

LOS MICROVERTEBRADOS DEL YACIMIENTO CS-41 (CASTEJÓN DE SOBRARBE, HUESCA, EOCENO). IMPLICACIONES PALEOAMBIENTALES Y PALEOECOLÓGICAS



Alumno/a: Nuria Lara Artola.

Asignatura: Trabajo Final de Grado.

Director/a: José Ignacio Canudo Sanagustín.

Curso: 2020-2021.

ÍNDICE	PÁG
- Resumen.....	3
- Abstract.....	3
- Palabras clave/Key words.....	3
1. Introducción.....	3
2. Objetivos.....	4
3. Contexto geográfico y geológico.....	4
4. Metodología:	
4.1. Trabajo bibliográfico.....	8
4.2. Nomenclatura.....	8
4.3. Trabajo de laboratorio.....	9
4.4. Trabajo de campo.....	13
5. Yacimiento CS-41:	
5.1. Antecedentes.....	14
5.2. Descripción del yacimiento.....	14
6. Sistemática paleontológica.....	16
7. Aportaciones a la paleoecología y al paleoambiente de CS-41.....	20
8. Conclusiones.....	21
9. Agradecimientos.....	22
10. Referencias bibliográficas.....	22
11. Anexos.....	26
11.1. Anexo 1: Mapa geológico.....	26
11.2. Anexo 2: Tabla de conteo.....	27
11.3. Anexo 3: Fotografías de restos fósiles.....	28
11.4. Anexo 4: Esquema de paleoecología y paleoambiental.....	32

- Resumen

El yacimiento de Castejón de Sobrarbe-41 (CS-41) (Huesca) es un yacimiento excepcional por el descubrimiento y abundancia de restos fósiles de sirenios primitivos como de otros restos de macrovertebrados y microvertebrados.

Se trata de un yacimiento ubicado en el Delta del Sobrarbe, formado durante el Luteciense (Eoceno medio) en un ambiente de canal abandonado y condiciones tropicales. En el lugar se han encontrado abundantes restos de macrovertebrados (sirenios y tortugas marinas); y de microvertebrados, siendo éstos el objetivo del trabajo. Son comunes los fragmentos de cáscaras de huevo de *Eocenchelus*, dientes de crocodilos (*Asiatosuchus* y *Diplocynodon*), dientes y osteodermos de condricios (*Rhinobatos*), otolitos de osteíctios (*Serranidae*) y algún diente de mamífero (*Pseudoesciuridae*).

El estudio realizado aquí ha sido principalmente para conocer los diferentes grupos animales en CS-41 e interpretar el tipo de medio en el que habitaban, aplicando técnicas de laboratorio como levigado, triado y análisis de las muestras.

- Abstract

The Castejón de Sobrarbe-41 (CS-41) site (Huesca) is an exceptional site due to the discovery and abundance of fossil remains of primitive sirenians as well as other macrovertebrate and microvertebrate remains.

It is a deposit located in the Sobrarbe Delta, formed during the Lutetian (Middle Eocene) in an abandoned canal environment and tropical conditions. Abundant macrovertebrate remains (sirenians and sea turtles) have been found at the site; and microvertebrates, these being the objective of the work. *Eocenchelus* eggshell fragments, crocodilian teeth (*Asiatosuchus* and *Diplocynodon*), chondrichthyan teeth and osteoderms (*Rhinobatos*), osteichthyan otoliths (*Serranidae*) and some mammalian teeth (*Pseudoesciuridae*) are common.

The study carried out here has been mainly to know the different animal groups in CS-41 and to interpret the type of environment in which they lived, applying laboratory techniques such as levigating, triating and analysis of the samples.

- Palabras clave/key words.

CS-41, Formación Sobrarbe, Luteciense, Crocodilia, condricios
CS-41, Sobrarbe Formation, Lutetian, Crocodilia, chondrichthies

1. Introducción

La memoria presente es el trabajo realizado para desarrollar el Trabajo Fin de Grado (TFG) del Grado de Geología de la Universidad de Zaragoza para el curso 2020-2021. El trabajo es

principalmente paleontológico pero también abordan otras áreas relacionadas como la Estratigrafía. Es mayoritariamente un trabajo bibliográfico y de laboratorio, aunque también se ha realizado una jornada de campo para la toma de datos *in situ*.

La memoria se ha centrado en el estudio de microvertebrados del Luteciense de Castejón de Sobrarbe-41 (CS-41). CS-41 es un yacimiento excepcional por su contenido en restos fósiles de sirenios primitivos, y que forman parte de la investigación del Grupo Aragosaurus de la Universidad de Zaragoza.

2. Objetivos

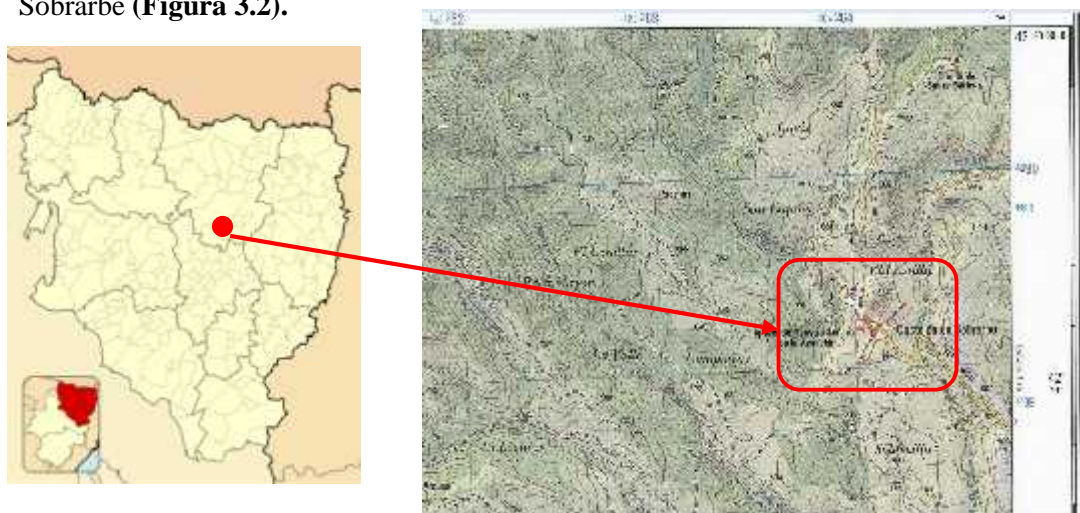
Esta memoria tiene como objetivo la realización de un estudio de la fauna fósil de microvertebrados del yacimiento CS-41.

En este objetivo principal se incluyen los objetivos más específicos:

- Aprender métodos y labores de limpieza, triado y estudio de microvertebrados.
- Buscar y manejar con soltura las referencias bibliográficas en geología.
- Estudio sistemático de los microvertebrados del yacimiento CS-41.
- Comparar la paleobiodiversidad obtenida en el estudio con la conocida previamente en el yacimiento CS-41.
- Realizar aportaciones a la paleoecología y al paleoambiente de formación de CS-41 a partir de su registro de microvertebrados.

3. Contexto geográfico y geológico

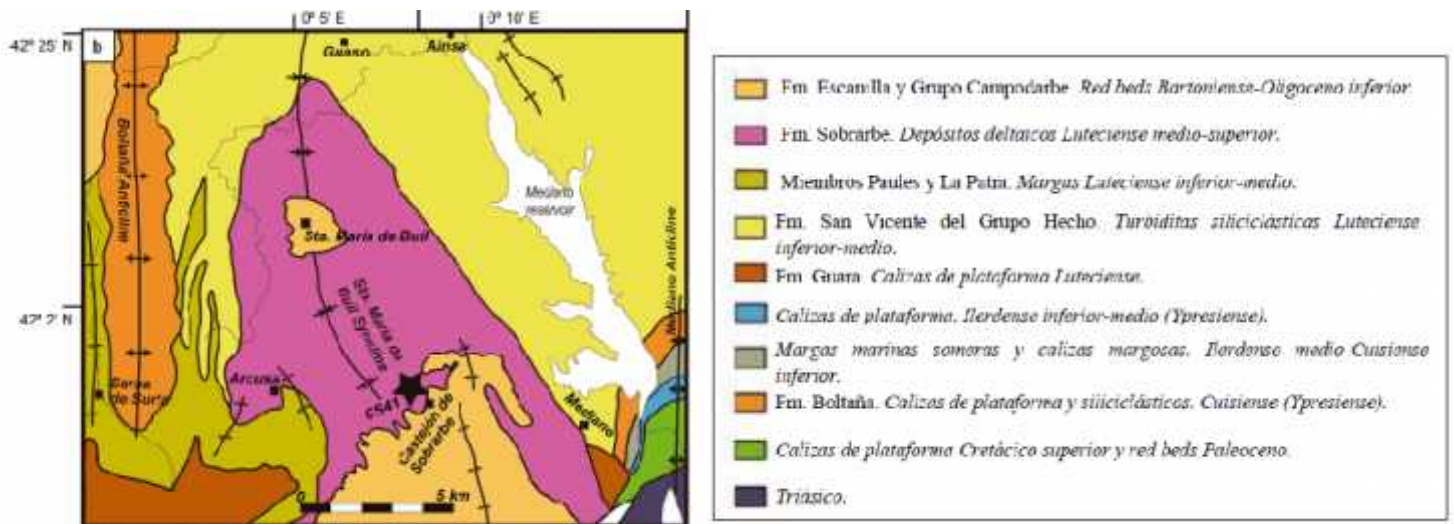
El yacimiento CS-41 se localiza cerca de la localidad de Castejón de Sobrarbe, en el municipio de Aínsa-Sobrarbe, comarca del Sobrarbe, provincia de Huesca (España) (**Figura 3.1**). Para llegar hasta la localidad, se debe tomar la autovía A-23 hasta Huesca, después se toma la N-240 hasta Barbastro. Allí, se sigue por la N-123 en dirección NE, para torcer por la autonómica A-138, que circula paralela al embalse del Grado I. De ahí se continúa hasta la altura de Mediano y se tuerce a la izquierda por la comarcal HU-V-3611, que finalmente llega hasta Castejón de Sobrarbe (**Figura 3.2**).



Figuras 3.1 y 3.2: A la izda: Ubicación de Castejón de Sobrarbe (provincia de Huesca, España). Tomado de Wikipedia. A la dcha: Mapa topográfico de Castejón de Sobrarbe. Tomado de la Hoja n°0249-2 (Arcusa) 1:25000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN)).

El yacimiento CS-41 se encuentra en la subcuenca de Aínsa, ubicada en la parte más occidental de la Cuenca de Jaca-Pamplona en la Unidad Central Surpirenaica.

Durante el Eoceno, era una zona marina profunda (Golfo de Vizcaya), situada en la zona entre la placa Ibérica y la placa Euroasiática, que se abrió en dirección noroeste hacia el océano Atlántico, delimitado al este por el cierre de la cuenca y formación de los primeros relieves durante de la orogenia Pirenaica (Mochales *et al.* 2010).



