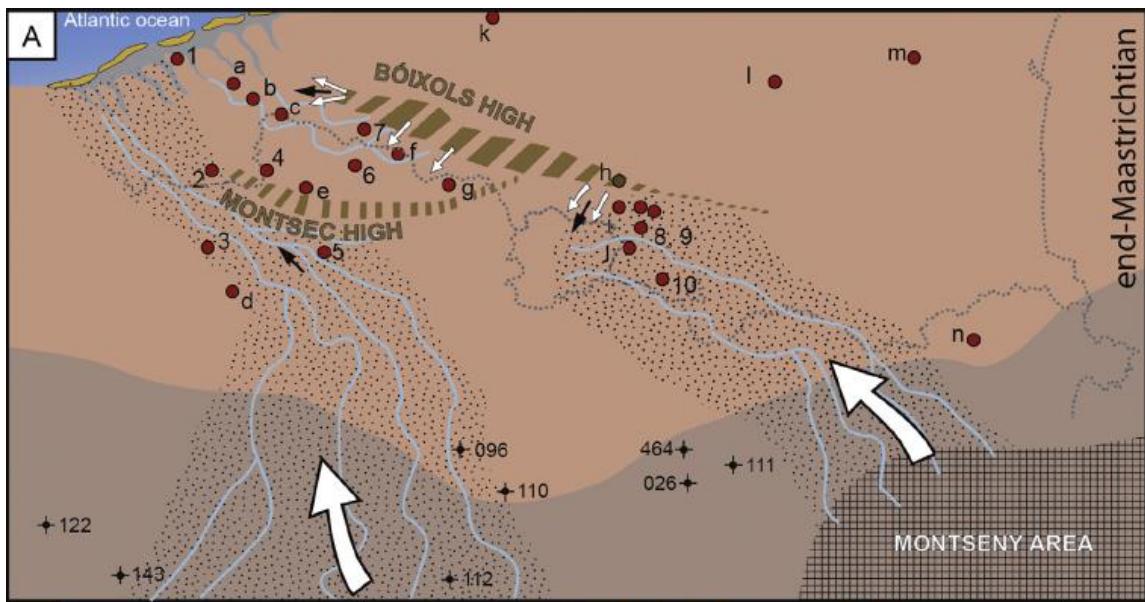


Figura 2: Contexto sedimentario de la Fm. Tremp a finales del Maastrichtiense. Tomada de Gómez Grass *et al.* 2005.

6. ESTRATIGRAFÍA

6.1. Series estudiadas

La figura 3 incluye de forma sintética los dos perfiles estratigráfico-sedimentológicos estudiados.

En el perfil 1 tiene unos 140 m de espesor y abarca el "Garum Gris" y "Garum Rojo Inferior" en casi su totalidad. El "Garum Gris" (tramos 1 a 3 en Fig. 3) tiene 17 m de potencia y está formado por lutitas grises, areniscas y calizas arenosas, en estratos tabulares de espesor decimétrico-métrico. El "Garum Rojo Inferior" (tramos 4 a 33 en Fig. 3) tiene 130 m de potencia, y está formado por lutitas de variados colores en paquetes de potencia decimétrica-métrica con intercalaciones de areniscas y microconglomerados en estratos tabulares y localmente canaliformes de potencia centimétrica-decimétrica y calizas arenosas en estratos estratos tabulares, de potencia decimétrica y ocasionalmente en paquetes métricos intensamente bioturbados.

El perfil 2 tiene 65 m de espesor y abarca la parte superior del "Garum Rojo inferior". La parte inferior (tramos 1 a 8 en Fig. 3) tiene 42 m de potencia y está parcialmente cubierta. Los materiales aflorantes son areniscas, microconglomerados y calizas arenosas dispuestas en estratos tabulares de potencia decimétrica. La parte superior (tramos 9 a 13 en Fig. 3) tiene 22 m de potencia y está dominada por lutitas de variados colores en paquetes decimétricos-métricos con intercalaciones de calizas arenosas y areniscas dispuestas en estratos de potencia decimétrica-métrica. El tramo 13 de lutitas púrpuras correspondería ya al "horizonte Colmenar-Tremp", de edad ya Daniense.

La correlación entre los perfiles 1 y 2 mostrada en la Figura 3A, se realizó por seguimiento lateral en el campo (correlación física) del paquete de areniscas del tramo 1 del perfil 2, equivalente al tramo 29 del perfil 1.

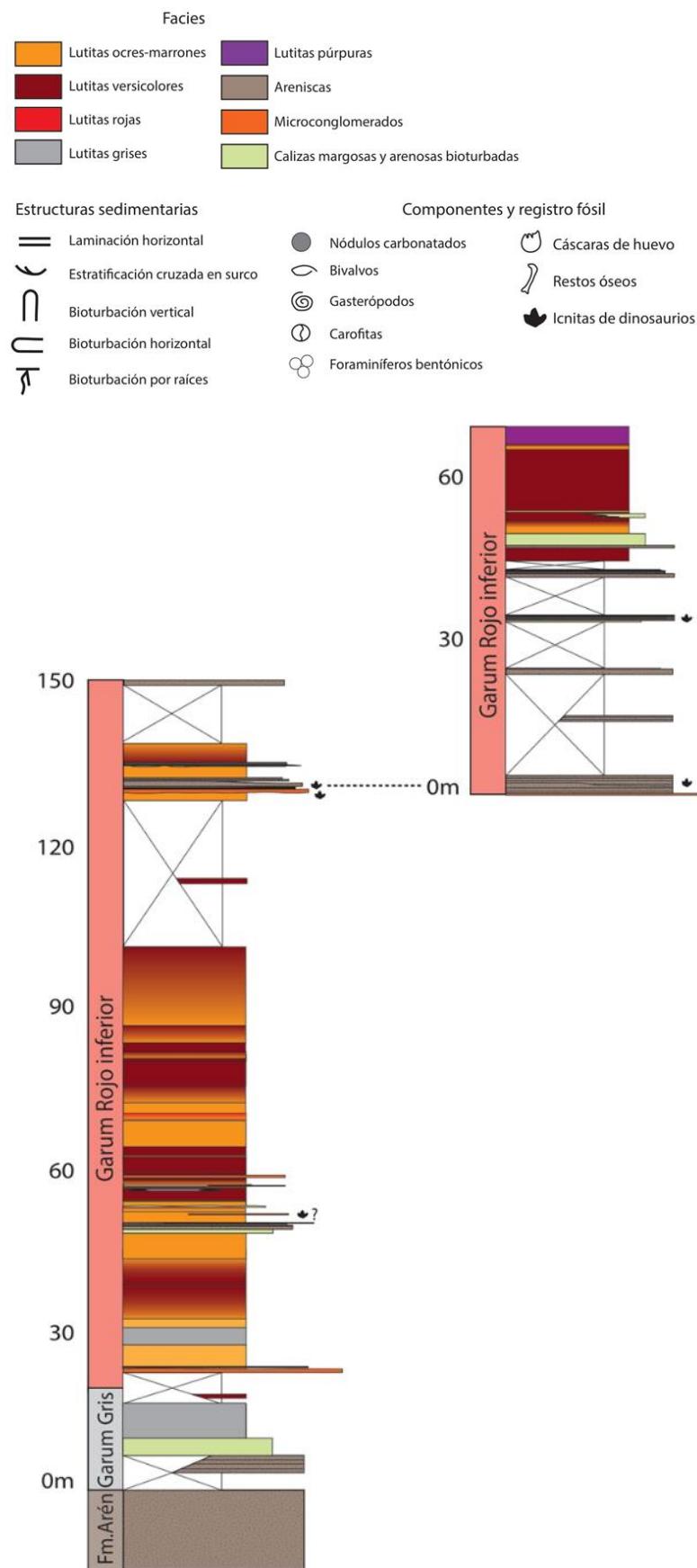


Figura 3A: Propuesta de correlación estratigráfica entre las dos series levantadas en este trabajo.

En la Figura 3B se ofrece una foto de campo en el afloramiento del Barranco del Teixet en la que se distinguen el “Garum Gris” y el “Garum Rojo Inferior” y “Garum Rojo Superior”.

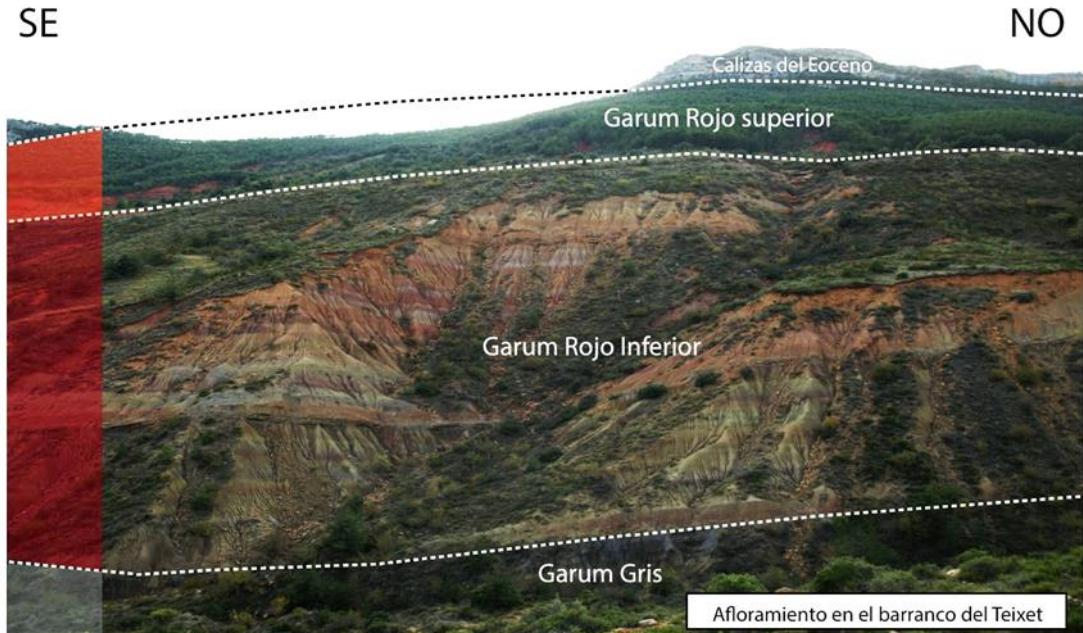


Figura 3B: Foto de campo en la que se observa la sucesión estratigráfica expuesta anteriormente

6.2 Análisis de facies y modelo de sedimentación

En función de la litología, geometría de los estratos, color, textura, componentes y estructuras sedimentarias, se han reconocido un total de ocho facies, incluyendo siete facies detríticas y una facies mixta detrítico-carbonatada. En los Anexos I a IV se muestran su distribución en las dos series estratigráficas. A continuación, se describen sus características principales. La Tabla 1 (Anexo V) sintetiza su descripción detallada y EN el Anexo VI ofrecen imágenes de campo. En el anexo VII se pueden ver imágenes de muestras de lámina delgada de algunas de ellas.

6.2.1 Facies detríticas

Las facies detríticas incluyen microconglomerados, areniscas y cinco facies lutíticas diferenciables por su color y estructuras sedimentarias (lutitas grises, ocres-marrones, versicolores, rojas y púrpuras).

La facies de microconglomerados es muy ocasional y usualmente está asociada a la facies de arenisca. Los microconglomerados conforman estratos tabulares decimétricos con ocasionales bases erosivas. Son granosostenidos y están formados por intraclastos carbonatados y cantos cuarcíticos de en torno a los 2 cm de diámetro máximo y granos de arena de cuarzo de grano fino a grueso. Hay ocasionales bioclastos (equinoideos, bivalvos, briozoos, foraminíferos bentónicos) y casts de pisadas de dinosaurios en la base de los estratos. En esta facies se sitúa el yacimiento paleontológico Blasi 4.

