



Estratigrafía y sedimentología del Mioceno de la Plana Negra-Sancho Abarca (sector central-occidental de la Cuenca del Ebro)

**TRABAJO FIN DE MÁSTER EN GEOLOGÍA:
TÉCNICAS Y APLICACIONES**

**Autora: Zuriñe Larena Martín
Directores: María Concepción Arenas Abad
Juan Ignacio Baceta Caballero**

Estratigrafía y sedimentología del Mioceno de la Plana Negra-Sancho Abarca (sector central-occidental de la Cuenca del Ebro)

Trabajo Fin de Máster en Geología: Técnicas y Aplicaciones

Curso 2018/2019

AUTORA: ZURIÑE LARENA MARTIN

Directores: María Concepción Arenas Abad y Juan Ignacio Baceta
Caballero

UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA

ÁREA DE ESTRATIGRAFÍA

Junio, 2019

ÍNDICE

RESUMEN	3
ABSTRACT	4
1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. Planteamiento y objetivos	5
1.2. Situación geográfica del área de estudio	5
1.3. Marco geológico. La Cuenca del Ebro.....	6
1.4. Unidades Tectosedimentarias de la Cuenca del Ebro.....	8
1.5. La Formación Tudela	9
1.6. Metodología	10
2. RESULTADOS	13
2.1. Cartografía.....	13
2.2. Estratigrafía	15
2.2.1. Perfil de Corretroncos	15
2.2.2 Perfil Sancho Abarca.....	18
2.2.3. Correlación estratigráfica	22
2.3. Sedimentología.....	25
2.3.1. Descripción e interpretación de facies.....	25
2.3.2. Asociaciones verticales de facies	41
2.3.3. Propuesta de modelo sedimentario.....	43
3. DISCUSIÓN	45
3.1. Correlación con áreas adyacentes y adición de edad absoluta	46
3.2. Evolución paleogeográfica	48
3.3. Factores alocíclicos	51
3.3.1. Tectónica	51
3.3.2. Clima	52
4. CONCLUSIONES	53
5. BIBLIOGRAFÍA	55
ANEXOS	60

RESUMEN

Este trabajo abarca el estudio sedimentológico y estratigráfico de los depósitos del Burdigaliense (Mioceno inferior) y Langhiense (Mioceno medio) de la Plana Negra y la Plana de Sancho Abarca, sector central-occidental de la Cuenca del Ebro (NE de la Península Ibérica). Se han identificado un total de 5 litofacies (unidades cartografiadas) constituidas por areniscas, lutitas, margas y calizas en variables proporciones, equiparables a miembros (informales) de la Formación Tudela. Se han realizado dos perfiles estratigráficos que abarcan las unidades tectosedimentarias T5 y T6 definidas para la Cuenca del Ebro; dicho límite es una conformidad que se reconoce como el paso de lutitas con intercalaciones de areniscas y calizas a predominio de calizas, y constituye un nivel excelente de correlación. Los depósitos de T5 tienen 130 m de espesor y los de T6 tienen 63 m. Las paleocorrientes medidas en la unidad T5 señalan procedencia del margen pirenaico. Se han caracterizado 17 facies sedimentarias (detríticas, mixtas y carbonatadas) que muestran gran variedad biótica (ostrácodos, carófitos y gasterópodos) y rasgos pedogenéticos. Se agrupan verticalmente en 5 asociaciones de facies que caracterizan los ambientes fluvial-aluvial distal, palustre y lacustre somero. El modelo de sedimentación propuesto se basa en la distribución espacial de esas asociaciones y expresa la relación entre dichos ambientes. La correlación de las secciones estudiadas con otras tres de áreas adyacentes que disponen de datación magneto-bioestratigráfica ha permitido datar con precisión la sucesión estudiada y el límite T5/T6 (C5Cn.1n, entre 16,062 y 16,099 Ma). La integración de las cinco secciones permite distinguir cuatro estadios evolutivos, definidos por la progradación-retrogradación del medio aluvial o retracción-expansión de los ambientes palustres y lacustres. Se relacionan con la tectónica y el clima, que controlaron la evolución de los sistemas sedimentarios a través de variaciones de los aportes y del nivel lacustre en el área estudiada.

ABSTRACT

This Master Thesis involved the stratigraphic and sedimentological analysis of the Burdigalian to Langhian (lower to middle Miocene) deposits exposed in the Plana Negra and Plana de Sancho Abarca, western-central sector of the Ebro Basin (NE Iberia peninsula). Up to five lithofacies (mapping-representative units) were distinguished, corresponding to informal members of the Tudela Formation. Two stratigraphic sections were logged in detail through the tectosedimentary units T5 and T6 defined in the Ebro Basin. The boundary T5/T6 is a conformity exemplified by a transition from mudstones with interbedded sandstones and limestones to a limestoned-dominated succession. This boundary has been used as a datum level for correlation of the two studied sections with other reference sections nearby. Unit T5 deposits are 130 m thick and those of T6 are 63 m thick. Paleocurrent data from tractive sandstone deposits in unit T5 indicate a main alluvial supply area from the Pyrenean margin. Up to 17 detrital, carbonate and mixed sedimentary facies with a wide variety of biota (ostracods, charophytes and gastropods) and pedogenetic features have been characterized. They are grouped into five vertical facies associations that represent distal alluvial-fluvial, palustrine and shallow lacustrine environments. The proposed sedimentary model is based on spatial distribution of these facies associations and reflects the three related environments. Stratigraphic correlation of the two studied sections with three others in the area that provide magnetostratigraphic and/or biostratigraphic data allowed accurate dating the studied succession and the boundary T5/T6 (C5Cn.1n, between 16.062 and 16.099 Ma). Integration of data from the five sections revealed four distinct evolutionary stages of alluvial progradation-retrogradation or retreat-expansion of the palustrine-lacustrine environments. These stages are related to tectonics and climate, which controlled the evolution of these depositional systems through sediment inputs and lake level variations in the studied area.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento y objetivos

El área estudiada en este trabajo de fin de máster se encuentra en las Bardenas Reales de Navarra (Plana de Sancho Abarca y Plana Negra, La Bardena Negra), que se sitúan en la zona central-occidental de la Cuenca del Ebro (NE de la Península Ibérica). El trabajo se ha centrado principalmente en depósitos Miocenos aluviales y palustre-lacustres de la Formación Tudela. Aparte de los estudios regionales de la Cuenca del Ebro, las investigaciones previas de los materiales del Mioceno en la Plana Negra-Sancho Abarca han sido fundamentalmente de carácter bioestratigráfico y paleoambiental (Murelaga, 2000; Murelaga et al., 2002; González-Pardos, 2012; Ruiz-Sánchez et al., 2013; Martínez-García et al., 2014; Suárez-Hernando, 2017) y magnetoestratigráficos (Larrasoña et al., 2006; Suárez-Hernando, 2017), siendo relativamente escasas las realizadas bajo un enfoque puramente estratigráfico o sedimentológico. Entre ellos, cabe citar el de Navarro-Jiménez et al. (2011) presentado en una reunión del Grupo Español del Terciario y compilado en el libro de resúmenes de contribuciones, donde realizan un análisis tectosedimentario preliminar.

Este trabajo de fin de master conlleva el estudio de los depósitos aluviales y lacustres de la Plana de Sancho Abarca y la Plana Negra con los objetivos de: 1) afinar su posición estratigráfica dentro del contexto regional, y 2) conocer las características del medio sedimentación, su evolución a lo largo del tiempo y la relación con los factores de control (p. ej., la tectónica y el clima del momento). La correlación con la serie equivalente en áreas adyacentes analizada en estudios previos ha sido crucial para determinar la posición cronoestratigráfica de los materiales estudiados. En concreto, destacan los estudios de Larrasoña et al. (2006), Suárez-Hernando (2017) y Pérez-Rivarés (2016) en las secciones del Pico del Fraile y el Castillo de Sora, datadas mediante criterios magnetobiocronológicos.

1.2. Situación geográfica del área de estudio

La Plana de Sancho Abarca constituye un relieve singular localizado al norte del río Ebro, entre las localidades de Tudela y Tauste. Su porción oeste forma parte de las Bardenas Reales de Navarra (Comunidad Foral de Navarra) y la zona este parte de Aragón. Al norte se encuentra la localidad de Valareña (municipio de Ejea de los Caballeros), al sureste la

localidad de Sancho Abarca (municipio de Tauste) y al suroeste Fustiñana (Fig. 1A, B). El área de estudio está comprendida en la hoja nº 283 (Fustiñana) del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000.



Figura 1. A) Localización del área de estudio en el cuadrante noreste de la Península Ibérica. B) Entorno de la Plana de Sancho Abarca y la Plana Negra, en el centro se encuentra el área de estudio. Los cuadros con fondo rojo indican los lugares donde se han levantado los perfiles estratigráficos. La línea blanca que se encuentra en el centro del mapa indica el límite entre comunidades, la zona oeste pertenece a la Comunidad Foral de Navarra y la zona este a Aragón. Fotos tomadas del *Google Earth*.

1.3. Marco geológico. La Cuenca del Ebro

Los afloramientos estudiados se encuentran en la zona central-occidental de la Cuenca del Ebro (Fig. 2). La Cuenca del Ebro es una cuenca sedimentaria amplia, de forma triangular, compuesta por materiales de edades entre Paleoceno y Mioceno, que se encuentra al noreste de la Península Ibérica. Se individualizó a comienzos del Paleógeno por la convergencia de las placas Ibérica y Euroasiática. El desarrollo de tres grandes cordilleras de montañas –Pirineos al norte, Cadenas Costero Catalanas al este y Cordillera

Ibérica al suroeste– dio paso a la formación y relleno de esta cuenca (Riba et al., 1983). El desarrollo y evolución de la cuenca estuvieron controlados principalmente por la actividad tectónica registrada por los límites de los márgenes pirenaico e ibérico.

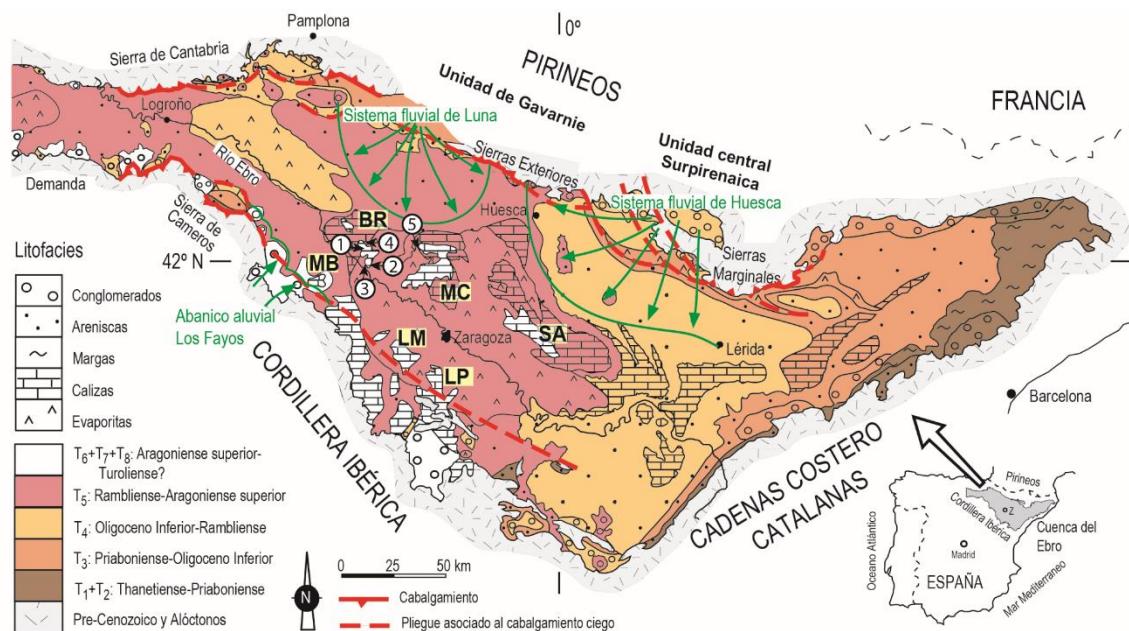


Figura 2. Situación geológica del área de estudio en el mapa cartográfico de las Unidades Tectosedimentarias la Cuenca del Ebro. SA, Sierra de Alcubierre; MC, Montes de Castejón; LP, La Plana; LM, La Muela; BR, Bardenas Reales; MB, Muela de Borja. Los números indican secciones que se analizaran a lo largo del trabajo: 1, Corretrones; 2, Sancho Abarca; 3, Pico del Fraile; 4, Loma Negra y 5, Castillo de Sora. Sistemas fluviales de Luna y Huesca según Hirst y Nichols (1986). Adaptado de Muñoz et al. (2002) y Pérez-Rivarés, et al. (2018).

La Cuenca del Ebro tiene un relleno asimétrico, en forma de cuña abierta hacia el norte, y representa la última fase de evolución de la cuenca de antepaís surpirenaica (Riba et al., 1983). Pero en el sector oeste la geometría del relleno es un surco estrecho y se corresponde con una cuenca de antepaís simétrica (Muñoz-Jiménez y Casas-Sainz, 1997). Desde el Paleoceno hasta el Eoceno registró sedimentación marina y continental. Durante el Eoceno superior la cuenca quedó aislada del mar abierto y hasta el Mioceno medio funcionó como una cuenca endorreica (Riba et al., 1983; Muñoz et al., 2002). La cuenca adquirió su estructura final durante el Mioceno inferior-medio, en relación con las últimas fases de la tectónica de los Pirineos y de los otros dos márgenes. A partir del Mioceno medio a superior la cuenca se abrió hacia el mar Mediterráneo (García Castellanos et al. 2003; Urgeles et al., 2011; Vázquez-Urbez et al., 2013), generándose así el río Ebro y pasando a una fase de predominio de los procesos de erosión.

1.4. Unidades Tectosedimentarias de la Cuenca del Ebro

El relleno cenozoico de la Cuenca del Ebro ha sido dividido en ocho unidades tectosedimentarias¹ denominadas T1 a T8 (Muñoz et al., 2002; Pardo et al., 2004). Estas unidades se encuentran separadas por rupturas sedimentarias que fueron generadas por variaciones en la actividad tectónica en las cadenas que limitan la cuenca; en los márgenes se reconocen como discordancias y hacia el centro de la cuenca pasan a conformidades (Figs. 3). La edad de dichas unidades genéticas ha sido determinada principalmente a partir de yacimientos de mamíferos (Pardo et al., 2004) y más recientemente por estudios magnetoestratigráficos de las sucesiones oligocenas y miocenas de los sectores central y oriental (p. ej., véase resumen en Pérez-Rivarés, 2016).

En este trabajo se van a tratar las Unidades Tectosedimentarias de edad Mioceno (Fig. 3) que afloran en el sector central-occidental de la Cuenca del Ebro, concretamente los depósitos estudiados abarcan las unidades T5 y T6.

La unidad T5, de edad Ramblense-Aragoníense inferior (Crones C6An-C5Cn, Pérez-Rivarés, 2016), presenta amplios afloramientos en los sectores central y occidental de la cuenca, compuestos por potentes sucesiones detríticas en los márgenes que gradan hacia el centro a depósitos evaporíticos y lacustres carbonatados. En el área de la Sierra de Alcubierre la unidad alcanza aproximadamente 400 m de espesor (Pérez-Rivarés, 2016).

La unidad T6, de edad Aragoníense inferior hasta el Aragoníense medio (Crones C5Cn-C5AD, Pérez-Rivarés, 2016), aflora en los sectores central y occidental de la cuenca, pero únicamente en las proximidades del margen Ibérico y en afloramientos limitados en el centro de la cuenca. Está compuesta principalmente por depósitos de calizas y margas que en la zona suroeste de la Sierra de Alcubierre y este de la Muela de Borja gradan a depósitos evaporíticos (yesos). En el dominio Pirenaico de la cuenca estos depósitos no presentan equivalentes temporales; en el dominio Ibérico, en cambio, se encuentran

¹ Una unidad tectosedimentaria (UTS) es un tipo de unidad estratigráfica genética que consiste en un volumen de rocas sedimentarias que tiene una tendencia vertical determinada y se han formado en un intervalo de tiempo geológico definido. Sus límites son superficies de discontinuidad o discordancias y sus correlativas conformidades. Tienen extensión regional y están generados por inflexiones o cambios bruscos en la tasa de los factores alocíclicos que controlaron la dinámica del relleno de la cuenca (modificado de Pardo et al., 1989 y Villena et al., 1992, en Pérez Rivarés, 2016).

depósitos detríticos finos y gruesos equivalentes. En el área de la Sierra de Alcubierre esta unidad alcanza aproximadamente 116 m de espesor (Pérez-Rivarés, 2016).

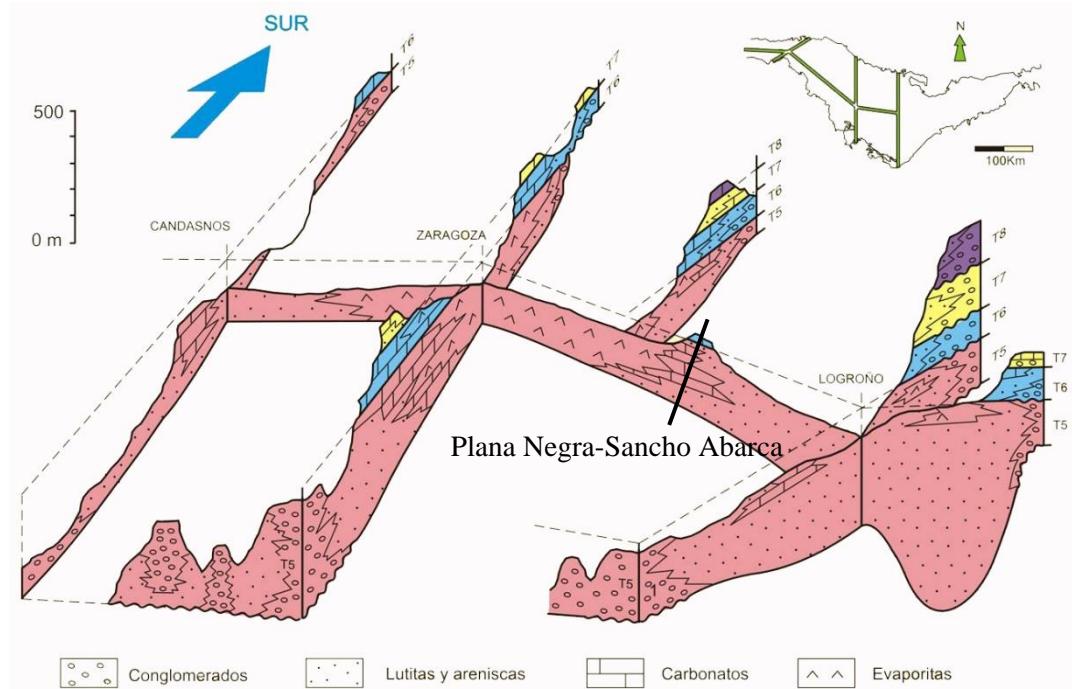


Figura 3. Panel de Correlación del Neógeno en la Cuenca del Ebro, en el que se encuentra situado la Plana Negra-Sancho Abarca. Adaptado de Pardo et al. (2004).

1.5. La Formación Tudela

Desde el punto de vista litoestratigráfico los materiales estudiados de las unidades T5 y T6 se corresponden con la Formación Tudela (Riba, 1955). Esta formación comprende todo el Mioceno que aflora en las Bardenas y el sur de la Ribera de Navarra (Castiella, 1977; Salvany y Hernando, 1990). Se trata de una sucesión de 655 m de potencia compuesta por pósitos fluviales distales, palustres y lacustres. Larrasoña et al. (2006) distinguen 5 unidades litológicas (Fig. 4). Estos autores interpretan esta formación como depósitos distales de los abanicos aluviales procedentes de los Pirineos y la Cordillera Ibérica que drenaban un lago estable de agua dulce a través de una orla palustre. Hacia el norte estos depósitos pasan lateralmente a los depósitos detríticos de las Formaciones Ujué y Uncastillo (Soler y Puigdefábregas, 1970), y hacia el sur a los de la Formación Alfaro (Castiella, 1977). La edad de esta formación está muy bien definida gracias a los estudios paleontológicos en micromamíferos (Murelaga, 2000; Murelaga et al., 2002; Ruiz-Sánchez et al., 2013; Suárez-Hernando, 2017) y los posteriores estudios

magnetobiocronológicos realizados por Larrasoña et al. (2006) y Suárez-Hernando (2017).

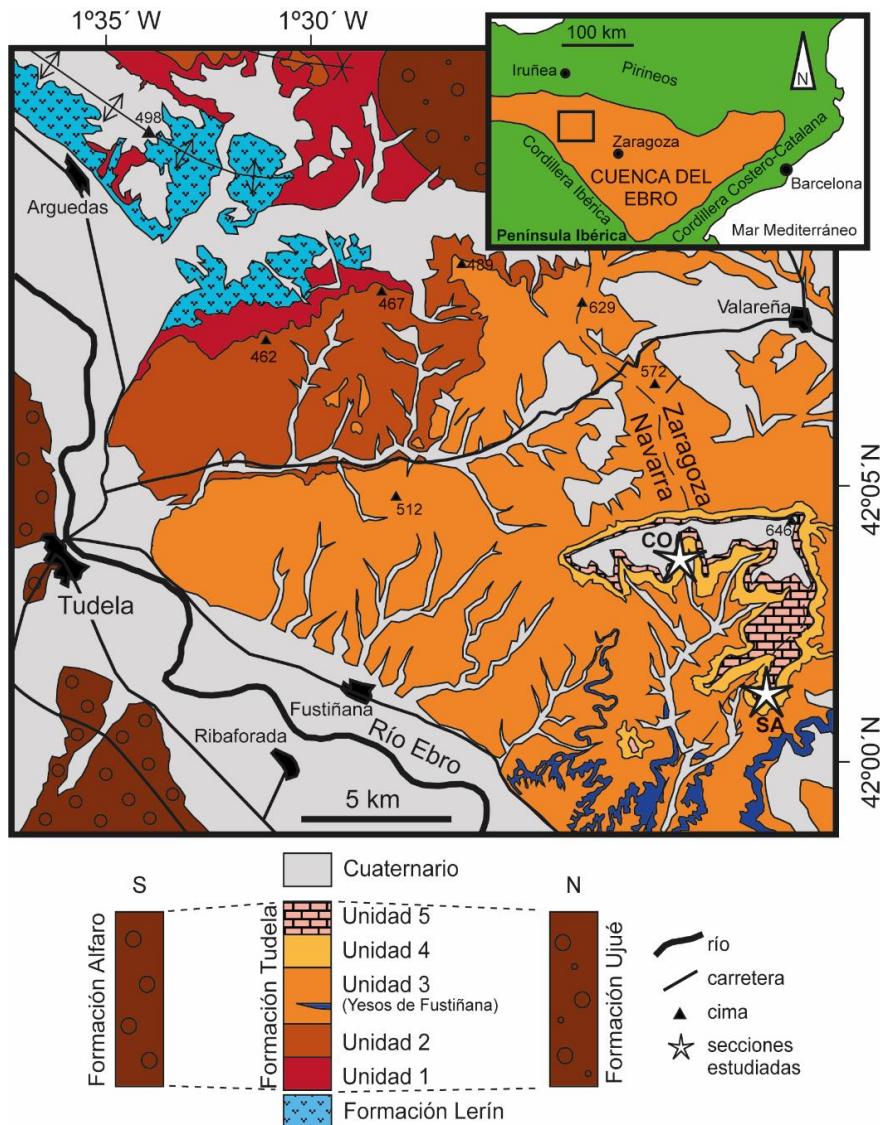


Figura 4. Mapa geológico de las Bardenas Reales de Navarra y áreas colindantes, donde se muestran las 5 unidades litológicas descritas en la Fm. Tudela y la ubicación de las secciones estudiadas: SA, Sancho Abarca; CO, Corretroncos. Modificado de Larrasoña et al. (2006).

1.6. Metodología

Para la realización de este trabajo se han seguido las siguientes fases divididas en 4 apartados.

Trabajo de gabinete inicial

La primera fase ha sido de recopilación bibliográfica de trabajos previos realizados en la zona a estudiar y de temas en relación con la investigación. Junto con la consulta de

mapas, ortoimágenes y fotogramas aéreos (E: 1:18.000), para la selección de lugares de interés, seguimiento de líneas de capa y reconocimiento inicial de la cartografía existente, antes de realizar el trabajo de campo. La búsqueda bibliográfica se ha continuado a lo largo de la realización del trabajo.