Figuras 3.3 y 3.4. A la izda: Mapa geológico simplificado del área de estudio. En la parte sur del mapa se ubica CS-41 en materiales del Luteciense medio-superior pertenecientes a la Fm. Sobrarbe (Modificado con permiso de Mochales *et al.* 2010 y tomado de Díaz-Berenguer *et al.* 2018). A la dcha: Leyenda del mapa geológico del área (**Figura 3.3**). Abarca desde el Triásico hasta el Bartonense-Oligoceno inferior, predominando los materiales del Eoceno (tomado de Díaz-Berenguer *et al.* 2018).

La subcuenca de Aínsa se encuentra dentro de la cuenca de Jaca-Pamplona, que es una cuenca de antepaís generada por el desarrollo de sucesivos cabalgamientos durante el cierre de la bahía de Vizcaya, ejercido por la compresión generada durante la Orogenia Alpina (Cámara, Klimowitz, 1985).

Se encuentra en una cuenca eocena en la unidad Central Surpirenaica, de dirección ESE-WNW, paralela a la Zona Axial (Cámara, Klimowitz, 1985). Durante el Eoceno, la cuenca pasó de tener un ambiente de talud-plataforma profunda a medios continentales a causa del cierre en cuña de los Pirineos de dirección E-W, cerrando el Golfo de Vizcaya. A inicios del Eoceno la cuenca estaba abierta al Atlántico hacia el oeste, y progresivamente se va rellenando a lo largo del periodo fundamentalmente por sistemas siliciclásticos procedentes de los relieves recién emergidos en dirección este (Cámara, Klimowitz 1985). Se fue rellenando por sedimentos derivados de estos sistemas siliciclásticos de origen fluvio-deltaico. Este sistema, compuesto por siete secuencias deposicionales (Mutti *et al.*, 1985), alimenta el conjunto turbidítico del grupo Hecho orientado hacia el oeste depositado en la cuenca de Jaca (Mutti *et al.*, 1972). A medida que continuaba el relleno de la cuenca tenía lugar el desplazamiento gravitacional de la cobertera de la Zona Axial, siendo ambos procesos contemporáneos, y cuyo desplazamiento era en dirección sur (Cámara, Klimowitz, 1985). Debido a este proceso se desarrollaron dos unidades de materiales al este: la “Unidad Surpirenaica Central” alóctona (Seguret, 1972) o la “Unidad del Montsec” (Garrido, 1973). Sobre ella se desarrolla el sistema fluvio-deltaico que

aportará los materiales procedentes de las zonas emergidas del este al sistema turbidítico depositado en la “Unidad despegada de Gavarnie” (Cámara, Klimowitz, 1985).

El origen de las estructuras cabalgantes presentes en la zona tiene su comienzo en el Cretácico inferior, periodo de tiempo en el que comenzó la etapa de extensión, generando cuencas de rift, con la consecuente apertura hacia el mar como el Golfo de Vizcaya. Entre el Albiense y el Cretácico superior la placa Ibérica se mueve hacia el sureste con relación a la placa europea a través de la falla sinistral norpirenaica, marcando el límite entre ambas placas (Cámara, Klimowitz, 1985). A partir del Eoceno, el dominio surpirenaico sufre una compresión norte-sur, provocando importantes acortamientos en esa orientación (Choukroune *et al.*, 1973).

Es durante este periodo cuando se generan los diferentes cabalgamientos y pliegues que otorgan la geometría de las cuencas; un ejemplo es el anticlinal de Boltaña al oeste, una estructura que delimita la subcuenca de Aínsa de la subcuenca de Jaca, generando diferencias sedimentológicas importantes, y el anticlinal de Mediano al este, separando la cuenca de la de Tremp-Graus.

La separación de ambas cuencas se produjo con la formación del anticlinal de Boltaña. Este pliegue es una estructura sinsedimentaria (Cámara, Klimowitz, 1985) que se formó durante el Luteciense (Eoceno medio) al mismo tiempo que la sedimentación del sistema de Banastón (Remacha *et al.*, 1998, Remacha y Fernández, 2003; Remacha *et al.*, 2005). Cuando las dos subcuencas estuvieron completamente individualizadas, cada una desarrolló un área fuente propia, originando los sistemas turbidíticos de Rapiután y Guaso (Ubeid, 2008).

Por último, al final del periodo del Alogrupo de Jaca, los sedimentos fueron transportados hacia el anticlinal de Boltaña, a la vez que se estaban formando los deltas del Sobrarbe y Sabinánigo; y los dos sectores de la cuenca se unieron de nuevo (Ubeid, 2008). Todo este proceso está ilustrado en la **Figura 3.5**, donde se puede ver una evolución paleogeográfica de la cuenca hasta la configuración que se ha mantenido hasta la actualidad.

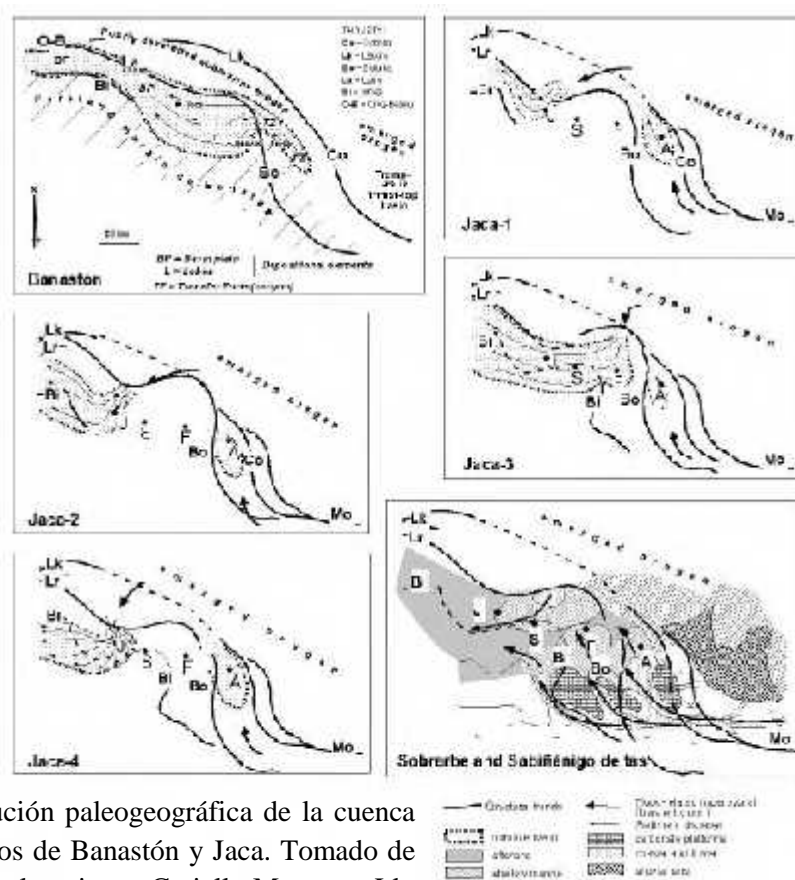


Figura 3.5: Mapa de evolución paleogeográfica de la cuenca de Jaca durante los alogrupos de Banastón y Jaca. Tomado de Ubeid (2008). Co-Mo: Cabalgamiento Cotiella-Montsec, Lk: Cabalgamiento de Lákora; Lr-Bo: Pliegue de Larra-Boltaña, Bi: Pliegue de Biniés. J: Jaca. S: Sabinánigo. F: Fiscal. A:

La subcuenca de Aínsa es una cuenca de pequeño tamaño ubicada en la parte este de la cuenca de Jaca (o de Hecho), comprendida entre la cuenca de Tremp-Graus al este y el anticlinal de Boltaña al oeste (**Anexo 1, figura 11.1.1**). Durante la formación del Grupo Hecho, el área de Aínsa estaba ocupada por cuñas de materiales de prodelta cortadas por cañones y canales que alimentaban la cuenca turbidítica del área de Jaca. Debido al desarrollo del anticlinal de Boltaña, ambos sectores se fueron diferenciando hasta que, finalmente, el conjunto de los depósitos de los deltas de Sobrarbe y de Sabiñánigo produjeron el enterramiento del pliegue debido a la mayor tasa de sedimentación que la tasa de crecimiento de la estructura (Ubeid, 2008). Una vez desarrollada la subcuenca de Aínsa, ésta fue controlada por los dos anticlinales presentes en ambos extremos: al este el anticlinal de Mediano y al oeste el anticlinal de Boltaña. Además, en la zona central de la cuenca se encuentra el sinclinal de Santa María del Buil, donde se encuentra el yacimiento CS-41 (**Figura 3.3**).

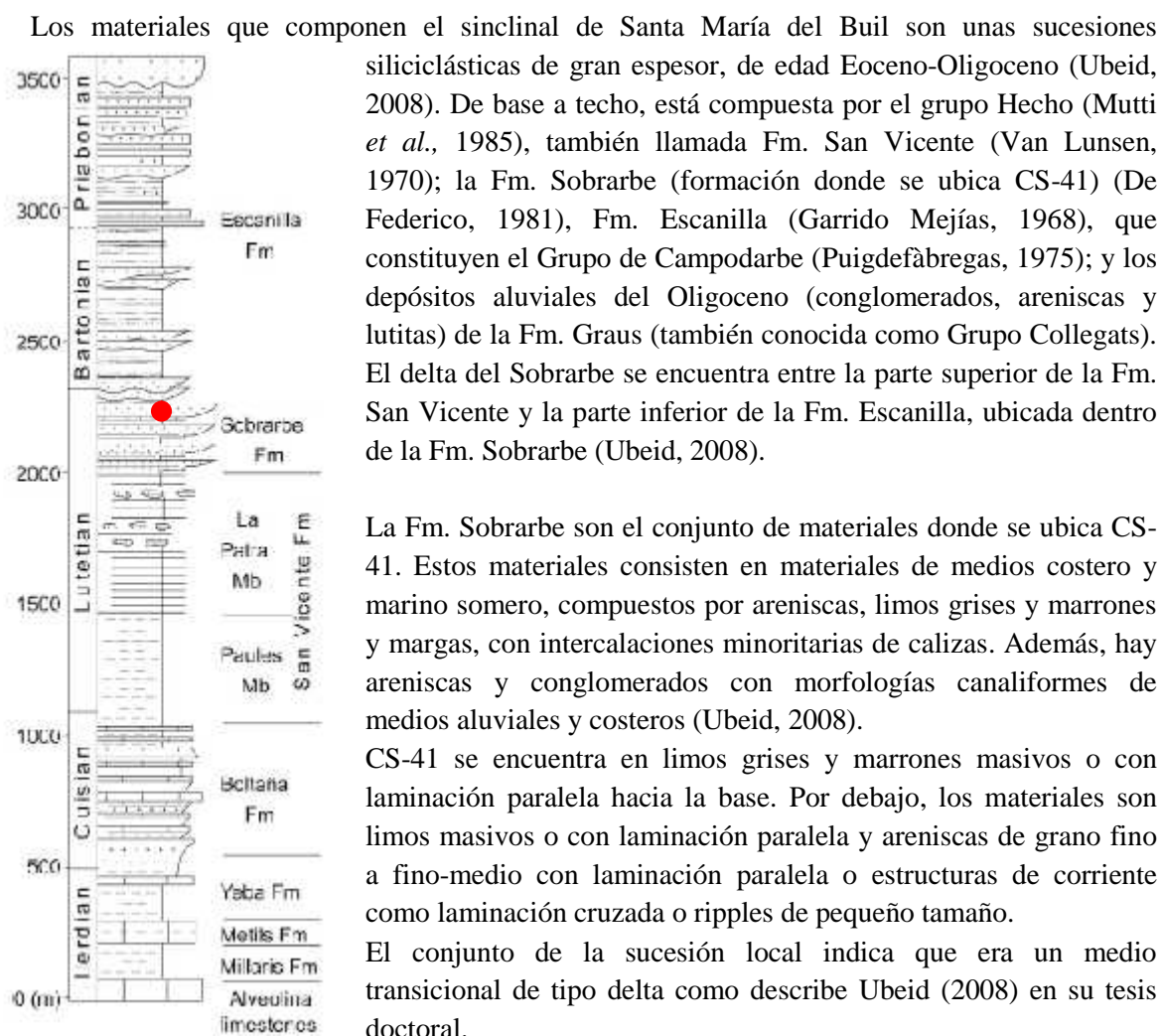


Figura 3.6: Columna estratigráfica del área del Sobrarbe. En rojo: ubicación de CS-41 dentro de la Fm. Sobrarbe. Tomado de Mochales López, 2011.