La facies de areniscas aparece intercalada usualmente entre lutitas ocres-marrones. Está constituida por areniscas de variable tamaño de grano (fino a grueso), en estratos de geometría tabular y localmente con bases canaliformes de potencia centimétrica a decimétrica. Entre las estructuras destacan laminación paralela y ocasional

estratificación cruzada en surco, bioturbación, huellas de raíces y ocasionales *casts* de pisadas de dinosaurios en la base de los estratos tabulares. En esta facies se sitúa el yacimiento paleontológico Blasi 3, 4.

La facies de lutitas grises se reconoce en el “Garum Gris” y en la parte basal del “Garum Rojo Inferior”. Esta facies está formada por paquetes métricos de estratos de espesor centimétrico. Presenta laminación paralela ocasionalmente y bioturbación. En esta facies se encuentra el yacimiento Blasi 5, con microfósiles de invertebrados y cáscaras de huevo de dinosaurio.

Las lutitas ocres-marrones y las lutitas versicolores son dominantes en el “Garum Rojo Inferior”. Se disponen formando paquetes métricos de estratos de espesor decimétrico, ocasionalmente con laminación paralela, y usualmente pasan gradualmente entre ellas. Las lutitas rojas se encuentran únicamente en dos estratos centimétricos y métricos en el “Garum rojo”. En esta facies se encuentra el yacimiento Blasi 4, 5. Por último, se reconocen lutitas púrpuras dispuestas en un único estrato de 3 m de potencia en la parte superior de la sucesión, que presentan paleosuelos. Este ya correspondería al “horizonte Colmenar-Tremp”.

6.2.2. Facies mixtas

Se ha reconocido una sola facies mixta: calizas margosas y arenosas bioturbadas. Son grises con tonalidades amarillentas y rojizas hacia techo y se disponen en estratos normalmente tabulares decimétricos, a veces formando paquetes métricos. Aparecen intercaladas entre las lutitas ocres-marrones y niveles de areniscas y microconglomerados. También pueden encontrarse en relación lateral (interdigitación) con las lutitas rojas. Esta facies muestra intensa bioturbación y huellas de raíces. Presenta bioclastos aislados de gasterópodos y bivalvos.

La Figura 6 ofrece un modelo de facies propuesto en base a las facies definidas en este trabajo, que se ajusta a lo propuesto a escala de cuenca en la zona (ver Fig. 2). Las lutitas grises representarán las facies de lagoon asociado al sistema de isla-barrera (representado por la Fm. Arén) y las lutitas ocres-marrones las orlas peri-lagoon. Las lutitas rojas y las lutitas versicolores representarán los sedimentos de la llanura costera-aluvial distal con mayor grado de exposición (lutita roja) o desarrollo de suelos hidromorfos (lutitas versicolores). Las facies de areniscas y microconglomerados representarán depósitos de washover o delta de flujo en el lagoon (ya que algunos niveles contienen fósiles marinos) o bien canales fluviales en la llanura con cierta influencia marina. La facies mixta con bivalvos, gasteróodos, bioturación y huellas de raíces correspondería a charcas y ponds en la llanura y orla peri-lagoon como demuestra su intercalación con las facies de estos subambientes.

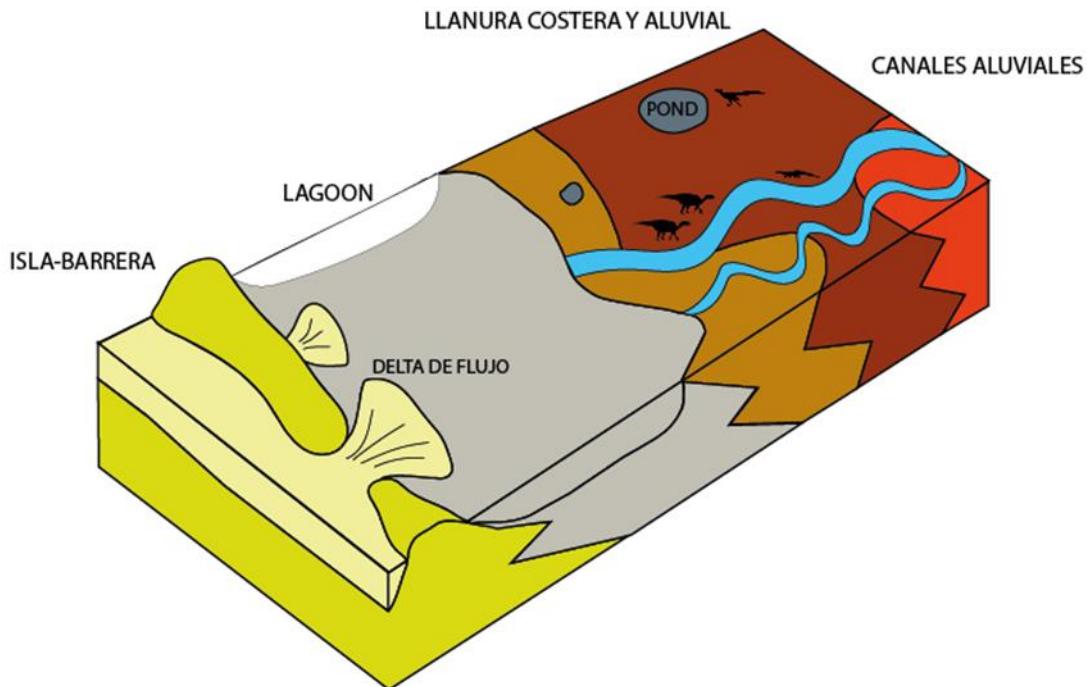


Figura 6: Propuesta de modelo de facies en base a la estratigrafía (Anexo I a IV) y a las facies definidas en este trabajo.

7. PALEONTOLOGÍA

Se han estudiado una serie de restos de macrovertebrados de los yacimientos: Blasi 3,1; Blasi 3,4, Blasi 4 y Blasi-5. También, se ha identificado un nuevo yacimiento con restos óseos de dinosaurio que se encuentra en las lutitas ocres (ver posición en Anexos I a IV) al que se ha denominado “Blasi 4,5”. Por último, se ha realizado un análisis micropaleontológico del yacimiento Blasi-5.

7.1. Análisis micropaleontológico del yacimiento Blasi-5

7.1.1. Cáscaras de huevo

Durante el triado de la fracción de 500 micras del nivel de lutitas grises de lagoon en el que se encuentra este yacimiento se han encontrado cáscaras de huevo. Anteriormente, no se habían descrito ni encontrado este tipo de restos en el yacimiento de Blasi-5. Se han distinguido tres ootaxones diferentes (ver Anexo VIII).

Oofamilia *Krokolithidae* (Kohring & Hirsch, 1996)

Las cáscaras estudiadas presentan morfotipo crocodiloide. Las unidades de cáscara se caracterizan por tener una forma trapezoidal. Posee ultraestructura tabular. Además, su cara externa presenta una superficie ligeramente ondeada con una serie de depresiones circulares que se distribuyen de manera irregular. Este tipo de cáscaras se asocia con huevos de cocodrilomorfos (Mikhailov, 1997).

OoGénero *Pseudogeckoolithus* (Vianey-Liaud & López-Martínez, 1997)

En sección radial no se observa una estructura definida ni tampoco morfología de las unidades de cáscara. Sin embargo, en su cara externa se pueden diferenciar una serie de protuberancias subredondeadas dispersas a lo largo de toda la cara. Esto es una característica indudable de este ootaxón. Choi *et al.* (2020) interpreta que este tipo de cáscaras pudieron ser producidas por terópodos manirraptóreos.

OoGénero *Prismatoolithus* (Vianey-Liaud & Crochet, 1993)

Presenta un morfotipo prismático. Las unidades de cáscara se disponen en forma de columnas. No se observa la capa miliar. Además, la cara externa no presenta depresiones ni protuberancias, es claramente lisa. Este género se asocia a dinosaurios terópodos: allosauroideos, manirraptores y terópodos avianos (Mikhailov, 1997).

7.1.2. Otros restos fósiles

En la muestra se han encontrado además dos oogonios de algas carofitas incompletos en la fracción de 500 micras. No se ha podido identificar debido a su mala conservación. Por último, se han encontrado multitud de restos muy fragmentarios de conchas de gasterópodos y moldes internos de los mismos durante el triado de la fracción de 500 micras y de 250 micras, una pieza milimétrica de ámbar fósil durante el triado de 500 micras y un foraminífero bentónico asignado al género *Amodiscus (fjkfj)* que se pueden ver en el Anexo VIII. Cabe destacar que todos los restos micropaleontológicos se encuentran claramente erosionados por transporte, lo que indica el carácter reelaborado de los restos encontrados en este yacimiento. Esto es coherente con su hallazgo en facies de lutitas grises de lagoon a las que llegarían arrastrados bien desde el ambiente marino (foraminíferos), bien desde el continental (cáscaras de huevo).

7.2. Análisis macropaleontológico

El material presentado en el siguiente apartado está ordenado primeramente por jerarquía sistemática y después, dentro de cada taxón, se ordenan estratigráficamente de base a techo. Algunas de los restos se muestran en ellos en las Figuras 7 y 8. Además, se han recogido todos los restos junto a su asignación taxonómica en la Tabla 2 (Anexo IX).

Dinosauria indet.

Clase Dinosauria Owen, 1842

-Yacimiento Blasi 3,1

Material: muestra con esquirlas de hueso de sigla BLA-3,1 (9)

Descripción y discusión: BLA-3,1 (9) corresponde con varias esquirlas, tanto de huesos planos como largos que se encuentran altamente fragmentadas.

-Yacimiento Blasi 5

Material: esquirla de hueso BLA-5 (2), muestra con esquirlas pequeñas de hueso: BLA-5(4) y tendón osificado: BLA-5 (5).

Descripción y discusión: BLA-5(2) es una esquirla de hueso de forma cuadrangular correspondiente a un fragmento de un hueso plano de unos 4 cm de lado. Se encuentra en mal estado de conservación y no puede asociarse a ninguna parte anatómica concreta. BLA-5(4) corresponde con numerosos fragmentos de huesos de hasta 3 cm de longitud sin asignación anatómica. BLA-5(5) es un tendón osificado de 3 cm de longitud.

Hadrosauridae indet.

Clase DINOSAURIA Owen, 1842

Orden ORNITHISCHIA Seeley, 1887

Infraorden ORNITHOPODA Marsh, 1881

Superfamilia HADROSAUROIDEA Cope, 1869

Familia Hadrosauridae Cope, 1869

Hadrosauridae indet.

-Yacimiento Blasi 3,1

Material: incluye varios centros vertebrales de siglas BLA-3,1(2, 3, 4 y 5), un fragmento de dentario de sigla BLA-3,1 (6), un arco hemal de sigla BLA-3,1 (7) y un arco neural incompleto de sigla BLA-3,1 (8).

