

GEOLOGÍA 2015

Paula Olmeda Zafrilla

[TRABAJO FIN DE GRADO]

Análisis sedimentológico de la plataforma del
Jurásico Superior (Formación Sot de Chera,
sectores de Ricla y Tosos)

ÍNDICE

ÍNDICE	2
ABSTRACT	3
1. PRESENTACIÓN.....	3
2. OBJETIVOS.....	4
3. METODOLOGÍA.....	4
3.1 TRABAJO DE CAMPO	5
3.2 TRABAJO DE LABORATORIO.....	5
3.3 TRABAJO DE GABINETE	5
4. MARCO GEOLÓGICO Y GEOGRÁFICO	6
4.1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA	6
4. 2 ESTRATIGRAFÍA	7
4.3. CONTEXTO SEDIMENTOLÓGICO Y PALEOGEOGRÁFICO	9
5. PRESENTACIÓN DE LOS PRINCIPALES RESULTADOS OBTENIDOS	11
5.1 RICLA	11
5.2 TOSOS	12
6. COMPARACIÓN ENTRE LOS SECTORES DE RICLA Y TOSOS: INTERPRETACIÓN SEDIMENTOLÓGICA	15
7. DISCUSIÓN: ORIGEN DE LOS CICLOS DE VARIACIÓN DE CARBONATO DE CORTA DURACIÓN	18
7.1 POSIBLE REGISTRO DE CICLOS ORBITALES EN RICLA.....	19
7.2 IMPLICACIONES PALEOCLIMÁTICAS Y PALEOAMBIENTALES	20
8. CONCLUSIONES	22
9. BIBLIOGRAFÍA.....	23

ABSTRACT

The main purpose of this research work was to analyse the calcium carbonate content on two separated sections representing the relatively depth domains of carbonate ramp developed in the central part of the Iberian Basin at the latest Oxfordian (Upper Jurassic). We logged and sampled two age-equivalent 20 m-thick sections (Subzone *Galar*; Biozone *Planula*), located near the villages of Ricla and Tosos respectively (50 samples per log for carbonate content analysis). The Ricla section is located 40 km away of Tosos, and corresponds to relatively proximal areas, located closer to the shallow carbonate ramp domain (i.e., the carbonate factory).

Our results shows significant variation on the proportion of calcium carbonate, which are interpreted and discussed considering previous models explaining the sedimentary processes operating in the latest Oxfordian carbonate ramp. In particular, it was proposed that the carbonate mud accumulated in the depth areas of the ramp were the result of the combined contribution between the pelagic carbonate sedimentation (which is thought to be homogeneous across the studied depth domain of the ramp) and the offshore resedimented carbonate mud (derived from shallow production areas).

It has related the observed variation on the calcium carbonate content to the sea level changes affecting the carbonate production on the shallow carbonate factory: A) larger calcium carbonate content in Ricla is interpreted as a higher influence of exported carbonates (resedimented carbonate mud) in the shallower domains of the carbonate ramp due to its proximity to the carbonate factory; B) overall vertical increase on calcium carbonate content in the Ricla successions also indicates larger proportion of derived carbonate related to the coeval increase of productivity during the long term sea-level rise; C) 7 sedimentary cycles recorded in the marly-dominated succession of Ricla that can be explained by sea-level fluctuations that influenced the carbonate factory and in turn, the production of resedimented carbonate mud. These sea level changes have been interpreted as climatic changes associates with orbital parameters (Milankovitch cycles), explaining the sedimentary cycles as precessional cycles with a recurrence interval of 19,4 Kyr.

1. PRESENTACIÓN

Durante el Jurásico Superior, los dispositivos sedimentarios dominantes en las cuencas del Este de la Placa Ibérica fueron plataformas de tipo rampa, en las que predominó la sedimentación carbonatada (Bádenas, 1999). En particular, a partir de la parte media del Oxfordiense, durante el Kimmeridgiense y la parte inferior del Titoniense (Aurell *et al.*, 2010) se instala una rampa carbonatada de gran extensión lateral que ocupa una amplia parte de la zona central de la Cuenca Ibérica.

El relleno sedimentario de la Cuenca Ibérica durante el Jurásico Superior se ha dividido en una serie de secuencias de tercer orden, cada una de ellas con una evolución a largo término transgresivo-regresivo (Aurell *et al.*, 2010). Un evento transgresivo durante el final del Oxfordiense marca el inicio del depósito de la denominada Secuencia Kimmeridgiense-1. En los dominios relativamente profundos de esta rampa carbonatada (zona de tránsito de rampa media a externa), el inicio de esta secuencia está representado por una sucesión predominantemente margosa (tramo superior de la Fm. Sot de Chera), en la que se intercalan niveles más cementados y ricos en carbonato, que confieren a las sucesiones estudiadas un aspecto de ritmita calcárea.

La presente memoria se centra en el estudio de la parte inferior de la secuencia Kimmeridgiense-1 en dos sectores de la zona de rampa media-externa, localizados en el entorno de Ricla y Tosos. Los dos perfiles estratigráficos analizados, de aproximadamente 20 m de potencia y separados entre sí 40 km, pertenecen al mismo tramo litoestratigráfico (tramo superior de la Fm. Sot de Chera) y temporal (Subbiozona *Galar*), lo que permite realizar el análisis comparado en detalle de ambos sectores. Este análisis comparado es de gran interés debido a que estos perfiles representan dominios de sedimentación relativamente distales (Tosos) y relativamente proximales (Ricla) de la rampa carbonatada, permitiendo así interpretar los procesos sedimentarios que tuvieron lugar en estos dominios relativamente profundos. En particular, se interpretan aspectos tales como el origen del fango carbonatado acumulado en esta zona, que puede ser de origen bentónico, origen pelágico y origen resedimentado, así como las relaciones de proximidad-distalidad de las series analizadas respecto a la zona somera de la rampa carbonatada con elevada producción de carbonatos (la *fábrica de carbonatos*, ver James, 1984).