4. Metodología

A la hora de realizar esta memoria, se ha seguido una metodología más habitual en la extracción de microvertebrados en facies lutíticas y margosas. Las técnicas empleadas son las apropiadas para el trabajo con un material considerado delicado, ya que un manejo de las muestras incorrecto podría hacer que se perdiera parte de la información contenida. Además del uso de técnicas concretas acordes con el tipo de material empleado, también se han realizado otras tareas más genéricas que siempre deben realizarse para su correcto desempeño.

Para el estudio del material del yacimiento CS-41 se ha realizado en varias fases: trabajo bibliográfico previo, nomenclatura, trabajo de laboratorio y trabajo de campo.

4.1. Trabajo bibliográfico previo

Para esta memoria se ha requerido la búsqueda de bibliografía tanto general como específica, debido a que se debe tener una visual de todos los aspectos. A la hora de buscar, se debe tener en cuenta la información inicial que se tiene en el material a estudiar y la bibliografía previa a la realización de este trabajo. Toda la información buscada ha sido por Internet a través del buscador de Google Académico, donde se ha recopilado información procedente de trabajos, artículos de revistas y libros y tesis doctorales.

Inicialmente, se ha buscado bibliografía previa para conocer datos sobre CS-41. En este caso, la información encontrada habla principalmente de los restos de sirenios descubiertos en el lugar, incidiendo en anatomía, paleobiología y paleoecología; por tanto, en esta primera búsqueda se ha centrado en recopilar información acerca de la geología de la zona. Para conocer la geología de la Unidad Central Surpirenaica, la subcuenca de Aínsa y el delta del Sobrarbe se han utilizado trabajos y tesis doctorales para conocer la estratigrafía, tectónica y paleogeografía.

Después, la bibliografía buscada se ha extendido a más partes de la investigación.

Para los antecedentes, se ha buscado todos los trabajos previos realizados sobre el yacimiento. En el apartado de sistemática, se ha buscado información sobre los grupos fósiles presentes en el material, buscando sobre dientes de crocodilios, osteíctios, condrictios y mamíferos del Eoceno para la descripción e identificación.

Para la paleoecología, se han tomado como referencia los trabajos realizados sobre el yacimiento y paleogeografía de la subcuenca de Aínsa.

4.2. Nomenclatura

En la descripción de los restos fósiles se utiliza la nomenclatura acorde para cada grupo fósil.

Para los dientes de crocodilios se han tomado los trabajos de Mas *et al.*, 2010 y Pereda Suberbiola *et. al.*, 2012 como referencias de la metodología y terminología de descripción.

Para los otolitos de osteíctios, se han tomado el trabajo de Vanina Volpedo y Vaz-dos-Santos, 2015 para la terminología y descripción; y los trabajos de Tuset *et. al.*, 2008; Toscano Grande *et. al.*, 2009; Brzobohatý y Nolf, 2011; y Ward, 2016 para la metodología de descripción y la identificación del taxón. Hay algunos términos empleados en otolitos que son muy específicos;

por tanto, se describen algunos de ellos a partir de las definiciones de Vanina Volpedo y Vaz-dos-Santos, 2015 (**Figura 4.2.1**).

Surco acústico: Estructura de profundidad variable, bien marcada, que divide al otolito en dos partes: región ventral y región dorsal de forma longitudinal.

Archeossulcoide: Forma del surco acústico que no presenta una división marcada entre el ostium y la cauda al ser la constricción del surco inexistente.

Ostium: Abertura amplia del surco acústico en la región anterior y cerrada en la región posterior.

Colliculum: Depósito de CaCO_3 de espesor variable situado en la base del surco acústico.

Ostium: Región del surco acústico limitado por el collum en la región posterior.

Cauda: Estructura situada en la región posterior, después del collum.

Rostro: Protuberancia aguda que se prolonga de la región anterior al borde ventral. En la región posterior: pseudorrostro.

Antirrostro: Protuberancia angulosa más pequeña que el rostro, y que es una prolongación del borde dorsal. En la región posterior: pseudoantirrostro.

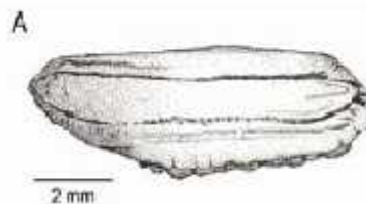


Figura 4.2.1: Esquema de un otolito (Vanina Volpedo y Vaz-dos-Santos, 2015)

Para la descripción y clasificación de dientes de condictios se han tomado como referencia de descripción y terminología los trabajos de Ward, 2016; Lira-Beltrán *et al.*, 2020, Sáez y Lamilla, 2012; y Underwood *et al.*, 2011. Como en los otolitos, se describen algunos términos a partir del trabajo de Sáez y Lamilla, 2012 (**Figuras 11.3.17 y 11.3.19**).

Raíz holoaulacorhizada: Raíz vascularizada a través de pequeños forámenes concentrados en un surco que va desde la cara externa a la interna.

Úvula: Extensión lobulada de la base interna de la corona.

En los osteodermos no se ha encontrado información acerca de la descripción y terminología, por lo que se han descrito de forma general, usando las orientaciones empleadas para los dientes de crocodilios y condictios.

Para el diente de mamífero, se ha empleado como referencia de términos el trabajo de Cuenca-Bescós (1998), de Pseudosciuridae.

4.3. Trabajo de laboratorio

Esta es la parte más importante y que más abarca de todo el proceso, ya que hay que limpiar y procesar todo el material a estudiar ya que llega como se ha extraído del propio yacimiento, y se requiere extraer todo el material fósil de interés que pueda contener.

Para ello, se ha prestado al alumno una bolsa de sedimento procedente de una de las cuadrículas del yacimiento, cuyas iniciales son: CS41-S20/16, 22, Z: 30-40 (**Figuras 4.3.1 y 4.3.2**) para el estudio principal; y una pequeña bolsa de muestra de otra cuadrícula, con iniciales: CS41-230, 11, Z: 8-15, julio/2010 para un estudio micropaleontológico para la búsqueda de material de tamaño muy pequeño como foraminíferos.



Figuras 4.3.1 y 4.3.2: A la izda: Saco del material de CS-41 siglado. A la dcha: Detalle de las siglas del saco.

Para empezar, hay que pesar el saco con el material para conocer su peso; en total, pesa unos 14 kg. A continuación, se debe limpiar; esto es debido a que contiene mucha materia orgánica (tanto contenida en el sedimento como en forma de raíces), y para ello debe estar a remojo. Se distribuye en varios cubos de plástico parte del material y se le echa agua oxigenada (H_2O_2) en seco para eliminar la materia orgánica en el sedimento.

Un punto a tener en cuenta es que se debe echar poca cantidad de sedimento en cada cubo por dos razones: por una parte, si la cantidad es grande, el agua oxigenada no actúa lo suficientemente bien y la materia orgánica no es eliminada de forma tan eficaz; y por otra parte está relacionada con la reacción del producto; el agua oxigenada genera una reacción exotérmica notable (**Figura 4.3.3**), y si se vierte mucho sedimento en el cubo la reacción puede ser grande y que pueda derivar en algún problema de salud. Una vez vertida el agua oxigenada, rápidamente se rellena cada cubo con agua caliente para acelerar la reacción. Durante este proceso se debe llevar bata, guantes y gafas para evitar posibles lesiones en la piel y ojos, y/o problemas en la ropa a causa de los productos químicos.



Figura 4.3.3: Cubeta con material de CS41-230. La reacción exotérmica es notable.

Una vez ha comenzado la reacción exotérmica se adjunta una etiqueta a cada cubo con las siglas que tiene el saco y bolsa (**Figura 4.3.4**), y se deja actuar durante un mínimo de 2 días o más (no hay problema en que se prolongue en el tiempo, sino al contrario, resulta bueno para ayudar a tratar mejor el material). Este proceso se irá realizando a medida que se vaya limpiando el material ya tratado hasta acabar, y se aplicará tanto al saco CS41-S20/16 como a la bolsa CS41-230.

Figura 4.3.4: Vista general de los cubos con el material ya reaccionando. Es importante etiquetar las muestras para evitar confusiones y que sean retiradas.



Una vez pasado el mínimo de tiempo para que hayan actuado bien el agua y agua oxigenada, se comienza a tamizar las muestras.

El tamizado es una técnica que consiste en pasar el sedimento por una pila de tamices de diferentes tamaños de luz de malla para separar el sedimento sobrante de los restos de interés.



Para este caso, se han empleado tres tamices de 2 mm, 1 mm y 0,5 mm de luz de malla para el saco de CS41-S20/16, y tamices de 0,5 mm y 0,15 mm para la bolsa de CS41-230. Previamente a tamizar se deben limpiar los tamices para retirar posibles restos de tamizados previos y evitar contaminar las muestras proporcionadas.

Una vez limpiados los diferentes tamices, se comienza el proceso. Se debe verter parte del agua a través de la pila de tamices (**Figura 4.3.5**) para facilitar remover el sedimento y retirar restos orgánicos no eliminados como raíces, y añadir más agua para verter todo el sedimento para limpiar en la pila.

Figura 4.3.5: Pila de tamices de 2 mm, 1 mm y 0,5 mm.