Trabajo de campo

El trabajo de campo se inició con la exploración del área de estudio y la posterior selección de los lugares para el levantamiento de dos columnas estratigráficas a escala 1:100, una en la zona NW de la plana (Corretroncos) y la otra en la zona SE (Sancho Abarca). La elección de estos afloramientos se fundamenta en su accesibilidad, continuidad y espesor. Ambos perfiles se levantaron capa a capa, poniendo énfasis en los caracteres composicionales y sedimentológicos. El estudio de campo se completó con el fotografiado seriado de todos los tramos y litologías y la realización de fotomosaicos de los intervalos más representativos. Asimismo, se recolectó un total de 140 muestras representativas de las principales litologías (calizas, margas, lutitas y areniscas) para su posterior procesado y la selección de porciones para la elaboración de secciones pulidas y láminas delgadas. Se consideraron diversas estructuras sedimentarias en facies detríticas para obtener dirección y sentido de las paleocorrientes.

Para la cartografía y la correlación de tramos litológicos y capas guía a lo largo del área de estudio se han utilizado varias ortoimágenes y pares estereoscópicos a escala 1:18:000 (archivos del vuelo fotográfico interministerial del año 1976-1977 del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente). Como mapas geológicos de referencia se han utilizado la hoja nº 283 (Fustiñana) del Instituto Geológico y Minero de España a escala 1:50.000 (Salvany y Hernández, 1990), y el realizado por Larrasoña et al. (2006).

Trabajo de laboratorio

En el laboratorio se han procesado las muestras recogidas en el campo, tanto de materiales carbonatados como detríticos. De las 140 muestras, se seleccionaron 90 después de analizarlas con detalle, para realizar secciones pulidas y láminas delgadas de las más representativas. La preparación se realizó en el Servicio de Preparación de Rocas y Materiales Duros de la Universidad de Zaragoza (SAI) y en el Servicio de Preparación de Muestras Geológicas de la Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea. Las

secciones pulidas fueron analizadas con la lupa y las láminas delgadas con el microscopio petrográfico de luz transmitida del Área de Estratigrafía del Departamento de Ciencias de la Tierra y el que se encuentra en el Servicio de Microscopía óptica e Imagen del SAI, donde se tomaron las fotografías que se encuentran en el trabajo.

Con las muestras de lutitas recogidas se realizaron varias calcimetrías en el manocalcímetro del Área de Estratigrafía de la Universidad de Zaragoza, con el fin de analizar su composición y porcentaje en carbonato. Para ello, se tomaron varios gramos de muestra, se molieron con el mortero de ágata y se tamizaron con el tamiz de 100 μm . Se puso un gramo de la muestra molida y 5 ml de ácido clorhídrico de 50% en una ampolla. Dentro del calcímetro la ampolla se iba presionando hasta que se rompiera y comenzara la reacción que a la vez iba generando la curva del porcentaje del carbonato. La prueba en blanco con el carbonato cálcico puro se quedó en 93-94% por error del calcímetro, por lo que los resultados obtenidos se tuvieron que ajustar a ese dato.

Trabajo de gabinete (fase final)

En esta fase final se han tratado todos los datos recogidos, tanto en el campo como en el laboratorio, se han interpretado los resultados obtenidos y se ha redactado la memoria final. Para redactar la memoria se utilizó el procesador de textos *Word 2018* y para la elaboración y representación tanto de las columnas como de los gráficos se usó el programa *Adobe Illustrator CC 2019*. Entre las tareas realizadas en esta fase caben destacar las siguientes:

1. Representación gráfica de las dos columnas estratigráficas a escala 1:100 y realización de dos columnas sintéticas para cada una de ellas (1:1000).
2. Caracterización de las unidades litológicas dentro de cada una de las dos columnas.
3. Definición de las asociaciones de facies a partir de las facies identificadas sobre el terreno y en las secciones pulidas y en las láminas delgadas.
4. Correlación de las dos columnas sintéticas del área de estudio a partir del seguimiento de líneas de capa en foto aérea y según criterios estratigráficos.
5. Cartografía del área de estudio a partir de los datos estratigráficos.
6. Interpretación de las asociaciones de facies y de los diferentes ambientes de depósito.

7. Correlación con las sucesiones contemporáneas en áreas colindantes para la datación de los depósitos analizados en el trabajo.
8. Reconstrucción paleogeográfica y evolución sedimentaria de los depósitos del área de estudio y áreas colindantes y su relación con factores como el clima y la tectónica.

2. RESULTADOS

2.1. Cartografía

A grandes rasgos la Plana Negra-Sancho Abarca es una gran planicie (con elevaciones de 635 m en Sancho Abarca) formada por calizas miocenas, característica de la Bardena Negra, que se encuentra rodeada de una gran depresión rellenada parcialmente por depósitos aluviales cuaternarios. Las zonas altas tienen relieve abrupto y tanto en el margen norte como en el noreste se encuentran cubiertas por abundante vegetación. Los materiales de la plana se encuentran dispuestos subhorizontalmente, llegando a alcanzar 3º de buzamiento hacia el sur. En la parte superior se disponen materiales cuaternarios, sobre todo glacis.

Para la elaboración del mapa geológico (Fig. 5) se han tenido en cuenta las características de los perfiles levantados (apartados 2.2.1. y 2.2.2.), el reconocimiento sobre el terreno y en fotografía aérea de ciertos intervalos litológicos con gran continuidad lateral, como el potente conjunto de calizas con que culminan las planas, así como los mapas realizados por Larrasoña et al. (2006) de este sector de las Bardenas Reales (Fig. 4) y el Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 de la hoja nº 283 (Fustiñana) realizado por Salvany y Hernández (1990).

Se han distinguido 5 unidades cartografiadas, o litofacies, equivalentes a unidades litoestratigráficas informales (serían miembros de la Formación Tudela). Estas unidades en el mapa aparecen indicadas en colores diferentes.

Litofacies 1: Está compuesta por lutitas y margas grises y rojizas entre las que se pueden encontrar niveles de areniscas ocres, calizas grises y pequeños niveles de yesos. Esta litofacies se encuentra rodeando la plana.

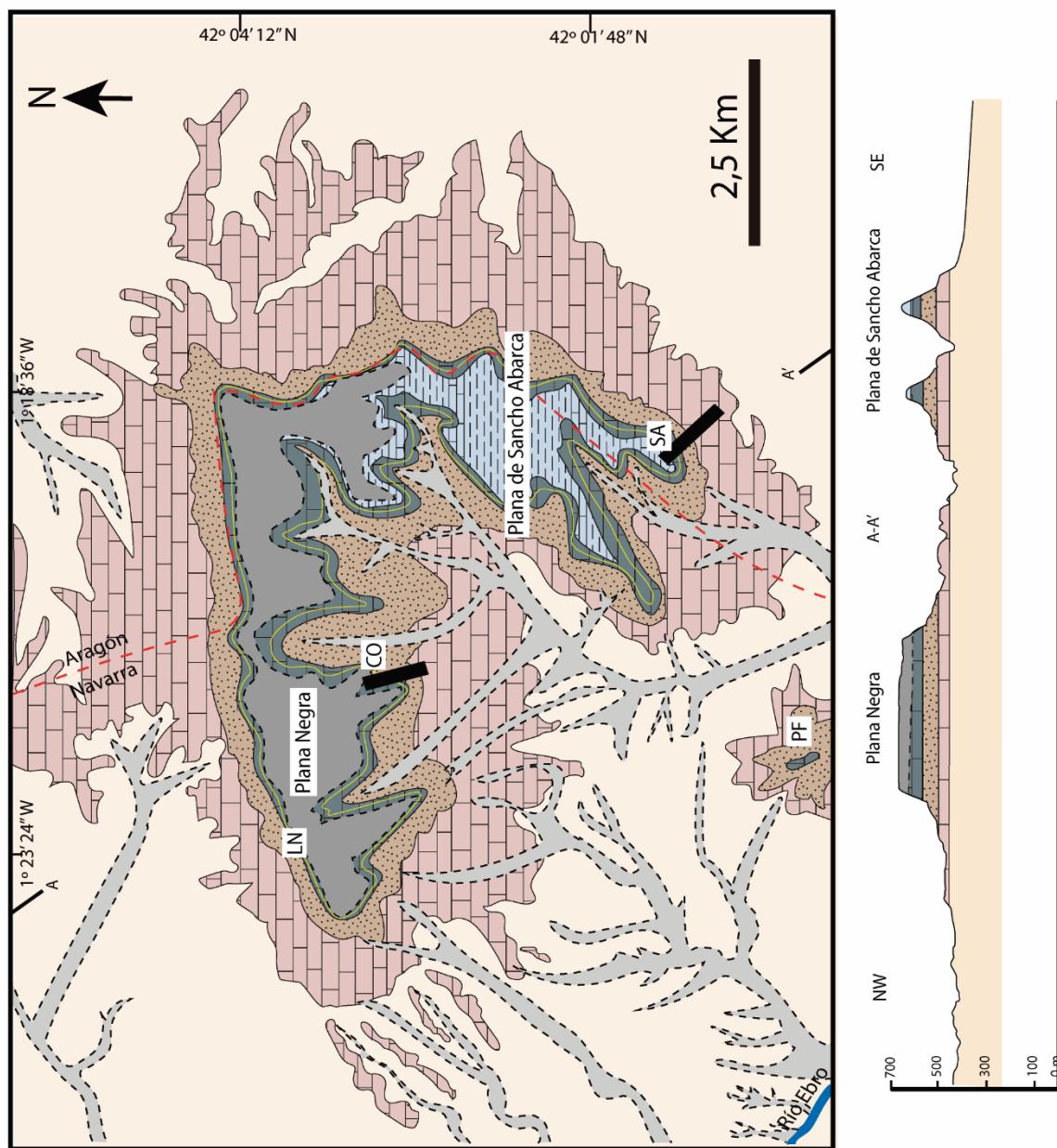
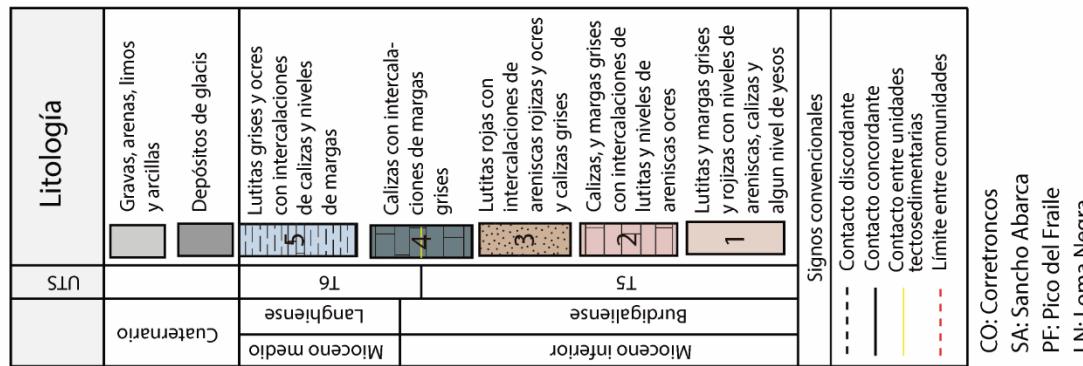


Figura 5. Mapa geológico de la Plana Negra-Sancho Abarca. En la parte inferior se encuentra el corte NW-SE que pasa por los dos perfiles. Los números que se encuentran en la leyenda se corresponden con las litofacies descritas en este apartado.

Litofacies 2: Está formada por calizas y margas grises con intercalaciones de lutitas amarillenta a ocres y niveles de areniscas ocres.

Litofacies 3: Está compuesta por lutitas rojas con intercalaciones de areniscas rojizas y ocres y ocasionalmente alguna intercalación de calizas gris a ocres. Esta litofacies es fácilmente reconocible en el campo debido a su característico color rojizo.

Litofacies 4: La litofacies 4 está formada por calizas de color gris con intercalaciones de margas y en menor proporción intercalaciones de lutitas de tonalidades grises.

Litofacies 5: La última litofacies solo se ha identificado en el sector sur y noreste del área de estudio, en la Plana de Sancho Abarca y está formada por lutitas grises y ocres con intercalaciones de calizas y niveles menos abundantes de margas.

Para establecer el límite entre las unidades tectosedimentarias T5 y T6 se ha seguido el criterio de cambio litológico previamente establecido en áreas próximas al este de la zona estudiada, que se explica más adelante, en el apartado de correlación. El límite entre las unidades T5 y T6 se encuentra en la parte inferior-medio de la litofacies 4.

2.2. Estratigrafía

En este apartado se presentan la localización, descripción y representación gráfica de los dos perfiles levantados (Corretroncos y Sancho Abarca). El perfil de Corretroncos ha sido levantado en el sector noroeste del área de estudio y el de Sancho Abarca en el sector sureste.

Coordenadas UTM WGS84 Huso 30 y los espesores totales en metros:

- Corretroncos (Sector noroeste): X: 635783.381; Y: 4657622.181; 160 m
- Sancho Abarca (Sector sureste): X: 638746.7663; Y: 4653428.988; 191 m

2.2.1. Perfil de Corretroncos

Este perfil presenta 160 m aproximadamente de depósitos lutíticos con intercalaciones de margas, calizas y areniscas (Fig. 6). Se han podido diferenciar seis conjuntos litológicos o tramos de mayor orden. La representación gráfica de la columna estratigráfica de detalle (escala 1:100) se encuentra en el Anexo 1.

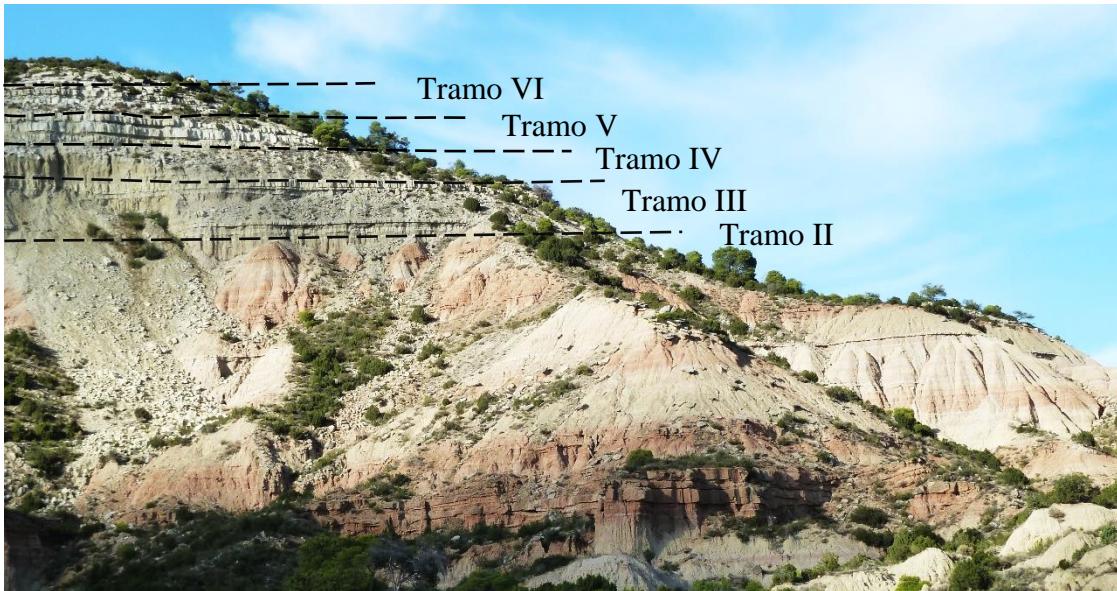


Figura 6. Imagen del afloramiento donde se ha levantado el perfil de Corretroncos. A la derecha se encuentran indicados los tramos diferenciados. El tramo I no se encuentra indicado ya que se encuentra cubierto por vegetación en esta parte del afloramiento.

Tramo I. Se corresponde con la base de la columna de Corretroncos. Está compuesto por 8 metros de alternancia de calizas y margas grises y ocres, con predominio de los estratos de calizas.

Las calizas se disponen en estratos tabulares de potencia de entre 0,2 a 1 m. Son calizas masivas con texturas variadas que van desde *mudstone* a *packstone*. Su contenido fósil consiste en oogonios y fragmentos de talos de carófitos, ostrácodos, fragmentos de conchas (posiblemente de bivalvos) y gasterópodos. Varios estratos también contienen abundantes intraclastos y extraclastos. Los intraclastos milimétricos a centimétricos y contienen fragmentos de conchas dispersos en una matriz micrítica. Los extraclastos se componen de cuarzo milimétrico o submilimétrico principalmente. Las calizas muestran bioturbación por raíces cuya abundancia y tamaño aumentan hacia el techo del tramo, encontrándose ocasionalmente nodulizadas e incluso brechificadas.

Las margas afloran en niveles tabulares 0,3 a 1,2 m de potencia y son masivas principalmente, ocasionalmente se encuentran laminadas. Estas margas pueden contener oogonios, fragmentos de conchas y restos vegetales y es frecuente que se encuentren biourbadas.

Tramo II. 95,5 m de lutitas con intercalaciones de areniscas, margas y calizas. Las lutitas son de color rojizo, anaranjado y rosáceo y son las que mayor proporción presentan en

este tramo. Las areniscas son de colores ocres a rojizos y las margas y calizas de colores grisáceos a ocres.

Las lutitas se disponen en cuerpos tabulares de entre 0,1 y 18 m. Son masivas principalmente, pero pueden presentar laminación horizontal. Aparecen bioturbadas en varios niveles, y estas trazas de bioturbación pueden estar llenas de lutitas de colores verdosos y grisáceos. Pueden contener fragmentos de conchas y restos vegetales.

Las areniscas forman estratos con dos tipos de geometría. Unas se disponen en cuerpos canaliformes de bases erosivas y techos irregulares, de hasta 3 m de potencia y poca extensión lateral; abundan entre los metros 37,3 y 45 del perfil. Las otras se disponen en cuerpos tabulares de techo plano y bases planos o irregulares, de potencias entre 0,1 y 0,7 m y de gran extensión lateral; se encuentran intercaladas a lo largo de todo el tramo. Son areniscas de tamaño de grano fino a medio, de composición variada. Internamente muestran laminación horizontal, laminación cruzada y estratificación cruzada en surco. El rango de paleocorrientes medidas varía entre SO y SE (190 a 100). Varios niveles de estas areniscas, también presentan convolución.

Las calizas y margas en este tramo son muy escasas y se encuentran entre los metros 75 y 75,84 y entre los metros 106,3 y 107,8. Las calizas forman estratos tabulares masivos, de 0,1 a 0,5 m de potencia. Son de textura *mudstone-wackestone* y contienen fragmentos de conchas s.l., ostrácodos y carófitos dispersos en la matriz micrítica. Las calizas de la parte superior del tramo se encuentran fuertemente bioturbadas y hasta brechificadas. Las margas, en cambio, afloran en estratos de entre 0,2 y 0,5 m y son principalmente masivas, encontrándose laminación horizontal en algunos niveles.

Tramo III. 10 m de margas grises con intercalaciones de calizas de color gris en superficie y color más blanquecino en corte fresco.

Las margas, masivas, afloran en cuerpos tabulares de escasos centímetros hasta 3,7 m de potencia. Las calizas se presentan en niveles tabulares de bases y techos generalmente irregulares, de potencias de entre 0,12 a 0,77 m. Son de textura *mudstone-wackestone* generalmente, encontrándose dos niveles de textura *packstone*. En estas calizas abundan los fragmentos de ostrácodos, oogonios y tallos de carófitos y los fragmentos de conchas de bivalvos y gasterópodos. Hay niveles con abundantes intraclastos y extraclastos de

tamaños milimétricos a centimétricos. Estas calizas no presentan bioturbación, excepto un estrato de 0,2 m que se encuentra en la parte superior del tramo, donde se puede apreciar abundante bioturbación por raíces y hasta brechificación.

Tramo IV. 11,56 m de lutitas de color ocre-grisáceo. No se han reconocido estructuras sedimentarias.

Tramo V. 18,31 m de margas y calizas grises y ocres. Este tramo se ha dividido en dos subtramos: a, con las únicas calizas laminadas identificadas en el perfil de Corretroncos, y b, formado por calizas masivas y margas.

Las margas, masivas, se disponen en estratos de entre 0,12 hasta 3,67 m de potencia y abundan en la parte inferior-media del tramo, entre los metros 143 y 137,96 del perfil. Intercalados con estas margas se encuentran estratos tabulares de calizas, de potencias de entre 0,15 y 1,2 m. En la parte inferior del tramo se encuentra el único nivel de calizas laminadas del perfil, de 0,6 m de potencia (subtramo a). El resto de calizas (subtramo b) son calizas masivas, de textura *wackestone*-*packstone* con abundantes fragmentos de gasterópodos planiespiralados y trocoespiralados, ostrácodos y talos y oogonios de carófitos. Tanto en la parte superior como en la parte inferior del subtramo b hay varios niveles con abundantes intraclastos y extraclastos y otros niveles con abundante bioturbación, nodulización y brechificación.

Tramo VI. 8,31 m de calizas grises y beiges con intercalaciones de margas grises.

Estas calizas, masivas, afloran en cuerpos tabulares de potencia decimétrica a métrica. Presentan textura *mudstone-wackestone* en la parte inferior, *packstone* en la parte central del tramo y *wackestone* en la parte superior. Todas contienen gasterópodos y fragmentos de conchas de ostrácodos y posiblemente de bivalvos; las de la parte central del tramo también presentan abundantes peloides e intraclastos que disminuyen en tamaño y proporción hacia el techo de los estratos. Generalmente este tramo se encuentra muy bioturbado (trazas de raíces), nodulizado y brechificado.

Las margas forman intervalos masivos de menos de 1 cm de espesor.

2.2.2 Perfil Sancho Abarca

El perfil de Sancho Abarca se encuentra a 5,6 km hacia el sureste del perfil de Corretroncos. Tiene 191 m de potencia y se han podido diferenciar 7 tramos. En el anexo

2 únicamente se encuentran representados los 90 m superiores, ya que son los que se han estudiado con mayor detalle. El conjunto inferior tiene peor afloramiento.

Tramo I. 13,3 m de lutitas marrones-rojizas y areniscas de color marrón-ocre.

Las lutitas afloran en estratos tabulares de entre 8,5 a 0,9 m y son generalmente masivas, encontrándose algún nivel que presenta cierta laminación.

Las areniscas se disponen en cuerpos lenticulares de base cóncava erosiva y techo irregular, de hasta 1,5 m de potencia y escasa extensión lateral, y en estratos tabulares de techo y base generalmente planos, de potencias entre 0,15 y 0,6 m y de gran extensión lateral. Son areniscas de grano fino compuestas por granos de carbonato y cuarzo. Internamente muestran laminación horizontal y cruzada.

Tramo II. 36,7 m de lutitas marrones-amarillentas y ocres con intercalaciones de areniscas ocres y margas grises y de calizas grises.

Dentro de este tramo se han diferenciado cuatro subtramos o conjuntos (a-d) que se distinguen por las proporciones de litologías y otras características. De base a techo son:

En el subtramo a abundan las lutitas masivas que afloran en estratos tabulares de potencias de entre 0,7 a 4 m. En la base, intercaladas entre las lutitas, se encuentran varios niveles tabulares de calizas masivas, de escasa potencia, que presentan textura *mudstone-wackestone* en las que se pueden encontrar fragmentos de carófitos y ostrácodos dispersos en la matriz micrítica.

En el subtramo b abundan los cuerpos de calizas alternando en la base y en el techo con cuerpos tabulares de margas masivas, de potencias de entre 0,5 a 2 m, y en la parte central con estratos tabulares de lutitas masivas de hasta 2,5 m de potencia. Las calizas son de textura *mudstone-wackestone* con el mismo contenido fósil que las del subtramo anterior. Las calizas presentan laminación horizontal y generalmente todos los estratos de calizas presentan una leve bioturbación por raíces.

Las lutitas masivas abundan en el subtramo c y en el techo se encuentran alternando con niveles de areniscas tabulares masivas, de grano medio, y potencias de entre 0,2 a 0,7 m.

El subtramo d está compuesto por una alternancia de margas y calizas. Las margas son masivas y afloran en estratos de hasta 1 m de espesor. Las calizas afloran en estratos

tabulares de entre 0,5 y 0,8 m. Son de textura *mudstone-wackestone* con fragmentos de conchas y carófitos. Varios niveles de calizas muestran laminación horizontal generada por la alternancia de láminas carbonatadas y siliciclásticas.

Tramo III. 60 m lutitas y areniscas con alguna intercalación de caliza, este tramo se encuentra entre los 50 y los 110 m del perfil de Sancho Abarca.