Descripción y discusión

- BLA-3,1(2) es un centro vertebral dorsal incompleto en el que se preserva solo una parte del arco neural, en concreto los pedicelos. Además, no se observa sutura entre el arco neural y el centro vertebral, lo que indica que el organismo era adulto. Posee una forma acorazonada y equidimensional. Se trata de una vértebra opistocélica, con concavidad en la cara posterior. Las caras laterales del centro vertebral son ligeramente cóncavos y poseen forámenes nutricionales en ambos lados: siete en el lado izquierdo, de contorno elipsoidal y escasa profundidad y tres en lado derecho, de mayor profundidad y longitud máxima, aproximadamente 10 mm. Por último, posee un canal neural con un contorno aproximadamente cuadrangular.
- BLA-3,1(3) corresponde a centro vertebral caudal incompleto y fracturado, ya que se encuentra solo parte del cuerpo vertebral y no conserva tampoco el arco neural. Las caras articulares poseen un contorno aproximadamente hexagonal, ligeramente ensanchado lateromedialmente. Asimismo, se trata de una vértebra anfícélica, con la cara anterior ligeramente mayor en superficie que la posterior. En vista ventral se observan facetas articulares para los arcos hetales con cierto grado de desarrollo, siendo mayor en las anteriores.
- BLA-3,1(4) es un centro vertebral caudal incompleto, ya que no se conserva todo el arco neural y este se posiciona de manera central, aunque ligeramente desplazado a la izquierda por la deformación fosildiagenética. Se encuentra fracturado y con cierta deformación patente de manera oblicua. Las caras laterales poseen un contorno hexagonal. Asimismo, es una vértebra anfícélica con la cara anterior ligeramente mayor en superficie que la posterior. Se observa un canal neural pequeño y estrecho. En vista ventral se observan facetas articulares para los arcos hetales con cierto grado de desarrollo, poseyendo más superficie las anteriores que las posteriores.
- BLA-3,1(5) es un centro vertebral caudal casi completo y bien conservado que incluye el cuerpo de la vértebra y parte del arco neural, que posee una inclinación de 25° respecto a los pedicelos y se encuentra totalmente centrado en el cuerpo

vertebral. Posee forma de carrete, alargado anteroposteriormente. Se observan forámenes nutricionales en las caras laterales, de morfologías elipsoidales: tres en la izquierda (dos en el centro y uno cerca del pedicelo) y otros tres en la derecha (dos en el centro de la cara y otro en la parte baja, muy cerca de las facetas articulares hemiales). Además, se trata de una vértebra anfícélica, que posee la cara anterior con una superficie un poco mayor que la posterior. El canal neural es estrecho. En vista ventral, se observan bien unas facetas articulares para los arcos hemiales bastante desarrolladas.

Las características que presentan estas cuatro vértebras descritas, comparando con las estudiadas en Cruzado-Caballero (2012) y el nivel en el que se han encontrado (Blasi 3,1) permiten asignar estos restos a pertenecer a un hadrosaurio lambeosaurino (Subfamilia *Lambeosaurinae*, Parks, 1923).

- BLA-3,1(6) es un fragmento de un dentario de pequeño tamaño (aproximadamente 5 cm de longitud) muy erosionado. Observándolo en vista lateral se puede ver que es convexo anteroposteriormente y dorsoventralmente. Además, conserva 5 posiciones dentales estrechas, rectas, paralelas entre sí, que carecen de dientes y de muro alveolar que recubre a la batería dental. En vista dorsal, el fragmento se curva lateralmente. El fragmento corresponde a una zona más o menos central del dentario.
- BLA-3,1(7) es un arco hemal incompleto de 8,5 cm de longitud que se encuentra fracturado tanto en su base (aunque no completamente) como en la porción final. Es de pequeño tamaño y habría de situarse bajo una vértebra caudal cercana a las finales.
- BLA-3,1(8) es un fragmento mal conservado de un arco neural, que solo preserva la parte posterior del mismo, pudiendo distinguirse una de las postzigapófisis (izquierda). La base del arco neural se encuentra además ligeramente deformada lateralmente.

-Yacimiento Blasi 3, 4

Material: se describe a continuación BLA-3/4(1) que corresponde con un arco neural de Hadrosauridae indet.

Descripción y discusión: BLA-3/4(1) Es un arco neural incompleto de una vértebra dorsal, que se encuentra fracturado en su base, así como, su espina neural. Además, su proceso transverso se encuentra fracturado y no se conserva. Pasa lo mismo con las zigapófisis. Posee un canal neural estrecho y una espina neural incompleta con una inclinación de 80º aproximadamente respecto a la base del arco neural.

-Yacimiento Blasi 4

Material: los restos descritos a continuación se asocian a Hadrosauridae indet. Y son un fragmento de falange, un fragmento de costilla y rama escapular izquierda: BLA-4(1, 2 y 3) respectivamente. Son restos rodados del yacimiento Blasi 4.

Descripción y discusión:

- BLA-4(1) es una esquirla de hueso punteada de contorno semilunar y engrosado dorsalmente, de manera que es plano en su base y convexo en su zona dorsal. Pertenece a un fragmento distal de falange.

- BLA-4(2) es una esquirla de hueso largo fracturada, que posee biconvexidad dorsoventralmente y que corresponde con un hueso largo (costilla).
- BLA-4(3) es un fragmento de hueso muy fracturado que corresponde con un hueso largo. Posee 10 cm de longitud por 4,5 cm de anchura. Se encuentra engrosado y posee un contorno en sección triangular (vista ventral). En su parte dorsal es plano. Este resto podría corresponder con una rama escapular izquierda de un dinosaurio.

-Yacimiento Blasi 4, 5

Material: Costilla fragmentada asociada a Hadrosauridae indet. de sigla BLA-4/5 (1).

Descripción y discusión:

- BLA-4/5 (1) Es un hueso alargado y aplanado carente de su parte distal y proximal y que podría de tratarse de una costilla parcialmente completa. No está preparado completamente, ya que se extrajo en el último día de campaña de campo. Además, en la zona se encuentran restos de madera fosilizada y plantas silicificada.

-Yacimiento Blasi-5

Material: Centro vertebral completo asociado a Hadrosauridae indet. de sigla BLA-5 (1).

Descripción y discusión

- BLA-5 (1) Es un centro vertebral caudal (muy cercano a la parte final) completo y bien conservado que incluye el cuerpo principal de la vértebra y su espina neural, que posee una inclinación de 40º respecto a los pedicelos y se encuentra totalmente centrada. Carece de facetas para la inserción de arcos hetales, ya que se trata de una vértebra posterior de la cola del animal al que perteneció. Posee forma de carrete. Es además una vértebra claramente anfícatica.

Este centro vertebral pertenece a un hadrosaurio, pero diferente a los restos estudiados de Blasi-3,1 con afinidades asociados a *Lambeosaurinae*. Posee un tamaño muy reducido en comparación con los centros vertebrales de otros hadrosaurios descritos en la zona como *Arenysaurus ardevoli*. Esta vértebra presenta el arco neural fusionado indicando que este resto pertenecería a un individuo adulto a pesar de su reducido tamaño. Además, Cruzado-Caballero y Canudo (2006) indican la presencia de hadrosaurios adultos de un tamaño anormalmente menor a los ya conocidos y descritos en Arén lo que se podría tratar de una nueva especie diferenciada a partir de procesos de enanismo insular. Por tanto, se han identificado en este estudio al menos dos taxones de hadrosaurios diferentes.

Chelonii indet.

Clase TESTUDINES Linneo 1758

Orden CHELONII Brongniart, 1800

-Yacimiento Blasi-3,1

Material: BLA-3,1(1) pertenece a una placa incompleta de caparazón.

Descripción y discusión: BLA-3,1(1) Es una esquirla perteneciente a una placa ósea del caparazón de tortuga. No se ha podido identificar a qué zona del caparazón pertenece ni tampoco se sabe a qué taxón o familia puede pertenecer.

-Yacimiento Blasi 3, 4

Material: muestra de sigla BLA-3,4 (2) de varias placas incompletas del caparazón de Bothremydidae indet.

Descripción y discusión: BLA-3,4 (2) corresponde con una serie de fragmentos placas de caparazón. Pudiéndose identificar la posición en el caparazón de algunas de ellas: placa gular, placa de borde de caparazón y placa del plastrón (Ver ANEXO DJFEEER).

-Yacimiento Blasi-5

Material: Se describe la muestra BLA-5 (3) compuesta por varias esquirlas de placa delcaparazón.

Descripción y discusión: BLA-5 (3) son esquirlas de placas de caparazón de tortuga, ninguno de ellos identificable ni asociable a ningún taxón.

Crocodylomorpha indet.

Superorden CROCODYLOMORPHA Walker, 1970 (sensu Clark, 1986)

-Yacimiento Blasi 3,1

Muestra: BLA-3,1 (10) corresponde con un osteodermo.

Descripción y discusión:

- BLA-3,1 (10) es un fragmento de un osteodermo de cocodrilo de longitud aproximada 2 cm. A él se encuentra adosado un hueso que posee varias aperturas milimétricas.

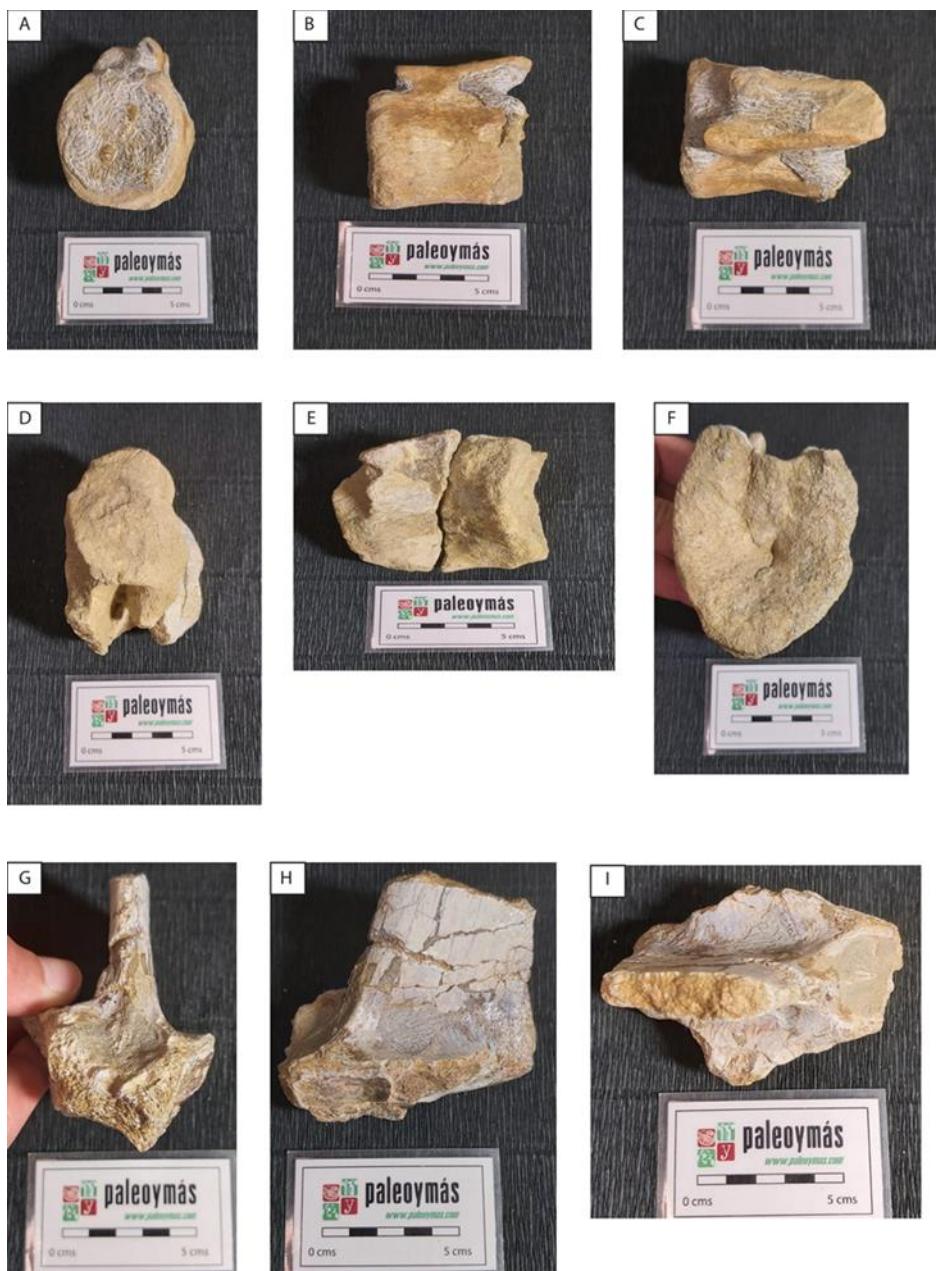


Figura 7: Fotos de resto vertebrales. A, B y C se puede ver una vértebra caudal de hadrosauro lambeosaurino en varias vistas de Blasi 3, 1. D, E y F corresponden con una vértebra dorsal (típica forma acorazonada) de un hadrosauro lambeosaurino de Blasi 3, 1. G, H e I corresponden con un arco neural incompleto de hadrosauro de Blasi 3,4.