Este proceso se realiza con agua a presión sobre el sedimento vertido sobre el tamiz de 2 mm para limpiarlo y retirar la fracción arcilla. En algunos casos, cuando hay mucha cantidad de una fracción en un tamiz llega a obstruirlo, teniendo que desmontar la pila y retirar parte del agua retenida y limpiar con el agua a presión; una vez realizado se vuelve a montar y se continúa. Este paso resulta un poco largo porque se tiene que limpiar todo el sedimento de la fracción arcilla, haciéndose en varias pasadas hasta que no salga fracción fina por debajo del último tamiz de 0,5 mm. El proceso se repite con todos los cubos de material tratado con los productos comentados anteriormente.

Una vez lavado todo el material es pasado a unas bandejas. Como este material todavía contiene mucha materia orgánica sin disolver en forma de raíces se utiliza el método de flotación por agua, en el que las bandejas se llenan de agua, de modo que las raíces flotan en el agua y pueden ser retiradas, mientras que el material limpiado pesa y se queda en el fondo.

Las tres fracciones obtenidas (2 mm, 1 mm y 0,5 mm) ya limpiadas y sin raíces se pasan a secar a un horno (**Figura 4.3.6**) a una temperatura de unos 50°C durante, al menos, un día, para asegurarse de eliminar toda la humedad contenida en el material (el tiempo que puede estar en el horno no es fijo, ya que es mejor dejar las bandejas durante más tiempo para secar bien las muestras).



Figura 4.3.6: Horno de secado.

Pasado el tiempo de secado, cada fracción es guardada por separado en bolsas o botes de plástico para el posterior triado del material.

Dentro del trabajo de laboratorio, el triado es uno de los pasos más importantes y de mayor duración, ya que se necesita buscar con sumo cuidado y atención los restos fósiles que puedan ser de interés para el estudio.

El triado es una técnica que consiste en separar y buscar restos fósiles de interés en un material limpiado de pequeño tamaño para su posterior estudio. Se emplea mucho en micropaleontología, debido al reducido tamaño del material, y cuyas herramientas difieren de las usadas en otros tipos de restos fósiles de mayor tamaño.

Para realizar el triado se requiere utilizar: bandeja rayada (para el depósito y búsqueda), pinzas, pincel fino (**Figura 4.3.8**), cajitas y probetas para guardar el material seleccionado (**Figura 4.3.7**), bolsas, etiquetas para etiquetar las muestras, lupa binocular (es imprescindible para buscar restos fósiles ya que son microscópicos en su mayoría) que tenga una fuente de luz para trabajar y microscopio con cámara de fotos y programa de fotografía para tomar las fotografías de los fósiles.



Figuras 4.3.7 y 4.3.8: A la izda: Cajita y probeta para guardar muestras. A la dcha: Pinzas y pincel fino para triado.



Para triar se deposita una pequeña cantidad de una de las fracciones (en este caso se ha triado de la fracción más grande a la fracción más pequeña) en la bandeja rayada y se va separando el material con unas pinzas o pincel fino (**Figura 4.3.8**) de arriba abajo y avanzando a hacia la derecha, siguiendo las líneas y apartando el material ya visto hacia el lado contrario, y utilizando durante todo el proceso lupas binoculares (**Figura 4.3.9**).

Si se observa un resto fósil de interés, se aparta y guarda en una cajita o probeta (según el tamaño) (**Figura 4.3.7**) y se continúa hasta acabar el material contenido en la bandeja. Este procedimiento se realiza con todo el material guardado hasta triarlo por completo.

Figura 4.3.9: Lupas binoculares.

Durante este paso, se debe ir anotando el número de restos que se separan y guardan en una tabla Excel para el posterior conteo (**Anexo 2, figura 11.2.1**). Este procedimiento sirve para conocer la abundancia de los diferentes grupos de restos fósiles en el yacimiento.

Teniendo en cuenta un detalle comentado unas líneas más arriba, se deposita una cantidad de material pequeña porque el triado resulta más cómodo que si se vierte una cantidad grande, y que esto dificultaría la identificación de restos de interés.

En este caso, el triado se realiza para buscar restos de microvertebrados, el cual, CS-41 es abundante, principalmente de crocodilios, condictios y osteíctios, aunque también puede haber restos de mamíferos,



Figura 4.3.10: Material ya triado y siglado.

invertebrados y plantas.

Una vez triado todo el material, se etiqueta cada una de las cajitas y probetas que contengan material con las siglas del saco, tamaño de la fracción y tipo de resto (**Figura 4.3.10**); y posteriormente ser fotografiado por cámara fotográfica adaptada a restos pequeños.

Para la fotografía de los restos se utiliza una lupa binocular adaptada para acoplar una cámara, que estará conectada a un ordenador (**Figura 4.3.11**), y un programa de fotografía (en este caso se ha empleado PROVIEW); y una bandeja con cuadrícula y una pequeña escala milimetrada (**Figura 4.3.12**) para tomar al escala del material mientras se toman las fotografías. Además, se utiliza una pequeña lámpara para iluminar las muestras.



Figuras 4.3.11 y 4.3.12: A la izda: Equipo de fotografía del material: microscopio, cámara fotográfica, lámpara, ordenador. A la dcha: Bandeja cuadriculada y escala milimetrada.

4.4. Trabajo de campo

Aunque el estudio del material de CS-41 se centre en el laboratorio, también precisa de un estudio de campo para complementar la información obtenida de la bibliografía y del laboratorio. Al proceder de un yacimiento se necesita tomar datos que no se obtienen de otra forma si no se está *in situ*.

Se debe hacer desplazamiento para llegar al lugar (**Figura 4.4.1**), y allí se realizan una metodología acorde con la actividad a realizar.

En campo, hay que hacer un primer vistazo para conocer la ubicación del yacimiento y su contexto; se puede hacer un pequeño reconocimiento en busca de restos fósiles que no hayan sido recogidos en superficie como puede ser la escombrera del yacimiento. También se deben tomar fotografías el lugar para ilustrarlo en posteriores estudios.



Figura 4.4.1: Fotografía del yacimiento CS-41 (Castejón de Sobrarbe).

Algo muy importante es el levantamiento de una serie estratigráfica local para ilustrar el medio de sedimentación y su contexto general donde se formó CS-41.

La columna estratigráfica se elabora a partir de la toma de datos y dibujo de los diferentes tramos desde la base situada en el contacto entre la Fm. San Vicente y la Fm. Sobrarbe hasta el techo, donde se encuentra CS-41. Para ello se requiere: hojas milimetradas, lápiz y goma, carpeta, lupa, cinta métrica y cámara fotográfica. Antes de comenzar, se hace una estimación de la altura total que pueda tener la columna. Una vez estimada su altura, se empieza desde la base, tomando nota de los diferentes aspectos de cada tramo: litología, color, morfología, potencia y/o estructuras sedimentarias que permitan su identificación en campo. Además, se mide con cinta métrica la potencia total cada tramo y se dibuja a escala en la hoja milimetrada. Este procedimiento se realiza hasta acabar la columna una vez llegado al techo y que corresponde con CS-41.

5. Yacimiento CS-41

5.1. Antecedentes

El yacimiento CS-41 tiene la peculiaridad de que su historia de excavación e investigación es muy reciente, iniciada en 2009 con la primera campaña de excavación. En total hasta la actualidad se han realizado cuatro campañas (Díaz-Berenguer *et al.*, 2017).

Anterior al descubrimiento del yacimiento, los trabajos de investigación en artículos y revistas se limitaban a estudios de macrovertebrados del Eoceno centrados en sirenios encontrados en Navarra.

El principal objeto de estudio han sido los sirenios fósiles en diversas publicaciones. Los trabajos de análisis de los huesos han permitido describir una nueva especie de sirenio, siendo CS-41 el yacimiento tipo (Díaz-Berenguer *et al.*, 2015) e incidir en la relación anatomía-locomoción (Díaz-Berenguer (2017), Díaz-Berenguer *et al.*, (2018), Díaz-Berenguer *et al.* (2020)).

También se han hecho estudios acerca de otros grupos fósiles destacados como los quelonios como los de Pérez-García *et al.* (2013) y Pérez-García *et al.* (2019). CS-41 es importante por el descubrimiento del primer caparazón completo de *Eocenocheilus*, un género de quelonios poco abundante en el registro fósil del Eoceno y que únicamente se habían encontrados placas óseas.

5.2. Descripción del yacimiento

CS-41 es un yacimiento que tiene unas dimensiones de 10 m de largo por 3 m de ancho, dividido por cuadrículas de 2x2 m (originalmente la longitud era de 8 m pero en las últimas campañas su extensión se amplió a los 10 m actuales).

El lugar está emplazado en la parte superior de la Fm. Sobrarbe, dentro del Delta del Sobrarbe (Ubeid, 2008). Todos los restos fósiles han sido excavados en limos grises-marrones (**Figura 5.2.1**) de hasta 70 cm de potencia con una estructura laminar (se pueden apreciar algo ordenados), con intercalaciones de lutitas del mismo color que los limos, pero a diferencia de los limos, en las lutitas no se aprecian estructuras visibles, sino que son masivas.



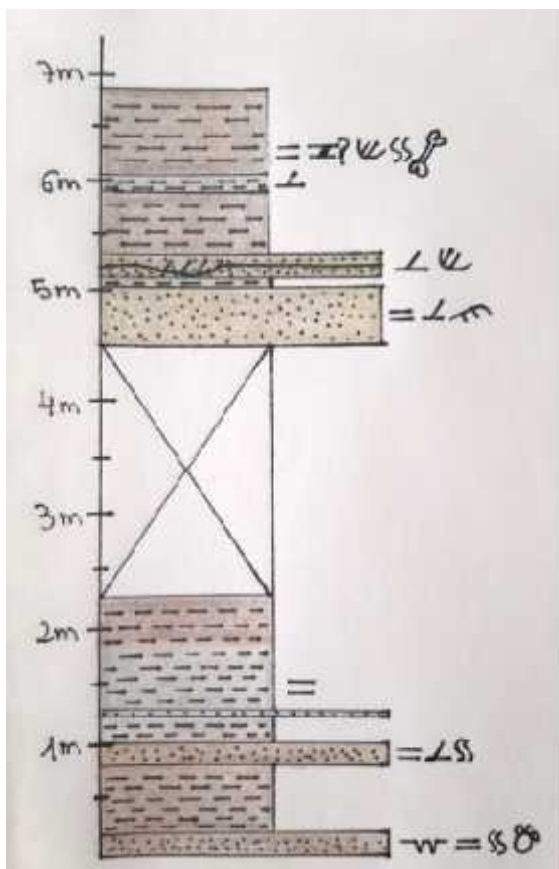
Figura 5.2.1: Perfil del yacimiento. Está formado por limos con intercalaciones de lutitas.

De base a techo:

1) Areniscas de grano fino gris-marrón con bajo contenido en lutitas de unos 20 cm de potencia (4 cm cada nivel), masivas en casi todo el conjunto excepto en la base donde hay laminación paralela.

En la superficie de estratificación se aprecian trazas de icnofósiles de tipo *Ophiomorpha* sp. y grietas de desecación. Además, se ha descubierto dos icnitas de origen desconocido.

2) Limos y lutitas gris-marrón de 60 cm de potencia masivos.