Las excepcionales condiciones de exposición de los afloramientos de las margas de la Fm. Sot de Chera (Oxfordiense Superior) en los sectores de Ricla y Tosos han favorecido la realización de numerosos estudios sedimentológicos, cicloestratigráficos (Bádenas, 1999, Colombié *et al.*, 2014, Bádenas *et al.*, 2005) y bioestratigráficos (Delvene *et al.*, 1998, Delvene, 2000, Pérez Urresti *et al.*, 1998). Este conjunto de trabajos previos ha sido de gran utilidad a la hora de interpretar y discutir los datos expuestos en la presente memoria.

2. OBJETIVOS

En ese trabajo se aborda el estudio en detalle del contenido en carbonato de las facies margosas del tramo superior de la Fm Sot de Chera del Oxfordiense Superior, en dos secciones localizadas en dominios relativamente proximales (Ricla) y distales (Tosos) de la zona media-externa de la rampa carbonatada. Este estudio supone una nueva aportación, ya que nadie antes había realizado el estudio sistemático de calcimetrías en estos sectores. Con este análisis se pretende alcanzar los siguientes objetivos concretos:

- Levantamiento de los perfiles estratigráficos y análisis del contenido en carbonatos de las series analizadas del tramo superior de la Fm Sot de Chera en los diferentes dominios de sedimentación de la rampa carbonatada.
- Comparación e interpretación de las diferencias más significativas en el contenido en carbonato de ambas series, con el fin de responder a cuestiones como el origen del fango carbonatado y las relaciones de proximidad-distalidad de los perfiles de Ricla y Tosos respecto a la fábrica de carbonatos.
- El análisis cicloestratigráfico, con la identificación de los ciclos de variación en contenido en carbonato de corta duración registrados en el tramo superior de la Fm. Sot de Chera en el sector de Ricla, y la discusión de su posible relación con los ciclos orbitales.

3. METODOLOGÍA

Los resultados obtenidos en este trabajo se basan en el análisis estratigráfico y sedimentológico de dos secciones localizadas en el entorno de las poblaciones de Ricla y Tosos. Se ha seguido la

metodología tradicional de análisis, basada en tres tipos de trabajo: campo, laboratorio y gabinete. Estos estudios permiten desarrollar y alcanzar los objetivos planteados.

3.1 Trabajo de campo

El trabajo de campo se basa en el estudio *in situ* de las margas de la Formación Sot de Chera del Oxfordiense Superior (Biozona *Planula*, Subbiozona *Galar*) en los sectores de Ricla y Tosos, localizados en el dominio sedimentario noroccidental de la Cuenca Ibérica (Bádenas, 1999). En ambos afloramientos las condiciones de afloramiento del intervalo estratigráfico analizado son excepcionales. Dicho trabajo incluye:

- El levantamiento de dos columnas nivel a nivel (Ricla y Tosos), atendiendo a criterios estratigráficos y sedimentológicos, con una potencia de 23 m (Tosos) y 20,5 m (Ricla). El análisis de las facies incluye anotaciones de potencia y geometría de los cuerpos, litología, así como ocasionalmente el contenido fosilífero. En ambos afloramientos, se tuvo en cuenta la numeración de los niveles en el campo establecida en los estudios bioestratigráficos y paleoecológicos previos de Delvene (2000).
- Toma de 50 muestras carbonatadas en cada perfil, repartidas de forma homogénea a lo largo de la columna estratigráfica (media de 2.5 muestras/m). En su caso, se tomaron muestras duras en los niveles carbonatados más cementados para la posterior realización de láminas delgadas. Todas las muestras fueron sigladas con las iniciales del perfil y el número de la capa correspondiente.
- Toma de fotografías tanto a escala de afloramiento como a escala de detalle de los aspectos sedimentológicos más característicos.

3.2 Trabajo de laboratorio

A partir de la toma de datos y muestras en el campo se procede al estudio de estos en el laboratorio. El trabajo de laboratorio consiste en:

- Realización de calcimetrías en las 100 muestras carbonatadas. La metodología de molidura varía según la dureza de las muestras, las más blandas se trabajan manualmente, a diferencia de las duras que se llevan al molino vibratorio de discos.
- Elaboración de 5 láminas delgadas de los niveles cementados más representativos (R-1, R-28, R-33, R-48 y R-49) del afloramiento de Ricla, con una mayor abundancia en contenido fósil.
- Estudio de las láminas delgadas en el microscopio petrográfico de luz transmitida, con la finalidad de determinar la naturaleza de los componentes y sus características texturales, atendiendo a la clasificación textural de Dunham (1962).
- Toma de imágenes digitales de las láminas delgadas a través de un escáner y una cámara fotográfica adaptada al microscopio.

3.3 Trabajo de gabinete

Mediante la consulta de la bibliografía disponible, se procedió a la interpretación de los datos obtenidos siguiendo los objetivos planteados que se sintetizan en la presente memoria. En esta fase de elaboración y síntesis se utilizaron los programas Adobe Illustrator CS 5.1 para elaborar los gráficos e imágenes, y el procesador de texto Microsoft Office Word 2007 para realizar la redacción.