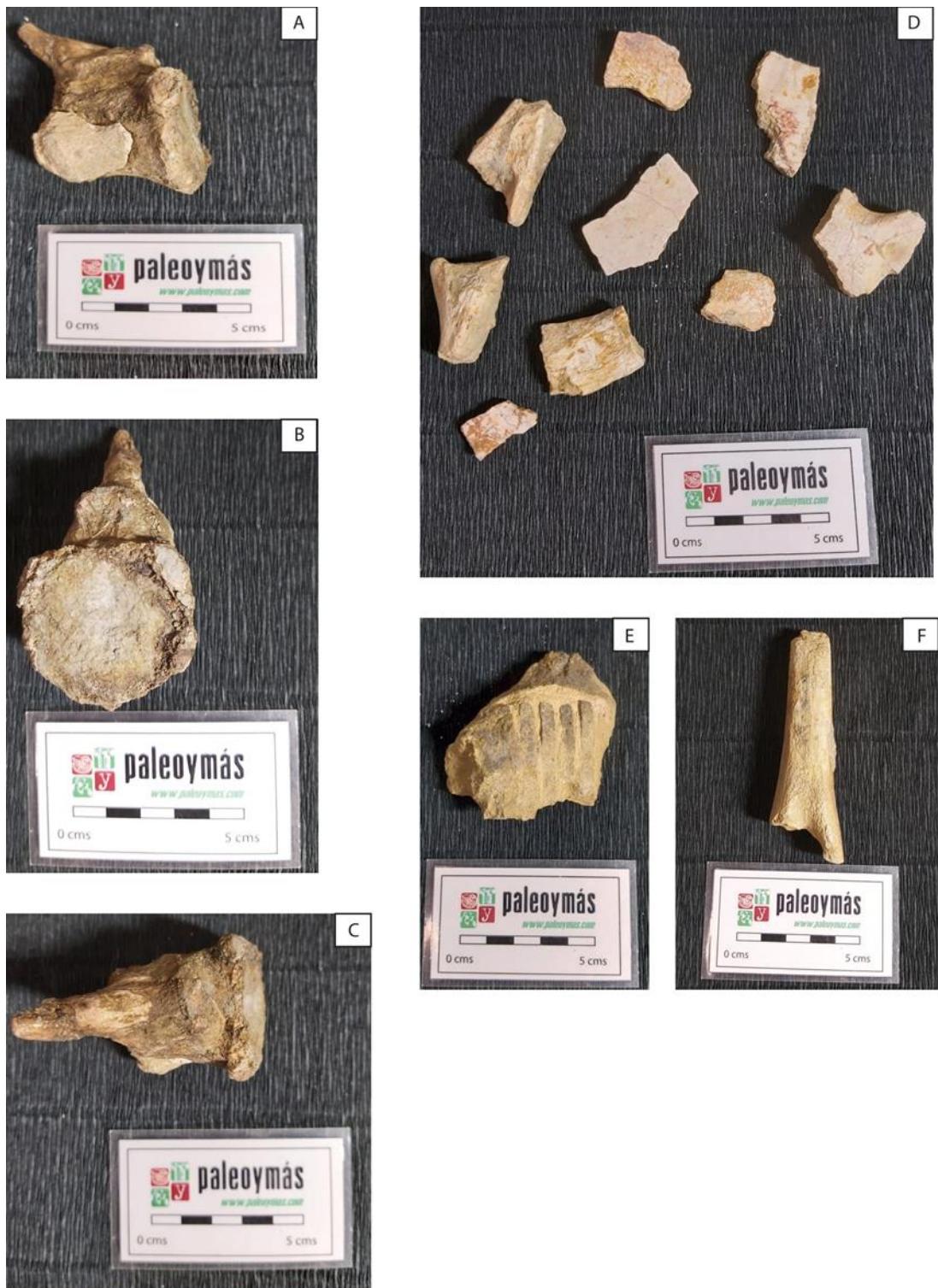


Figura 8: Restos óseos de hadrosaurios y tortugas. A, B y C son fotos en diferentes vistas de una vértebra caudal completa de hadrosaurio de Blasi 5.

7.3. Análisis paleoicnológico

Se ha estudiado una placa de roca desprendida de 1,6 m de largo por 1 m de ancho, cuyas características litológicas coinciden con la facies de microconglomerados antes

descrita (ver apartado 6.2). En ella se han reconocido a simple vista varias icnitas, por lo que se le ha realizado un estudio fotogramétrico, junto a un modelo topográfico (Figura 9) con el que han podido definirse varias de ellas.

Se observa claramente una huella tridáctila en la parte central del bloque de 19 cm de longitud desde el talón hasta la punta del dedo medial por 17 cm de ancho. Posee una relación longitud/anchura muy próxima a 1. Además, las marcas de los dedos son redondeadas, siendo la impresión del dedo III (de forma lobada) más estrecha que la de los dedos II y IV, que poseen formas elípticas subredondeadas. También se observa que los dedos II y IV se disponen de manera casi paralela al dedo medial y que sobresalen menos anteriormente que este. Por otro lado, el talón no ha quedado preservado, pero la icnita parece poseer una forma redondeada en media luna en la parte de unión entre las tres impresiones de los dedos. Por todas estas características y en comparación con el trabajo Bernat Vila, *et al.* 2013 se ha identificado la icnita como una huella pedal correspondiente con el icnogénero *Hadrosauropodus* (Ching *et al.* 2010)

También se ha identificado una icnita de forma ovoide en planta de contorno casi elíptico de 13 cm de longitud por 8 cm de ancho. Se observan además dos pequeñas protuberancias a los laterales de la misma, pudiendo corresponder con marcas de dedos. Esta icnita se interpreta como la huella dejada por la mano de un dinosaurio, asociándose a la marca podal antes descrita asignada a *Hadrosauropodus*.

Por último, mediante el modelo topográfico se han podido diferenciar hasta 4 casts más de pisadas muy posiblemente de dinosaurios también, pero que no presentan características diferenciables como para asociarse a ningún icnogénero. Esto es seguramente debido a la mala preservación (debida en parte al tipo de roca) y posiblemente a la interferencia de pisadas de varios dinosaurios que generan icnitas difusas.

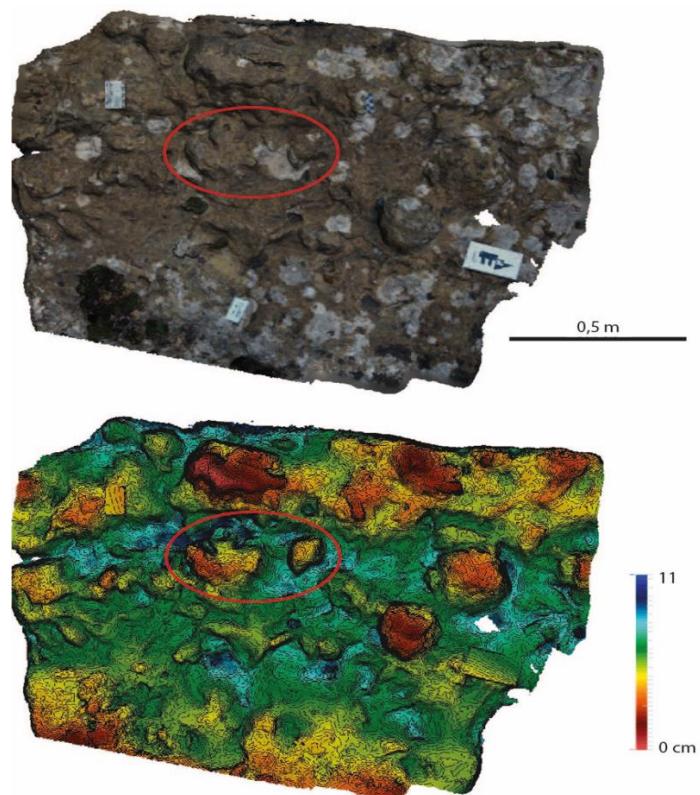


Figura 9: Modelo fotogramétrico y modelo topográfico generados. En rojo se marcan las icnitas asociadas a *Hadrosauropodus*.

8. DISCUSIÓN

8.1. Modos tafonómicos

De entre las facies reconocidas en este trabajo, cuatro contienen yacimientos de vertebrados: lutitas grises, lutitas ocres, areniscas y calizas margosas y arenosas bioturbadas. Los restos se agrupan en 5 modos tafonómicos distintos:

- Huesos aislados: huesos normalmente incompletos y fracturados que se encuentran de manera aislada.
- Elementos asociados: conservación de dos o más huesos de un individuo.
- *Bonebeds* de macrofósiles: restos acumulados pertenecientes a varios individuos y taxones.
- *Bonebeds* no diferenciados: acumulaciones de restos de vertebrados de carácter fragmentario. Normalmente no se pueden asignar taxonómicamente.
- *Bonebeds* de microfósiles: concentraciones de fósiles de vertebrados de tamaño milimétrico usualmente.

De los yacimientos estudiados en este trabajo, se observa que en la facies de areniscas y calizas margosas y arenosas bioturbadas, pertenecientes a los ponds o charcas desarrollados dentro de la orla del peri-lagoon o en la llanura costera-aluvial, es donde hay más yacimientos y son las que mejor permiten la conservación de restos óseos e icnitas. En estas dos facies se presentan huesos aislados preferentemente y en ocasiones elementos asociados. Las *bonebeds* de restos de diferentes taxones y *bonebeds* no diferenciados se dan en las facies de areniscas y microngoberados, así como en lutitas ocres. Estas tres facies coinciden con ambientes de más energía como abanicos de washover, delta de flujo y canales fluviales y lutitas de ambiente peri-lagoon respectivamente. Por último, las *bonebeds* de microfósiles se encuentran exclusivamente en lutitas grises, que corresponden con zonas encharcadas de poca energía, donde se acumulan restos transportados por los canales o bien desde la zona marina.