3) Areniscas de grano fino gris-marrón con trazas de amarillo de 10-12 cm de potencia con laminación paralela, *ripples* e icnofósiles.

4) Lutitas y limos grises de 20 cm de potencia masivas.

5) Areniscas de grano fino con carbonatos de 8-10 cm de potencia masivas.

6) Lutitas de 1 m de potencia grises hacia base con algo de laminación paralela, y grises-pardo hacia techo y masivas.

7) Tramo cubierto de lutitas con una potencia de 2,25 m.

8) Areniscas de grano fino gris-amarillas con una potencia de 55 cm. Presenta laminación con *ripples* y/o laminación cruzada de pequeño tamaño.

9) Lutitas grises de unos 4 cm de potencia.

Figura 5.2.1: Serie estratigráfica local del yacimiento. Columna levantada por Lara Artola (2021).

- 10) Areniscas de grano fino de 20 cm de potencia con dos niveles de 10 cm de potencia con base canaliforme en el nivel superior.
- 11) Lutitas gris-marrón de 60 cm de potencia.
- 12) Limos grises de 10 cm de potencia con laminación cruzada o ripples de pequeño tamaño.
- 13) Limos gris-marrones de 80 cm de potencia con algo de laminación paralela. A base se encuentra el yacimiento CS-41.



Figura 5.2.2:
Vista general
del
yacimiento.

6. Sistemática paleontológica

La sistemática a realizar se centra en restos de vertebrados encontrados en CS-41 de crocodilos, osteíctios y condriktios, y mamíferos. Todas las fotos tomadas han sido con luz cenital.

Clase: REPTILIA Laurenti, 1768

Orden: Crocodylia Gmelin, 1788

Suborden: Eusuchia Huxley, 1875

Familia: Crocodylidae Gray, 1875

Género: *Asiatosuchus* Mook, 1940

Material: 4 dientes (CS-41/1 a CS-41/4).

CS-41/1 a CS-41/4 presentan un grado de conservación bueno, ya que conservan el esmalte en casi su totalidad, pero tienen sedimento adherido a ellas y pequeñas manchas blancas (**Figuras 11.3.5 y 11.3.6**).

Son coronas dentales de pequeño tamaño (2-2,5 mm) con una forma cónica aplastada labiolingualmente. Presentan una ligera curvatura hacia la parte lingual y son ligeramente convexos en la parte labial. El ápice es ligeramente redondeado y muestran desgaste y erosión del esmalte, e incluso está ausente como en CS-41/2 (**Figuras 11.3.3 y 11.3.4**).

Las coronas presentan secciones ovaladas-redondeadas con los extremos redondeados y los márgenes de los bordes de la base de la corona son netos, rectilíneos y ligeramente irregulares. Presenta una ligera curvatura la corona hacia la parte distal en CS-41/1 (**Figuras 11.3.1 y 11.3.2**).

El esmalte es liso y presentan una serie de fisuras longitudinales que recorren la corona desde la base hasta su parte media o hasta el ápice, y que estas fisuras se divergen en direcciones oblicuas y/o subhorizontales (**Figuras 11.3.1 y 11.3.2**).

Presentan carenas mesiodistales de muy pequeño tamaño (**Figuras 11.3.1 y 11.3.2**) y sin denticulos (en CS-41/1 no hay carenas).

En vista apical se aprecian unos surcos paralelos a la corona que parten del ápice y que la recorren por completo.

Familia: Alligatoridae Gray, 1844

Género: *Diplocynodon* Pomel, 1847 (CS-41/4).

Material: 1 diente (CS-41/4).

CS-41/4 es una muestra con un grado de conservación bueno, cuyo esmalte está intacto, y presenta coloraciones sobre él.

Corona dental de tamaño pequeño-mediano (3mm) cónico alargado.

Es una corona de forma cónica alargada ligeramente aplastada labiolingualmente, pero tiene en general una forma cónica. El diente se curva hacia la parte lingual (**Figura 11.3.10**) y borde distal. El ápice es redondeado pero pronunciado.

La base de la corona es de sección circular y su límite es neto y algo irregular.

El esmalte es liso y se aprecian unas fisuras longitudinales que recorren todo el diente (**Figura 11.3.9**)

En los bordes mesial y distal hay carenas marcadas rectilíneas y de pequeño tamaño. No se parecían denticulos en ellas.

Con respecto a los demás ejemplares, este diente se considera de *Diplocynodon* por su forma cónica más alargada, con una cúspide de mayor longitud y de menor diámetro, y una curvatura labial más pronunciada con respecto a los demás dientes de *Asiatosuchus*; éste presenta unos dientes de mayor diámetro en casi toda su longitud, siendo más robustos, una menor curvatura labial (algunos casi rectos), presencia de carenas muy pequeñas de orientación mesial-distal y cúspides más redondeadas.

Suborden: Eusuchia Huxley, 1875

Familia indet.

Material: 1 diente (CS-41/2).

CS41/2 es una muestra bien conservada, con sedimento adherido y pequeñas coloraciones negras y blancas sobre el esmalte.

Corona dental de forma cuadrado-rectangular de pequeño tamaño (2 mm).

Tiene una morfología rectangular redondeada, estrecha en la parte labial-lingual y alargada en la parte mesial-distal (**Figuras 11.3.11 y 11.3.12**). Presenta una curvatura muy sutil hacia la parte lingual y distal. El ápice es redondeado y estrecho con apenas desgaste del esmalte, y muestra una coloración blanquecina principalmente en la parte labial (**Figura 11.3.11**) y de forma minoritaria en la parte lingual (**Figura 11.3.12**).

La corona es redondeada y rectangular con una base ovalada. Esta base tiene un borde recto y hay trazas del límite de la corona con la raíz (casi imperceptible).

El esmalte es liso y con fisuras longitudinales que recorren toda la corona.

Desde el ápice parten unos surcos que recorren las caras lingual y labial (**Figuras 11.3.11 y 11.3.12**).

A diferencia de los demás dientes, esta muestra no concuerda con los géneros aquí descritos, ya que tiene una forma redondeada, indicativo de una familia y género no identificados en CS-41.

Clase: ACTINOPTERYGII Klein, 1885

Orden: Perciformes Bleeker, 1863

Suborden: Percoidei

Superfamilia: Percoidea

Familia: Serranidae Swainson, 1839

Serranidae gen. et sp. indet.

Material: 2 otolitos (CS-41/7 y CS-41/8).

CS-41/7 y CS-41/8 tienen forma ovalada oblonga. Presentan un borde sinuoso y recto. Tienen un tamaño medio (3-4,5 mm).

Las regiones anterior y posterior presentan una morfología lanceolada-angulosa con las zonas dorsal y ventral convexas y márgenes dorsal y ventral sinuosos, irregulares y rectos. Presentan ángulos postero-dorsal y postero-ventral iguales, y en CS-41/7 la región anterior está parcialmente conservada ya que su extremo está ausente (**Figuras 11.3.13 y 11.3.14**). Además, CS-41/7 tiene una hendidura de pequeño tamaño a su lado, probablemente del propio borde sinuoso.

CS-41/7 tiene un pseudoantirrosto muy poco desarrollado de forma redondeada y un pseudorrosto muy desarrollado, grande y ancho; pero están ausentes en CS-41/8 (**Figura 11.3.15**). En CS-41/7 la excisura es redondeada e irregular y algo aguda, mientras que en CS-41/8 no aparece (**Figuras 11.3.13 y 11.3.15**).

El surco acústico es medial o medial-supramedial, ligeramente hacia el borde dorsal y horizontal. Tienen una morfología archeossulcoide. La abertura es ostial. Presentan un colliculum unifórmico. El collum se encuentra ausente. La cauda y el ostium son indistinguibles.

Ambos ejemplares tienen un perfil estrecho cóncavo-convexo, con la cara interna convexa y la cara externa cóncava (**Figuras 11.3.13 y 11.3.14**).

El rostro y antirrosto tienen una orientación concordante.

CS-41/7 y CS-41/8 presentan pequeñas variaciones en la morfología del surco acústico, abertura del mismo o la forma general coherentes con la variabilidad genérica en otolitos, por lo que se ha considerado que pertenecen a la misma especie, ya que en morfología general, surco acústico (abertura, orientación, profundidad, etc.) y orientaciones de los otolitos son idénticos.

Clase: CHONDRICHTYES Huxley, 1880

Subclase: Elasmobranchii Bonaparte, 1838

Superorden: Batoidea

Orden: Rajiformes Berg, 1940

Familia: Rhinobatidae Müller & Henle, 1837

Género: *Rhinobatos* Linck, 1790

Especie: *Rhinobatos sp.* Jaekel, 1894

Material: 2 dientes (CS-41/9) y (CS-41/10).

CS-41/9 y CS-41/10 tienen el esmalte es liso y en algunos puntos ha desaparecido. Además, presenta manchas de color blanco. Son dos dientes pequeños (1 mm) aislados de corona alta, sin presencia de crestas que separen las partes lingual y labial (sin espacio interdental). En vista apical la corona presenta un perfil convexo. En la cara lingual presentan tres úvulas siendo la central la más larga (**Figuras 11.3.17 a 11.3.20**). Es una raíz holoaulacorizada sin raíz secundaria y están preservados los dos lóbulos de la raíz.

CS-41/9 y CS-41/10 se han incluido en *Rhinobatos* por su raíz holoaulacorizada y tres úvulas (la úvula central la de mayor longitud).

Clase: CHONDRICHTYES Huxley, 1880

Subclase: Elasmobranchii Bonaparte, 1838

Orden indet. (CS-41/11)

Material: 1 osteodermo (CS-41/11).

CS-41/11 se trata de un osteodermo de condricio de pequeño tamaño (0,5 mm). Presentan dos partes diferenciadas: una parte externa apical con una morfología planar (**Figura 11.3.21**), con una superficie algo irregular. En planta, tienen formas que son entre redondeadas y subredondeadas a algo ovaladas, con bordes redondeados y rectos a algo irregulares. También hay una parte interna con una morfología muy diferente, consistente en una estructura en forma de estrella en planta, con 4-6 brazos y cada brazo está bifurcado en dos lóbulos (en algunos brazos se bifurcan en tres lóbulos); las morfologías en estrella hexagonal a octogonal (**Figura 11.3.22**).

Ambas partes se diferencian en una zona constreñida por debajo de la parte externa, estando más alejada de la parte interna (**Figura 11.3.23**).

Clase: MAMMALIA Linnaeus, 1758

Subclase: Theria Parker y Haswell, 1897

Infraclase: Placentalia Owen, 1837

Orden: Rodentia Bowdich, 1821

Familia: Pseudosciuridae Zittel, 1893

Pseudosciuridae indet.

Material: Un molar (CS-41/12).

CS-41/12 es un diente que es un molar con parte de la corona bastante erosionada y no se pueden diferenciar los valles y cúspides (**Figura 11.3.24**). Únicamente se ha podido identificar su posición: 1° o 2° molar superior derecho. Con la corona muy erosionada, se ha podido identificar las cúspides principales: protocono, hipocono, metacono y paracono.