Las lutitas se disponen en cuerpos tabulares de entre 2,5 hasta 11,6 m. Son lutitas masivas, bioturbadas en algunos niveles, y las trazas de bioturbación pueden estar llenas de lutitas de colores verdosos. Pueden contener fragmentos de conchas y restos vegetales.

Las areniscas se disponen bien en cuerpos canaliformes de bases cóncavas erosivas y techos irregulares, de hasta 1,2 m de potencia y poca extensión lateral, o en cuerpos tabulares de techo plano y bases planos o irregulares de potencias entre 0,12 y 0,3 m, de gran extensión lateral. Son areniscas de tamaño de grano fino a medio de composición variada, e internamente pueden mostrar laminación horizontal o laminación cruzada.

Los niveles de calizas en este tramo son muy escasos y se encuentran cerca del metro 90 del perfil. Las calizas forman estratos tabulares masivos, de entre 0,15 y 0,3 m. Son de textura *mudstone-wackestone* y contienen fragmentos de conchas, ostrácodos y carófitos dispersos en la matriz micrítica.

Tramo IV. 26 m de margas y calizas de tonalidades grises con intercalaciones de niveles de lutitas grises a ocres y dos niveles de areniscas de color beige.

Las margas afloran en niveles tabulares de potencias de entre 0,12 a 1,62 m. Son margas masivas generalmente, presentando laminación horizontal en varios niveles. Estas margas se encuentran en mayor proporción en la parte inferior-medio del tramo.

Las calizas se disponen en estratos tabulares de entre 0,15 y 0,65 m de potencia. Son masivas. Tienen textura *mudstone-wackestone* generalmente y contienen fragmentos de conchas, ostrácodos y carófitos, pero hay varios niveles que presentan textura *packstone* en la que junto con estos bioclastos contienen abundantes intraclastos y peloides. Varios paquetes de calizas presentan bioturbación por raíces que se pueden encontrar llenas de lutitas de colores verdosos. Tanto la potencia de los estratos como la proporción de calizas aumenta hacia el techo de este tramo. En la parte inferior del tramo hay varios niveles de lutitas masivas que presentan hasta 3 m de potencia y se encuentran ocasionalmente

bioturbadas. Los niveles de areniscas son escasos en este tramo y se disponen en estratos tabulares de potencias de entre 0,12 y 0,2 m. Son areniscas de grano muy fino compuestas por granos de cuarzo y carbonato, e internamente presentan laminación horizontal y cruzada.

Tramo V. 7,8 m de calizas de color gris alternando con finos niveles de margas de color marrón claro.

Las calizas de este tramo se disponen en estratos tabulares de entre 0,15 a 0,78 m de potencia. Estas calizas presentan textura *mudstone-wackestone* con algún nivel *packstone*. Se encuentran generalmente laminadas. En lámina delgada se han podido diferenciar varios tipos de laminación que se describirán en el siguiente apartado. Contienen carófitos, ostrácodos y fragmentos de conchas de gasterópodos y posiblemente de bivalvos y, ocasionalmente, también intraclastos y peloídes. Las calizas de la parte inferior del tramo están levemente bioturbadas por raíces.

Las margas afloran en estratos tabulares de 0,1 a 0,6 m y son masivas. La proporción de las margas junto con la potencia que presentan disminuyen hacia el techo de este tramo.

Tramo VI. 15,7 m de calizas ocres con intercalaciones de margas de color gris a ocre. Dentro de este tramo se pueden diferenciar dos subtramos o conjuntos separados por un nivel de margas.

Las calizas de ambos conjuntos se disponen en estratos tabulares de techos planos y bases generalmente irregulares, de potencia decimétrica, generando conjuntos de hasta 2,3 m de espesor. Son calizas masivas, aunque hay un nivel con laminación horizontal en la base del conjunto superior. Las calizas en general presentan textura *mudstone* a *packstone*. En la base del conjunto inferior se han identificado niveles con abundantes oogonios de carófitos. Hacia techo de este tramo se encuentran, junto con los oogonios, ostrácodos y fragmentos de conchas, posiblemente de bivalvos. La bioturbación que presentan estas calizas aumenta hacia techo del conjunto, encontrándose los estratos de calizas fuertemente nodulizados.

La base del conjunto superior comprende un nivel de margas masivas de 0,48 m de potencia y un nivel de calizas laminadas de 0,6 m de potencia. En la base del conjunto, las calizas contienen abundantes carófitos y hacia techo va aumentando el contenido en

gasterópodos planiespiralados y trocoespiralados. Están muy bioturbadas y hacia techo presentan mayor bioturbación, nodulización y brechificación. En varios niveles se pueden encontrar nódulos de sílex de morfología irregular de hasta 40 cm.

Tramo VII. 37,1 m de lutitas grises con intercalaciones de margas y calizas de tonalidades parecidas.

Las lutitas afloran en estratos tabulares de hasta 4,8 m de potencia. Son lutitas masivas que presentan bioturbación vertical en varios niveles.

Intercalados con estas lutitas se encuentran niveles de margas masivas dispuestas en estratos tabulares de 0,36 a 1,44 m de potencia que pueden contener restos vegetales. Junto con estas margas también hay estratos tabulares de calizas masivas, de bases y techos generalmente irregulares, de entre 0,1 y 0,7 m de potencia. En este tramo solo se ha identificado un nivel de calizas laminadas de 0,25 m de potencia que se encuentra en la parte superior del tramo.

En la parte inferior del tramo las calizas muestran textura wackestone-*packstone*, contienen abundantes gasterópodos tanto trocoespiralados como planiespiralados, ostrácodos y carófitos. Estas calizas se encuentran bioturbadas y algún nivel presenta fuerte nodulización. Hacia el centro del tramo tanto la bioturbación como el porcentaje de gasterópodos disminuye. En la parte superior del tramo, en cambio, las calizas vuelven a presentar fuerte bioturbación y nodulización y sobre ellas se disponen varios estratos de calizas margosas con restos fósiles de micromamíferos que se corresponden con los yacimientos SA5 y SA6 definidos por Ruiz-Sánchez et. al (2013).

2.2.3. Correlación estratigráfica

La correlación entre los dos perfiles se ha hecho según criterios litológicos, texturales y cartográficos (Fig. 7). La extensión lateral que presentan los estratos y su posición subhorizontal ha facilitado el seguimiento espacial de los diferentes tramos tanto en el estudio de campo como en foto área.

El nivel guía que se ha empleado ha sido el límite entre las Unidades Tectosedimentarias T5 y T6. Dicho límite en el sector central de la Cuenca del Ebro viene dado por el cambio vertical neto de depósitos evaporíticos a depósitos carbonatados (Pérez, 1989). En el margen ibérico de la cuenca, en cambio, el mismo límite se correlaciona con una

discordancia angular (Pérez, 1989) En el margen pirenaico no se conoce equivalente lateral a la unidad T6.

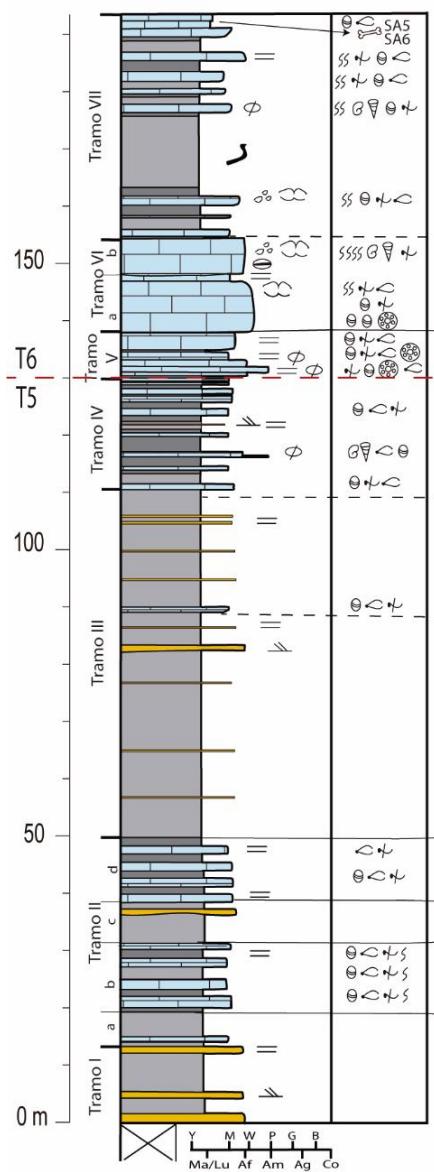
En el área de estudio este límite es una conformidad; aunque no es tan neto como en el sector central, es posible seguirlo mediante la correlación física del cambio litológico entre un potente intervalo con abundancia de depósitos lutíticos y margosos y el cambio a mayor proporción de estratos de calizas. En el perfil de Sancho Abarca el límite se encuentra entre los tramos IV y V, en torno al metro 126. En el perfil de Corretroncos, no se muestra tan claro, pero también se ha situado entre los tramos IV y V, en torno al metro 130. Los depósitos de T5 tienen 130 m de espesor y los de T6 tienen 63 m.

La correlación realizada a partir del límite T5/T6 entre los perfiles de la Plana Negra (sector norte) y la Plana de Sancho Abarca (sector sur) permite apreciar los cambios laterales de facies. En general, los depósitos de areniscas y lutitas (tramo II) presentan mayor potencia en el perfil de Corretroncos que en el de Sancho Abarca (tramo I y III): en el sector norte, las areniscas muestran mayor espesor y se disponen en cuerpos con morfología canaliforme con estratificación cruzada en surco o en estratos tabulares masivos con laminación horizontal a cruzada; hacia el sur las areniscas muestran menor espesor, encontrándose únicamente en estratos tabulares masivos o con laminación horizontal y/o cruzada. Los depósitos de margas y calizas, en cambio, muestran mayor potencia y mayor abundancia en el sur. Cabe destacar que las calizas que afloran en el sector norte presentan mayor bioturbación y nodulización y contienen mayor proporción de extraclastos que las del sector sur. Los depósitos del tramo VII del perfil de Sancho Abarca no se encuentran hacia el norte del área de estudio (por pérdida de afloramiento).

Los tramos I y II del perfil de Sancho Abarca y el tramo I del perfil de Corretroncos se corresponden con la litofacies 2. El tramo III del perfil de Sancho Abarca y el tramo II del perfil de Corretroncos constituyen la litofacies 3. Los tramos IV del perfil de Sancho Abarca y los tramos III y IV del perfil de Corretroncos se corresponden con la litofacies 4. La parte inferior de esta litofacies, con más margas, se encuentra dentro de la unidad tectosedimentaria T5. Los tramos VI del perfil de Sancho Abarca y los tramos V y VI del perfil de Corretroncos forman la parte superior de la litofacies 4 y se encuentran dentro de la T6. El tramo VII descrito en el perfil de Sancho Abarca forma la litofacies 5, dentro de la unidad T6.

SE NW 5,2 Km

Sancho Abarca



Corretroncos

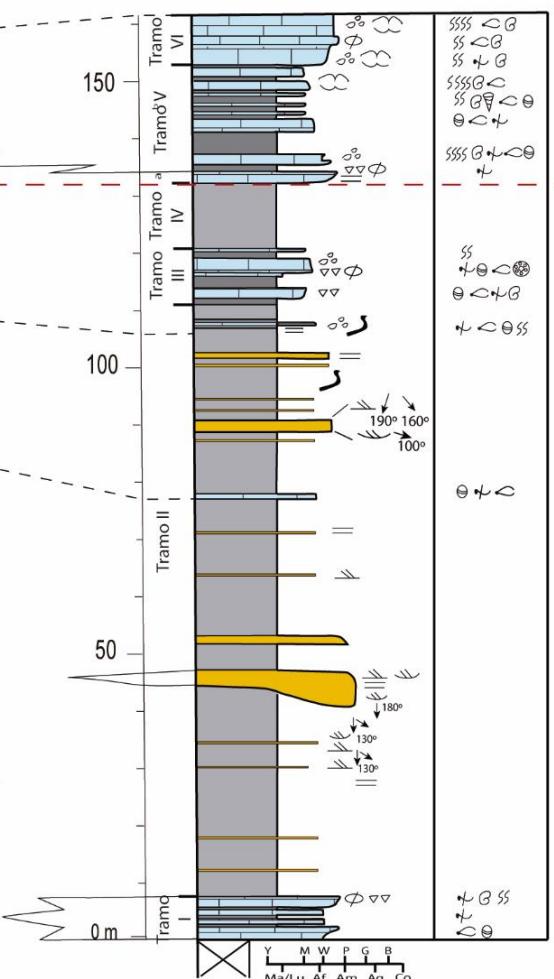


Figura 7. Correlación estratigráfica de los perfiles sintéticos de las columnas de Sancho Abarca y Corretroncos. Para mayor detalle de las columnas ir a los anexos 1 (columna de Corretroncos) y 2 (columna de Sancho Abarca).

2.3. Sedimentología

2.3.1. Descripción e interpretación de facies

En este apartado se abordará la descripción e interpretación de facies y asociaciones de facies identificadas en la Plana Negra-Sancho Abarca, a partir de los datos de los perfiles levantados y otros tomados puntualmente. El estudio de estas facies se ha realizado a partir de los datos de campo y de las muestras recogidas en el mismo, donde se realizaron secciones pulidas y láminas delgadas.

Se han identificado un total de 17 facies (tabla resumen de las facies en el anexo 3), que se van a ir describiendo e interpretando una a una. Posteriormente se describirán las asociaciones de facies y las condiciones sedimentarias en que se originaron. Todas estas facies se han agrupado en tres grandes grupos, facies carbonatadas, mixtas y clásticas. Cada gran grupo se ha dividido en subgrupos y en cada uno de ellos se han identificado varias microfacies. Las facies carbonatadas se han denominado según la textura y por el componente más abundante y/o por la característica más relevante y las facies mixtas y detríticas, en cambio, según la estructura sedimentaria que presentan.

1. Facies carbonatadas

1.1. Calizas masivas

Estas calizas afloran tanto en el sector norte como sur del área de estudio, predominando en la base y en el techo del perfil de Corretroncos (Anexo 1) y en el techo del perfil de Sancho abarca (Fig. 8, Anexo 2). Son calizas de color gris a blanquecino con texturas *mudstone* a *packstone*. Afloran en estratos tabulares, masivos (sin estructuras sedimentarias apreciables a simple vista), de potencia muy variada, de entre 15 cm a 1,5 m, y continuidad lateral de varios km. El techo de estos paquetes de calizas es plano generalmente, pero la base varía, siendo plana o irregular.

Analizando estas calizas en las secciones pulidas y en las láminas delgadas se han identificado las siguientes facies:

- *Mudstone-Wackestone* de ostrácodos y carófitos: Cmo

Esta microfacies se puede encontrar en los dos perfiles levantados. Afloran en niveles de 15-40 cm. Son calizas con textura *mudstone-wackestone*, con matriz micrítica, en la que



Figura 8. Imagen de una parte del afloramiento de las calizas masivas del tramo V y VI del perfil de Sancho Abarca (Anexo 2). En esta fotografía de campo se puede apreciar la continuidad lateral que presentan los estratos tabulares de calizas.

se pueden apreciar componentes aloquímicos dispersos, como fragmentos de las valvas de los ostrácodos y los oogonios de los carófitos. En menor proporción se encuentran fragmentos de valvas posiblemente pertenecientes a bivalvos. Ocasionalmente estos fragmentos bioclásticos se encuentran recristalizados a microesparita o, en menor proporción, disueltos generando porosidad fenestral.

Interpretación: depósito de fango carbonatado en áreas lacustres protegidas, de baja energía y relativamente profundas, donde habitaban ostrácodos y algas verdes como son los carófitos (Gierlowski-Kordesch, 2010). La fragilidad de los carófitos favorecería su fragmentación y dispersión con muy poca agitación (Vázquez-Urbez, 2013). Posteriormente estos fragmentos carbonatados se habrían disuelto en la diagénesis, generando porosidad fenestral.

- *Wackestone-Packstone* de carófitos: Cmc

Estas calizas afloran en el sector sureste de la plana, en estratos tabulares de entre 10-25 cm de potencia. En la matriz micrítica se encuentran dispersos secciones de oogonios y talos de los carófitos y, en menor proporción, granos de cuarzo de menos de 0,4 mm (Fig. 9A). En esta microfacies es característica la gran diferencia de tamaño que presentan los

oogonios de los carófitos, con dos modas, aproximadamente en 0,15 y 0,4 mm de diámetro. La distribución de estos componentes es aleatoria; ocasionalmente se encuentran agrupados en “bolsadas” de 0,6 mm de largo y 0,25 de espesor, donde los bioclastos se encuentran deformados, visiblemente con cierto grado de aplastamiento (Fig. 9B). La matriz micrítica se encuentra recristalizada a microesparita ocasionalmente; en cambio, la mayoría de los bioclastos se encuentran recristalizados.

Interpretación: se trataría de áreas lacustres fóticas y relativamente tranquilas (Margalef, 1983; Vázquez-Urbez, 2013). La abundancia de secciones de carófitos y la presencia de dos modas de tamaños de los oogonios hace pensar en extensas praderas, posiblemente con diferentes taxones y/o estadios de desarrollo (González-Pardos, 2012). La agrupación de los fragmentos en “bolsadas” se habría producido por remoción por corrientes débiles, pero quizás también durante la diagénesis temprana.

- *Wackestone* de bioclastos: Cmb

Esta microfacies es la más abundante entre los depósitos carbonatados que se han estudiado en ambos sectores (Fig. 9C). Se encuentra en estratos tabulares de entre 30 cm y 1,2 m de potencia y gran extensión lateral, de varios km, con bases planas y techos planos o irregulares. La textura principal de esta facies es *wackestone*, ocasionalmente llegando a *packstone* en algunas zonas (a nivel de lámina delgada). Dispersos en la matriz micrítica se pueden apreciar fragmentos de los oogonios y de los talos de los carófitos, así como fragmentos de valvas de ostrácodos y en menor proporción fragmentos de valvas de bivalvos y gasterópodos. De estos últimos se pueden encontrar moldes en buen estado de ejemplares planiespiralados y, con menos frecuencia, en algunos niveles, de trocoespiralados. Los porcentajes en los que se encuentran estos bioclastos varían desde un 15% hasta un 40%, ocasionalmente llegando hasta un 60%. Junto con los fragmentos bioclásticos se presentan granos de cuarzo monocristalino de menos de 0,5 mm de diámetro, dispersos en la matriz, que presentan una morfología subangulosa. Las muestras recogidas en el sector norte tienen mayor proporción de granos de cuarzo que las muestras del sector sur.

La matriz micrítica puede encontrarse localmente recristalizada a microesparita, al igual que los bioclastos. La porosidad que presenta esta microfacies es variada, 5-15%,

tratándose de una porosidad primaria intergranular, y porosidad fenestral debido a la disolución de los bioclastos.

Interpretación: estas facies se habrían formado en áreas lacustres relativamente someras con un nivel de agua permanente donde habitaban los diversos organismos mencionados (Alonso-Zarza y Wright, 2010). Estas zonas estarían afectadas por ocasionales llegadas de corrientes de poca energía que transportaban pequeños granos de cuarzo (Sturm y Matter., 1978; Platt, 1989).

- *Packstone de intraclastos, peloides y bioclastos: Cmip*

Esta facies se reconoce únicamente en el sector noroeste de la plana, en la parte superior del perfil de Corretroncos (Anexo 1), donde forma niveles tabulares de 20-30 cm de potencia con gran extensión lateral (Fig. 9D). La textura general de estas calizas es *packstone*, ocasionalmente *wackestone* en algunas zonas y está compuesta por abundantes intraclastos, peloides y bioclastos. Los intraclastos son de morfología subesférica y presentan tamaños variados, de entre 0,4 y 1,2 mm. Junto con los intraclastos son abundantes los peloides líticos 0,03 a 0,42. Los bioclastos más abundantes son los fragmentos de valvas de gasterópodos y posiblemente de bivalvos y en menor proporción de carófitas. La matriz que se encuentra entre estos componentes es micrítica peloidal.

Interpretación: la presencia de abundantes intraclastos, incluso intraclastos polifásicos, indica que esta facies se habría formado por depósito de barro micrítico en áreas lacustres que estarían afectadas por corrientes que causarían la remoción y formación de intraclastos (Platt, 1989). Posteriormente, en condiciones subaéreas y debido a la desecación, algunos de esos depósitos fangosos donde se habrían sedimentado se fragmentarían generando grietas circumgranulares características de esta microfacies (Platt, 1989).

- *Wackestone-Packstone de intraclastos y bioclastos: Cmi*

Se encuentran en ambos sectores del área de estudio, tanto al norte como al sur, siendo más abundantes en el sector norte (Fig. 9E y 9F). Se disponen en estratos tabulares de 20 a 60 cm de potencia, de bases y techos tanto planos como irregulares y presentan gran extensión lateral. La textura generalmente es *wackestone* llegando a *packstone* en algunas zonas; están compuestas por intraclastos y bioclastos dispersos en la matriz micrítica.

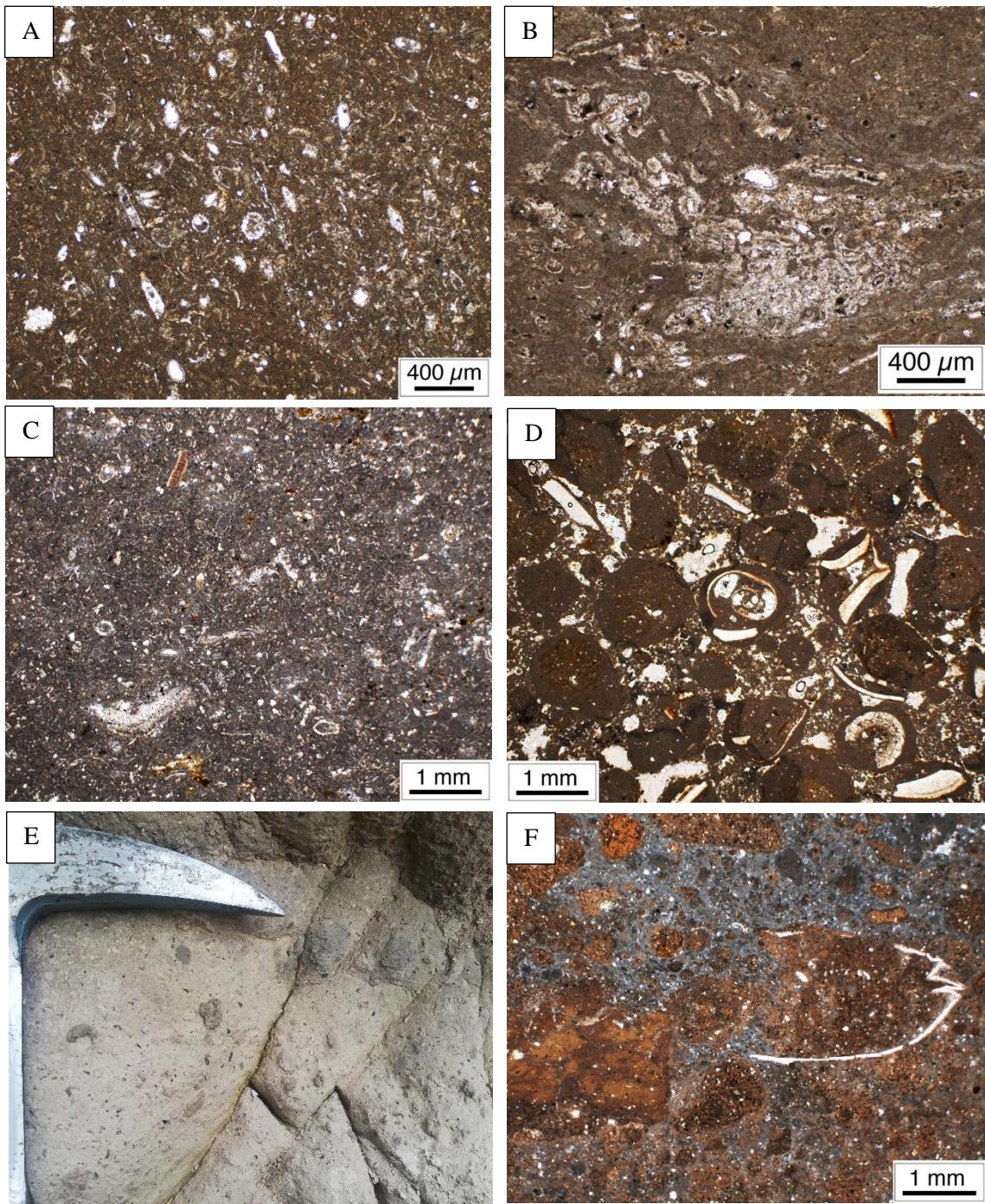


Figura 9. Imágenes realizadas en el microscopio petrográfico y en el campo. A) Oogonios y talos de los carófitos dispersos en la matriz micrítica (Cmc). B) Acumulaciones o “bolsadas” de oogonios recristalizados de carófitos (Cmc). C) Wackestone de bioclastos (Cmb) del sector norte de la plana, donde se pueden apreciar los fragmentos de carófitos, ostrácodos y valvas posiblemente de bivalvos dispersos en la matriz micrítica junto abundantes granos de cuarzo. D) Intraclastos polifásicos, con un fragmento carbonatado en la parte interior y una envuelta micrítica posterior (Cmip). E) Imagen de los intraclastos y bioclastos en el afloramiento (Cmi). F) Foto de lámina delgada del afloramiento de la imagen 7E. En esta imagen se pueden apreciar los diferentes tamaños que presentan los intraclastos y su morfología subangulosa y un fragmento de valva posiblemente de un bivalvo.