8.2. Comparación con otros yacimientos

Los restos fósiles estudiados en este trabajo pueden integrarse en el contexto general paleontológico de la parte inferior de la Fm. Tremp en el Sinclinal de Tremp. La diversidad paleontológica de la zona de estudio de este trabajo es muy elevada y en este se han identificado restos de dinosaurios hadrosaurios indeterminados de dos tipos diferentes (un lambeosaurino y un hadrosaurio “enano”). Varios centros vertebrales del yacimiento Blasi 3, 1 poseen características y afinidades más un hadrosaurio lambeosaurino definido en el yacimiento Blasi 3 (Pereda-Superbiola, 2009). Por otro lado, el centro vertebra caudal analizado de Blasi 5 se puede atribuir a otro hadrosaurio diferente, poseyendo un tamaño mucho menor en comparación con los restos estudiados de Blasi 3, lo que se trataría de un hadrosaurio de menor talla. De ello esta existencia de hadrosaurios de tamaño reducido (J. Company, P. Cruzado-Caballero, J.I. Canudo, 2015) pudiera deberse a procesos de enanismo insular, ya que estudios paleohistológicos como este revelan que algunos de estos fósiles de tamaño reducido pertenecen a ejemplares adultos. Además, se han identificado restos cocodrilomorfos. El registro de cocodrilomorfos es abundante en toda la cuenca Surpirenaica, habiéndose identificados dos taxones nuevos de eusuchios a partir de dos cráneos. Uno de ellos es *Arenysuchus gascabadiolorum* (Puértolas *et al.*, 2011) perteneciente al yacimiento Elías

(situado en el “Garum Rojo Inferior” de Arén). El otro taxón se trata de *Agaresuchus subjuniperus* (Puértolas-Pascual *et al.*, 2014) perteneciente a la familia *Allodaposuchidae*.

También se han encontrado y analizado placas de tortugas que por el registro de quelonios en Arén podría ser de la familia *Botriotymidae* un taxón que se encuentra a lo largo de toda la cuenca (Murelaga *et al.* 1998), aunque no se observan claramente características distintivas.

En cuanto al registro oológico, este es abundante y en lo que se refiere a los ootaxones diferenciados en el entorno de Arén (Blasi 2b y Veracruz 1), se han reconocido varios taxones de huevos prismatolíticos (asociados a terópodos), esferulíticos (asociados a ornitópodos hadrosaurios), de morfotipo crocodiloide y también el oogénero *Pseudogeckoolithus* (López-Martínez *et al.* 1999, y M. Pérez-Pueyo *et al.* 2021). Sus productores son desde tortugas, cocodrilomorfos, saurópodos, hadrosaurios y también terópodos. Los restos de cáscaras de huevo analizadas en este trabajo, pertenecientes a Blasi 5 se sitúan como uno de los registros oológicos más altos de edad Maastrichtiense, en donde se han podido identificar cáscaras de huevo perteneciente a la oofamilia *Krokolithidae* y a los oogéneros *Prismatoolithus* y *Pseudogeckoolithus*.

Por último, también se registran icnitas pertenecientes a hadrosaurios, que aparecen en varias unidades geológicas y su registro se extiende desde las localidades de Campo hasta Arén (Bernat Vila *et al.*, 2013). Se interpretan como *Hadrosauropodus* y las facies preferentes para la localización de estas icnitas en la zona de estudio son las areniscas (cañales fluviales) y los microconglomerados, preservadas como casts en la base de estas facies, en particular registrándose usualmente en la base de estos últimos, de modo que los hadrosaurios caminarían sobre las lutitas de llanura costera-aluvial distal. También, se registran en otras facies en los que preservan diferentes modos de preservación (Bernat Vila *et al.*, 2013).

9. CONCLUSIONES

- La sucesión sedimentaria del “Garum Gris” y “Garum Rojo Inferior” en Arén está conformada por unidades continentales-transicionales que albergan varios yacimientos paleontológicos de vertebrados de edad Maastrichtiense.
- El análisis paleontológico demuestra un gran registro fósil y diverso que alberga taxones de dinosaurios (sobre todo hadrosaurios), así como huevos e icnitas. Se registran también, animales como cocodrilos o tortugas.
- Mediante el análisis sedimentológico se ha podido elaborar un modelo de facies y realizar un estudio tafonómico de los restos fósiles de los yacimientos en los que se observa una mayor preservación de los restos las facies de areniscas y calizas margosas y arenosas bioturbadas.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Alejandro Blanco, Eduardo Puértolas-Pascual, Josep Marmi, Blanca Moncunill-Solé, Sergio Llácer, Gertrud E Rössner. (2020): Late Cretaceous (Maastrichtian) crocodyliforms from north-eastern Iberia: a first attempt to explain the crocodyliform diversity based on tooth qualitative traits. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 189: 584–617p.
- Bilal U. Haq. (2004): Cretaceous eustasy revisited. *Global and Planetary Change*, 113: 44-58p.
- Company, J., Galobart Lorente, À., Gaete, R. (1998): First data on the hadrosaurid dinosaurs (Ornithischia, Dinosauria) from the Upper Cretaceous of Valencia, Spain. *Oryctos*, 1:121-126p.
- Costa, E., Garcés, M., López-Blanco, M., Beamud, E., Gómez-Paccard, M., Larrasoña, J.C. (2009): Closing and continentalization of the South Pyrenean foreland basin (NE Spain): Magnetochronological constraints. *Basin Reserch*, 36: 349–364p.
- Cruzado-Caballero (2012): Restos directos de dinosaurios hadrosáuridos (Ornithopoda, Hadrosauridae) del Maastrichtiense superior (Cretáico Superior) de Arén (Huesca). Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 509p.
- Cruzado-Caballero, P., Canudo, J.I. (2006): Nuevas evidencias de ornitópodos “enanos” en el Maastrichtiense superior europeo (Blasi 5, Arén, Huesca). En: *Actas del IV Encuentro de Jóvenes Investigadores en Paleontología*.
- Cruzado-Caballero, P., Fortuny, J., Llacer, S., Canudo, J.I. (2015): Paleoneuroanatomy of the European lambeosaurine dinosaur *Arenysaurus ardevoli*. *Peer J*, 2015: 1–16p.
- Cruzado-Caballero, P., Pereda-Suberbiola, X., Ruiz-Omeñaca, J. (2010): *Blasisaurus canudoi* gen. et sp. nov., a new lambeosaurine dinosaur (Hadrosauridae) from the Latest Cretaceous of Arén (Huesca, Spain). *Canadian Journal of Earth Sciences*, 47: 1507–1517p.
- Díaz-Molina (1987): Sedimentación sintectónica asociada a una subida relativa del nivel del mar durante el Cretácico Superior (Fm. Tremp, provincia de Lérida). *Estudios geológicos*, 43: 69-93p.
- Díaz-Molina, M., Kälin, O., Benito, M.I., Lopez-Martinez, N., Vicens, E. (2007): Depositional setting and early diagenesis of the dinosaur eggshell-bearing Aren Fm at Bastus, Late Campanian, south-central Pyrenees. *Sedimentary Geoogy*, 199: 205–221p.
- Eichenseer, H. (1988): Facies Geology of Late Maastrichtian to Early Eocene Coastal and Shallow Marine Sediments (Tremp-Graus Basin, Northeastern Spain).
- Flügel, E. (2004) Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application. Springer.
- Gómez-Gras, D., Roigé, M., Fondevilla, V., Oms, O., Boya, S., Remacha, E. (2016): Provenance constraints on the Tremp Formation paleogeography (southern Pyrenees): Ebro Massif VS Pyrenees sources. *Cretaceous Research*, 57: 414–427p.
- Leymerie, A. (1868): Présence de garumniens en Espagne. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 25: 906–911p.

Lopez-Martinez, N., Ardevol, L., Arribas, M.E., Civis, J., Gonzalez-Delgado, A. (1998): The geological record in non-marine environments around the K/T boundary (Tremp Formation, Spain). *Bulletin de la Société Géologique de France*, 169: 11–20p.

López-Martínez, N., Arribas, M.E., Robador, A., Vicens, E., Ardévol, L. (2006): Los carbonatos danienses (Unidad 3) de la Fm. Tremp (Pirineos sur-centrales): Paleogeografía y relación con el límite Cretácico-Terciario. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 19: 233–255p.

López-Martínez, N., Canudo, J.I., Cuenca-Bescós, G. (1999): Latest cretaceous eggshells from Arén (Southern Pyrenees, Spain). En: *Actas del Primer Simposio Internacional de huevos de dinosaurio y crías*. Isona, España, 35-36p.

López-Martínez, N., Vicens, E. (2012): A new peculiar dinosaur egg, *Sankofa pyrenaica* oogen. nov. oosp. nov. from the Upper Cretaceous coastal deposits of the Aren Formation, south-central Pyrenees, Lleida, Catalonia, Spain. *Palaeontology* 2012, 55: 325–339p.

Mey, P.H.W., Nagtegaal, P.J.C., Roberti, K.J., Harteveld, J.J.A. (1968): Lithostratigraphic subdivision of Post-Hercynian deposits in the South-Central Pyrenees, Spain. *Leidse Geologische Mededelingen*, 41: 221–228p.

Mikhailov (1997): Fossil and recent eggshell in amniotic vertebrates: fine structure, comparative morphology and classification.

Murelaga, X., Pereda Suberbiola, X., Astibia, H., Lapparent, F.D. (1998): Primeros datos sobre los quelonios del Cretácico superior de Lleida. *Geogaceta*, 24, 239–242p.

Pereda-Suberbiola, X., Canudo, J.I., Cruzado-Caballero, P., Barco, J.L., López-Martínez, N., Oms, O., Ruiz-Omeñaca, J.I. (2009): The last hadrosaurid dinosaurs of Europe: A new lambeosaurine from the Uppermost Cretaceous of Aren (Huesca, Spain). *Comptes Rendus Palevol*, 8: 559-572p.

Pérez-Pueyo, M., Cruzado-Caballero, P., Moreno-Azanza, M., Vila, B., Castanera, D., Gasca, J.M., Puértolas-Pascual, E., Bádenas, B., Canudo, J.I. (2021): The Tetrapod Fossil Record from the Uppermost Maastrichtian of the Ibero-Armorican Island: An Integrative Review Based on the Outcrops of the Western Tremp Syncline (Aragón, Huesca Province, NE Spain). *Geosciences*, 11.

Pérez-Pueyo, M., Moreno-Azanza, M., Núñez-Lahuerta, C., Puértolas-Pascual, E., Bádenas, B., Canudo, J.I. (2021): Eggshell association of the Late Maastrichtian (Late Cretaceous) at Blasi 2B fossil site: a scrambled of vertebrate diversity. *Ciências da Terra Procedia*, 1: 66-69p.

Pérez-Pueyo, M., Moreno-Azanza, M., Núñez-Lahuerta, C., Puértolas-Pascual, E., Bádenas, B., Canudo, J.I. (2021): Una primera aproximación a la biodiversidad del yacimiento del Maastrichtiense superior Blasi2B (Arén, Huesca, Pirineos meridionales centrales). En: *Actas del X Congreso Geológico de España*, 220p.

Puértolas, E., Canudo, J.I., Cruzado-Caballero, P. (2011): A new crocodylian from the late Maastrichtian of Spain: Implications for the initial radiation of crocodyloids. *PLoS ONE* 2011, 6.

Puértolas-Pascual, E., Canudo, J.I., Moreno-Azanza, M. (2014): The eusuchian crocodylomorph *Allodaposuchus subjuniperus* sp. nov., a new species from the latest Cretaceous (upper Maastrichtian) of Spain. *Historical Biology*, 26: 91–109p.

Puigdefábregas, C., Souquet, P. (1986): Tecto-sedimentary cycles y depositional sequences of the Mesozoic y Tertiary from the Pyrenees. *Tectonophysics*, 129: 173-203p.