7. Aportaciones a la paleoecología y al paleoambiente de CS-41

En el medio deltaico de la Formación Sobrarbe se pueden diferenciar una gran variedad de subambientes dada la compleja interacción entre los medios continentales y medios marinos (**Anexo 5, figura 11.5.1**), favoreciendo la presencia de diferentes asociaciones de faunas. Estas condiciones fueron donde vivieron y se acumularon la abundante fauna fósil de vertebrados continentales y marinos de la Formación Sobrarbe.

Los restos fósiles de vertebrados, incluyendo los microvertebrados, presentan una buena conservación, con escasa erosión, indicando que su transporte fue corto, teniendo cerca el área fuente de los fósiles de microvertebrados de CS-41. Aunque la diversidad ambiental en el origen de los microvertebrados de la asociación fósil indica un transporte hasta el área de acumulación.

Los restos fósiles de CS-41 se encuentran en limos marrones-grises, ubicados en el tramo superior de la Fm. Sobrarbe, que se encuentra dentro del Complejo Deltaico del Sobrarbe (Ubeid, 2008). Estos limos son materiales depositados en medios de llanura deltaica, en medios de poca energía, como los canales abandonados. En este tramo superior se pueden reconocer facies arenosas de grano fino-medio con estructuras sedimentarias como laminación paralela, laminación cruzada y *ripples*, asociadas a canales distributarios (Moreno-Azanza *et al.*, 2021), cuya evidencia se ilustra en el tramo 10 de la columna estratigráfica levantada en las inmediaciones de CS-41 (**Figura 5.2.1**); las estructuras presentes se asocian a corrientes. Estas facies arenosas están intercaladas con las facies limosas.

En la llanura fluvial (**1**) se podría encontrar abundante vegetación de ribera compuesta por arbustos y plantas acuáticas como juncos, siendo el hábitat adecuado para roedores de la familia Pseudoesciuridae. Los miembros de esta familia presentaban dientes de coronas altas y cuadrangulares y esmalte grueso, adaptados a una dieta compuesta por vegetales duros y fibrosos (Agustí y Antón, 2002), como la vegetación presente en la llanura fluvial y las bahías de interdistributarios.

La llanura deltaica (**2**) es una amplia zona de tipo transicional, aunque la influencia continental es mayor.

En los canales distributarios se podía encontrar asociaciones de faunas compuestas por crocodilos como *Asiatosuchus* y *Diplocynodon*, cuya dieta era carnívora (se puede inferir a partir de dientes rectos, robustos y puntiagudos) y que probablemente fueran depredadores activos. Ambos géneros eran similares, aunque *Asiatosuchus* podían llegar hasta los 4 m, mientras que *Diplocynodon* raramente alcanzaban 1 m (Díaz-Berenguer *et al.*, 2017).

También podía haber convivido con ambos géneros algún tipo de crocodilo no identificado con dientes de morfología redondeada, cuya dieta fuera malacófaga. En estos canales habitaban moluscos bivalvos endobentónicos cercanos al género *Ensis* (Díaz-Berenguer *et al.*, 2017). Son animales que vivirían enterrados en el lecho fangoso del canal, siendo un lugar propicio por la circulación de corrientes, y que su presencia podría ser una fuente de alimento del crocodilo malacófago.

A medida que se avanza hacia mar abierto, se encontrarían las barras arenosas de frente deltaico (**3**) y donde se ubicarían los nidos de *Eocenchelus eremberti*. Se trata de una especie de tortugas marinas, cuyos hábitos son muy similares a especies marinas actuales. La razón de la abundancia de fragmentos de cáscaras de huevos en CS-41 es debido a la cercanía de la zona de desove. Esta especie depositaba sus huevos en playas arenosas y posteriormente eran enterrados

hasta su eclosión; destaca que no fuera en zonas fangosas, ya que el pequeño tamaño de grano de los limos obstruye los poros del huevo, perjudicándolos (Díaz-Berenguer *et al.*, 2017; Moreno-Azanza *et al.*, 2021).

Estos nidos podrían haber sido transportados hasta el lugar de depósito por temporales marinos, en el que el oleaje desenterraría los nidos, fragmentando y transportando las cáscaras de huevo.

Por último, los ambientes de prodelta y plataforma continental (4) están representados por asociaciones faunísticas de *Rhinobatos*, un género de los llamados peces guitarra; y por osteíctios *Serranidae*, un género de osteíctios. Ambos géneros son propios de aguas tropicales y subtropicales, que habitaban las zonas someras de plataformas marinas, y que como *Rhinobatos*, también presentaban hábitos bentónicos.

Abundancia de taxones de CS-41

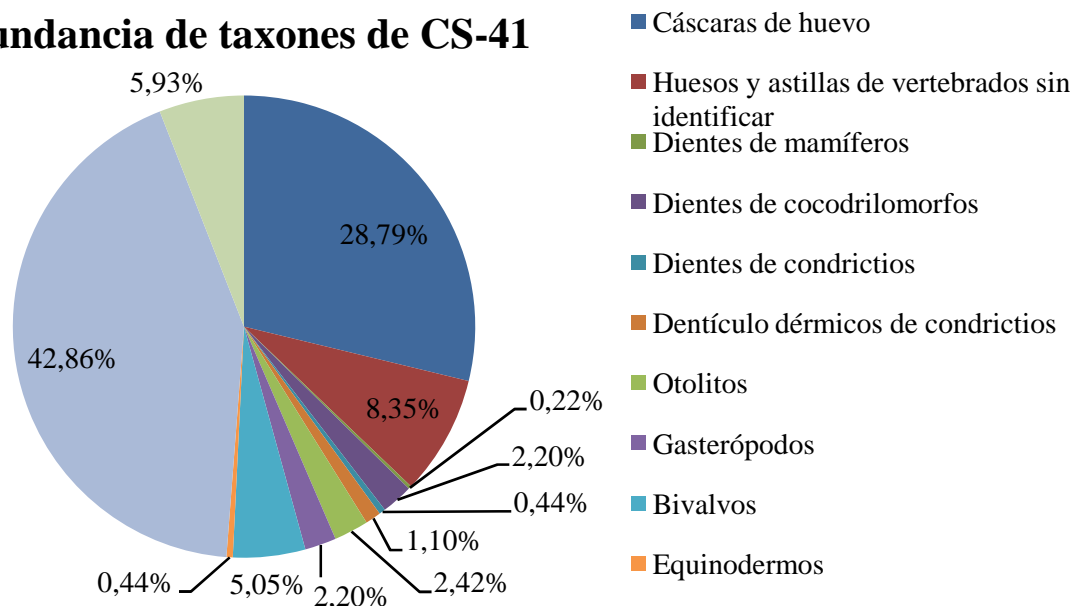


Figura 7.1: Gráfico de abundancia de taxones de CS-41.

8. Conclusiones

El yacimiento CS-41 se trata de una rica asociación de fósiles donde se han descubierto una gran cantidad de restos de macrovertebrados de sirenios (*Sobrarbesiren cardieli*) y quelonios (*Eocnochelus*) conocidos anteriormente, además de microvertebrados estudiados en este TFG.

Este yacimiento se formó durante el Luteciense (Eoceno medio), en un momento en el que los Pirineos continuaban cerrándose a medida que la orogenia Alpina avanzaba.

CS-41 se formó en un ambiente de canal abandonado en la llanura deltaica, donde fueron depositados los restos fósiles transportados a causa de frecuentes tormentas en un ambiente tropical-subtropical que favorecía la abundancia y diversidad de fauna y vegetación.

CS-41 se encuentra en el depósito de un canal abandonado de la llanura deltaica, una zona de baja energía formado por limos grises-marrones, indicadores de una baja oxigenación de las

aguas. Que estos restos se han encontrado en limos sugieren que fueron arrastrados a partir de eventos muy fuertes como tormentas, comunes por las condiciones tropicales.

La diversidad de microvertebrados de CS-41 está compuesta por dientes de 3 taxones de crocodilios (dientes de *Asiatosuchus*, *Diplocynodon* y un taxón desconocido), un taxón de quelonios (fragmentos de cáscaras de huevo de *Eocenocheilus*), 2 taxones de condriactos (dientes de *Rhinobatos* y osteodermos de *Elasmobranchii* indet.), un taxón de osteíctios (otolitos de *Serranidae*) y un taxón de mamíferos (molar de *Pseudosciuridae* indet.). Es de destacar la enorme abundancia de pequeños fragmentos de cáscaras de huevo de quelonio, siendo el resto fósil más abundante en la fracción estudiada. Recientemente se ha propuesto un origen a esta inusual concentración que se debería a la cercanía de la zona de desove de quelonios *Eocenocheilus* de la zona de formación del yacimiento CS-41.

9. Agradecimientos

Quiero dar las gracias a todas las personas que me han ayudado durante la elaboración de todo este TFG.

Primero, quiero agradecer a José Ignacio Canudo Sanagustín, que ha sido el director de este TFG, que me ha ayudado y aconsejado en cada uno de los pasos dados, desde el planteamiento, pasando por el trabajo de laboratorio en levigado y triado, identificación y claves de los restos fósiles, hasta la elaboración de esta memoria, en el que su ayuda ha servido para que este trabajo fuera adecuado.

También agradecer a Ester Díaz-Berenguer su aportación y ayuda, ya que en calidad de experta he recibido gran cantidad de información detallada sobre el yacimiento de Castejón de Sobrarbe-41, además de permitirme estudiar y tomar datos del yacimiento *in situ*.

También dar las gracias a Gloria Cuenca-Bescós por permitirme utilizar el material necesario para la fotografía de los restos fósiles y su ayuda como experta para la identificación de algunos de los restos obtenidos.

Agradecer también al Área de Paleontología por permitirme utilizar el equipo y laboratorios necesarios para el estudio para este trabajo.

Y por último, agradezco a todos los compañeros y amigos que a lo largo de los años hemos compartido tantas experiencias, y los cuales, he aprendido mucho de ellos como nos hemos apoyado entre todos.

10. Bibliografía

Agustí, J. y Antón, M. (2002): *Mammoths, sabertooths and hominids: 65 million years of mammalian evolution in Europe*. Columbia University Press, Nueva York, 313 p.

Brzobohatý, R. y Nolf, D. (2011): Fish otoliths from the Middle Eocene (Bartonian) of Yebra de Basa, province of Huesca, Spain. *Bulletin de l' Institut royal des Sciences naturelles de Belgique*, 81: 279-295.

Cámara, P. y Klimowitz, J. (1985): Interpretación geodinámica de la vertiente centro-occidental supirenaica (Cuencas de Jaca-Tremp). *Estudios geológicos*, 41: 391-404.

Centro Nacional de Información Geográfica (2014): *Mapa Topográfico Nacional de España 1:25000, hoja nº 249-2 (Arcusa)*. IGN, Madrid.

Choukron, P., Seguret, M. y Galdeano, A. (1973): Caractéristiques et évolution structurale des Pyrénées: Un modèle des relations entre zone orogénique et mouvement des plaques. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 15: 600-611.