Los intraclastos son de composición micrítica y color gris oscuro; presentan morfología subangulosa y tamaño variado, de entre 0,1 mm a 1,20 cm. En cuanto a contenido fósil, abundan los fragmentos de valvas de ostrácodos y los oogonios de los carófitos y, en menor proporción, fragmentos de talos de dichas algas y los fragmentos de valvas que posiblemente sean de bivalvos (Fig. 9F). Gran parte de los bioclastos se encuentran recristalizados a microesparita. Junto a estos componentes, dispersos en la matriz micrítica, se encuentran granos de cuarzo de menos de 0,2 mm y de morfología subesférica.

Interpretación: Debido a las características descritas para esta microfacies se puede interpretar que se ha depositado en un ambiente lacustre somero relativamente energético; serían zonas donde llegaban corrientes que transportaban los granos de cuarzo, los intraclastos y los bioclastos desde áreas más someras (Sturm y Matter, 1978; Platt 1989).

1.2. Calizas laminadas

Las calizas laminadas de color gris claro abundan en el sector sur, concretamente en el tramo V, donde afloran en estratos tabulares de entre 0,15 y 0,78 m de potencia. En el sector norte solo se ha identificado un nivel de calizas laminadas de 0,6 m espesor, en la base del tramo V (Va) del perfil de Corretroncos (Anexo 1).

- Calizas con láminas carbonatadas y siliciclásticas: Clcs

Calizas de color gris claro-blanquecino que afloran en el sector sureste de la plana formando cuerpos tabulares de 9 a 15 cm de espesor, con bases y techos planos. Internamente albergan una sucesión de conjuntos de láminas generalmente continuas e irregulares dispuestas horizontalmente (Fig. 10A) y ocasionalmente inclinadas formando laminación cruzada (Fig. 10B). La laminación está compuesta por una alternancia de niveles siliciclásticos de menos de 0,2 mm y niveles carbonatados micríticos o bioclásticos de hasta 3,5 mm.

Las láminas carbonatadas, de textura *mudstone*, presentan mayor espesor que las descritas anteriormente (hasta 1,6 mm) y presentan mayor continuidad. Dentro de estas láminas micríticas también se pueden apreciar láminas más finas de colores que varían desde marrón oscuro a más claro. Contienen granos de cuarzo y bioclastos dispersos en proporciones muy bajas, llegando a formar el 1% en algunas láminas.

El otro tipo de láminas carbonatadas presenta textura *wackestone* llegando a *packstone* en algunas zonas. Están compuestas principalmente por fragmentos de talos y oogonios de carófitos que muestran cierto aplastamiento y se disponen con los ejes mayores parcialmente paralelos a la laminación. Junto con los fragmentos de las carófitos, en menor proporción, se encuentran fragmentos de ostrácodos y fragmentos de conchas, posiblemente de bivalvos. Estos bioclastos se encuentran dispersos en una matriz micrítica en la que también hay granos de cuarzo de menos de 0,3 mm y morfología subangulosa.

Las láminas ricas en componentes siliciclásticos están compuestas de granos de cuarzo monocrystalino de morfología subangulosa de menos de 0,2 mm dispersos en una matriz micrítica. Ocasionalmente pueden mostrar fábrica granosostenida. En estas láminas los bioclastos son escasos. La mayoría de las láminas se encuentran dispuestas horizontalmente, con base y techo planos; en otros casos se trata de láminas compuestas que presentan techos y bases irregulares.

El contacto entre las láminas de diferente composición puede ser neto en relación con las láminas siliciclásticas y gradual en relación con las láminas carbonatadas que presentan mayor espesor. Ocasionalmente, la laminación aparece afectada o distorsionada por estructuras de bioturbación, deformación sinsedimentaria y pequeñas fracturas irregulares.

Interpretación: estas calizas presentan características típicas de ambientes lacustres con condiciones de energía variable (Alonso-Zarza y Wright, 2010; Gierlowski-Kordesch, 2010). El limo calcítico se depositaría en un ambiente de baja energía afectado por ocasionales corrientes de turbidez (p. ej. generadas por tormentas) que remueven y transportan bioclastos de zonas más someras o marginales. Alternándose con esas corrientes llegarían corrientes ricas en material siliciclástico de áreas fluviales, generándose así la disposición de láminas de diferente composición (Sturm y Matter, 1978; Arenas y Pardo, 1999). Algunas de las láminas se encuentran deformadas generando un bandedo posiblemente desarrollado durante la sedimentación por la carga de los sedimentos suprayacentes. En los intervalos de menor energía, los organismos bentónicos generarían las trazas verticales que se pueden apreciar en las imágenes (Scott y Smith, 2015).

- Calizas con láminas *mudstone* y *wackestone*-*packstone* y *mudstone* de bioclastos e intraclastos: Clbi

Estas calizas afloran en niveles tabulares de potencias de entre 10 y 17 cm en el sector sureste de la plana. La diferencia con las calizas descritas anteriormente se encuentra en la composición de las láminas que constituyen estas calizas, que en este caso están formadas por niveles ricos en bioclastos e intraclastos y niveles micríticos (Fig. 10C).

Las láminas ricas en bioclastos e intraclastos presentan una textura *wackestone*-*packstone* y se disponen en láminas de hasta 6,7 mm de potencia. La base de estos niveles es generalmente erosiva y el techo irregular. En cuanto al contenido fósil, abundan los fragmentos de conchas de gasterópodos y posiblemente de bivalvos y los fragmentos de ostrácodos y carófitos de varios tamaños, cuyos ejes mayores se disponen paralelamente a la laminación. Los intraclastos están dispersos en la matriz y su morfología generalmente es subangulosa, con un tamaño que varía entre 3,4 y 0,17 mm. En general, el tamaño de los bioclastos e intraclastos decrece hacia techo de las láminas dibujando una gradación positiva (Fig. 10C). La matriz en la que se encuentran estos componentes es micrítica y se encuentra recristalizada a microesparita en varias zonas.

Las láminas que se intercalan con las anteriores son generalmente de textura *mudstone*, llegando a ser *wackestone* en algunos tramos y presentan de entre 0,7 a 2,3 mm. Son niveles con el mismo contenido fósil que las láminas anteriormente descritas; sin embargo, el tamaño de los bioclastos e intraclastos es comparativamente menor.

Dispersos en la matriz micrítica, también son frecuentes los granos de cuarzo subesféricos de menos de 0,1 mm.

Estas láminas de texturas y componentes diferentes no se disponen completamente horizontales. En general, el tamaño y el porcentaje de bioclastos decrece hacia techo de estratos de calizas presentando una secuencia granodecreciente. El tamaño de los intraclastos, en cambio, no presenta la misma tendencia, pero sí decrece hacia techo el porcentaje en el que se encuentran. Estos niveles de calizas no presentan bioturbación, pero sí se han identificado pequeñas fracturas que afectan a la laminación.

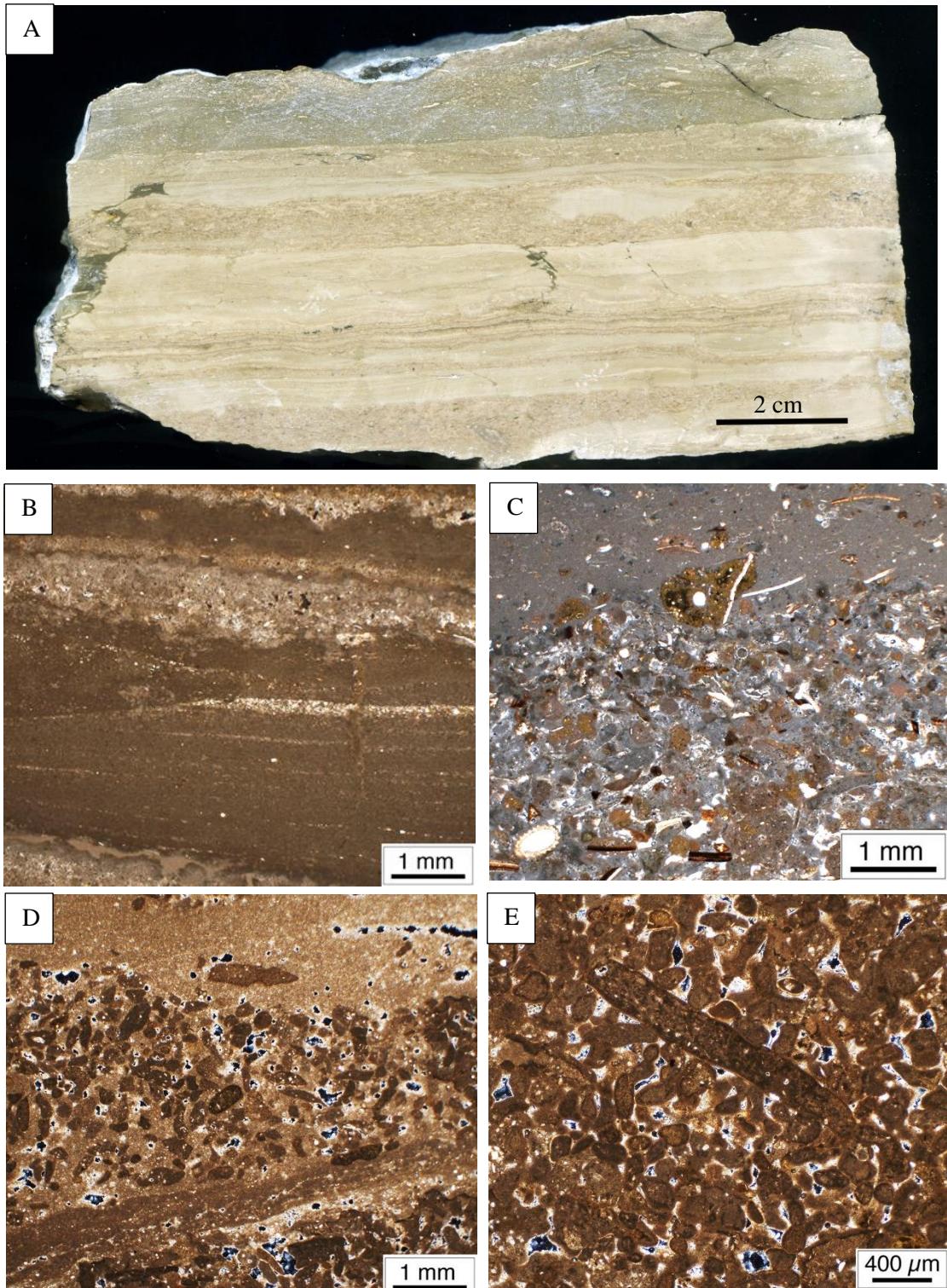


Figura 10. A) Imagen de sección pulida en la que se puede apreciar la laminación horizontal y la diferente composición que presentan las láminas (Clsc). B) Imagen de laminada delgada de la sección de la imagen 8A. En esta área de la lámina se puede apreciar el contacto neto entre las láminas carbonatas y siliciclásticas, la laminación cruzada y a la derecha una bioturbación. C) En esta imagen se puede apreciar el paso gradual entre las láminas y el decrecimiento general en el tamaño de los bioclastos e intraclastos en las láminas *wackestone-packestone* (Clbi). D) En esta imagen se puede apreciar el contacto entre las diferentes laminas y su disposición (Clio). E) Imagen de una zona de la imagen 8D en la que se puede apreciar textura *grainstone* y la diferente morfología que presentan los litoclastos.

Interpretación: por las características de las láminas que componen estas calizas podría interpretarse que los niveles micríticos se depositarían en zonas lacustres alejadas de la orilla, relativamente profundas, y de baja energía, a las que llegarían los componentes descritos anteriormente, a partir de corrientes tractivas y posiblemente corrientes de turbidez, debido a la disminución en el tamaño y porcentaje de los fragmentos de carbonato hacia el techo de las láminas, que indicarían un momento de mayor energía y posterior depósito de las partículas que viajan en suspensión (Sáez et al., 2007). La deformación que presentan algunos niveles sería sinsedimentaria relacionada con la carga depositada sobre el limo sin compactar, llegando a generar microfracturas en el sedimento.

- Calizas con láminas *mudstone* y *wackestone*-*packstone*, localmente *grainstone*, de intraclastos y ooides: Clio

Esta facies aflora en el sector noroeste, en niveles de entre 8 a 10 cm de potencia. Son calizas que presentan una alternancia de niveles de textura *wackestone*-*packstone* donde abundan los intraclastos y, en menor proporción los ooides, y niveles micríticos con textura *mudstone* (Fig. 10D y 10E). Todas estas láminas no se disponen completamente horizontales, sino que se encuentran ligeramente inclinadas.

Las láminas de textura *wackestone*-*packstone* y localmente *grainstone* (Fig. 10E) presentan hasta 3,4 mm de potencia. Abundan los intraclastos de dos tipos. Se han identificado intraclastos de morfología subangulosa-subesférica e intraclastos alargados con una longitud de hasta 2,1 mm orientados paralelamente con la laminación. Ambos tipos presentan la misma composición: micrita, en la que se encuentran dispersos pequeños fragmentos carbonatados y pequeños granos de cuarzo monocristalino de morfología subangulosa. Junto con los intraclastos se encuentran en menor abundancia ooides de 0,23 a 0,4 mm de potencia y raramente peloides. Los ooides constan de una fina envuelta. Los contactos entre los granos carbonatados son puntuales y cóncavo-convexos y la matriz en la que se disponen es micrítica recristalizada a microesparita en algunas zonas. En las zonas en las que no se encuentra matriz las cavidades entre los componentes carbonatados se encuentran parcialmente cementadas por microesparita.

Las láminas descritas se encuentran intercaladas con niveles de textura *mudstone* desde 0,6 a 0,83 mm de potencia. Entre estos niveles se pueden diferenciar, por un lado, láminas

mícríticas de color oscuro con extensa continuidad lateral, con techo y base plana. Por otro lado, se intercalan láminas micríticas de color marrón claro parcialmente recristalizadas a microesparita que presentan contactos graduales con las láminas ricas en intraclastos.

Interpretación: Al igual que en los casos anteriores, los niveles con textura *mudstone* se corresponden con el depósito en condiciones de baja energía, en zonas en las que no habitarían organismos, que se intercalarían con frecuentes episodios de más energía que producirían la formación de intraclastos y ooides, seguramente en áreas más marginales (Gierlowski-Kordesch, 2010).

1.3 Calizas con bioturbación

Las calizas marrones a ocres con bioturbación, con grietas de desecación, brechificación incipiente u otros rasgos pedogenéticos son abundantes tanto en el techo del último tramo del perfil de Corretroncos, como en el techo del tramo VI del perfil de Sancho Abarca. Afloran en potentes estratos tabulares, masivos, desde 20 a 80 cm de espesor y gran continuidad lateral. Aparte de estos niveles con bioturbación distintiva, en el resto de tramos de ambos sectores se puede apreciar numerosos niveles bioturbados más discretos.

- Calizas bioclásticas con bioturbación: Cbt

Estas calizas muestran abundantes marcas de raíces, nódulos de carbonato y brechificación incipiente. En lámina delgada se puede apreciar que muestran la misma textura y bioclastos que la facies *wackestone* de bioclastos (Cmb), pero con zonas con abundante bioturbación de raíces (Figs. 11A y 11D). Otra característica que diferencia estas facies es la presencia de nódulos de carbonato y brechificación incipiente que se puede apreciar tanto en afloramiento como en lámina delgada.

Interpretación: Estas calizas muestran características típicas de ambientes palustres, de condiciones muy someras a subaéreas, con colonización de plantas (Plaziat y Freytet, 1978). Por tanto, se trataría de depósitos formados en ambientes lacustres someros que, debido a la variación del nivel del agua, pasarían a situaciones más someras y serían colonizados por plantas. La acción de las raíces junto con otros organismos removería el sedimento consolidado, sin litificar y generaría nódulos y brechas (es decir, intraclastos). Además, las variaciones del nivel de agua ocasionarían agrietamiento, si bien no es el

rasgo característico. Las brechas significarían rotura de un sustrato más litificado (Alonso-Zarza y Wright, 2010).

- Calizas bioclásticas con bioturbación y grietas por desecación: Cbtg.

Esta facies ha sido diferenciada de la anterior debido a la abundante presencia de fracturas planares, circumgranulares (Fig. 11C), alveolares, incluso fracturas irregulares de varios cm, que dan lugar a zonas relativamente brechificadas a las que se puede atribuir el término “pseudomicrokarst” descrito por Plaziat y Freytet (1978) para determinar las calizas con este tipo de características. Las cavidades se encuentran parcialmente llenas por cemento polifásico de diversos tipos, como microesparita, calcita *drusy* y calcita *blocky*, junto con la recristalización de parte de la matriz a microesparita. Junto con las fracturas y la bioturbación también es frecuente encontrar zonas con mayor oxidación y silicificación siendo frecuentes los nódulos de sílex irregulares de diámetro generalmente centimétrico (Fig. 11B).

Interpretación: estas calizas indicarían la variación intermitente del nivel de agua en áreas palustres, en donde debido a la bajada del nivel del lago los depósitos quedarían en contacto con la atmósfera, secándose, agrietándose y oxidándose. Durante el subsiguiente ascenso del nivel, se formarían los diversos tipos de cemento, recristalización y otros procesos de precipitación, así como nuevas fracturas por la acción de las raíces (Alonso-Zarza y Wright, 2010).

2. Facies mixtas: Margas

Los depósitos de margas presentan colores desde grises a ocres y se encuentran intercalados con las facies de calizas anteriormente descritas, tanto en el sector norte como sur de la plana. Se disponen en niveles tabulares de 10 cm a 3,67 m de potencia y extensión lateral métrica-decamétrica.

2.1 Margas laminadas: MI.

Estas margas grises muestran laminación debida a intercalaciones de niveles milimétricos de diferente proporción de carbonato cálcico. Hay láminas micríticas de color oscuro y láminas con mayor proporción de granos detríticos de cuarzo. En cuanto a contenido fósil, son abundantes los fragmentos de carófitos y ostrácodos. Los fragmentos de conchas y

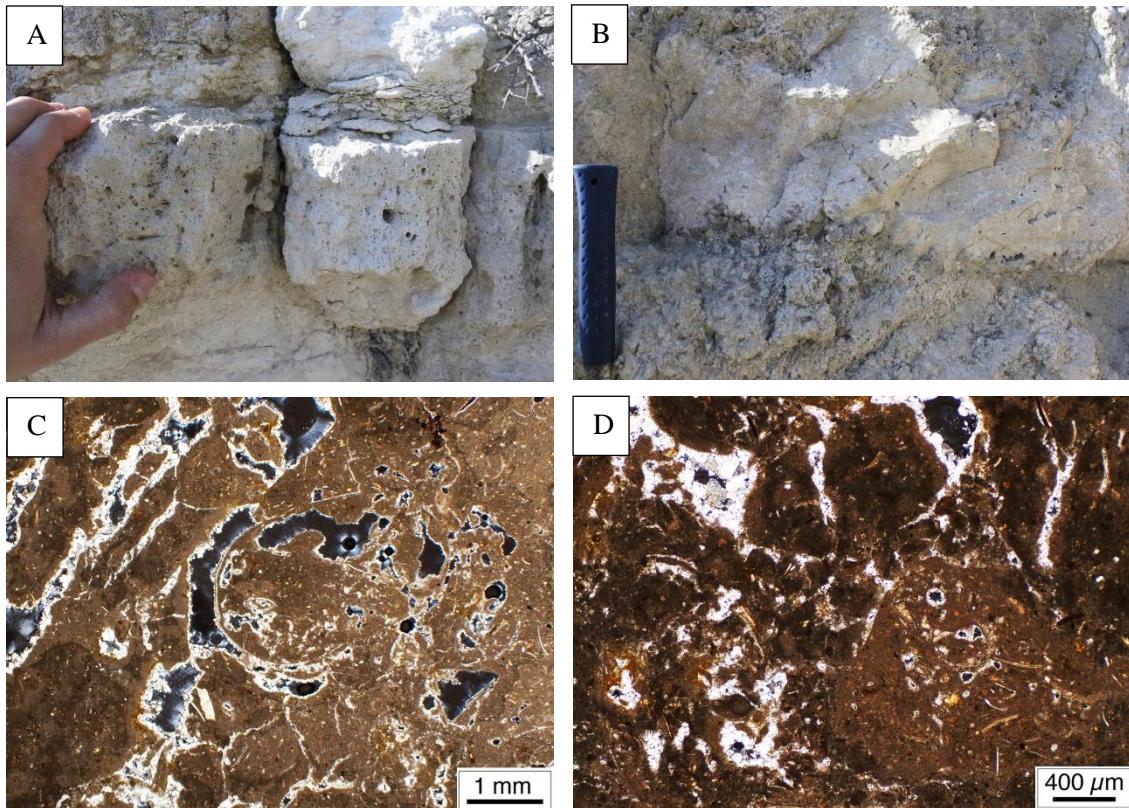


Figura 11. A) Imagen de campo la parte superior de un estrato de caliza masiva (Cmb) que se encuentra bioturbado (Cbt). B) Imagen de un nódulo de silex irregular (Cbtg). C) Lámina delgada donde se pueden apreciar las fracturas circungranulares e irregulares llenadas de cemento calcítico (Cbtg). D) Área fracturada a la que se le puede atribuir el término de “pseudomicrokasrt” Plaziat y Freytet (1978), (Cbtg).

los moldes de restos vegetales se encuentran en menor proporción. Varios niveles de margas presentan bioturbación por raíces llenas de lutita de color azulado a verdoso.

Interpretación: Estos niveles margosos se habrían generado en ambientes lacustres bajo una lámina de agua constante, a los que llegarían tanto componentes siliciclásticos finos como componentes bioclásticos (Arenas y Pardo, 1999). Es posible que en esas zonas pudiesen habitar carófitos y ostrácodos. La laminación indicaría la frecuencia de dichos aportes de sedimentos. Posteriormente y debido a la exposición de estos materiales a condiciones subáreas sufrirían ocasionalmente colonización de plantas generando esas bioturbaciones verticales que posteriormente se llenarían de material lutítico (Scott y Smith, 2015).

2.1. Margas masivas: Mm.

La composición de estas margas es parecida a las descritas anteriormente, pero éstas contienen menos bioclastos y no presentan laminación. En cambio, la bioturbación por

raíces es más abundante. Estas margas también presentan zonas irregulares y discontinuas con mayor oxidación.

Interpretación: Estos niveles margosos se habrían generado en ambientes palustres bajo una fina lámina de agua que se encontraría colonizada por plantas, seguramente a partir de la somerización de áreas más internas a las que llegarían aportes siliciclásticos finos.

3. Facies clásticas

3.1. Areniscas

Los depósitos de areniscas presentan colores variados entre marrón, ocre y rojizo y se encuentran en ambos sectores de la plana, siendo más abundantes en el tramo II de Corretroncos (Anexo 1). Se disponen en cuerpos tabulares de entre 15 cm y 1,3 y gran continuidad lateral y en cuerpos lenticulares o canaliformes de bases erosivas y techos irregulares de mayor espesor y poca continuidad lateral (Fig. 12A). Estas areniscas pueden ser masivas (sin estructuras) o mostrar laminación horizontal o cruzada o estratificación cruzada en surco, estructuras sedimentarias que se han empleado como criterio para clasificar estas facies.