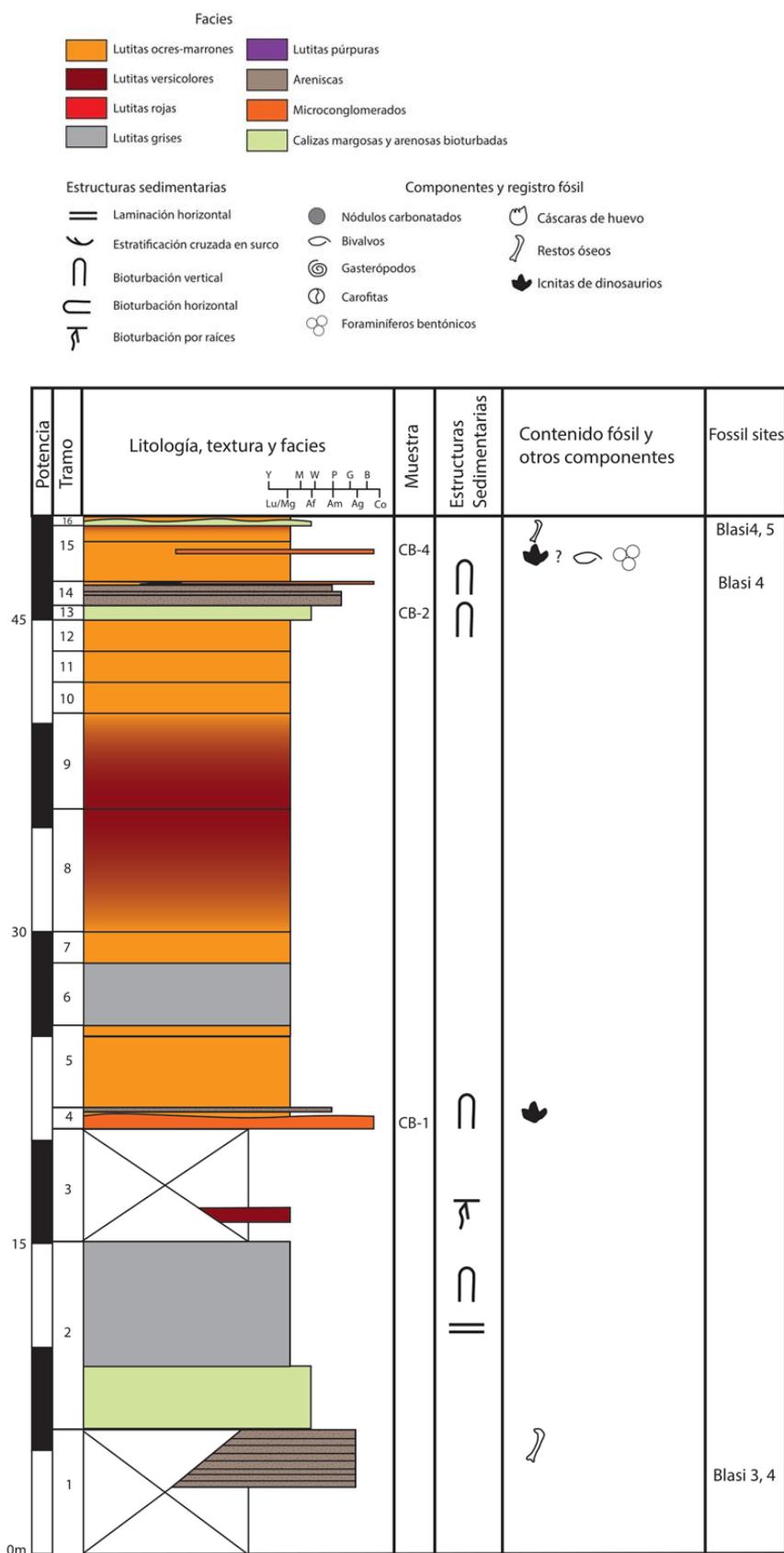
Rosell, J., Linares, R., Llompart, C. (2001): El “garumniense” prepirenaico. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 14, 47-56p.

Serra-Kiel, P., Canudo, J.I., Dinares, J., Molina, E., Ortiz, N., Pascual, J.O., Samso, J.M., Tosquella, J. (1994): Cronoestratigrafía de los sedimentos marinos del Terciario inferior de la Cuenca de Tremp-Graus (Zona Central Surprenaica). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 7: 273-299p.

Vila B., Oms O., Fondevilla, V., Gaete, R., Galobart, À., Riera, V., Canudo, J.I. (2013): The Latest Succession of Dinosaur Tracksites in Europe: Hadrosaur Ichnology, Track Production and Palaeoenvironments. *PLoS ONE*, 8.

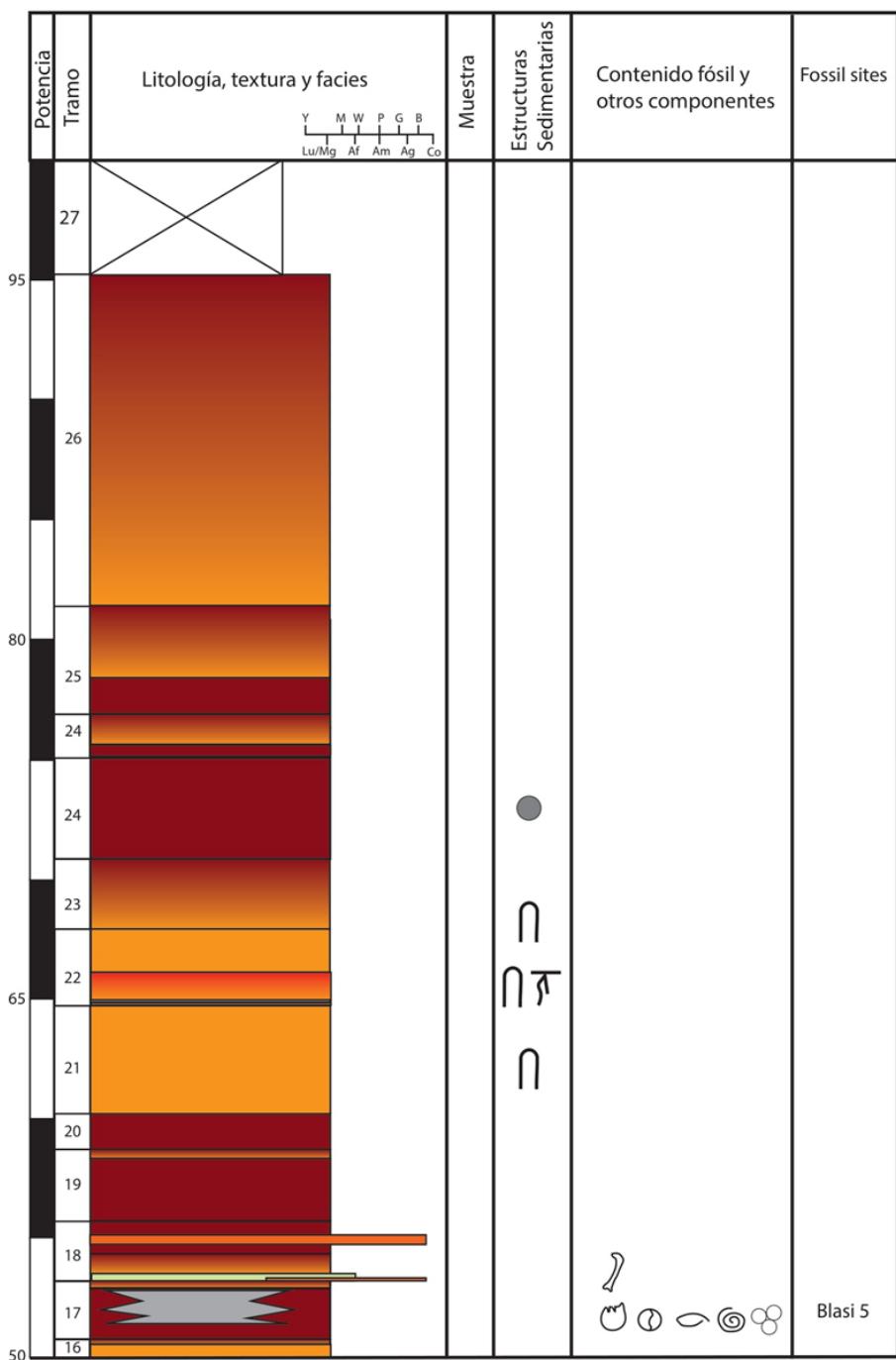
Xing L.D., Bell O.R., Harris J.D., Currie P.J. (2010): An unusual, three-dimensionally preserved, large hadrosauriform pes track from the “Mid”-Cretaceous Jiaguan Formation of Chongqing, China. *Acta Geologica Sinica* 86: 304-312p.

ANEXO I

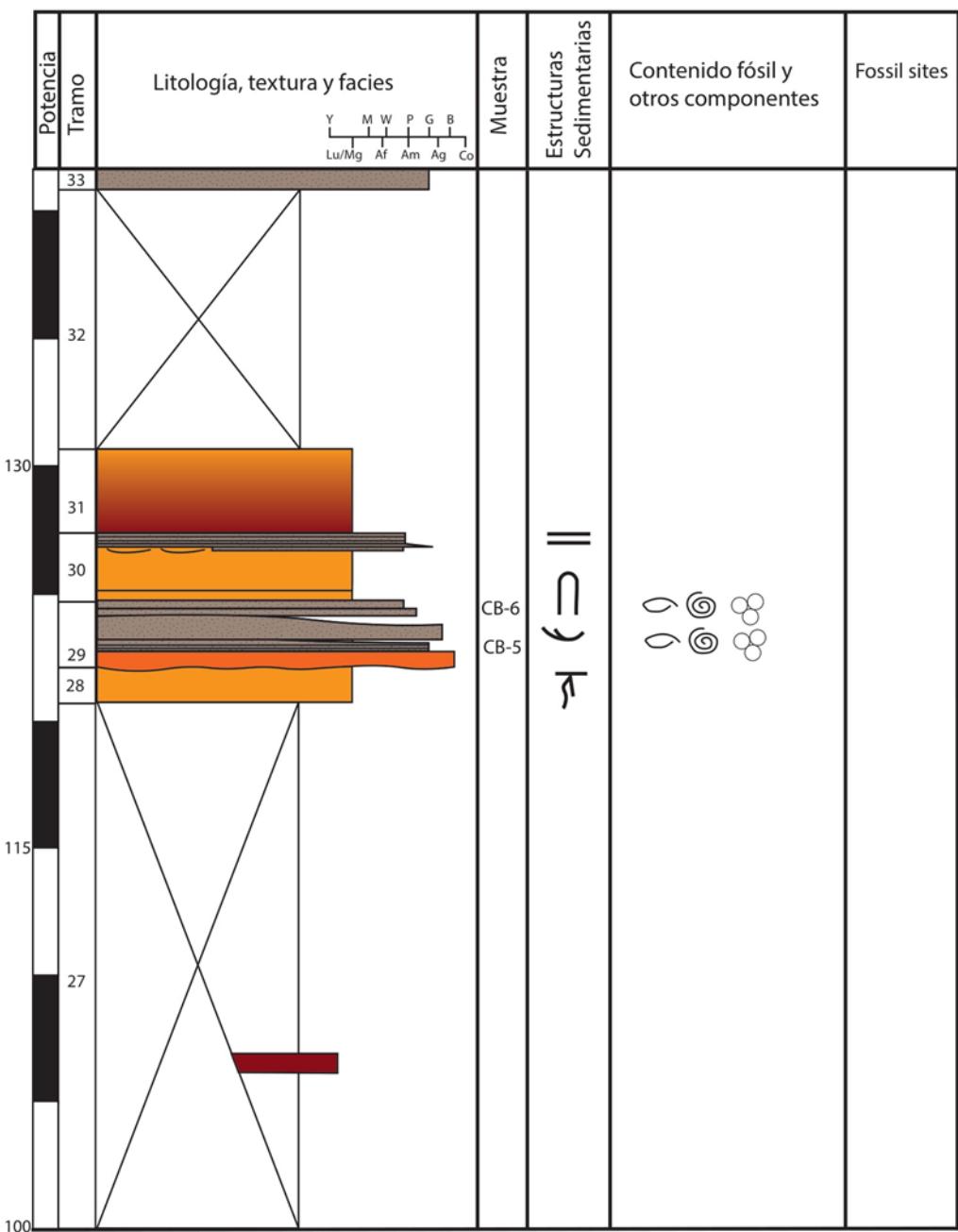


Tramos 1 a 16 de la serie estratigráfica 1.