Cuenca-Bescós, G. (1998): Los Pseudoesciuridae (Rodentia) del Eoceno superior de la cuenca lacustre de Sossís (Pirineos). En: *Geología y Paleontología del Eoceno de la Poblada de Segur (Lleida)*. López Martínez Nieves, Civis Llovera Jorge, Casanovas Cladellas M^a Luisa, Daams Remert (Eds.). Universitat de Lleida, Institut d' Estudis Ilerdencs.

De Federico, A. (1981): La sedimentación de talud en el sector occidental de la cuenca paleógena de Aínsa. *Publ. De Geología*, Univ. Autònoma de Barcelona, 12: 1-271.

Díaz-Berenguer, E., Badiola, A., Moreno-Azanza, M., Puértolas, E. y Canudo, J. I. (2015): An exceptional Middle Eocene (Lutetian) sirenian bonebed in the southern Pyrenees (Huesca, Spain): palaeobiodiversity and sedimentological analysis. En: *13th Annual Meeting of the European Association of Vertebrates Palaeontologists*. Abstracts, 1: 1-3.

Díaz-Berenguer, E. (2017). Nuevos datos sobre la locomoción del sirenio de Sobrarbe (Eoceno Medio, Huesca). En: *Actividades del Doctorado en Geología 2016/2017* (Departamento de Ciencias de la Tierra). Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 27-30.

Díaz-Berenguer, E., Badiola Kortabitarte, A., Moreno-Azanza, M., Silva-Casal, R., Puértolas-Pascual y Canudo, J. I. (2017): Reconstruyendo un yacimiento de fósiles de vertebrados del Eoceno: Los sirenios de Sobrarbe. *Revista del Centro de Estudios de Sobrarbe*, 16: 253-269.

Díaz-Berenguer, E., Badiola, A., Moreno-Azanza, M. y Canudo, J. I. (2018): First adequately-known quadrupedal sirenian from Eurasia (Eocene, Bay of Biscay, Huesca, northeastern Spain). *Nature*, 1: 13 p.

Díaz-Berenguer, E., Housesaye, A., Badiola, A. y Canudo, J. I. (2020): The hind limbs of *Sobrarbesiren cardeli* (Eocene, Northeastern Spain) and new insights into the locomotion capabilities of the quadrupedal sirenians. *Journal of Mammalian Evolution*, 27: 649-675.

Garrido Mejías, A. (1968): Sobre la estratigrafía de los conglomerados de Campanúe (Santa Liestra) y formaciones superiores del Eoceno (extremo occidental de la cuenca de Tremp-Graus, Pirineo Central, provincia de Huesca). *Acta Geológica Hispánica*, 3: 39-43.

Garrido Megías, A. (1973): *Estudio geológico y relación entre tectónica y sedimentación del Secundario y Terciario de la vertiente meridional pirenaica en su zona central*. Tesis doctoral, Univ. de Granada, 395 p.

Lira-Beltrán, R. M., González-Barba, G., Macías, J. L., Solís-Añorve, A., García-Tenorio, F., García-Sánchez, L. y Osorio-Ocampo, S. (2020): Fauna de tiburones y rayas de la Formación Tirabuzón (Plioceno) en el Cañón el Álamo, sierras de La Reforma-El Aguajito, Baja California Sur, México. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 37 (1), 40-63.

- Mas, G., Obrador, A., Fernández, M. y Quintana J. (2012): *Tomistoma* cf. *lusitanica* (Vianna i Moraes, 1945) (Reptilia: Crocodylia) del Tortonian inferior del port de Maó (Menorca, Illes Balears). *Butlletí de la Societat d' Història Natural de les Balears*, 53: 16 p.
- Mochales, T., Pueyo, E. L., Casas, A. M., Barnolas, A. & Oliva-Urcia, B. (2010): Anisotropic magnetic susceptibility record for the kinematics of the Boltaña Anticline (Southern Pyrenees). *Geological Journal*, 45 (5-6): 562-581.
- Mochales López, T. (2011): *Chronostratigraphy, vertical axis rotations and ams in the Boltaña anticline (Southern Pyrenees): Kinematic implications*. Tesis doctoral, Univ. de Zaragoza, 304 p.
- Mochales, T., Barnolas, A., Pueyo, E. I., Serra-Kiel, J., Casas, A. M., Samsó, J. M., Ramajo, J. y Sanjuán, J. (2012): Chronostratigraphy of the Boltaña anticline and the Ainsa Basin (southern Pyrenees). *GSA Bulletin*. B30418, 1: 22 p.
- Mutti, E., Lutterbacher, H. P., Ferrer, J. y Rosell, J. (1972): Schema stratigráfico e lineamenti di facies del Paleogene marino deca zona centrale subpirenaica tra Tremp (Catalogna) e Pamplona (Navarra). *Memoria della Società Geologica d' Italia*, 11: 391-416.
- Mutti, E., Remacha, E., Sgavetti, M., Rosell, J., Valloni, R. y Zamorano, M. (1985): Stratigraphy and facies characteristics of the Eocene Hecho Group turbidites systems South-Central Pyrenees. *Excursion guide-book 6th European Regional Meeting*, 1: 519-576.
- Pereda Suberbiola, X., Ruiz-Omeñaca, J. I., Pérez-García, A., Sánchez-Chillón, B. y Ortega, F. (2012): Primera cita de cocodrilos zifodontos en el Cenozoico de Asturias: Royo Gómez y los supuestos dientes de dinosaurio del Eoceno de Llamaquique. *Estudios Geológicos*, 68 (2): 12 p.
- Pérez-García, A., Murelaga, X., Cardiel Lalueza, J., Badiola, A., Díaz-Berenguer, E. (2013): Presence of several clades of continental turtles in the Lutetian (Middle Eocene) of the Sobrarbe Formation (Ainsa Basin, South-Central Pyrenees, Northeast Spain). *Geologica Belgica*, 16 (4): 311-319.
- Pérez-García, A., Díaz-Berenguer, E., Badiola, A. y Canudo, J. I. (2019): An unexpected finding: identification of the first complete shell of the Franco-Belgian middle Eocene littoral pleurodiran turtle *Eocnochelus eremberti* in Spain. *Historical Biology*, 1: 1-8.
- Puigdefàbregas, C. (1975): La sedimentación molásica en la cuenca de Jaca. *Pirineos*, 104: 1-188 p.
- Remacha, E., Fernández, L. P., Maestro, E., Oms, O. y Estrada, R., con la contribución de Teixell, A. (1998 b). Excursion A1. The Upper Hecho Group turbidites and their vertical evolution to deltas (Eocene, South-central Pyrenees). En: *International Association of Sedimentologists, 15th International Sedimentological Congress*, Alicante, Spain. Field Trip Guidebook, 1-25 p.

Remacha, E. y Fernández, L. P. (2003): High-resolution correlation patterns in the turbidite systems of the Hecho Group (South-Central Pyrenees, Spain). *Marine and Petroleum Geology*, 20: 711-726.

Remacha, E., Fernández, L. P. y Maestro, E. (2005): The transition between sheet-like lobe and basin-plain turbidites in the Hecho basin (South-Central Pyrenees, Spain). *Journal of Sedimentary Research*, 75: 798-819.

Sáez, S. y Lamilla, J. (2012): Claves taxonómicas para el reconocimiento dentario de taxa del superorden Rejomorphii de Chile (Chondrichthyes, Batoidea). *Latin American Journal of Aquatic Research*, 40 (2): 282-291.

Seguret, M. (1972): Etude tectonique des nappes et séries décollées de la partie centrale du versant sud des Pyrénées- Caractère synsedimentaire, rôle de la compression et de la gravité. *Pub. U.S.T.L., Montpellier. Série Géologie Structurale*, 2: 1-14 p.

Toscano Grande, A., Abad de los Santos, M., García García, E. X., González-Regalado Montero, M. L., Ruiz Muñoz, F., Prudencio M. I. y Dias, M. I. (2009): Datos preliminares sobre la ictiofauna de la Formación “Arcillas de Gibraltor” (Huelva, SO de España). *Studia Geologica Salmanticensia*, 45 (2): 129-138.

Tuset, V. M., Lombarte, A. y Assis, C. A. (2008): *Otolith atlas for the western Mediterranean, north and central eastern Atlantic*. Scientia Marina, Barcelona, 192 p.

Ubeid, K. (2008): *El Delta del Sobrarbe (Eoceno) en el flanco E del sinclinal de Santa María del Buil (cuenca de Aínsa, Pirineos Centrales-meridionales, N de España): facies, arquitectura y su relación con los sistemas marinos profundos*. Tesis doctoral, Univ. de Oviedo, 247 p.

Van Lunsen, H. A. (1970): Geology of the Ara-Cinca region, Spanish Pyrenees, province of Huesca. *Geologica Ultraiectina*, 16: 1-119.

Underwood, C. J., Ward, D. J., King, C., Antar, S. M., Zalmount, I. S. y Gingerich, P. D. (2011): Shark and ray fauna in the Middle and Late Eocene of the Fayum Area, Egypt. *Proceedings of the Geologist' Association*, 122: 47-66.

Vanina Volpedo, A. y Vaz-dos-Santos, A. M. (2015): *Métodos de estudios con otolitos: principios y aplicaciones/Métodos de estudos com otolitos: princípios e aplicações*. Ed. desc., Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 482 p.

Ward, D. (2016): *An illustrated guide to the British Middle Eocene vertebrates*. Natural History Museum, London, 34 p.