- Areniscas masivas: Am

Estas areniscas se disponen generalmente en cuerpos tabulares de entre 15 y 40 cm de potencia. Las areniscas, tienen tamaños de grano entre 0,06 a 0,65 mm. La trama la componen granos carbonatados de morfología subesférica (30-60%) y granos de cuarzo monocrystalinos y policristalinos—de morfología subangulosa (25-40%). En menor proporción se identifican granos de plagioclasas y micas (moscovita) que no llegan a completar el 3%. Analizando la composición y los porcentajes que presentan se han clasificado como sublitoarenitas. Entre los componentes ya citados también se pueden apreciar microfósiles retrabajados de menos de 0,5 mm que podrían corresponderse con foraminíferos (Fig. 12B). La matriz micrítica comprende el 10% y se encuentra recristalizada a microesparita en gran medida. Generalmente estas areniscas son granosostenidas, con contactos entre los granos puntuales, cóncavo-convexos y saturados.

Interpretación: se han interpretado como depósitos de corrientes tractivas no confinadas que han depositado su carga de arena rápidamente, sin generar estructuras sedimentarias significativas (Vázquez-Urbez et al., 2013).

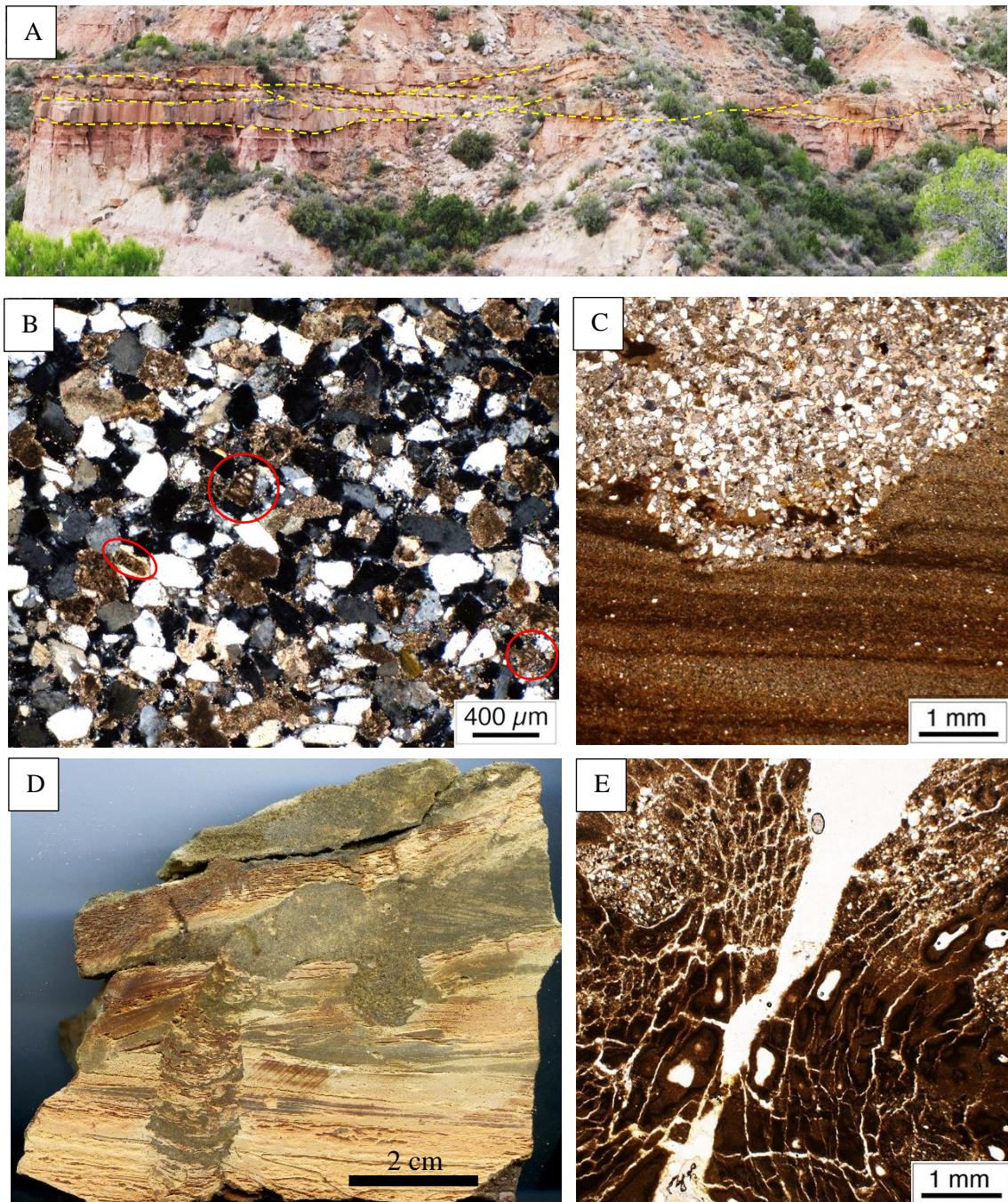


Figura 12. Imágenes de campo y de láminas delgadas. A) Afloramiento donde se puede apreciar la morfología canaliforme que presentan (Acs). B) Sublitoarenita en los círculos rojos se encuentran indicados los foraminíferos retrabajados (Am). C) Contacto erosivo entre las lutitas laminadas (Lm) y las areniscas masivas (Am). D) Sección pulida de una lutita laminada con bioturbación posiblemente de organismos (Lhbt). E) Trazas de raíces y remoción del sedimento (Lmbt).

-Areniscas con laminación horizontal y cruzada: Ahc

Estas areniscas se disponen en estratos tabulares de hasta 1,3 m de potencia y gran extensión lateral. El techo de los estratos es plano e irregular y la base generalmente

erosiva (Fig. 12C). Presentan laminación horizontal y cruzada. Ocasionalmente, pueden mostrar una tendencia granodecreciente hacia techo.

Están compuestas por una alternancia de niveles más lutíticos y con abundantes óxidos de hierro que presentan bandas de color rojizo y niveles siliciclásticos más gruesos de color más grisáceos, pero con un tamaño de grano menor que las areniscas masivas. Los niveles más rojizos, de hasta 0,4 mm, están compuestos por granos de cuarzo subesféricos, litoclastos carbonatados, moscovitas que presentan una orientación paralela a la laminación y óxidos de hierro. En estas láminas son frecuentes los fragmentos de valvas, posiblemente de gasterópodos o bivalvos, que se encuentran orientadas preferentemente con la laminación. Se han clasificado como sublitoarenitas.

Los niveles que se intercalan con los anteriormente descritos están formados por granos de cuarzo y carbonato en proporciones similares. Son niveles granosostenidos con contactos entre los granos tanto puntuales como cóncavo-convexos. La matriz que se puede apreciar en estos intervalos aparece en poca proporción y es siliciclástica.

Interpretación: Depósitos de flujos expansivos o no canalizados en ambientes fluviales, generalmente se producen en la terminación distal de canales o en relación con episodios de desbordamiento de flujos tractivos canalizados, que depositarían cuerpos tabulares de arena con laminación horizontal y ripples (Fisher et al., 2007).

- Areniscas con estratificación cruzada en surco: Acs

Se disponen en cuerpos lenticulares o canaliformes de techos irregulares y bases cóncavas erosivas, de hasta 2 m de potencia y escasos metros de extensión lateral. Estos cuerpos se disponen asociados con los cuerpos tabulares. Presentan estratificación cruzada en surco en sets lenticulares de espesor decimétrico. Localmente, se reconocen cuerpos sigmoidales inclinados que podrían corresponder a estratificación cruzada de barras de meandro. Muestran la misma composición que las areniscas con laminación horizontal y cruzada (Ahc), por lo que se han clasificado como sublitoarenitas.

Interpretación: Estas areniscas se corresponden con depósitos de flujos tractivos canalizados, en general de baja sinuosidad y alta energía, con desarrollo de barras o dunas arenosas, ocasionalmente asociadas a curvas de meandro (Vázquez-Urbez et al., 2013).

3.2. Lutitas

Las lutitas afloran en ambos sectores de la plana intercaladas con las areniscas y las calizas masivas. Los colores que presentan varían desde rojizo, anaranjado, ocre, rosáceo a gris. Se disponen en niveles tabulares que pueden llegar hasta los 8 m de potencia y muestran gran extensión lateral.

Las calcimetrias de tres muestras indican hasta un 35% de carbonato. Del 10 al 25% corresponde a calcita y el resto a otros carbonatos de más lenta reacción (extraclastos y/o fósiles).

- Lutitas con laminación horizontal y/o con bioturbación: Lh y Lhbt

Estas lutitas se encuentran en menor proporción y se disponen en estratos tabulares de hasta 5 m de potencia y varios decámetros de extensión lateral. Muestran laminación horizontal formada por niveles más arenosos o más lutíticos, que se pueden encontrar afectados por la bioturbación por raíces o por animales (Fig. 12D). A estas lutitas laminadas con bioturbación se les ha denominado “lutitas con laminación horizontal y/o con bioturbación” (Lhbt). Varios niveles de lutitas laminadas presentan convolución.

Interpretación: Corresponden al depósito de limo y arcilla de llanuras aluviales distales que reciben aportes arenosos durante las avenidas.

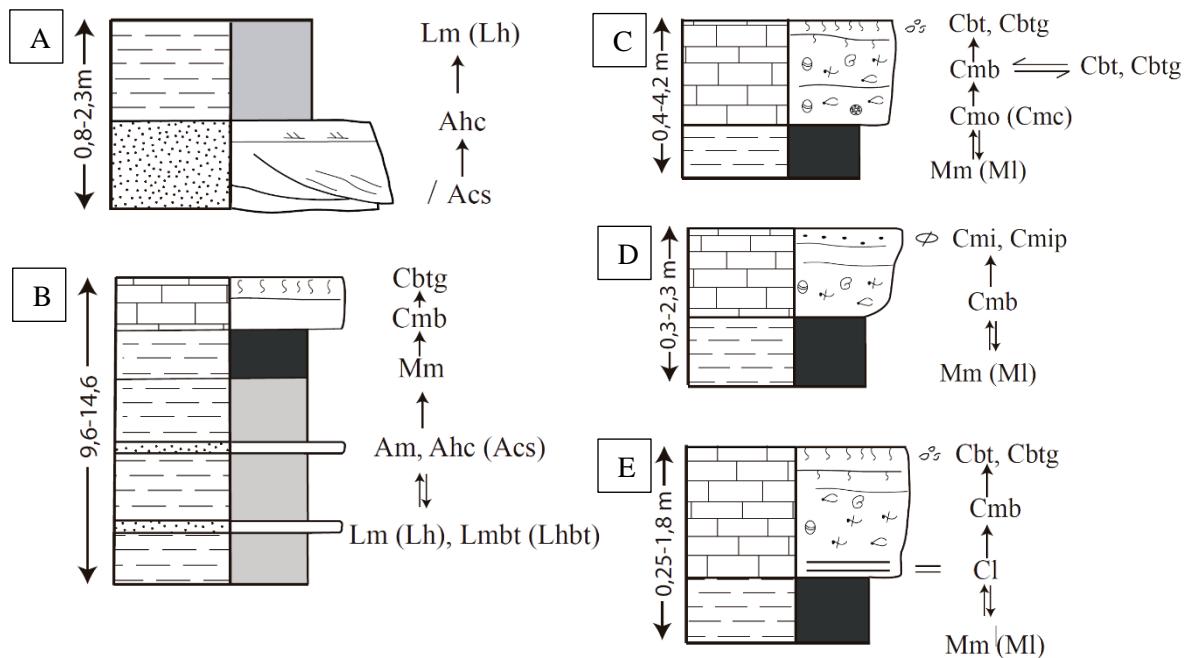
- Lutitas masivas y/o con bioturbación: Lm y Lmbt

Son las más abundantes en ambos sectores. Forman estratos tabulares de hasta 8 m de potencia y varios hectómetros de extensión lateral. Generalmente se encuentran bioturbadas (Lmbt) por raíces (Fig. 12E) que posteriormente han sido rellenadas por sedimento lutítico de colores verdosos o azulados, o más arenoso.

Interpretación: Estas lutitas se han interpretado como depósitos de baja energía de llanuras aluviales sometidas a episodios de exposición subaérea con ocasional colonización de plantas y oxidación (Scott y Smith, 2015).

2.3.2. Asociaciones verticales de facies

Una vez descritas e interpretadas las 17 facies, se han podido identificar 5 asociaciones verticales de facies principales (Fig. 13), que reflejan la evolución del nivel lacustre y procesos de relleno de canales y depósitos en la llanura aluvial distal. Presentan características típicas de tres ambientes diferentes: aluvial distal, palustre y lacustre. Las



/ Base erosiva ↑ Paso vertical ⇐ Paso lateral ↑ Alternancia () Facies ocasionales , Facies alternativas

Figura 13. Asociaciones verticales de facies. (leyenda de siglas de facies en apartado 2.3.1 y Anexo 4) Incisión y relleno de canal, con posterior abandono y depósito de lutitas. B) Llanura aluvial distal con posterior expansión lacustre y depósito de carbonato. C) Secuencia de somerización lacustre a palustre. D) Somerización de depósitos lacustres con entradas de corrientes de mayor energía. E) Áreas internas con depósito de margas a las que llegan corrientes de turbidez y posterior somerización.

asociaciones verticales A y B se corresponderían con un ambiente de sedimentación fluvial o aluvial distal con continua incisión, relleno y posterior abandono de canales y desarrollo de barras arenosas (A), rodeado de una amplia llanura de inundación donde se depositarían los depósitos lutíticos, en un ambiente de baja energía y condiciones subaéreas. En estas llanuras llegarían corrientes de baja energía en momentos de desbordamiento del canal o en la terminación de éstos (parte inferior de la asociación vertical de facies B). En las áreas deprimidas de la llanura de inundación podrían desarrollarse puntualmente algún lago somero efímero de pequeñas dimensiones (parte superior de la asociación vertical de facies B) que experimentaría una rápida desecación y colonización por plantas. Las tres últimas asociaciones de facies verticales C, D y E, se corresponden con un ambiente lacustre con desarrollo de orlas palustres, como el representado en el techo de la asociación vertical de facies B. Las facies lacustres están reflejadas al inicio de las tres asociaciones verticales; se corresponderían con las margas de las zonas relativamente más profundas y de baja energía, las calizas bioclásticas y las calizas laminadas que se generarían por la llegada de diferentes tipos de corrientes provenientes de áreas fluviales o corrientes generadas por tormentas que alcanzarían las

áreas relativamente más profundas del lago. Bordeando el lago habría una extensa franja cubierta de vegetación sometida a variaciones del nivel del agua (ambiente palustre), con la consiguiente desecación-inundación. Debido a la bajada del nivel del lago, esa franja quedaría expuesta subaéreamente, formándose nódulos, brechas y grietas, por lo que estas calizas sufrirían procesos pedogenéticos y desarrollarían características típicas de ambientes palustres (techo de las asociaciones B, C y E).

2.3.3. Propuesta de modelo sedimentario

A partir de las características sedimentológicas que presentan las facies y las asociaciones de facies verticales descritas en el apartado anterior se ha realizado una propuesta de modelo de sedimentación para la zona de estudio (Fig. 14). A pesar de la abundancia de carófitos y ostrácodos en los depósitos estudiados este trabajo no ha abarcado ningún estudio paleontológico, pero sí se ha revisado y comparado con los trabajos realizados en carófitos (González-Pardos, 2012) y ostrácodos (Martínez-García et al., 2014) en áreas adyacentes de la Plana, con el fin de buscar similitudes y obtener una mayor precisión de las condiciones físico-químicas que presentan cada uno de los ambientes de sedimentación.

Los carófitos son buenos indicadores de las condiciones ambientales de los paleolagos. El parámetro ecológico que más limita a los carófitos es la composición química del agua; las sales disueltas y el pH son los que determinan principalmente la distribución de las diferentes especies. Los carófitos se desarrollan en lagos alcalinos y oligotróficos ya que no toleran la eutrofización y desaparecen en presencia de elevadas concentraciones de fósforo y nitrógeno (Martín-Closas y Diéguez, 1998). Los géneros más abundantes en estas secciones de las Bardenas Reales son el género *Chara* y *Lychnothamnus*. En la actualidad, *Lychnothamnus barbatus* se encuentra en profundidades de entre 2 a 4 m en lagos de agua relativamente frescas y poca energía (Soulié-Märche, 2003), características que se podrían atribuir a las condiciones del lago del Mioceno en esta área.

Junto con los carófitos, el siguiente organismo más abundante en las secciones estudiadas son los ostrácodos. En la base de las secciones adyacentes, Pico del Fraile y Loma Negra (Fig. 2), la abundancia de *Paralimnocythere* sp. indica el desarrollo de zonas de aguas estancadas, someras, de ambientes aluviales distales, con agua cálida y dulce a oligohalina. La presencia de niveles de areniscas, en los cuales la especie más abundante

es *Cyclocypris laevis* indica la llegada de corrientes de mayor energía y agua más salina (Martínez-García et al., 2014). En el techo de ambos perfiles, en cambio, la abundancia de *Pseudocandona parallelia* indica el desarrollo de un medio lacustre estable con mayor columna de agua y corrientes de agua de temperatura más fría y salinidad de oligohalina a mesohalina.

La integración de los datos sedimentológicos y la distribución espacial de litofacies de este trabajo, junto con los datos paleoecológicos referidos, ha permitido la elaboración del modelo de la figura 14. En este modelo, el sistema fluvial-aluvial distal se corresponde con una amplia llanura de inundación intersectada por canales arenosos de baja sinuosidad, ocasionalmente con tramos curvos, con desarrollo de barras. En la llanura de inundación, ocasionalmente, se encuentran zonas encharcadas someras, seguramente de corta duración, de agua cálida y dulce a oligohalina, de características palustres. En la

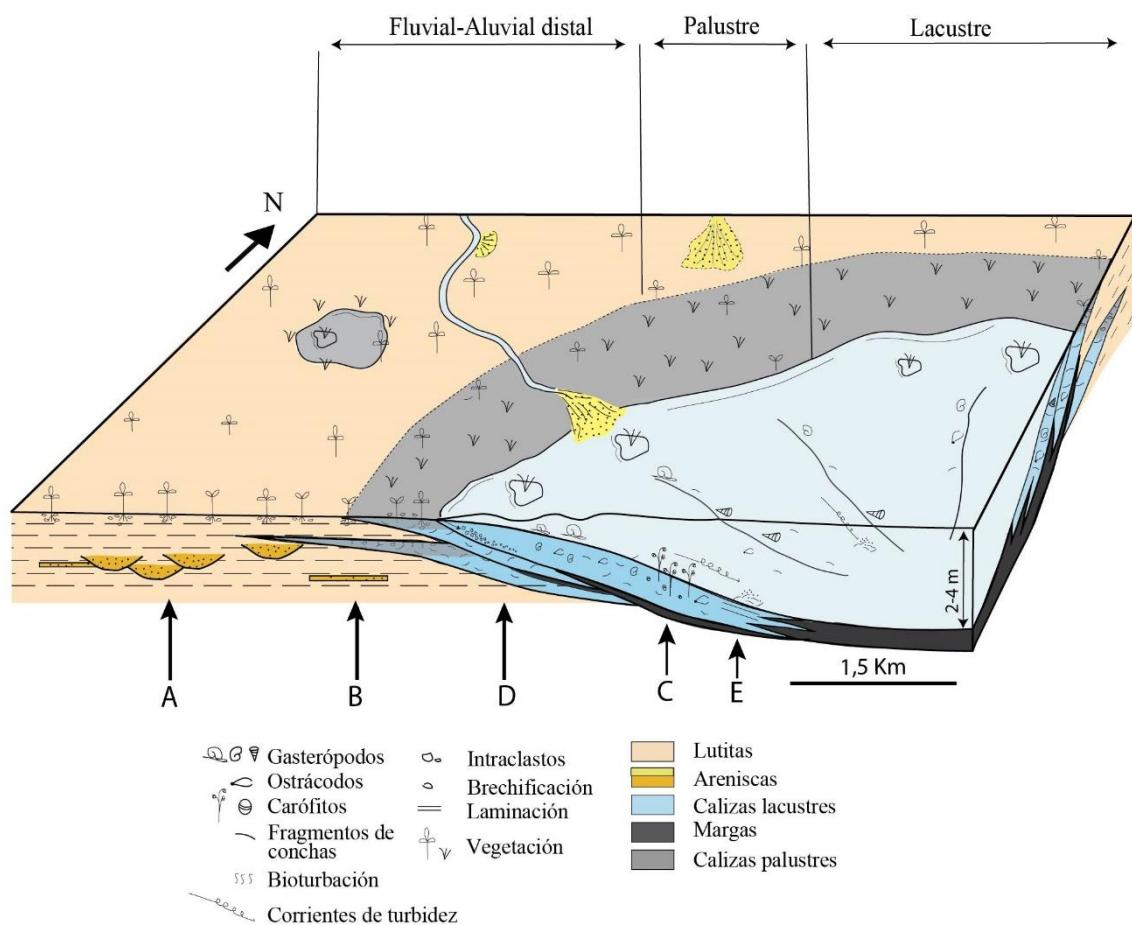


Figura 14. Modelo de sedimentación interpretado para los depósitos estudiados en el sector de la Plana Negra-Sancho Abarca. Asociaciones verticales de facies: A y B sedimentación fluvial o aluvial distal y lacustre somero en el techo del B; C, D y E ambiente lacustre-palustre.

parte sur o central se encontraría el sistema lacustre propiamente dicho, formado por un lago de baja pendiente, con profundidades de entre 2 a 4 m y agua relativamente fría, con sedimentación carbonatada en las zonas litorales y sublitorales; hacia el centro dominaría el depósito de margas. El lago estaría rodeado de una orla palustre con abundante vegetación y expuesta intermitentemente a condiciones subaéreas. Un modelo parecido ha sido propuesto para el Cretácico inferior de la Serranía de Cuenca (Gierlowski-Kordesch et al., 1991) y para los lagos de agua dulce del Mioceno inferior y medio del sector central de la Cuenca del Ebro (Arenas y Pardo, 1999).

3. DISCUSIÓN

En este capítulo se integran los datos obtenidos en este trabajo con los de estudios previos, de cara a evaluar la evolución de los sistemas sedimentarios y sus factores de control. La correlación de las secciones levantadas en este estudio con secciones de áreas circundantes analizadas en estudios previos ha permitido un encuadre estratigráfico bastante preciso y el establecimiento de su posición cronoestratigráfica. Las columnas de estudios previos corresponden a las de Pico del Fraile (Larrasoña et al., 2006), Loma Negra (Martínez-García et al., 2014) y Castillo de Sora (Pérez-Rivarés, 2016) (Fig.15). Estas secciones presentan grandes similitudes con las de este estudio en cuanto a sus facies y ordenamiento estratigráfico, a la vez que proporcionan datos de edad directos e indirectos de índole bioestratigráfico y magnetoestratigráfico. Además, una de las tres columnas presenta abundantes ostrácodos y carófitos, que son buenos indicadores de las



Figura 15. Posición de los perfiles correlacionados, panel de correlación de la figura 16. En Azul se encuentran indicados las columnas levantadas en este trabajo.