4. MARCO GEOLÓGICO Y GEOGRÁFICO

4.1. Situación geográfica

Los afloramientos jurásicos estudiados en los sectores de Ricla y Tosos se encuentran al sur de la provincia de Zaragoza, y desde el punto de vista geológico se localizan en la parte noroccidental de la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica.

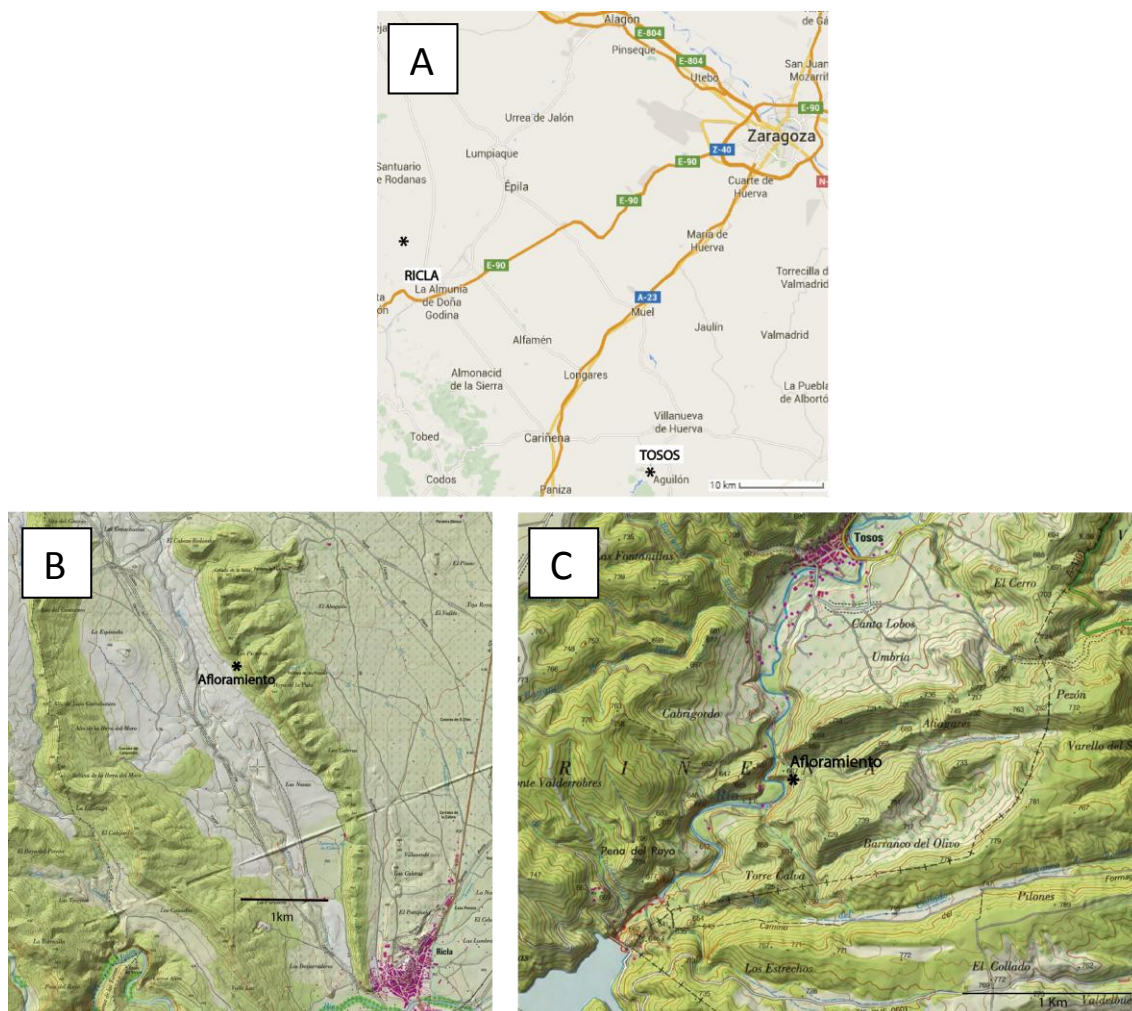


Fig. 1 A) Situación geográfica de los afloramientos de Ricla y Tosos en la provincia de Zaragoza. **B)** Localización del perfil realizado al Norte de Ricla cuyas coordenadas geográficas son 41°32' 23.20''N (latitud) y 1° 25' 46.6'' W (longitud). **C)** Localización del perfil levantado al sur de Tosos de coordenadas geográficas 41°18' 11.84''N (latitud) y 1° 4' 30.78'' W (longitud).

El perfil estratigráfico del **sector de Ricla** se localiza al noroeste de la localidad de Ricla (Montes de los Picarros), provincia de Zaragoza, a unos 60km de Zaragoza ciudad (**Fig. 1**). El acceso al afloramiento se realiza por la carretera A-21 dirección Fuendejalón, cogiendo el desvío hacia el oeste a la altura de la vía del AVE. Una pista en dirección norte, que parte desde el paraje de las Navas y que discurre paralela a los Montes de los Picarros, permite el acceso al afloramiento. Al afloramiento se accede a pie, pasando por un tramo cubierto por materiales cuaternario hasta llegar a las margas de la Formación Sot de Chera (**Fig. 2A**).