Wikipedia, versión en español (en línea). Castejón de Sobrarbe. Wikipedia, la Enciclopedia Libre (última modificación, 8/9/2020). Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Castej%C3%B3n_de_Sobrarbe

11. Anexos

11.1. Anexo 1: Mapa geológico

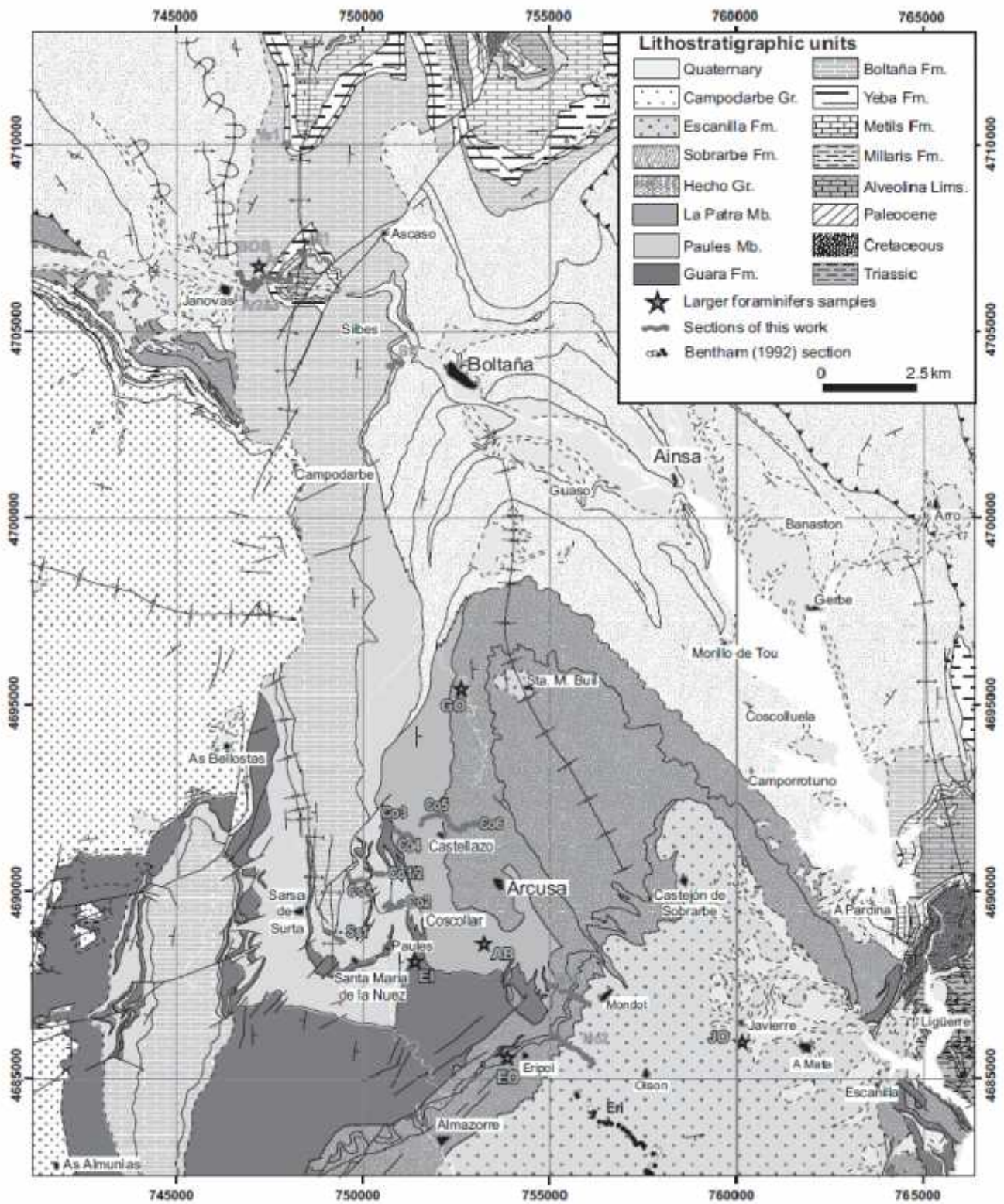


Figura 11.1.1: Mapa geológico del área de Boltaña y Arcusa (tomado de Mochales, *et al.*, 2012).

11.2. Anexo 2: Tabla de conteo

ELEMENTOS	SIGLA DEL SACO (PESO):			14 kg	Restos por Kg de sedimento (%)
	> 2 mm	> 1 mm	> 0,5 mm	Total	
Cáscaras de huevo	55	51	25	131	28,79%
Huesos y astillas de vertebrados sin identificar	12	19	7	38	8,35%
Dientes de mamíferos	0	1	0	1	0,22%
Dientes de cocodrilomorfos	3	7	0	10	2,20%
Dientes de condriictios	0	2	0	2	0,44%
Dentículo dérmicos de condriictios	0	3	2	5	1,10%
Dientes de osteictios	0	0	0	0	
Fragmentos de dientes sin identificar	0	0	0	0	
Otolitos	3	3	5	11	2,42%
Gasterópodos	1	4	5	10	2,20%
Bivalvos	15	5	3	23	5,05%
Equinodermos	0	2	0	2	0,44%
Fósiles calcáreos indeterminados	75	60	60	195	42,86%
Carofitas	0	0	0	0	
Restos de plantas sin identificar	5	15	7	27	5,93%
Foramíniferos	0	0	0	0	
TOTAL RESTOS:	169	172	114	455	100,00%

11.3. Anexo 3: Fotografías de restos fósiles



Figuras 11.3.1 y 11.3.2: Vista labial (izda) y vista lingual (dcha) de un diente de *Asiatosuchus* (CS-41/1). Fotos tomadas a 16 aumentos (x16).



Figuras 11.3.3 y 11.3.4: Vista labial (izda) y vista lingual (dcha) de un diente de *Asiatosuchus* (CS-41/2). Fotos tomadas a 16 aumentos (x16).



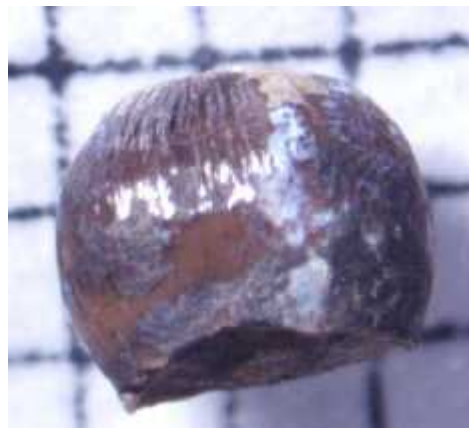
Figuras 11.3.5 y 11.3.6: Vista labial (izda) y vista lingual (dcha) de un diente de *Asiatosuchus* (CS-41/3). Fotos tomadas a 18 aumentos (x18).



Figuras 11.3.7 y 11.3.8: Vista labial (izda) y vista lingual (dcha) de un diente de *Asiatosuchus* (CS-41/4). Fotos tomadas a 18 aumentos (x18).



Figuras 11.3.9 y 11.3.10: Vista labial (izda) y vista lingual (dcha) de un diente de *Diplocynodon* (CS-41/5). Fotos tomadas a 18 aumentos (x18).



Figuras 11.3.11 y 11.3.12: Vista labial (izda) y vista lingual (dcha) de un diente de crocodilo indet. (CS-41/6). Fotos tomadas a 16 aumentos (x16).



Figuras 11.3.13 y 11.3.14: Vista interna (izda) y vista externa (dcha) de un otolito de *Serranidae* (CS-41/7).



Figuras 11.3.15 y 11.3.16: Vista interna (izda) y vista externa (dcha) de un otolito de *Serranidae* (CS-41/8).



Figuras 11.3.17 y 11.3.18: Vistas lingual (izda) y labial (dcha) de dos dientes de condriktos. Fotos tomadas a 25 aumentos (x25) (CS-41/9).



Figuras 11.3.19 y 11.3.20: Vistas lingual (izda) y labial (dcha) de dos dientes de condrictios. Fotos tomadas a 25 aumentos (x25) (CS-41/10).



Figuras 11.3.21, 11.3.22 y 11.3.23: Vistas interna (izda), perfil (centro) y externa (dcha) de osteodermos de raya. Fotos tomadas a 20 aumentos (x20) y 25 aumentos (x25) (CS-41/11).



Figura 11.3.24: Vista oclusal un diente de Pseudoesciuridae. Foto tomada a 32 aumentos (x32) (CS-41/12).

- 11.4. Anexo 4: Esquema paleoecología y paleoambiental

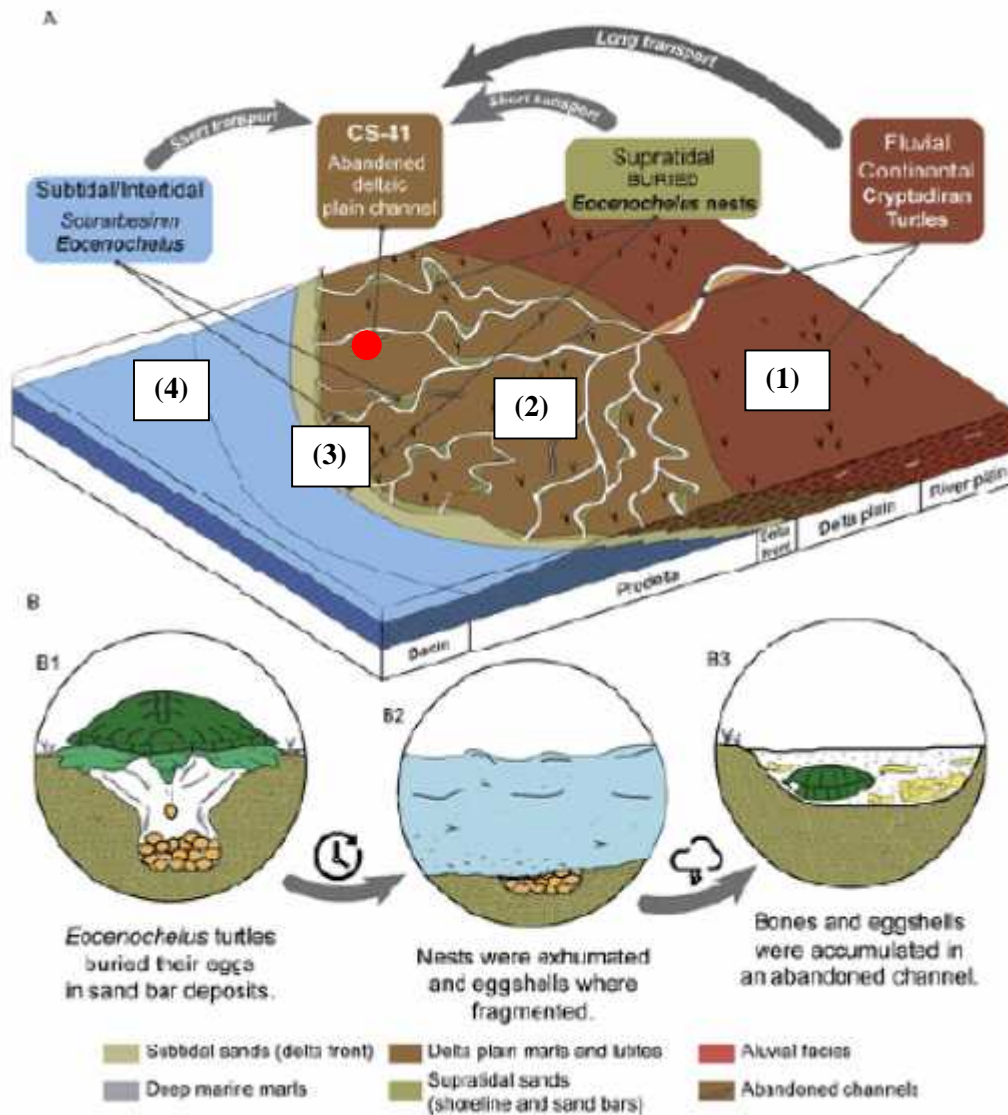


Figura 7.5.1: A) Esquema de los diferentes ambientes sedimentarios del Delta del Sobrarbe y B) proceso de formación, fragmentación y acumulación de huevos de *Eocenocheilus* (en rojo CS-41) (tomado de Moreno-Azanza *et al.*, 2021).

- (1) Llanura fluvial.
- (2) Llanura deltaica.
- (3) Frente deltaico.
- (4) Prodelta/Plataforma marina.