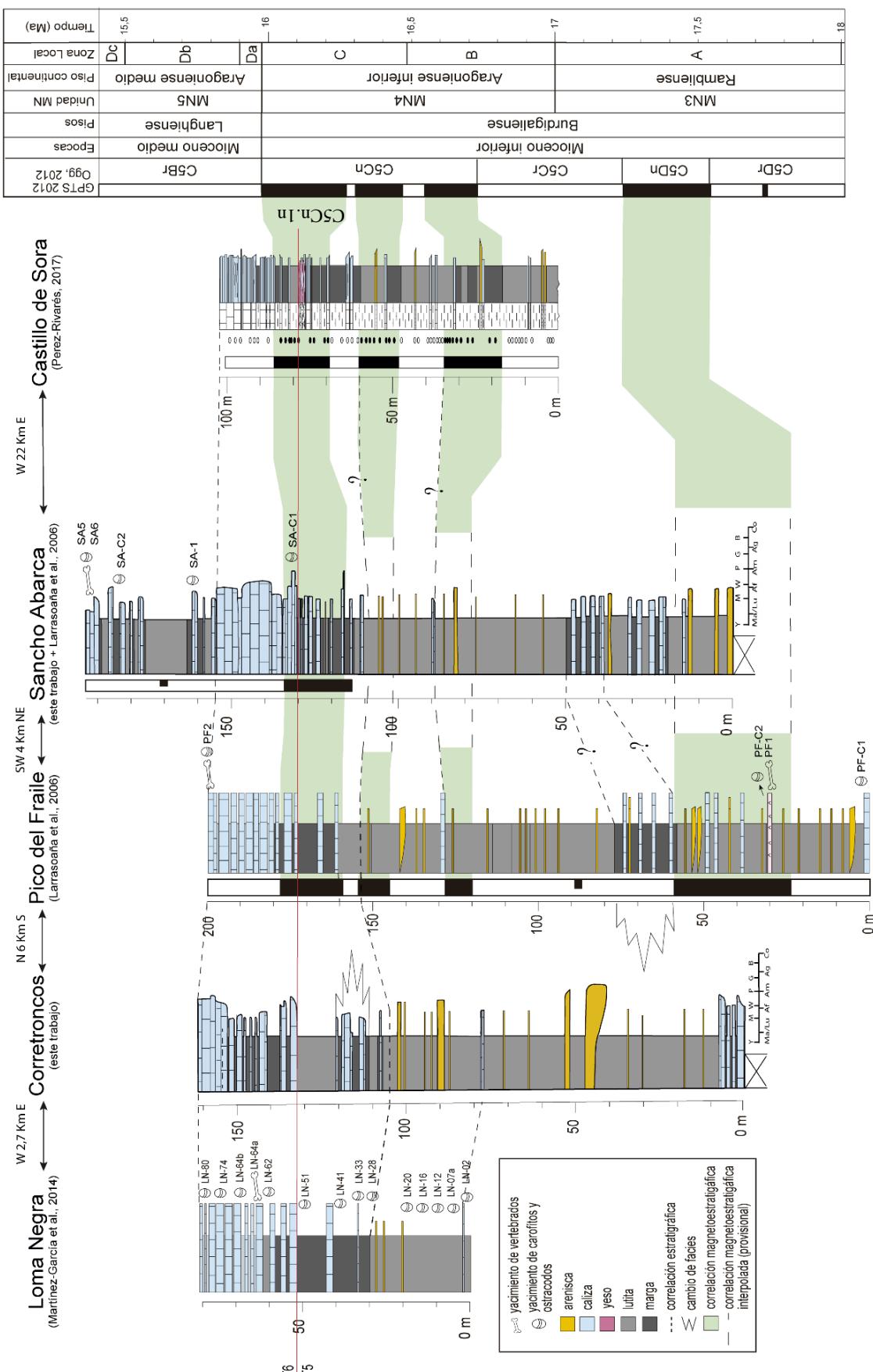
condiciones del ambiente sedimentario en el que habitaban. Con la ayuda de la correlación de estos tres perfiles y las características estratigráficas y sedimentológicas de los depósitos estudiados expuestas en los capítulos anteriores ha sido posible distinguir varios estadios evolutivos en el conjunto estratigráfico estudiado: dos dentro de la unidad tectosedimentaria T5 y otros dos dentro de la unidad T6 (Fig. 16). Se ha analizado la evolución vertical, los cambios laterales más significativos de acuerdo al nuevo panel de correlación y se ha realizado un esbozo de evolución paleogeográfica. Al final del apartado se discute la influencia de los factores alocíclicos -tectónica y clima- y cómo éstos han condicionado la distribución de las diferentes asociaciones de facies y la evolución sedimentaria en el área estudiada.

3.1. Correlación con áreas adyacentes y adición de edad absoluta

Para establecer una edad fiable a los depósitos Miocenos estudiados se ha realizado la correlación magnetoestratigráfica entre: 1) el perfil del Pico del Fraile, realizado por Larrasoña et al., (2006) al SW del área de estudio, aproximadamente a 3 km de distancia; 2) los 85 m superiores del Perfil de Sancho Abarca (Suárez-Hernando, 2017) y 3) el perfil de Castillo de Sora (Pérez-Rivarés, 2016), 22 km al este de la Plana (Fig. 16). La sucesión de magnetozonas propuesta por los autores de las secciones se establece de acuerdo a la GPTS2012 (Ogg, 2012), ya que es la que mejor se ajusta al periodo de tiempo considerado.

Como nivel guía para esta correlación (Fig. 16) se ha empleado el límite entre las unidades T5 y T6. Dicho límite, como se ha mencionado en el apartado 2.1.4 (Correlación de los perfiles de Corretroncos y Sancho Abarca), ha sido estudiado y datado por Pérez-Rivarés (2016); quien lo sitúa en cinco secciones de la cuenca del Ebro, entre las que se encuentra la sección de Pico del Fraile, donde el límite se estima en 16,062 Ma, y la de Castillo de Sora, en 16,099 Ma, dentro del cron C5Cn.1n (Burdigaliense, Mioceno inferior). Realizando la correlación litoestratigráfica y magnetoestratigráfica entre ambos perfiles se ha podido determinar que los depósitos de la Plana de Sancho Abarca-La Plana Negra son de edad Burdigaliense (Mioceno inferior)-Langhiense (Mioceno medio).

En los yacimientos de micromamíferos de las áreas colindantes (LN-64a, PF2, SA5 y SA6) ha sido citada la especie *Vasseuromys cristinae* (Ruiz-Sánchez et al., 2013; Suárez-Hernando, 2017), que ha sido atribuida al Aragoniense medio, zona local D, *European*



land Mammal unit MN5 (Daams y Freudenthal, 1988; Van der Meulen et al., 2012). En

la base del perfil de Pico del Fraile se encuentra el yacimiento PF1, que Larrasoña et al. (2006) y Ruiz-Sánchez et al. (2013) sitúan en la zona local A. Este yacimiento tiene una asociación formada por *Simplomys simplicidens*, *Vasseuromys ramblensis*, Eomyidae indet., Ochotonidae indet. y Soricidae indet. Según Suárez-Hernando (2017) la ausencia de cricétidos y abundancia de glíridos justifican la atribución de PF1 a la biozona A del Ramblense, correlacionable con MN3.

A partir de la magnetoestratigrafía y la bioestratigrafía disponible se puede decir que las secciones de Corretroncos y Sancho Abarca se habrían depositado durante el Ramblense superior (MN3) y el Aragoniense temprano-medio, tránsito entre las unidades MN4 y MN5 (límite entre el Mioceno inferior y el Mioceno medio) (Fig. 16).

3.2. Evolución paleogeográfica

En la figura 14, junto con la correlación magnetoestratigráfica, se encuentra la correlación estratigráfica de las 5 columnas (Fig. 17). Las columnas de Loma Negra, Corretroncos, Pico del Fraile y Sancho Abarca se disponen a escasos kilómetros de distancia, las dos primeras al norte y las dos últimas más al sur, pero todas ellas dentro de las Las Bardenas Reales de Navarra. La sección de Castillo de Sora, en cambio, se encuentra a 22 km al este, en las proximidades de los Montes de Castejón.

La unidad T5 consta de varias macrosecuencias granodecrescentes, y la evolución de conjunto parece también del mismo signo, si bien no se ha alcanzado la base de la unidad en este estudio. La parte de la unidad T6 registrada en Sancho Abarca refleja una evolución granocresciente. La unidad T5 presenta mayor proporción de depósitos aluviales en la parte norte. En el sector de Montes de Castejón (Castillo de Sora), la unidad T5 culmina con depósitos de llanura de barros salino, mientras hacia el norte dominan los depósitos aluviales distales con bioturbación. Hacia el oeste, en la zona de los perfiles de Sancho Abarca y Pico del Fraile, la sedimentación lacustre somera domina hacia el final de la unidad T5. En cambio, la unidad T6 se caracteriza por la expansión de condiciones lacustres y palustres.

En la correlación estratigráfica propuesta para estos 5 perfiles se pueden diferenciar 4 estadios evolutivos: dos dentro de la unidad tectosedimentaria T5 (T5/1 y T5/2) y dos dentro de la unidad T6 (T6/1 y T6/2). A partir de dicha correlación se ha realizado un

esquema de la evolución de los ambientes de sedimentación para cada uno de los estadios (Fig. 17):

Estadio T5/1 (Fig. 17A): este estadio abarca la parte inferior-media de todos los perfiles; abundan los depósitos lutíticos de llanuras de inundación y canales efímeros de poca sinuosidad. Todos ellos se corresponden con un sistema fluvial con una amplia llanura de inundación, como se ha interpretado en el apartado de sedimentología. Ocasionalmente, entre estos depósitos lutíticos se intercalan tramos de alternancias de margas y calizas, correspondientes con áreas encharcadas de reducidas dimensiones, relativamente someras y rodeadas de una orla palustre con abundante vegetación.

Los depósitos detríticos presentan mayor espesor en los perfiles del norte y menor hacia el sureste. Las paleocorrientes medidas en la sección de Corretroncos (ver representación gráfica de dicho perfil en el anexo 1) indican que las corrientes provenían del norte-noroeste, y derivaban hacia el sureste. Los depósitos aluviales con aportes del noreste se relacionan con las áreas distales de los abanicos aluviales del sistema fluvial de Luna (Pérez-Rivarés et al., 2018), procedente del margen pirenaico. Los aportes del noroeste, en cambio, podrían estar relacionados con un sistema fluvial axial que recibía aportes tanto del margen pirenaico como del margen ibérico, y que se reconoce en el sector riojano de la cuenca (Muñoz et al., 2002). Sin embargo, por la paleogeografía de ese momento (i.e., gran extensión del cuerpo lacustre) es poco probable que el sistema axial alcanzara el área estudiada, por lo que los depósitos con paleocorrientes del noroeste provendrían de desbordamientos de canales de procedencia norte.

Estadio T5/2 (Fig. 17B): este segundo estadio abarca la parte superior de la unidad tectosedimentaria T5 en el área de estudio. Los depósitos detríticos del sistema fluvial-aluvial distal (estadio T5/1) gradan verticalmente a depósitos margosos con intercalaciones de calizas, por lo que se podría interpretar una retrogradación de los abanicos aluviales del margen pirenaico. Como se puede apreciar en la figura 15B, los sistemas lacustres-palustres se expanden en el área de la plana. Al sureste, en el área del perfil de Castillo de Sora la sedimentación carbonatada es sustituida por sedimentación evaporítica en el último momento de este estadio. Este cambio en la sedimentación obedecería según Arenas y Pardo (1999) a un control climático que se abordará en el apartado siguiente. La relación entre el área lacustre de la Plana y el área de Castillo de

Sora se ha indicado con una interrogación en el esquema ya que no hay datos suficientes para indicar que se correspondiera con una única masa de agua.

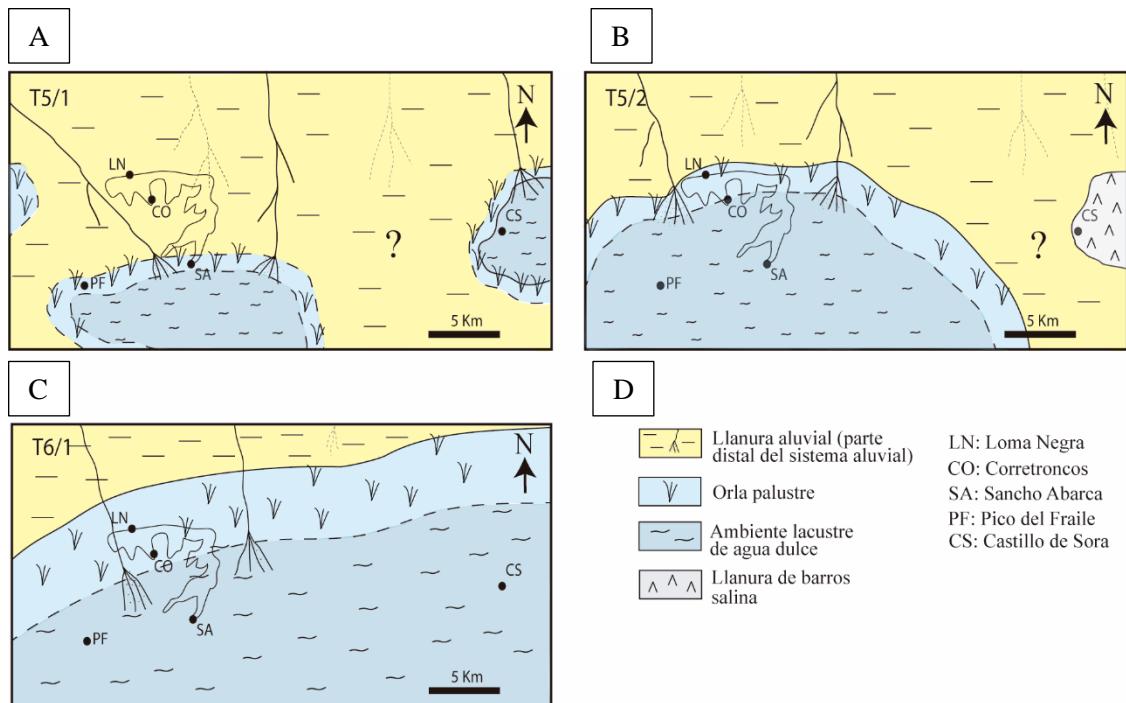


Figura 17. Evolución de los ambientes de sedimentación en los tres estadios. A) Estadio T5/1 (Burdigaliano superior-medio). B) Estadio T5/2 (Burdigaliano superior). C) Estadio T6/1 (Burdigaliano terminal-Langiniense). D) Leyenda.

Estadio T6/1 (Fig. 17C): este estadio se corresponde con la parte superior de las columnas de Loma Negra, Corretroncos, Pico del Fraile y Castillo de Sora y la parte inferior de la unidad T6 del perfil de Sancho Abarca; en todos ellos abundan los depósitos de calizas. En este estadio el sistema lacustre central pasa a ser esencialmente carbonatado y muestra su máxima expansión, encontrándose rodeado por una orla palustre de anchura kilométrica. Las calizas de los perfiles del norte, Loma Negra y Corretroncos, muestran mayor bioturbación y nodulización que las que se disponen al sur, Pico del Fraile y Sancho Abarca, pero todas ellas muestran una tendencia similar hacia condiciones progresivamente más someras. Es decir, al inicio de este estadio el lago mostraría su máximo nivel en extensión y profundidad relativa, y hacia la parte media del estadio descendería el nivel en el área de estudio, aumentando las dimensiones de la orla palustre, debido al desplazamiento de la zona central del lago hacia el margen sur de la cuenca. Este hecho ya ha sido constatado previamente por Arenas y Pardo (1999) en los estudios

desarrollados en los depósitos equivalentes situados al sureste del área de estudio de este trabajo.

T6/2: La sedimentación de la parte superior del estadio T6 se encuentra únicamente en la Plana de Sancho Abarca, donde abundan los depósitos lutíticos con intercalaciones de niveles de margas y calizas. Reflejan una nueva progradación del sistema fluvial-aluvial con intercalaciones de zonas encharcadas someras de pequeñas dimensiones. En los depósitos de este último estadio no se han podido medir direcciones de paleocorrientes, pero según Arenas y Pardo (1999), en el registro al sureste, estarían relacionados con los abanicos aluviales del margen pirenaico.

3.3. Factores alocíclicos

En el caso estudiado, los dos factores que controlan principalmente la distribución de los depósitos y su evolución temporal en la Plana Negra-Sancho Abarca son la tectónica y el clima.

3.3.1. Tectónica

A grandes rasgos el desarrollo y la evolución de la Cuenca del Ebro durante el Mioceno estuvo controlada principalmente por la actividad tectónica compresiva en los límites de los márgenes pirenaico e ibérico, que condicionaron la topografía y la extensión de las áreas fuente, la variación en las tasas de subsidencia y el aporte sedimentario a las zonas centrales de la cuenca hasta el Mioceno superior, momento en que se superpone la actividad extensional en la parte sureste (Muñoz et al., 2002). Sin embargo, el desarrollo de los sistemas lacustres muestra diferencias ambientales significativas en el Mioceno que están relacionadas con las variaciones climáticas que han sido registradas por secuencias de diferentes escalas temporales (Arenas y Pardo, 1999)

Desde el punto de vista tectónico, la sedimentación de las unidades T5 y T6 en el área de estudio se encuadra en el contexto del manto Garvarnie (Fig. 2), en particular se relaciona con las últimas fases de movimiento de la lámina cabalgante del Guarga (Millán et al., 1995; Arenas et al., 2001); sin embargo, no se conocen equivalentes proximales de la unidad T6 en el margen pirenaico. En este contexto, durante el límite Chattiene superior (Oligoceno superior) y Ramblense inferior (Mioceno inferior), en torno al límite de las unidades tectosedimentarias T4-T5, debido al levantamiento progresivo del margen pirenaico los abanicos aluviales progradaron hacia el centro de la cuenca, instalándose así

sistemas fluviales distributarios, uno de los cuales es el sistema fluvial de Luna (Arenas et al., 2001). En este contexto se sitúan los depósitos detríticos y carbonatados del estadio T5/1 del área de estudio. El estadio T5/2 se desarrolla en un intervalo de tiempo de menor actividad tectónica y consecuente retrogradación de los sistemas aluviales, expandiéndose así los sistemas lacustres someros, esencialmente carbonatados en el área de estudio, que lateralmente pasan a depósitos evaporíticos como los del Castillo de Sora.

La unidad T6 (estadio T6/1) se inicia con una expansión del sistema lacustre en un marco en que los márgenes de la Cuenca del Ebro presentan prácticamente la posición actual. Dicho sistema carbonatado se extiende hacia el S como consecuencia del posible levantamiento del área pirenaica, y por otra parte por el comportamiento pasivo del margen ibérico a partir del Burdigaliense superior-Langhiense (Pérez, 1989).

Los depósitos del estadio T6/2, que afloran únicamente en la Plana de Sancho Abarca, suponen una progradación de sistemas aluviales, derivando en la superposición de depósitos detríticos sobre los depósitos carbonatados del estadio anterior.

3.3.2. Clima

El clima también ha sido gran condicionante de la evolución de los ambientes sedimentarios de la Cuenca del Ebro, si bien su discriminación no es fácil en ocasiones. Como se ha descrito, *grosso modo* las series estudiadas comienzan con depósitos de ambientes subaéreos y progresivamente vangradando a depósitos generados bajo una columna de agua, por lo que se interpreta una evolución hacia condiciones más húmedas. Esta interpretación se ha reforzado con los estudios de carófitos (González-Pardos, 2012), ostrácodos (Martínez-García et al., 2014) y micromamíferos (Murelaga, 2000; Murelaga et al., 2002; Larrasoña et al., 2006; Ruiz-Sánchez et al., 2013) realizados en las secciones de Pico del Fraile y Loma Negra (Fig. 16). Además, es coherente con la evolución deducida en otras áreas de la cuenca a partir de las características sedimentológicas y de los estudios de isótopos estables realizados por Arenas y Pardo (1999) y Vázquez-Urbez et al. (2013) a nivel de cuenca.

Las condiciones climáticas inferidas a partir de la información suministrada por los estudios de micromamíferos, carófitos y ostrácodos en el área de las Bardenas Reales de Navarra permiten diferenciar a gran escala las fluctuaciones en la humedad y la temperatura del Mioceno inferior-medio. Los depósitos estudiados se encuentran en el

contexto del Óptimo Climático del Mioceno medio (OCMM²); en el área de las Bardenas Reales la tendencia al calentamiento se registró por roedores en torno a los 19 Ma (Suárez-Hernando, 2017), pero la tendencia al cambio comenzaría a notarse en los 17,4 Ma, antes del límite entre el Burdigalense superior e inferior, coincidiendo con el yacimiento PF1 situado en la base de la columna de Pico del Fraile. A partir de este intervalo las faunas identificadas en estas secciones indican condiciones cálidas. En lo que respecta a la humedad, a partir de los 17,7 Ma las faunas identificadas indican un aumento significativo de la humedad (Suárez-Hernando, 2017).

En el estudio de ostrácodos realizado por Martínez-García et al. (2014) en las secciones de Loma Negra y Sancho Abarca identificaron abundantes especímenes de *Pseudocandona parallelia* en el techo de dichos perfiles (depósitos del estadio T6/1), indicadores de un medio lacustre estable con mayor columna de agua y corrientes de agua de temperaturas más frías. Estas condiciones se registran entre 15,5 y 16,5 Ma, coincidiendo con el máximo desarrollo de calizas en la Fm. Tudela (Larrasoña et al., 2006), que se correlaciona con la unidad T6, y es la máxima expansión lacustre identificada en la Cuenca del Ebro (Arenas y Pardo, 1999). Estos cambios en la temperatura del agua y la presencia del glírido *Vasseuromys* en estos depósitos, indican climas con una estacionalidad muy marcada (Suárez-Hernando, 2017), característica del OCMM, así como el aumento de ecosistemas húmedos (Diester-Haass et al., 2009).

4. CONCLUSIONES

Este trabajo de fin de master presenta los resultados obtenidos de los estudios estratigráficos y sedimentológicos realizados en las sucesiones lacustres y aluviales del Mioceno inferior y medio de La Plana Negra y La Plana de Sancho Abarca, en el sector central-occidental de la Cuenca del Ebro. Con los datos obtenidos en este estudio y los recopilados de estudios previos de esta zona se han obtenido las siguientes conclusiones:

² El *Middle Miocene Climatic Optimum* es el más reciente y largo episodio de calentamiento global, datado entre 17 y 14,5 Ma en el registro marino (Zachos et al., 2001). Se caracteriza por un brusco incremento de temperatura y humedad, que preceden al enfriamiento progresivo del Neógeno (Böhme, 2003).

1. Mediante cartografía en campo y gabinete, se han diferenciado 5 litofacies (unidades cartográficas, miembros informales en la Fm Tudela). Las cuatro primeras localizadas en todo el sector estudiado, y la quinta solo en la Plana de Sancho Abarca.
2. Se han levantado dos perfiles estratigráficos, uno en la Plana Negra (sector norte) y otro en la Plana de Sancho Abarca (sector sur), de 160 y 191 m de espesor respectivamente. Para su correlación se ha usado como datum principal el límite entre las unidades tectosedimentarias T5 y T6, que para el área de estudio se corresponde con el paso de depósitos detríticos a predominio de calizas. El límite T5/T6 se encuentra en la base de la litofacies 4. En la T5 se diferencian varias macrosecuencias granodecrescentes (areniscas y lutitas con intercalaciones de calizas), y la T6 está dominada por calizas, con margas y lutitas subordinadas.
3. El estudio sedimentológico ha permitido describir e interpretar un total de 17 facies sedimentarias clasificadas en tres grandes grupos: facies carbonatadas, facies mixtas y facies detríticas, subdivididos según las características sedimentarias. Se asocian en 5 asociaciones verticales de facies que representan tres ambientes sedimentarios: fluvial-aluvial distal, lacustre y palustre.
4. Los estudios previos sobre ostrácodos y carófitos realizados en áreas adyacentes de los perfiles estudiados han ayudado a conocer con mayor precisión las condiciones físico-químicas de sedimentación. El modelo de sedimentación propuesto comprende una llanura aluvial amplia intersectada por canales poco sinuosos con desarrollo de barras, localmente con tramos curvos, de procedencia norte, con ocasionales zonas encharcadas someras, de agua cálida y dulce a oligohalina, de ambiente palustre. En la parte central-sur se encontraría el sistema lacustre que, según la biota, presentaría profundidades de entre 2 a 4 m y agua relativamente fría; estaría rodeado de una orla palustre con abundante vegetación y expuesta intermitentemente a condiciones subaéreas.
5. Los dos perfiles estudiados en este trabajo se han correlacionado con tres perfiles de áreas cercanas, empleando como nivel guía el límite entre las unidades T5 y T6. Dos de esos perfiles presentan un estudio magnetoestratigráfico, gracias al cual se ha podido establecer que los depósitos de la Plana Negra-Sancho Abarca tienen edad Burdigaliense (Mioceno inferior) Langhíense (Mioceno medio).

6. La evolución vertical y los cambios laterales que presentan las asociaciones de facies llevan a distinguir cuatro estadios evolutivos. El primer estadio (T5/1) está representado por una amplia llanura aluvial con abundantes canales y áreas lacustres-palustres restringidas. El segundo estadio (T5/2) muestra una transición gradual entre el sistema fluvio-aluvial distal y lacustre-palustre. El tercer estadio (T6/1) representa la retrogradación del sistema fluvial y la máxima expansión del sistema lacustre, evolucionando hacia techo del estadio a ambientes más palustres. Del último estadio (T6/2) se dispone de pocos afloramientos. Refleja una nueva progradación de los sistemas fluviales septentrionales.

7. La progradación o retrogradación de los sistemas fluviales en el área de estudio se relacionan con la actividad tectónica del Pirineo (manto Garvarnie, últimas fases de movimiento de la lámina cabalgante del Guarga).

8. En cuanto al clima, la expansión lacustre que representa el paso de T5 a T6 se asocia a un aumento relativo de humedad; el intervalo de tiempo estudiado se encuentra dentro del OCMM (Óptimo Climático del Mioceno medio).