El perfil estratigráfico del **sector de Tosos**, situado a 40 km del perfil de Ricla, se localiza a 1,5 km de la localidad de Tosos, en la margen derecha del río Huerva (**Fig. 1**). Al afloramiento se accede desde un camino que parte desde la carretera de Tosos antes de cruzar el puente sobre el río Huerva, y que discurre hacia el al suroeste, remontando el río Huerva por su margen derecha. En este camino afloran las margas de Sot de Chera en unas condiciones muy favorables para su estudio (**Fig. 2B**).

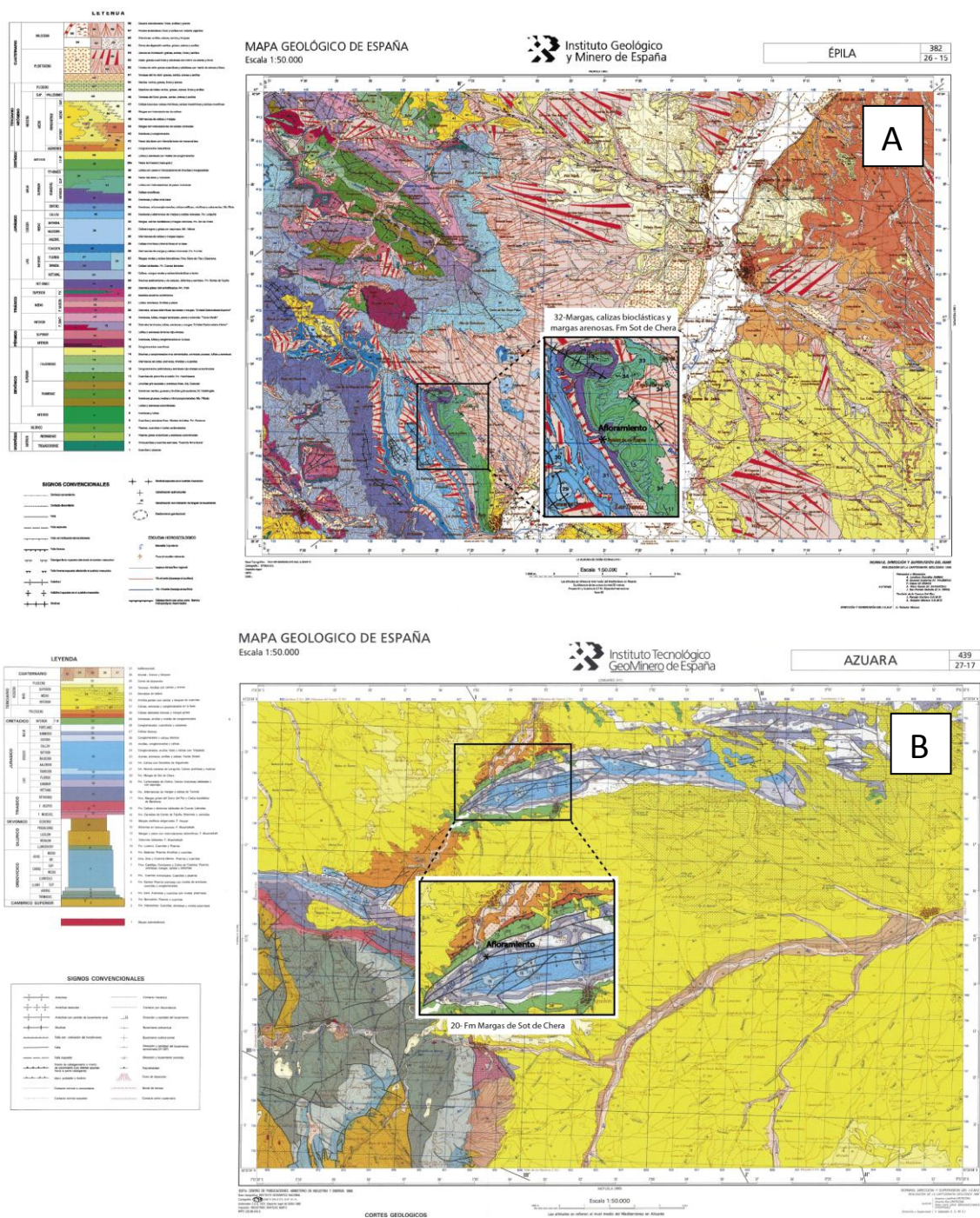


Fig. 2. Localización geológica de los afloramientos de la Fm. Sot de Chera en (A) el sector de Ricla en el mapa geológico a escala 1: 50.000 de la serie Magna, nº 3-Épila (A), y en el sector de Tosos en el mapa geológico a escala 1: 50.000 de la serie Magna, nº 439-Azulara (B).

4. 2 Estratigrafía

Los materiales estudiados corresponden a la Fm. Sot de Chera. Esta unidad tiene un importante espesor en el **sector de Ricla** (de 150 a 170 m). Según Bádenas *et al.* (1998) y Bádenas (1999), en Ricla la Fm. Sot de Chera está constituida por margas arenosas y margocalizas con alta proporción de micas y fragmentos de vegetales, y bioclastos ocasionalmente abundantes. Presentan intercalaciones de calizas limosas y areniscas en bancos de espesor decimétrico. Se diferencian tres tramos litológicos: tramo inferior (10 metros de potencia), tramo medio (con una potencia aproximada de 100 metros) y tramo superior (en torno a 40-50 m). Los niveles de calizas bioclásticas con corales solitarios localizados por encima de las margas de la Fm Sot de Chera marcan el límite con la unidad suprayacente (Fm. Loriguilla).