ANEXO II

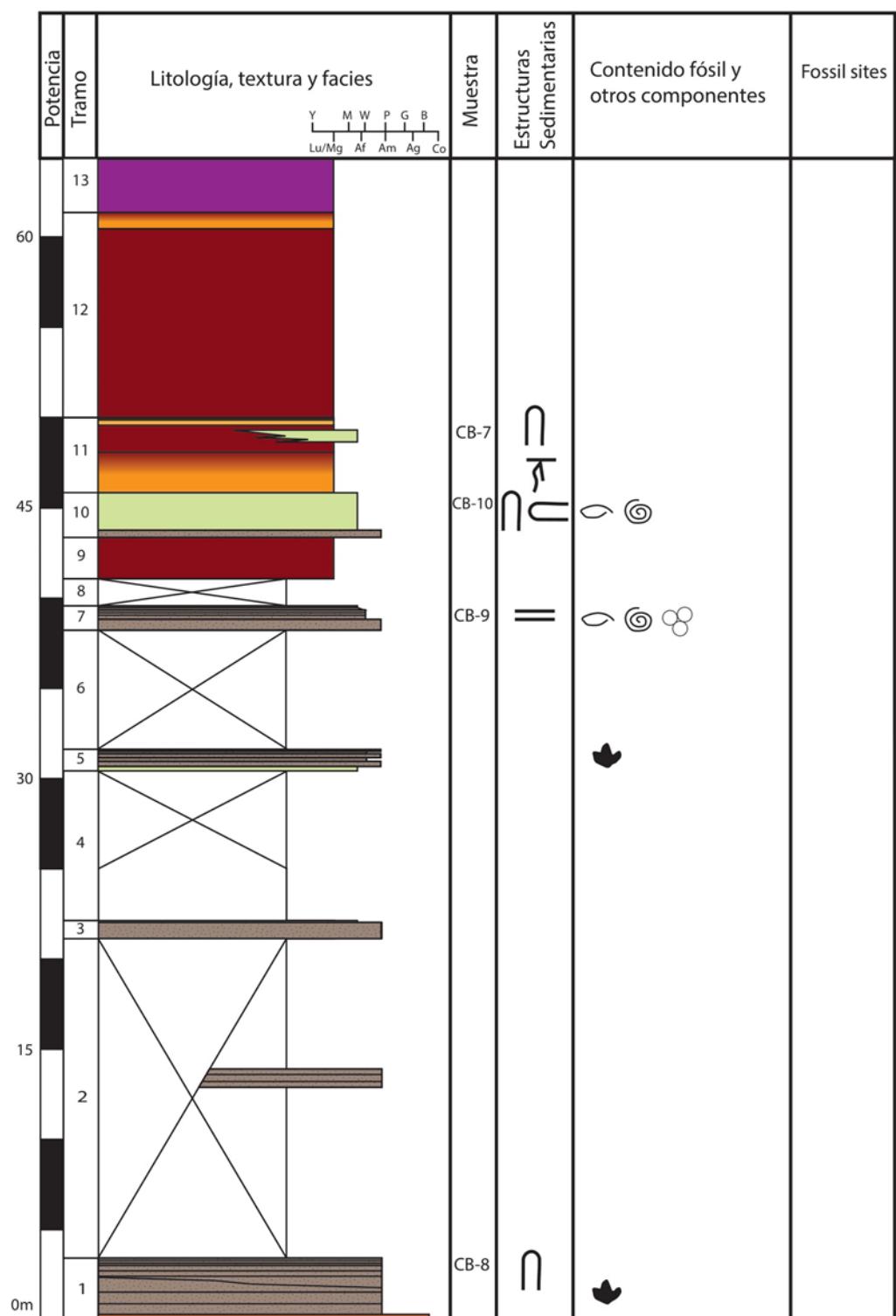


ANEXO III



Tramos 27 a 33 de la serie estratigráfica 1.

ANEXO IV



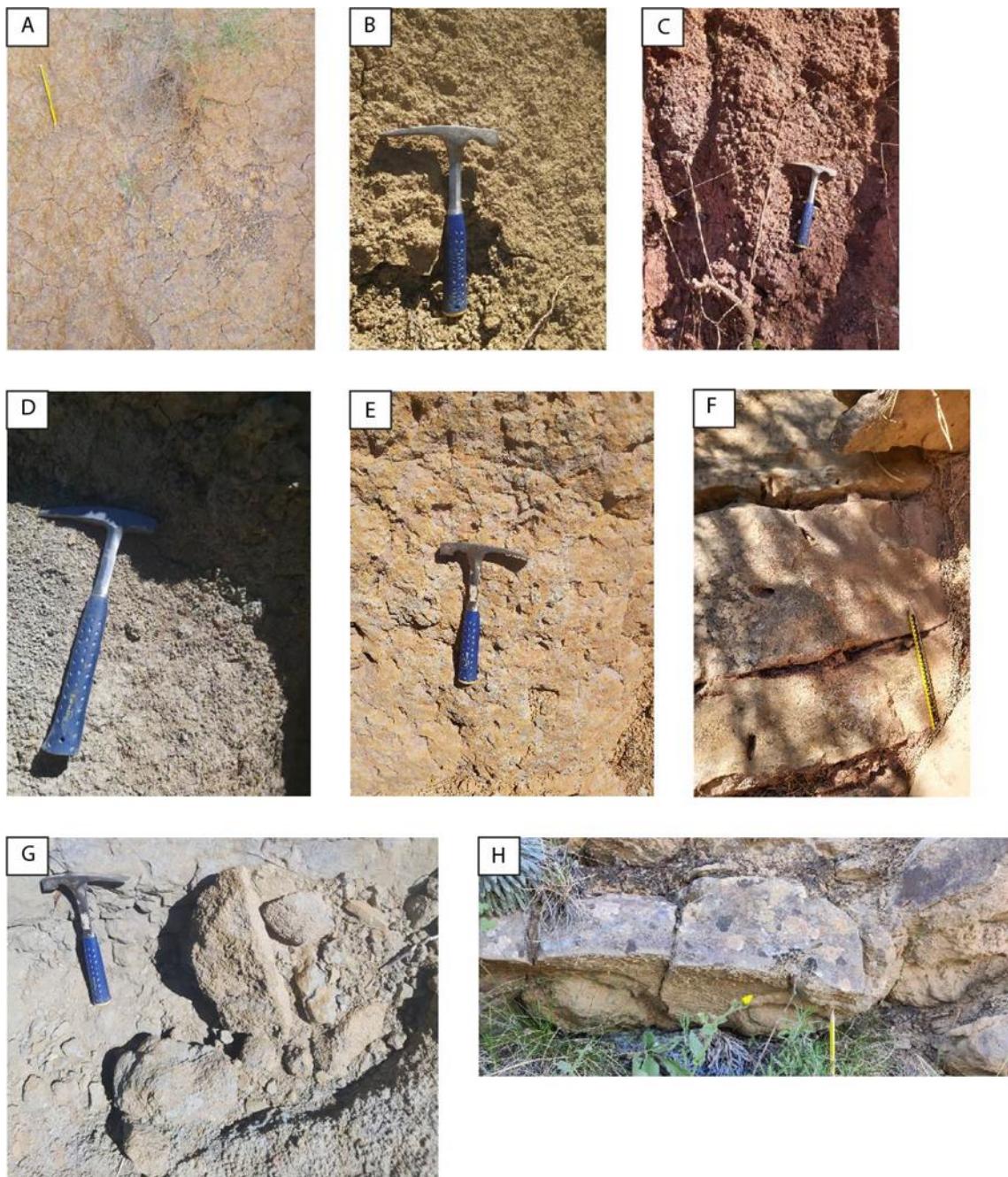
Tramos 1 a 13 de la serie estratigráfica 2

ANEXO V

FACIES		Color, textura y componentes	Estratificación y estructuras sedimentarias	Yacimiento
TERRÍGENAS	Areniscas	<ul style="list-style-type: none"> - color marrón grisáceo en superficie - tamaño de grano variable desde areniscas de grano fino, a medio y grueso - componente principal: granos de cuarzo angulosos y de baja esfericidad - componentes minoritarios: intraclastos carbonatados (\varnothing 1,5 mm de tamaño máximo, angulosos y de baja esfericidad) de facies mixtas; bioclastos (gasterópodos, bivalvos, foraminíferos bentónicos) - cemento calcáreo - presencia ocasional de cientos blandos 	<ul style="list-style-type: none"> - estratos tabulares de 8 cm a 1 m de potencia, ocasionalmente con bases canaliformes - lags basales de cientos cuarcíticos y carbonatados - laminación horizontal y localmente estratificación cruzada en surco - bioturbación y huellas de raíces - ocasionales casts de pisadas de dinosaurios en la base de los estratos 	Blasi 3, 4 (ver apartado xxxx)
	Microconglomerados	<ul style="list-style-type: none"> - color marrón claro en superficie - granosostenidos - componentes principales: intraclastos carbonatados subangulosos y de baja esfericidad y cientos de cuarcita redondeados (\varnothing 2 cm máximo, ocasionalmente 5 cm); granos de cuarzo de tamaño fino a grueso, con cierto grado de esfericidad y redondez - componentes minoritarios: y bioclastos (equinoideos, bivalvos, briozoos y foraminíferos bentónicos) - cemento calcáreo 	<ul style="list-style-type: none"> - estratos tabulares de 10 cm a 80 cm de potencia, ocasionalmente con bases irregulares erosivas y techos planos - ocasionales casts de pisadas de dinosaurios en la base de los estratos 	Blasi 4 (ver apartado xxxx)
	Lutitas grises	<ul style="list-style-type: none"> - color gris en superficie - microfósiles de invertebrados, carofitas y cáscaras de huevo de dinosaurio y cocodrilo en yacimiento Blasi 5 	<ul style="list-style-type: none"> - paquete métricos, estratos tabulares de 6 a 10 cm de potencia - laminación horizontal ocasional y bioturbación 	Blasi 5 (ver apartado xxxx)
	Lutitas ocres-marrones	<ul style="list-style-type: none"> - color ocre-marrón en superficie - cambio gradual con lutitas rojas y versicolores 	<ul style="list-style-type: none"> - paquetes métricos, estratos de 10 a 15 cm de potencia - ocasionalmente laminación paralela 	
	Lutitas versicolores	<ul style="list-style-type: none"> - color variado en superficie: marrón-rojizo, violáceo y borgoña - cambio gradual con lutitas ocres-marrones - Ocasionalmente presenta nódulos carbonatados 	<ul style="list-style-type: none"> - paquetes métricos, estratos de 10 a 30 cm de potencia 	
	Lutitas rojas	<ul style="list-style-type: none"> - color rojo intenso en superficie 	<ul style="list-style-type: none"> - sendos estratos tabulares de 10 cm y 1,2 m de potencia 	
MIXTA	Lutitas púrpuras	<ul style="list-style-type: none"> - color púrpura en superficie 	<ul style="list-style-type: none"> - un único estrato de 3 m de potencia - paleosuelos 	
	Calizas margosas y arenosas biotur-badas	<ul style="list-style-type: none"> - color gris, con tonos amarillos y rojizos, sobretodo a techo - matriz esencialmente carbonatada y granos de cuarzo de tamaño fino - bioclastos dispersos aislados de gasterópodos y bivalvos 	<ul style="list-style-type: none"> - estratos tabulares, a veces con techos irregulares de 15 cm de potencia media, ocasionalmente en paquetes de 2 m de potencia - intensa bioturbación (galerías horizontales verticales) y huellas de raíces 	