5. BIBLIOGRAFÍA

Alonso-Zarza, A.M. y Wright, V.P. (2010): Palustrine carbonates. En: Carbonates in continental settings (A.M. Alonso-Zarza y L.H. Tanner, eds.). Elsevier, Amsterdam, Developments in Sedimentology 61, 103-131.

Arenas, C. y Pardo, G. (1999): Latest Oligocene-Late Miocene lacustrine system of the north-central part of the Ebro Basin (Spain): sedimentary facies model and palaeogeographic synthesis. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 151: 127-148.

Arenas, C., Millán, H., Pardo, G. y Pocoví, A. (2001): Ebro Basin continental sedimentation associated with late compressional Pyrenean tectonics (north-eastern Iberia): controls on basin margin fans and fluvial systems. *Basin Research*, 13: 65-89.

Böhme, M. (2003): De Miocene Climatic Optimun evidence from ectothermic vertebrates of Central Europe. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 195: 389-401.

Castiella, J. (1977): Mapa geológico de España 1:50.000, hoja nº 320 (Tarazona de Aragón) y memoria. IGME, Madrid. 23 p.

Daams, R. y Freudenthal, M. (1988): Cricetidae (Rodentia) from the type Aragonian; the genus *Megacricetodon*. En: Biostratigraphy and paleoecology of the Neogene micromammalian faunas from the Calatayud-Teruel Basin (Spain). Scripta Geologica, special issue 1: 39-132.

Diester-Haass, L., Billups, K., Gröcke, D.R., François, L., Lefebvre, V. y Emeis, K. C. (2009): Mid-Miocene paleoproductivity in the Atlantic Ocean and implications for the global carbon cycle. Paleoceanography, 24: PA1209, 1- 19.

Fisher, J.A., Nichols, G.J. y Waltham, D.A. (2007): Unconfined flow deposits in distal sectors of fluvial distributary systems: Examples from the Miocene Luna and Huesca Systems, northern Spain. Sedimentary Geology, 195: 55-73.

García-Castellanos, D., Vergés, J., Gaspar-Escribano, J. y Cloetingh, S. (2003): Interplay between tectonics, climate and fluvial transport during the Cenozoic evolution of the Ebro Basin (NE Iberia). Journal of Geophysical Research, 108, 2347, doi: 10.1029/2002JB002073. B7.

Gierlowski-Kordesch, E. H. (2010): Lacustrine carbonates. En: Carbonates in continental settings (A.M. Alonso-Zarza y L.H. Tanner, eds.). Elsevier, Amsterdam, Developments in Sedimentology 61: 1-101.

Gierlowski-Kordesch, E., Gómez Fernández, J.C. y Meléndez, N. (1991): Carbonate and coal deposition in an alluvial-lacustrine setting: Lower Cretaceous (Weald) in the Iberian Range (east-central Spain). En: Lacustrine Facies Analysis (P. Anadón, L. Cabrera y K. Kelts, eds.). Blackwell, Oxford, Special Publication 13, 109-125.

González-Pardos, M. (2012): Carófitos del Mioceno Inferior de la Formación Tudela. Trabajo Fin de Máster, Univ. de Valencia, 67 p.

Hirst, J.P.P. y Nichols, G.J. (1986): Thrust tectonic controls on the Miocene distribution patterns, Southern Pyrenees. En: Foreland Basins (Ph. Allen y P. Homewood, eds.). Blackwell, Oxford, Special Publication 8, 247-258.

Larrasoña, J. C., Murelaga, X. y Garcés, M. (2006): Magnetobiochronology of Lower Miocene (Ramblian) continental sediments from the Tudela Formation (western Ebro basin, Spain). *Earth and Planetary Science Letters*, 243: 409-423.

Margalef, R. (1983): Limnología. Omega, Barcelona, 1010 p.

Martín-Closas, C. y Diéguez, C. (1998): Charophytes from the Lower Cretaceous of the Iberian Ranges (Spain). *Palaeontology*, 41(6): 1133-1152.

Martínez-García, B., Suárez-Hernando, O., Suárez-Bilbao, A., Pascual, A., Ordiales, A., Larrasoña, J. C., Murelaga, X. y Ruiz-Sánchez, F. J. (2014): Asociación de ostrácodos del Mioceno temprano-medio de Loma Negra (Bardenas Reales de Navarra, Cuenca del Ebro): evolución paleoambiental de un medio lacustre. *Ameghiniana*, 51 (5): 405-419.

Millán, H., Pocoví, A. y Casas, A. (1995): El frente de cabalgamiento surpirenaico en el extremo occidental de las Sierras Exteriores: sistemas imbricados y pliegues de despegue. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 8: 73-90.

Muñoz, A., Arenas, C., González, A., Luzón, A., Pardo, G., Pérez, A. y Villena, J. (2002): Ebro basin (northeastern Spain). En: *The Geology of Spain*. (W. Gibbons y T. Moreno, eds.) The Geological Society, Londres, 301-309.

Muñoz-Jiménez, A. y Casas-Sainz, A.M. (1997): The Rioja Trough (N Spain): Tectosedimentary evolution of symmetric foreland basin. *Basin Research*, 9: 65-85.

Murelaga, X. (2000): Estudio de las faunas de vertebrados del Mioceno inferior de las Bardenas Reales de Navarra y áreas colindantes (Cuenca del Ebro, Navarra). Tesis Doctoral, Univ. del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea, 363 p.

Murelaga, X., Pereda Suberbiola, X., de Lapparent de Broin, F., Rage, J.C., Duffaud, S., Astibia, H. y Badiola, A. (2002): Amphibians and reptiles from the Early Miocene of the Bardenas Reales Navarre (Ebro Basin, Iberian Peninsula). *Geobios*, 35: 347-365.

Navarro-Jiménez, J.I., Navarro-Luna, J. y Muñoz-Jiménez, A. (2011): Análisis Tectosedimentario de la región de Bardenas Reales, Cuenca del Ebro (Aragón-Navarra). Resumen, Reunión Grupo Español del Terciario, 4 (sin publicar).

Ogg, J. G. (2012): Geomagnetic Polarity Time Scale. En: The Geologic Time Scale 2012 (F. M. Gradstein, J. G. Ogg, M. D. Schmitz y G. M. Ogg, eds.). Elsevier, Boston: 85-113.

Pardo, G., Arenas, C. González, A. Luzón, A. Muñoz, A. Pérez, A. Pérez-Rivarés, F.J., Vázquez-Urbez, M. y Villena, J. (2004): La Cuenca del Ebro. En: Geología de España (J.A. Vera, eds.). Sociedad Geological de España-Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 533-543.

Pardo, G., Villena, J. y González, A. (1989): Contribución a los conceptos y a la aplicación del análisis tectosedimentario. Rupturas y unidades tectosedimentarias como fundamento de correlaciones estratigráficas. Revista de la Sociedad Geológica de España, 2(3-4), 199-221.

Pérez, A. (1989): Estratigrafia y sedimentología del terciario del borde meridional de la Depresión del Ebro (sector Riojano-Aragones) y cubetas de Muniesa y Montalbán. Tesis Doctoral, Univ. de Zaragoza, 525 p.

Pérez-Rivarés, F.J. (2016): Estudio magnetoestratigráfico del Mioceno del sector central de la Cuenca del Ebro: Cronología, correlación y análisis de la ciclicidad sedimentaria. Tesis Doctoral, Univ. de Zaragoza, 281 p.

Pérez-Rivarés, F.J., Arenas, C. Pardo, G. y Garcés, M. (2018): Temporal aspects of genetic stratigraphic units in continental sedimentary basins: Examples from the Ebro basins, Spain. Earth-Scinece Reviews, 178: 136-153.

Platt, N.H. (1989): Lacustrine carbonates and pedogenesis: sedimentology and origin of palustrine deposits from the Early Cretaceous Rupel Roration, W Cameros Basin, N Spain. *Sedimentology*, 36, 665-684

Plaziat, J.C. y Freytet, P. (1978): Le Pseudomicrokarst pédologique: un aspecto particulier des paléo-pedogenèses développées sur les dépôts calcaires lacustres dans le Tertiaire de Languedoc. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 286, Sér. D, 1661-1664.

Riba, O. (1955): Sur le type de sédimentation du Tertiaire continental de la part ouest du Bassin de l'Ebre. *Geologische Rundschau*, 43(2): 363-371.

Riba, O., Reguant, S. y Villena, J. (1983): Ensayo de síntesis estratigráfica y evolutiva de la cuenca terciaria del Ebro. En: Geología de España, Libro Jubilar J.M. Ríos. Instituto Geológico y Minero de España, 131-159.

Ruiz-Sánchez, F. J., Murelaga, X., Freudenthal, M., Larrasoña, J.C., Furió, M., Garcés, M., González-Pardos, M. y Suárez-Hernando, O. (2013): Micromammalian faunas from the Middle Miocene (Middle Aragonian) of the Tudela Formation (Ebro Basin, Spain). *Bulletin of Geosciences*, 88: 131-152.

Sáez, A., Valero-Garcés, B.L., Moreno, A., Bao, R., Pueyo, J.J., González-Sampériz, P., Giralt, S., Taberner, C., Herrera, C., Gibert, R.O. (2007): Lacustrine sedimentation in active volcanic settings: the Late Quaternary depositional evolution of Lake Chungará (northern Chile). *Sedimentology*, 54: 1191-1222.

Salvany, J.M. y Hernández, A. (1990): Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 283 (Fustiñana) y memoria. IGME, Madrid. 53 p.

Scott J.J., Smith M.E. (2015): Trace Fossils of the Eocene Green River Lake Basins, Wyoming, Utah, and Colorado. En: *Stratigraphy and Paleolimnology of the Green River Formation, Western USA* (M.E. Smith y AR Carroll, eds.). *Synthesis in Limnogeology*, 1, Springer, Dordrecht, 313–350.

Soler, M. y Puigdefàbregas, C. (1970): Líneas generales de la geología del Alto Aragón Occidental. *Pirineos*, 96: 5-20.

Soulié-Märsche, I. (1989): Étude comparée de gyrogonites de Charophytes actuelles et fossiles et phylogénie des genres actuels. Millau, France, 376 p.

Sturm, M. y Matter, A. (1978): Turbidites and varves in Lake Brienz (Switzerland): deposition of clastic detritus by density currents. En: *Modern and Ancient Lake Sediments* (A. Matter, y M.E. Tucker (eds.). International Association of Sedimentologists Special Publication 2, 147-168.

Suárez-Hernando, O. (2017): Magnetobiocronología y Paleoecología del Mioceno inferior-medio en las Bardenas Reales de Navarra (cuenca del Ebro). Tesis Doctoral, Univ. del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea, 315 p.

Urgeles, R., Camerlenghi, A., Garcia-Castellanos, D., De Mol, B., Garcés, M., Vergés, J., Haslam, I. y Hardman, M. (2011): New constraints on the Messinian sealevel drawdown from 3D seismic data of the Ebro Margin, western Mediterranean. *Basin Research*, 23: 123-145.

Van der Meulen, A. J., García-Paredes, I., Álvarez-Sierra, M.Á., van den Hoek Ostende, L. W., Hordijk, K., Oliver, A. y Peláez-Campomanes, P. (2012): Updated Aragonian biostratigraphy: Small Mammal distribution and its implications for the Miocene European Chronology. *Geologica Acta*, 10(2): 159-179.

Vázquez-Urbez, M., Arenas, C., Pardo, G. y Pérez-Rivarés, J. (2013): The effect of drainage reorganization and climate on the sedimentologic evolution of intermontane lake systems: the final fill stage of the Tertiary Ebro Basin (Spain). *Journal of Sedimentary Research*, 83: 562-590.

Villena, J., González, A., Muñoz, A., Pardo, G. y Pérez, A. (1992): Síntesis estratigráfica del Terciario del borde Sur de la Cuenca del Ebro: unidades genéticas. *Acta Geológica Hispánica*, 27 (1-2): 225-245.

Zachos, J., Pagani, M., Sloan, L., Thomas, E. y Billups, K. (2001): Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to Present. *Science*, 269: 686-693.

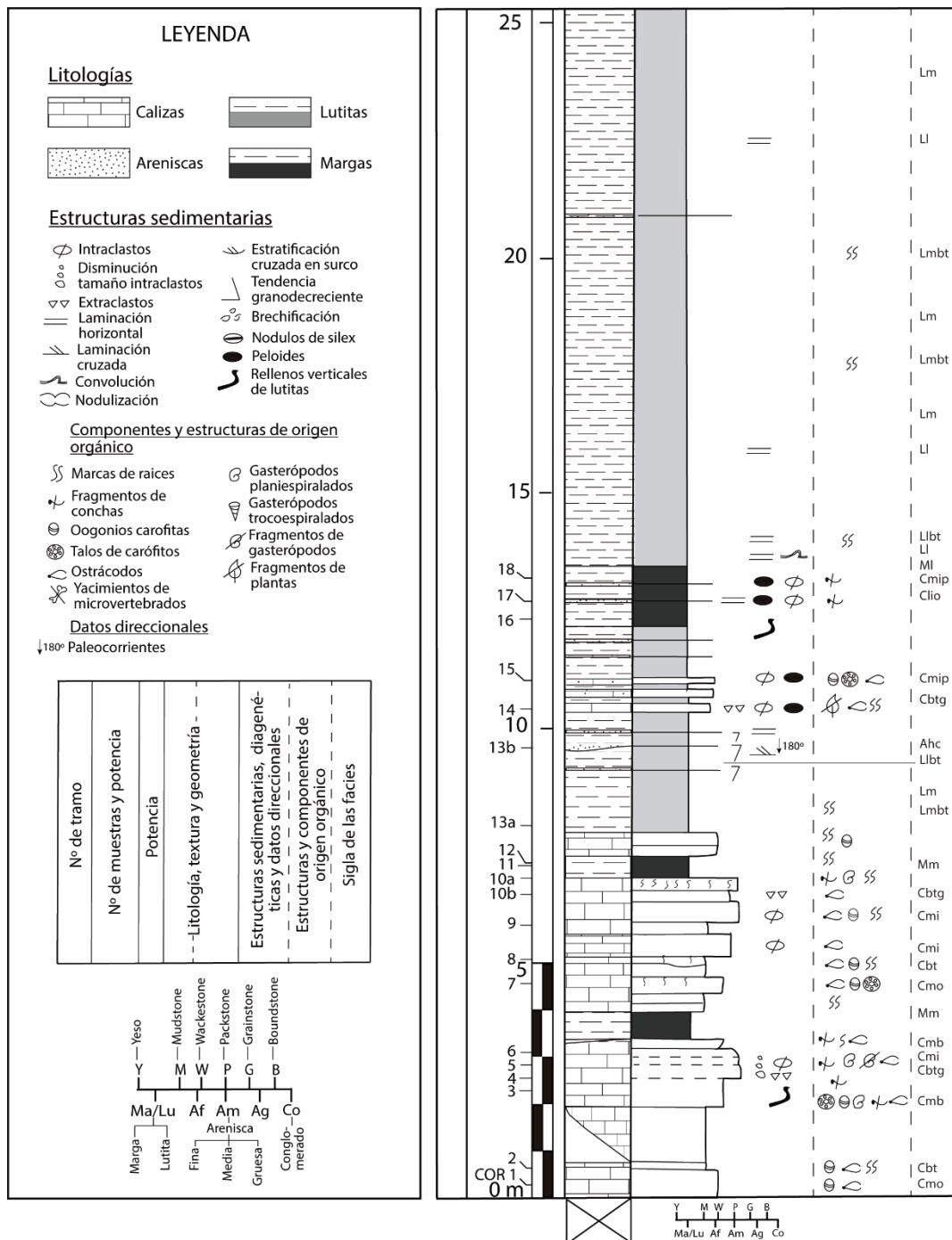
ANEXOS

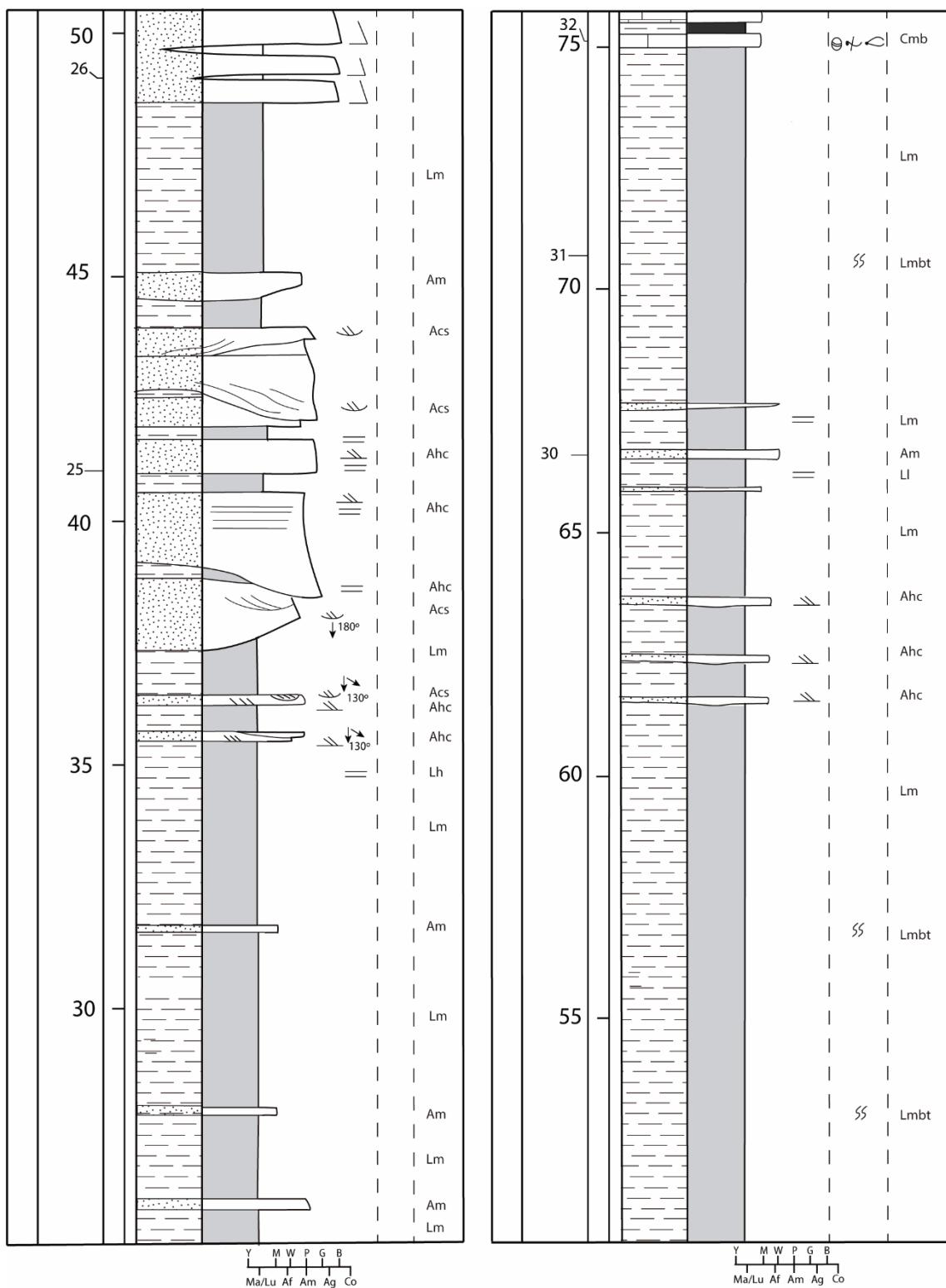
Anexo 1. Perfil de Corretroncos a escala 1:100.

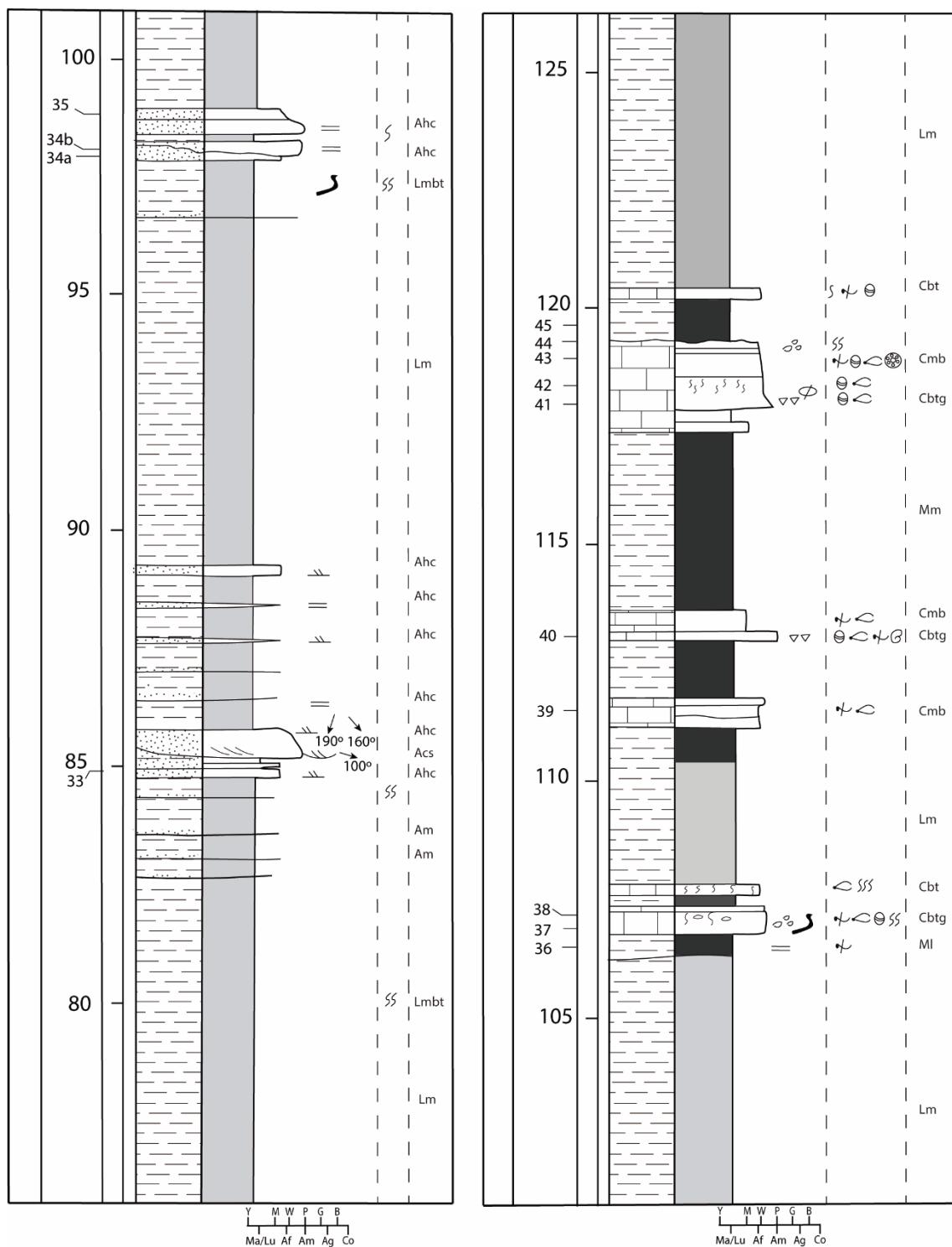
Anexo 2. Parte superior del perfil de Sancho Abarca 1:100.