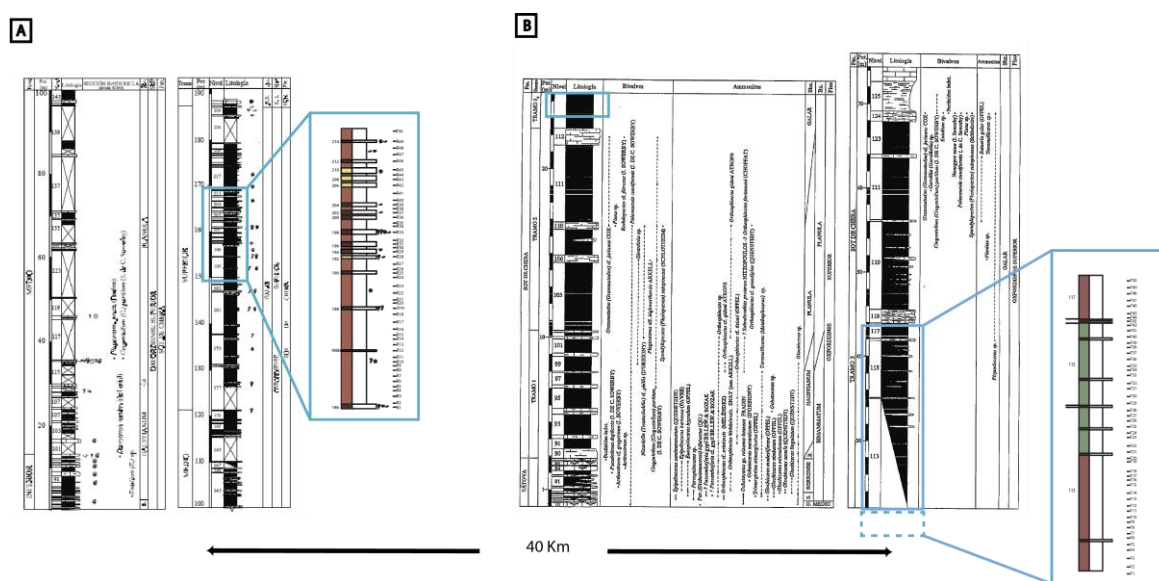


Fig. 3. A) Situación del intervalo estratigráfico estudiado en el tramo superior de la Fm. Sot de Chera en Ricla. Columna estratigráfica tomada de Delvene (2000). **B)** Situación del intervalo estratigráfico estudiado en el tramo superior (tramo 3 según Pérez-Urresti *et al.*, 1998) de la Fm. Sot de Chera en Tosos. Columna estratigráfica tomada de Delvene (2000).

Los 20,5 m estudiados en el afloramiento de Ricla corresponden a la parte media del tramo superior de la Fm. Sot de Chera (**Fig. 3A**) descrito por Bádenas *et al.* (1998). Estos niveles contienen una gran cantidad de bivalvos así como ammonites que permiten asignar el intervalo estudiado a la Subbiozona *Galar* del final del Oxfordiense. El tramo superior está constituido por margas y margocalizas con bioclastos que muestran intercalaciones de calizas limosas con bioclastos (ocasionalmente de textura wackestone-packstone) en niveles tabulares de hasta 0,4 metros de potencia. Este tramo se caracteriza por la abundancia de bivalvos y en menor proporción gasterópodos, ammonites, belemnites, equinodermos, braquiópodos, serpulidos y crinoides. Los niveles calcáreos son más abundantes hacia techo, de forma que la parte superior del tramo está constituida por ritmos margas-margocalizas de potencia en torno a 1 metro, en los que predomina el termino basal margocalcáreo. El ambiente de sedimentación corresponde con un medio submareal de baja energía, localizada en la zona de tránsito de rampa media a externa (en torno al nivel de base del oleaje de tormentas), por tanto, afectado de forma episódica por el oleaje de tormentas. El estudio en detalle de las condiciones paleoecológicas de los bivalvos en el sector de Ricla deducidas por Delvene *et al.* (1997, 1998) refuerzan esta interpretación.

En el **sector de Tosos**, las margas de la Fm. Sot de Chera tienen una potencia que oscila entre 60 a 70 metros, y consta de tres tamos litológicos bien diferenciados (Pérez Urresti *et al.*, 1998; Delvene, 2000): tramo 1 (con 7.5 m de potencia), tramo 2 (con una potencia entre 10 y 12) y el tramo 3 (con una potencia entre 45 y 60 m). El intervalo de 23 m estudiado se localiza en la parte basal del tramo superior (tramo 3) de la Formación Sot de Chera (**Fig. 3B**), constituido por margas con escasas intercalaciones de bancos carbonatados. En cuanto al contenido fosilífero, presenta escasos ammonites y bivalvos, estos últimos aun así más frecuentes respecto al resto de tramos de la formación. Estos niveles, al igual que los estudiados en el sector de Ricla, pertenecen a la Subbiozona *Galar* del final del Oxfordiense.

Bádenas (1999) establece la correlación entre los diferentes tramos de las margas de Sot de Chera en los sectores de Ricla y Tosos (**Fig. 4**). Los tramos 2 y 3 de la Fm. Sot de Chera en Tosos son equivalentes al tramo superior de la Fm. Sot de Chera en el sector de Ricla.

Los datos e interpretaciones realizadas por dichos autores han servido como punto de partida para el análisis sedimentológico planteado en el presente trabajo.