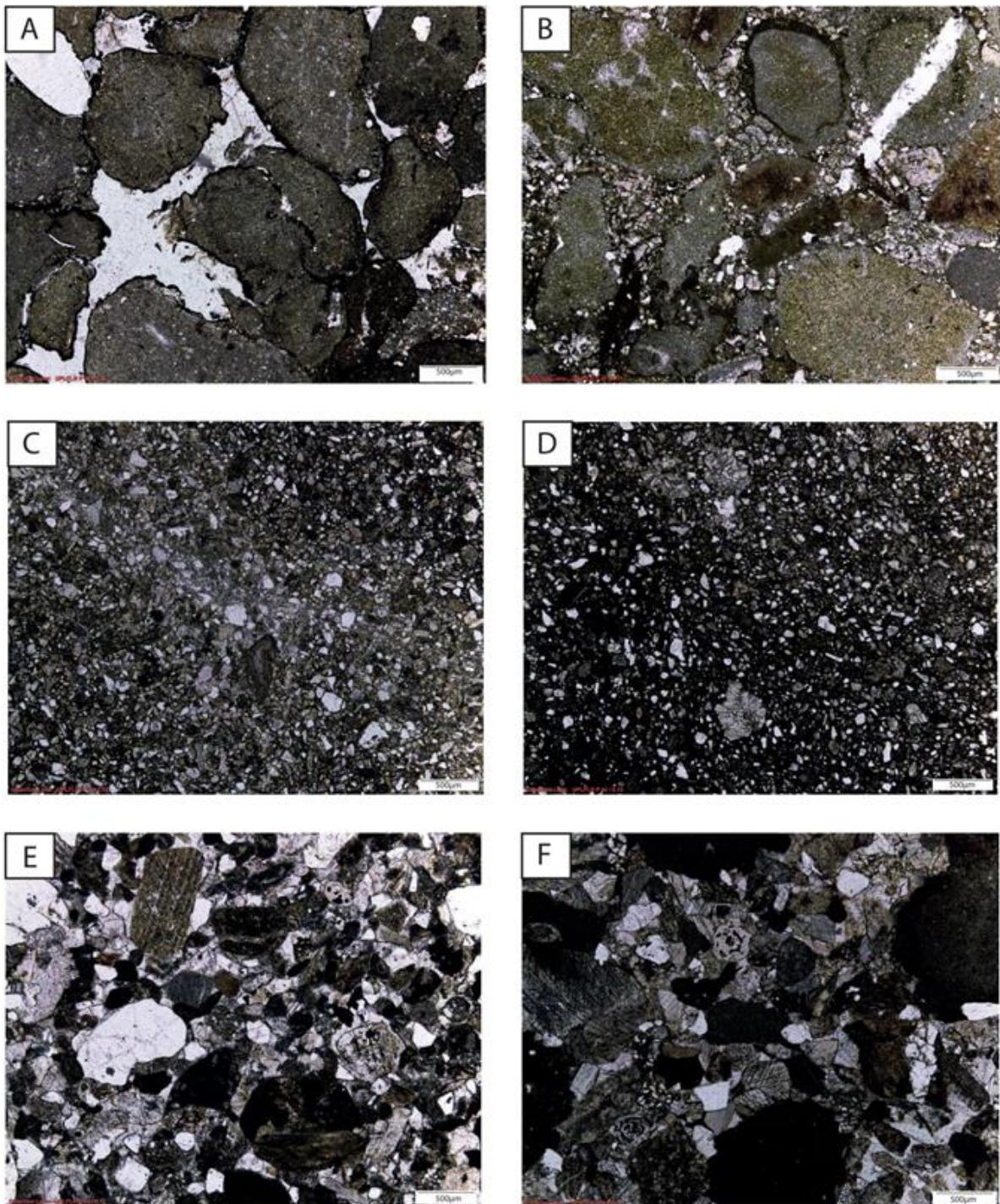
Tabla 1: Descripción de las facies reconocidas en el "Garum Gris" y "Garum Rojo Inferior", así como en el "horizonte Colmenar-Tremp" (Lutitas púrpuras).

ANEXO VI



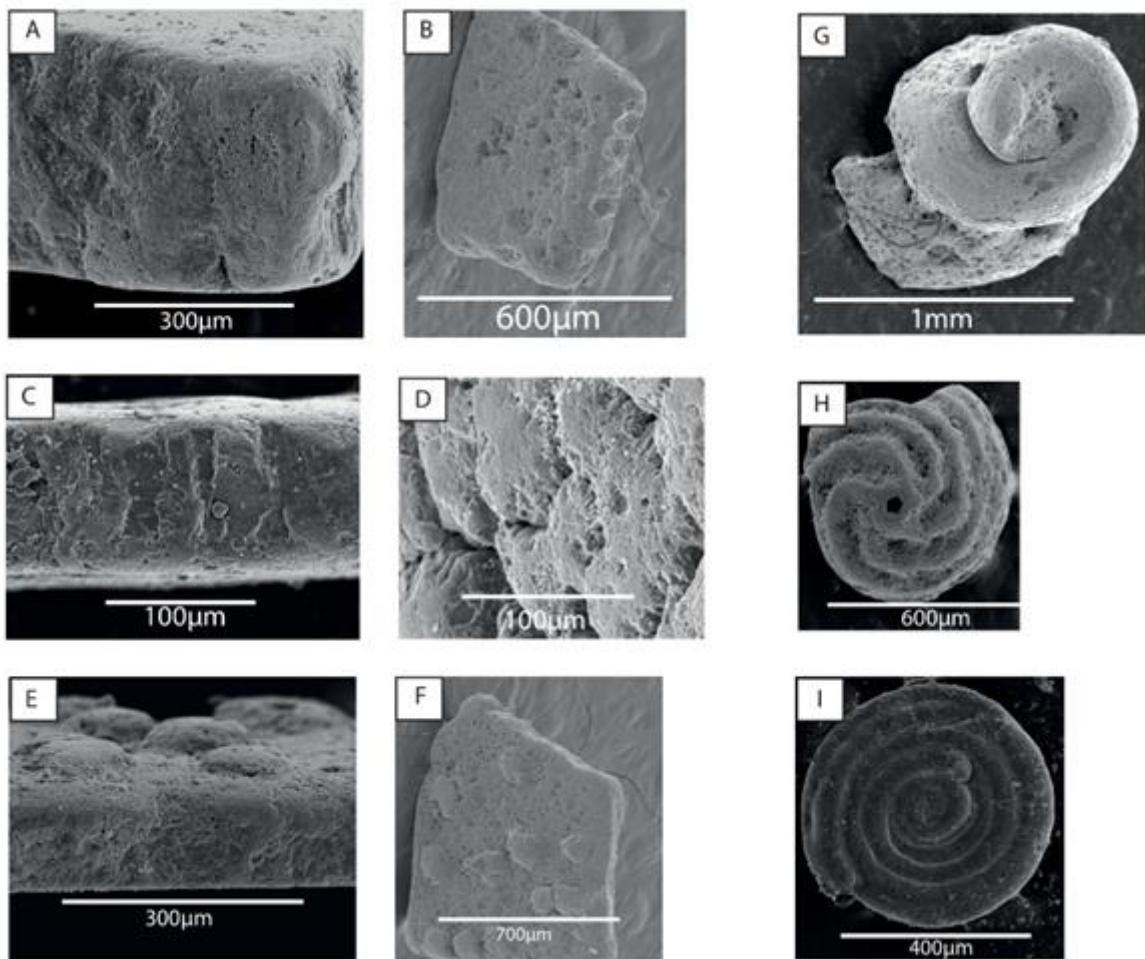
Fotografías de campo de las facies definidas. A, Lutita versicolor. B, Lutita ocre. C, Lutita púrpura. D, lutita gris. E, caliza margosa y arenosa bioturbada. F, Areniscas. G, Microconglomerado. H, Casts de pisadas de dinosaurios en areniscas.

ANEXO VII



Fotografías en lámina delgada de las facies definidas. A y B corresponden con la facies de microconglomerados. C y D corresponden con calizas margosas y arenosas bioturbadas. E y F corresponden con areniscas.

ANEXO VIII



Fotografías de SEM de los restos micropaleontológicos. A y B: Krokolithidae; C y D: Prismatoolithus; E y F: Pseudogeckolithus. G: molde interno de gasterópodo. H: oogonio de carapita. I: Foraminífero.

ANEXO IX

Sigla de Campo	Yacimiento	Término municipal	Elemento	Taxón
----------------	------------	-------------------	----------	-------

BLA-3,1 (1)	Blasi 3,1	ARÉN	Placa de tortuga	Chelonii
BLA-3,1 (2)	Blasi 3,1	ARÉN	Vértebra dorsal	Hadrosauridae (<i>Lambeosaurinae</i>)
BLA-3,1 (3)	Blasi 3,1	ARÉN	Vértebra caudal	Hadrosauridae (<i>Lambeosaurinae</i>)
BLA-3,1 (4)	Blasi 3,1	ARÉN	Vértebra caudal	Hadrosauridae (<i>Lambeosaurinae</i>)
BLA-3,1 (5)	Blasi 3,1	ARÉN	Vértebra caudal	Hadrosauridae (<i>Lambeosaurinae</i>)
BLA-3,1 (6)	Blasi 3,1	ARÉN	Fragmento de aparato masticador	Hadrosauridae
BLA-3,1 (7)	Blasi 3,1	ARÉN	Arco hemal	Dinosauria
BLA-3,1 (8)	Blasi 3,1	ARÉN	Arco neural	Dinosauria
BLA-3,1 (9)	Blasi 3,1	ARÉN	Esquirlas de hueso	Dinosauria
BLA-3,1 (10)	Blasi 3,1	ARÉN	Osteodermo	Crocodilomorpha
BLA 3,4 (1)	Blasi 3,4	ARÉN	Arco neural	Hadrosauridae
BLA 3,4 (2)	Blasi 3,4	ARÉN	Placas de tortuga	Chelonii
BLA 3,4 (3)	Blasi 3,4	ARÉN	Esquirla de hueso	Dinosauria
BLA-4(1)	Blasi 4	ARÉN	Esquirla de hueso	Dinosauria
BLA-4(2)	Blasi 4	ARÉN	Esquirla de hueso	Dinosauria
BLA-4(3)	Blasi 4	ARÉN	Fragmento de rama escapular izqda.	Dinosauria
BLA-4,5 (1)	Blasi 4,5	ARÉN	Costilla	Hadrosauridae indet.
BLA-5 (1)	Blasi 5	ARÉN	Vértebra caudal	Hadrosauridae indet. 2
BLA-5 (3)	Blasi 5	ARÉN	Placas de tortuga	Chelonii
BLA-5 (2)	Blasi 5	ARÉN	Esquirla de hueso	Dinosauria
BLA-5 (4)	Blasi 5	ARÉN	Esquirlas de hueso	Dinosauria
BLA-5 (5)	Blasi 5	ARÉN	Tendón osificado	¿Dinosauria?