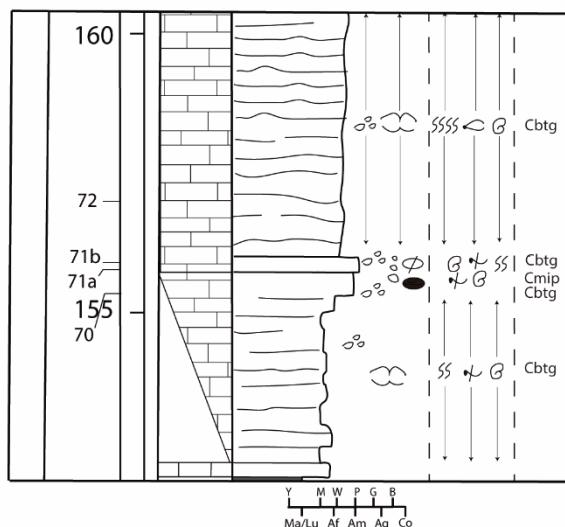
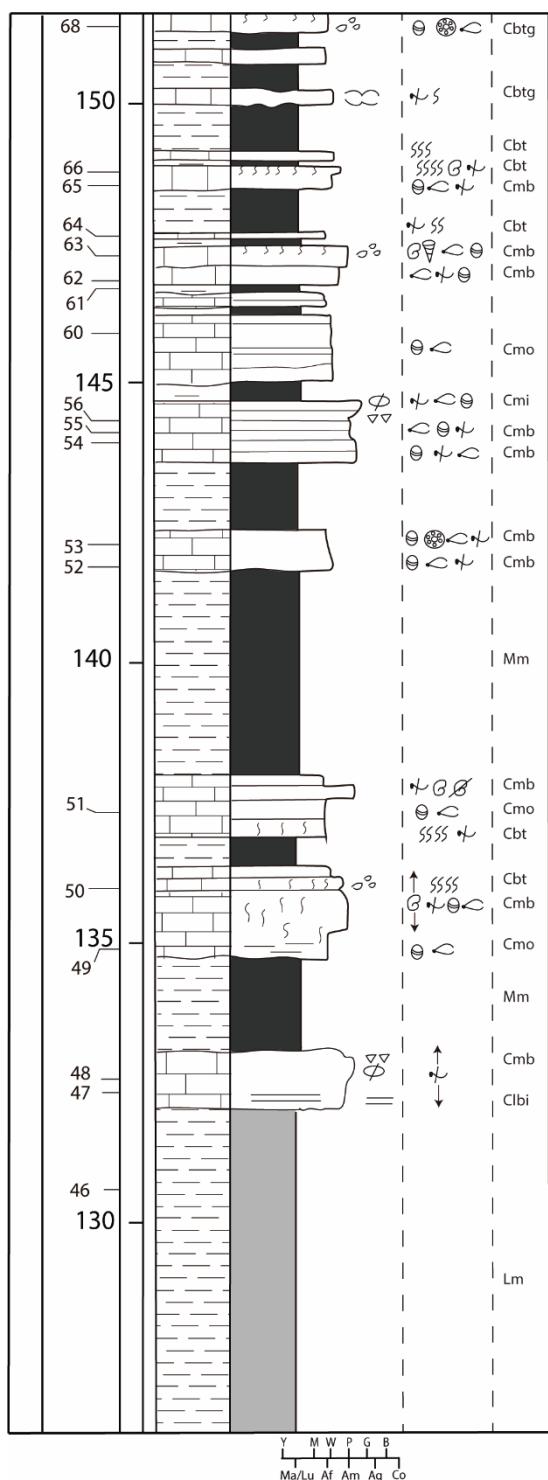
Anexo 3. Tabla resumen de facies.

ANEXO 1: Representación gráfica de la columna de Corretroncos (Plana Negra). Las columnas representadas a continuación presentan la simbología que se recoge en la siguiente leyenda:

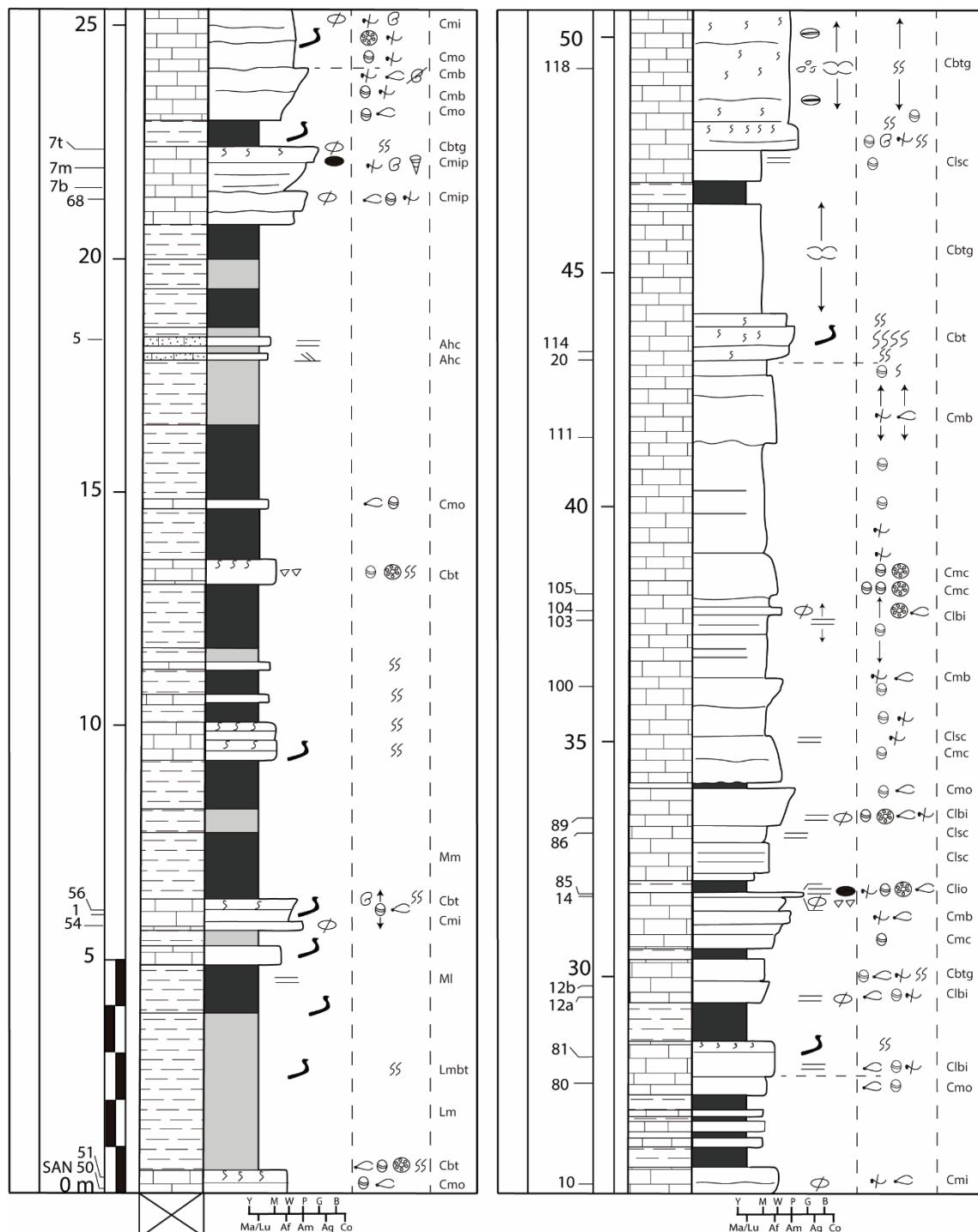


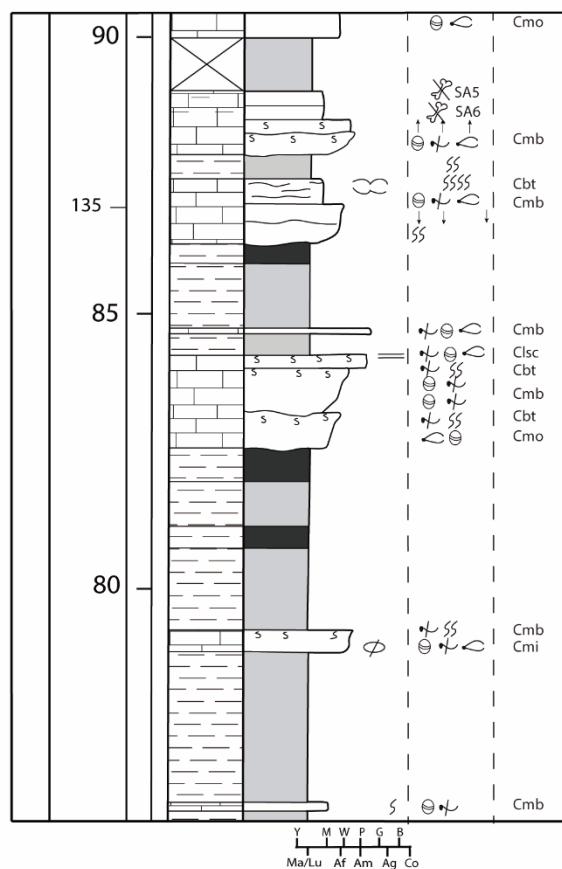
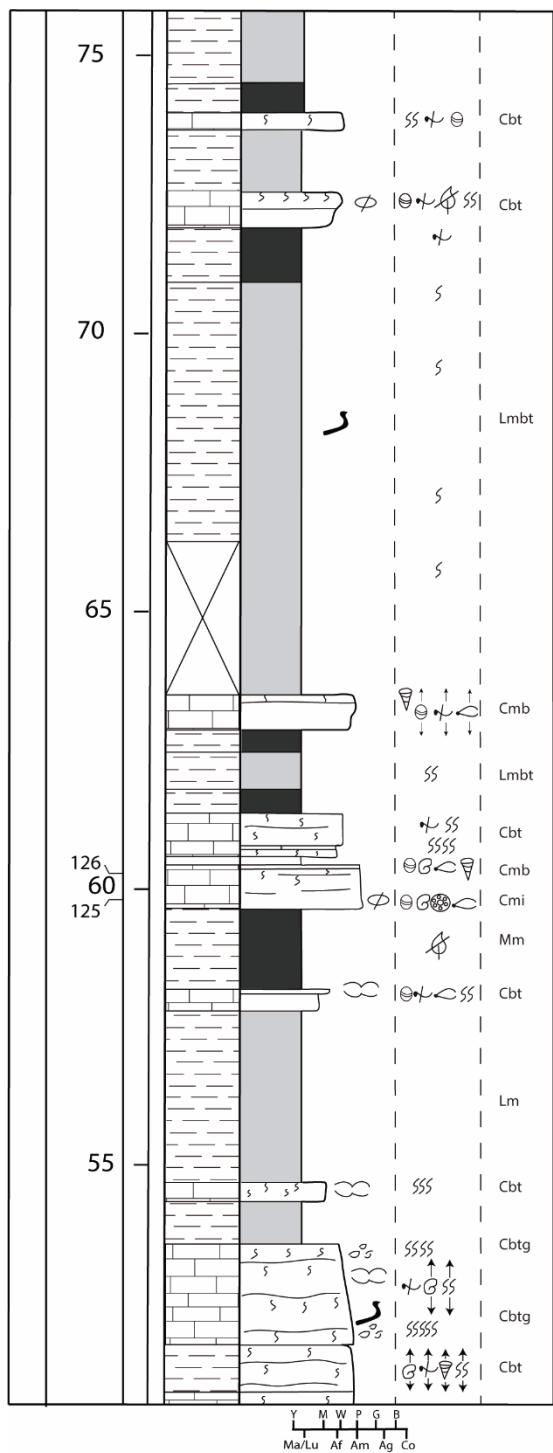






ANEXO 2: Representación gráfica de los 90 m superiores de la columna de Sancho Abarca (Plana de Sacho Abarca). Las columnas representadas a continuación presentan la simbología que se recoge en la siguiente leyenda del anexo 1.





ANEXO 3: Tabla resumen de las facies descritas en el apartado de sedimentología 2.3.

Facies (Figuras)	Abundancia		Geometría de los depósitos	Textura característica, microestructura y componentes	Estructuras sedimentarias y diagenéticas	Contenido biológico identificable	Contexto sedimentario de depósito					
	Sector N	Sector S										
1. Facies Carbonatadas												
1.1 Calizas masivas (Cm) (Fig. 8)												
<i>Mudstone-Wackestone</i> de ostrácodos y carófitos Cmo Figs. 9A y 9B	■	■	Estratos tabulares de entre 15 y 40 cm de potencia y varios metros de extensión lateral. Bases y techos planos.	<i>Mudstone-Wackestone</i> de ostrácodos y carófitos. Los fragmentos que se conservan son de ostrácodos y carófitos. Ocasionalmente se encuentra algún fragmento de valva de bivalvos.	Porosidad fenestral.	Fragmentos de ostrácodos, oogonios y tallos de carófitos. En menor proporción, fragmentos de valvas, posiblemente de bivalvos.	Áreas lacustres protegidas, de baja energía y relativamente profundas. Zonas fóticas y tranquilas donde habitan organismos como los ostrácodos y las carófitos.					
<i>Wackestone-Packstone</i> de carófitos Cmc Figs. 9A y 9B		■■	Estratos tabulares de entre 10 y 25 cm de potencia y varios decámetros de extensión lateral. Bases y techos planos.	<i>Wackestone-Packstone</i> de carófitos. Son generalmente los oogonios los que se conservan; ocasionalmente se ha identificado algún fragmento de tallo. Se disponen dispersos en la matriz o agrupados en "bolsadas" en varios niveles.	Sin estructura	Fragmentos de oogonios y tallos de carófitos.	Áreas lacustres fóticas y relativamente tranquilas, con extensas praderas de carófitos.					
<i>Wackestone</i> de bioclastos Cmb Fig. 9C	■■	■■	Estratos tabulares de entre 30 cm y 1,2 m de potencia y decámetros de extensión lateral. Bases planas y techos planos e irregulares.	<i>Wackestone</i> de bioclastos, ocasionalmente <i>packstone</i> . Los fragmentos son de ostrácodos, carófitas, gasterópodos y bivalvos. Dispersos en la matriz, pequeños granos de cuarzo.	Porosidad fenestral	Fragmentos de ostrácodos y carófitos y en menor proporción fragmentos de valvas de gasterópodos y bivalvos.	Áreas lacustres someras con nivel de agua permanente donde habitan diversos organismos y con ocasionales entradas de corrientes de mayor energía que transportan tanto bioclastos como granos de cuarzo.					
<i>Packstone</i> de intraclastos,	■■■	■■	Estratos tabulares de entre 20 y 30 cm de potencia y varios	<i>Packstone</i> de intraclastos, peloides y bioclastos. Los intraclastos son de morfología subesférica de 0,4 a 1,2	Sin estructura	Fragmentos de gasterópodos y	Erosión de depósitos carbonatados y resedimentación en					

peloides y bioclastos Cmip Fig. 9D			decámetros de extensión lateral. Bases y techos planos e irregulares.	mm. Los peloides de morfología subesférica y tamaño de entre 0,03 a 0,42 mm. Fragmentos de gasterópodos y valvas posiblemente de bivalvos y algún fragmento de carófitos.		bivalvos y algún fragmento carófitos.	áreas lacustres someras relativamente energéticas.
<i>Wackestone-Packstone de intraclastos y bioclastos</i> Cmi Figs. 9E y 9F	■■■	■■	Estratos tabulares de entre 20 y 60 cm de potencia y varios decámetros de extensión lateral. Bases y techos planos e irregulares.	<i>Wackestone-Packstone</i> de intraclastos y bioclastos. Se han identificado fragmentos de valvas de ostrácodos y oogonios de carófitos y en menor proporción valvas posiblemente de bivalvos. Intraclastos de composición micrítica, de morfología subangulosa de tamaño entre 0,1 mm a 1,2 cm. Granos de cuarzo dispersos en la matriz de morfología subangulosa y tamaño milimétrico, dispersos en la matriz.	Sin estructura	Fragmentos de ostrácodos y carófitos y en menor proporción fragmentos de valvas de bivalvos.	Áreas lacustres someras relativamente energéticas con ocasionales entradas de corrientes de mayor energía que transportaban bioclastos, intraclastos y pequeños granos de cuarzo.
1.2 Calizas laminadas (Cl)							
Calizas con láminas carbonadas y siliciclásticas Clcs Figs. 10A y 10B		■■	Estratos tabulares de entre 9 y 15 cm de potencia y varios decámetros de extensión lateral. Bases y techos planos.	Láminas con textura <i>mudstone</i> de hasta 1,6 mm de espesor. Láminas con textura <i>wackestone</i> de hasta 1,2 mm de espesor y base y techo irregulares. Contienen fragmentos de carófitos y algún fragmento de concha de bivalvo y ostráculo. Láminas de menos de 0,2 mm de potencia, ricas en granos de cuarzo de menos de 0,2 mm y morfología subangulosa. Niveles horizontales con techo y base plana, irregulares o en forma de lentejones.	Laminación horizontal, normalmente con láminas de morfología irregular y ocasionalmente laminación cruzada. Ocasionalmente presentan bioturbación.	Fragmentos de carófitos y en menor proporción de ostrácodos y posiblemente de valvas de bivalvos.	Áreas lacustres poco profundas con intervalos tranquilos de baja energía en los que se depositaría el fango micrítico e intervalos de mayor energía con corrientes de turbidez que remueven y transportan bioclastos y, en menor proporción, corrientes provenientes de áreas fluviales cargadas en material siliciclástico.
Calizas con láminas <i>mudstone</i> y <i>wackestone</i> - <i>packstone</i> de bioclastos e intraclastos Clbi		■■	Estratos tabulares de entre 10 y 17 cm de potencia y varios decámetros de extensión lateral. Bases y techos planos.	Láminas <i>wackestone</i> - <i>packstone</i> ricas en bioclastos e intraclastos con techos irregulares y bases erosivas. Abundantes fragmentos de gasterópodos y bivalvos, ostrácodos y carófitos dispuestos paralelos a la laminación. Intraclastos subesféricos de tamaños entre 3,4 a 0,17 mm.	Laminación horizontal.	Gasterópodos, posiblemente bivalvos, carófitos y ostrácodos.	Áreas lacustres relativamente profundas con intervalos de baja energía y depósito de fango micrítico e intervalos de mayor energía, con llegadas de corrientes de turbidez que

Fig. 10C				Láminas <i>mudstone-wackestone</i> con el mismo contenido fósil que las anteriores, pero de tamaños más pequeños y granos de cuarzo de menos de 0,2 mm dispersos en la matriz micrítica.			transportarían intraclastos y bioclastos.	
Calizas laminadas con láminas <i>mudstone</i> y <i>wackestone</i> - <i>packStone</i> , localmente <i>grainstone</i> de intraclastos y ooides Clio Figs. 10D y 10E	■		Estratos tabulares de entre 8 y 10 cm potencia y varios metros de extensión lateral. Bases y techos planos.	Láminas y niveles de hasta 0,83 cm de espesor, de colores diferentes, de textura <i>mudstone</i> . Láminas de textura <i>wackestone</i> - <i>packstone</i> , <i>grainstone</i> en algunas zonas, de hasta 3,4 mm de potencia. Contienen abundantes intraclastos con morfología subesférica-subangulosa, intraclastos alargados de 2,1 mm de longitud y ooides de 0,23 a 0,4 mm.	Laminación horizontal irregular y de bajo ángulo en algunas zonas.			Áreas lacustres marginales de baja energía donde se depositaría el fango micrítico y donde no habitarían organismos, con intercalaciones de intervalos de más energía generados por corrientes que transportan intraclastos y ooides.
1.3 Calizas bioturbadas (Cbt)								
Calizas bioclásticas con bioturbación s.l. Cbt Fig. 11A	■■■	■■	Estratos tabulares de entre 40 a 80 cm de potencia y varios decámetros de extensión lateral. Bases y techos irregulares.	<i>Wackestone</i> de bioclastos, ocasionalmente <i>packstone</i> . Los fragmentos son de ostrácodos, carófitos, gasterópodos y bivalvos. Dispersos en la matriz, pequeños granos de cuarzo.	Bioturbación vertical por raíces y bioturbación por organismos, porosidad fenestral, brechificación y nodulización.	Fragmentos de ostrácodos y carófitos y en menor proporción fragmentos de valvas de gasterópodos y bivalvos.	Depósitos de zonas lacustres someras y de baja energía que, debido a la bajada del nivel del lago, se quedan expuestos a condiciones subáreas y colonizados por plantas; ambientes palustres.	
Calizas bioclásticas con bioturbación y grietas por desecación Cbtg Figs. 11B, 11C y 11D	■■■	■■	Estratos tabulares de entre 20 cm y 60 cm de potencia y varios decámetros de extensión lateral. Bases y techos irregulares.	<i>Wackestone</i> de bioclastos, ocasionalmente <i>packstone</i> . Los fragmentos son de ostrácodos, carófitos, gasterópodos y bivalvos. Dispersos en la matriz, pequeños granos de cuarzo.	Bioturbación vertical por raíces y remoción animal, porosidad fenestral, brechificación (pseudomicrókarst), nodulización y grietas por desecación. Nódulos de sílex.	Fragmentos de ostrácodos y carófitos y, en menor proporción, fragmentos de valvas de gasterópodos y bivalvos.	Depósitos de ambientes lacustres someros y de baja energía que, debido a la bajada del nivel del lago, se quedan expuestos a condiciones subáreas y colonizados por plantas, con episodios recurrentes de desecación y agrietamiento.	

Margas laminadas MI	■	■	Estratos tabulares de entre 10 cm y 60 m de potencia y varios decámetros de extensión lateral. Bases y techos planos.	Láminas ricas en carbonato cálcico y láminas con mayor abundancia de granos de cuarzo. Contienen fragmentos de ostrácodos y carófitos y algún resto vegetal carbonoso y fragmentos de conchas.	Laminación horizontal. Ocasionalmente, trazas de bioturbación por raíces u organismos bentónicos.	Fragmentos de ostrácodos y carófitos.	Depósitos de áreas lacustres bajo una lámina de agua constante con llegada de componentes siliciclásticos finos y biocálcicos. En fase de descenso, zonas tranquilas donde habitaban organismos (ostrácodos y carófitas), con ocasional colonización por plantas.
Margas masivas Mm	■■	■■	Estratos tabulares de entre 30 cm y 3,67 m de potencia y varios decámetros de extensión lateral. Bases y techos planos.	Margas masivas con abundante bioturbación y algún bioclasto.	Abundante bioturbación por raíces.		Ambientes palustres bajo una fina lámina de agua colonizado por plantas, posible somerización de áreas más internas alias que llegarían aportes siliciclásticos finos.
3. Facies clásticas							
3.1 Areniscas (A)							
Areniscas masivas Am Fig. 12B	■■■	■■	Estratos tabulares de entre 15 y 40 cm de potencia y varios metros de extensión lateral. Bases y techos planos.	Sublitoarenitas grano sostenidas, compuestas por granos de cuarzo principalmente y granos de carbonato. Se pueden encontrar foraminíferos retrabajados.	Sin estructura	Foraminíferos ocasionales.	Depósitos de corrientes tractivas no confinadas que han depositado su carga rápidamente sin generar estructuras.
Areniscas con laminación horizontal y cruzada Ahc Fig. 12C	■■	■	Estratos tabulares de hasta 1,3 m de potencia y varios metros de extensión lateral. Techos planos y bases irregulares o erosivas.	Sublitoarenitas grano sostenidas, compuestas por granos de cuarzo principalmente y granos de carbonato. Matriz de carbonato. Se disponen en láminas horizontales o cruzadas, con proporción de cuarzo y limo variable. Se pueden apreciar fragmentos de valvas alineados con la laminación.	Laminación horizontal y cruzada. Ocasionalmente muestran una tendencia granodecreciente hacia techo.	Fragmentos de valvas posiblemente de gasterópodos o bivalvos.	Depósitos de flujos expansivos o no canalizados en ambientes fluviales, generados en la terminación distal de canales o desbordamientos.

Areniscas con estratificación cruzada en surco Acs Fig. 12A	■■	■	Cuerpos lenticulares o canaliformes de techos irregulares y bases erosivas, de hasta 2 m de potencia.	Sublitoarenitas grano sostenidas, compuestas por granos de cuarzo principalmente y granos de carbonato. Las láminas tienen proporción de cuarzo y limo variable. Se pueden apreciar fragmentos de valvas alineados con la laminación.	Estratificación cruzada en surco, en sets lenticulares de espesor decimétrico.	Fragmentos de valvas posiblemente de gasterópodos o bivalvos.	Depósitos de flujos tractivos canalizados de baja sinuosidad y alta energía con desarrollo de barras o dunas arenosas en ambientes fluviales.
3.2 Lutitas (L)							
Lutitas con laminación horizontal y/o con bioturbación Lh y Lhbt Fig. 12D	■■	■■	Estratos tabulares de hasta 5 m de potencia y varios decámetros de extensión lateral. Techos y bases irregulares.	Partículas tamaño limo y arcilla, de composición variada. Lutitas con láminas alternantes, laminación horizontal formadas por intercalaciones de niveles más ricos en limos y más arenosos.	Laminación horizontal, convolución y bioturbación.		Depósitos de llanuras aluviales distales que reciben aportes arenosos durante avenidas.
Lutitas masivas y/o con bioturbación Lm y Lmbt Fig. 12E	■■■	■■■	Paquetes tabulares de hasta 8 m de potencia y varios decámetros de extensión lateral. Techos y bases irregulares.	Partículas tamaño limo y arcilla, de composición variada.	Sin estructuras, o con bioturbación por raíces.		Depósitos de llanuras aluviales en condiciones subáreas con ocasional colonización por plantas y oxidación.