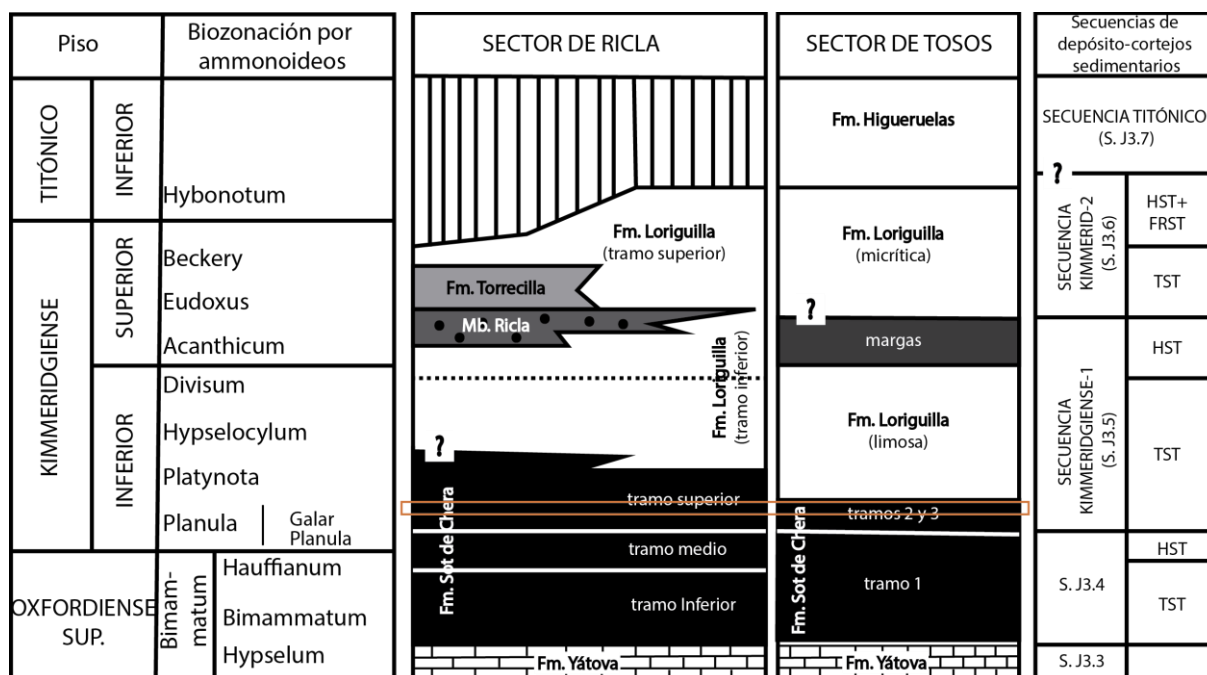


Fig. 4. Distribución cronoestratigráfica y correlación de las unidades litoestratigráficas del Jurásico Superior en los sectores de Ricla y Tosos (Bádenas, 1999). El recuadro naranja señala el intervalo litoestratigráfico estudiado en ambos sectores.

4.3. Contexto sedimentológico y paleogeográfico

La Formación margas de Sot de Chera constituye una unidad de margas, con intercalaciones ocasionales de niveles de margocalizas tableadas, depositadas en la rampa carbonatada de gran extensión lateral que se desarrolló en la Cordillera Ibérica a partir de la parte media del Oxfordiense, y que perduró durante todo el Kimmeridgiense y la parte inferior del Titoniense (Aurell *et al.*, 2010). Los perfiles analizados en Ricla y Tosos corresponden, respectivamente, a dominios de sedimentación relativamente proximales y distales de esta rampa carbonatada, localizados en la zona

de rampa media-externa. Esta rampa se encontraba abierta hacia el Este, con sus dominios de sedimentación más profundos localizados hacia el Tethys occidental.

El tramo inferior y medio de la Fm. Sot de Chera definidos en los afloramientos de Ricla, corresponden a la parte superior de la denominada Secuencia Oxfordiense (Bádenas *et al.*, 1998), cuyo depósito tuvo lugar en condiciones submareales y de creciente influencia siliciclástica (Fig. 4). Un evento transgresivo durante el final del Oxfordiense marca el inicio del depósito de la Secuencia Kimmeridgiense-1 estudiada en este trabajo. La secuencia se inicia con el depósito de una sucesión margosa (tramo superior de la Fm. Sot de Chera) de medios submareales más abiertos, en la zona de tránsito de rampa media a externa (Fig. 5).

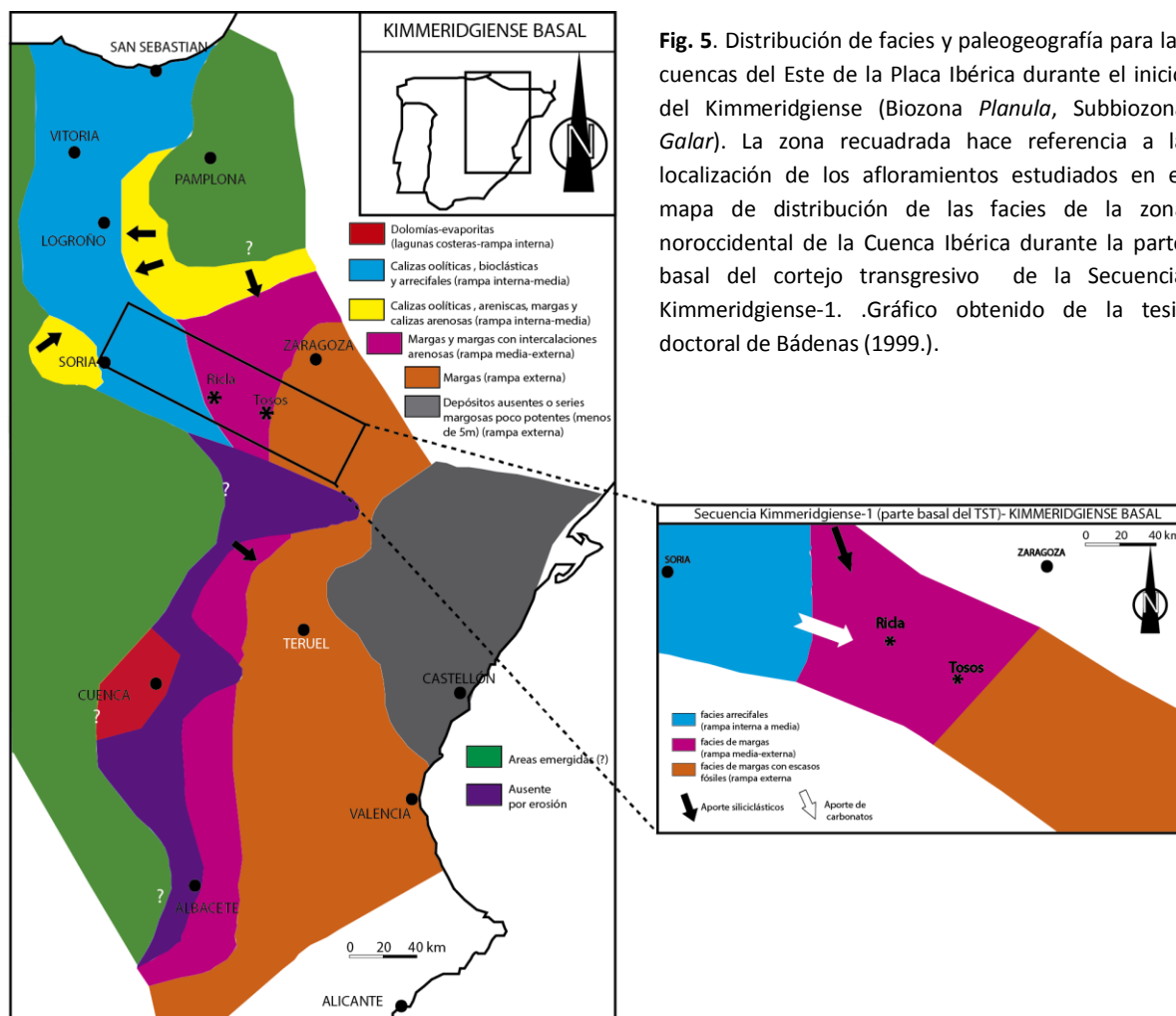


Fig. 5. Distribución de facies y paleogeografía para las cuencas del Este de la Placa Ibérica durante el inicio del Kimmeridgiense (Biozona *Planula*, Subbiozona *Galar*). La zona recuadrada hace referencia a la localización de los afloramientos estudiados en el mapa de distribución de las facies de la zona noroccidental de la Cuenca Ibérica durante la parte basal del cortejo transgresivo de la Secuencia Kimmeridgiense-1. Gráfico obtenido de la tesis doctoral de Bádenas (1999.).

Según Bádenas (1999), el ascenso relativo del nivel del mar que tiene lugar durante la etapa inicial de la Secuencia Kimmeridgiense-1 favorece la alta productividad de carbonato en los dominios someros de la rampa carbonatada, caracterizada por las facies arrecifales, oolíticas y bioclásticas de la Fm. Torrecilla. Parte del carbonato producido en estas áreas someras y su resedimentación mar adentro por las corrientes de reflujo de tormentas, podría explicar una proporción significativa del carbonato presente en sus zonas relativamente más profundas, representadas al final del Oxfordiense por las sucesiones margosas de la Fm. de Sot de Chera. El aporte detrítico continental de estas facies es suministrado por las áreas emergidas del Macizo del Ebro.

La edad del cortejo transgresivo es Subbiozona *Galar-Biozona Divisum* (Aurell *et al.*, 2010). El límite superior de este cortejo transgresivo representa una reducción en la tasa de sedimentación, marcado por la presencia de niveles condensados con corales solitarios (parte basal del tramo inferior de la Fm. Loriguilla) en el sector de Ricla (**Fig. 4**). El intervalo regresivo de la Secuencia Kimmeridgiense-1 se desarrolla en el inicio del Kimmeridgiense superior y en Ricla está caracterizado por la rápida progradación de las facies oolíticas y siliciclásticas a techo de la secuencia (Miembro Ricla, Fm. Loriguilla).

5. PRESENTACIÓN DE LOS PRINCIPALES RESULTADOS OBTENIDOS

A partir del estudio de campo y el análisis de las muestras carbonatadas en el laboratorio, complementados con la documentación bibliográfica, se han representado las dos columnas estratigráficas estudiadas junto con los datos de contenido en carbonato cálcico obtenidos a partir de la realización de calcimetrías (**Figs. 6 y 7**) y su leyenda adjunta (**Fig. 8**). Esta exposición de los datos estudiados tiene el fin de enmarcar los datos sedimentológicos y secuenciales que se explicarán en posteriores apartados.

5.1 Ricla

En el afloramiento de Ricla se han analizado 20,5 m de serie (ver imágenes de campo en el **ANEXO 1**), correspondientes al tramo superior de la Fm. Sot de Chera (Oxfordiense Superior, Subbiozona *Galar*). El perfil estratigráfico se ha representado a escala, indicando su potencia en metros. En el perfil se muestra, en concreto (**Fig. 6**):

- la **litología** observada en el campo, que consiste en una sucesión predominantemente margosa con intercalaciones de niveles tabulares de espesor decimétrico más cementados de margas y calizas margosas (clasificación según Vatan (1967) atendiendo al % de CaCO_3)
- la **numeración** de cada nivel según la columna realizada en toda la Fm. Sot de Chera por Delvene (2000), teniendo en cuenta que se les asignó un número para los niveles más competentes.
- la distribución espacial de las **muestras** tomadas en campo (R1-R50), indicando además los niveles carbonatados más cementados en los que se han realizado **lamina delgada**.
- el **contenido en fósiles** según Delvene (2000), la cual define el perfil como uno de los perfiles con mayor abundancia de bivalvos de la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica, así como un registro abundante de escafópodos, gasterópodos, escasos belemnites y ammonites, y ocasionalmente braquiópodos.
- la representación gráfica de la **distribución de CaCO_3** en la serie. A partir de los valores obtenidos en las calcimetrías realizadas en cada muestra, se ha representado gráficamente del 0 al 100% el contenido en CaCO_3 . Con una variación de CaCO_3 de 37,11% (R4) a 73,40% (R45) y un contenido medio de 51,30%. Se pueden identificar picos de mayor y menor concentración de CaCO_3 , cuyo significado será objeto de discusión en posteriores apartados.

La evolución del contenido de carbonato en la serie analizada en Ricla es, de modo general, creciente. Los primeros 11 metros (R1-R27) muestran un porcentaje de CaCO_3 inferior a la media, exceptuando un pico máximo de CaCO_3 (R12). En los 9,5 metros de serie restante (R28-R50) se puede visualizar un incremento en el contenido de CaCO_3 , a excepción de algunos picos mínimos de CaCO_3 (R34, R41, R44, R47 y R50).

Según la clasificación de Vatan (1967), los niveles estudiados corresponden al rango de margas (35-65 % de CaCO_3) dentro de los cuales se diferencian niveles más cementados. Los niveles cementados

186b, 192, 198, 206, 208 y 210 de mayor contenido carbonatado pertenecen al rango de calizas margosas (65-90% de CaCO_3).

El análisis de las láminas delgadas tomadas en 5 niveles más cementados (R1, R28, R33, R48 y R49) permite complementar las observaciones realizadas en el campo (**ANEXO-3**). Estas muestras están distribuidas regularmente a lo largo de la serie analizada: en la parte basal (R1), parte central (R28, R33) y a techo de la serie (R48, R49). El estudio de estas láminas delgadas determina unas facies con una proporción variable entre tres elementos: **bioclastos**, entre el 10 y el 40% (gasterópodos, bivalvos, braquiópodos, fragmentos de equinodermos y serpúlidos), generalmente mal clasificados; **matriz micrítica**, generalmente masiva, ocasionalmente peloidal, con una fracción bioclástica de tamaño arena no identificable; y **extraclastos** de cuarzo de tamaño limo a arena (hasta el 25% aproximadamente). La matriz micrítica con extraclastos de cuarzo puede presentar franjas bioturbadas. Los bioclastos generalmente se preservan en condiciones óptimas. Encontramos desde bioclastos completos a valvas desarticuladas y fragmentadas, pero no muy redondeadas. En cuanto a la clasificación textural se trata de facies margosas generalmente de textura *wackestone* y ocasionalmente *packstone*. Esta última observación es coherente con las condiciones paleoecológicas deducidas para los bivalvos por Delvene *et al.* (1997, 1998) citadas en apartados anteriores, que asocia los niveles con mayor abundancia de bioclastos a episodios ocasionales de mayor energía (oleaje de tormenta).

5.2 Tosos

El perfil estratigráfico levantado en el afloramiento de Tosos consta de 23 metros de serie (ver imágenes de campo en el **ANEXO-2**). El intervalo analizado corresponde a la parte basal del tramo 3 de la Fm. Sot de Chera diferenciado por Pérez-Urresti *et al.* (1998) y Delvene *et al.* (1998). Al igual que en Ricla, el intervalo analizado incluye ammonites que permiten atribuir este tramo a la Subbiozona *Galar* del final del Oxfordiense (parte superior de la Biozona *Planula*). La sucesión litológica está representada a escala (potencia en metros). El perfil sintetiza (**Fig. 7**), en concreto:

- a) la **litología**, que consiste en margas y lutitas margosas con intercalaciones de niveles tabulares de espesor decimétrico más cementados de margas (clasificación de Vatan, 1967) de coloración más rojiza en campo.
- b) la equivalencia entre los tramos muestreados y la **numeración de los niveles** diferenciados por Delvene (2000) dentro de la Fm. Sot de Chera.
- c) la distribución de las **muestras** tomadas en campo (T1-T50).

El contenido fosilífero es muy escaso y consta de bivalvos y ammonites. El contenido de CaCO_3 de la serie varía de 27,83% (T23) a 49,48% (T6, T8) y tiene un contenido medio de 37,79%. Los primeros 9 metros (T1-T20) de serie muestran un contenido carbonatado superior a la media, exceptuando algunos picos mínimos de carbonato (T13, T15 y T19) y se clasifican en el rango de margas con intercalaciones de niveles más cementados de margas. Los 10,5 metros siguientes (R21-T42) se mantienen por debajo de la media de carbonato clasificándose en el rango de lutitas margosas con intercalaciones de niveles más cementados de margas, que representarían los picos máximos de carbonato (T28, T32, T39, T42). Hacia techo (últimos 3,5 metros) el carbonato se incrementa progresivamente, clasificando este último tramo en el rango de las margas.

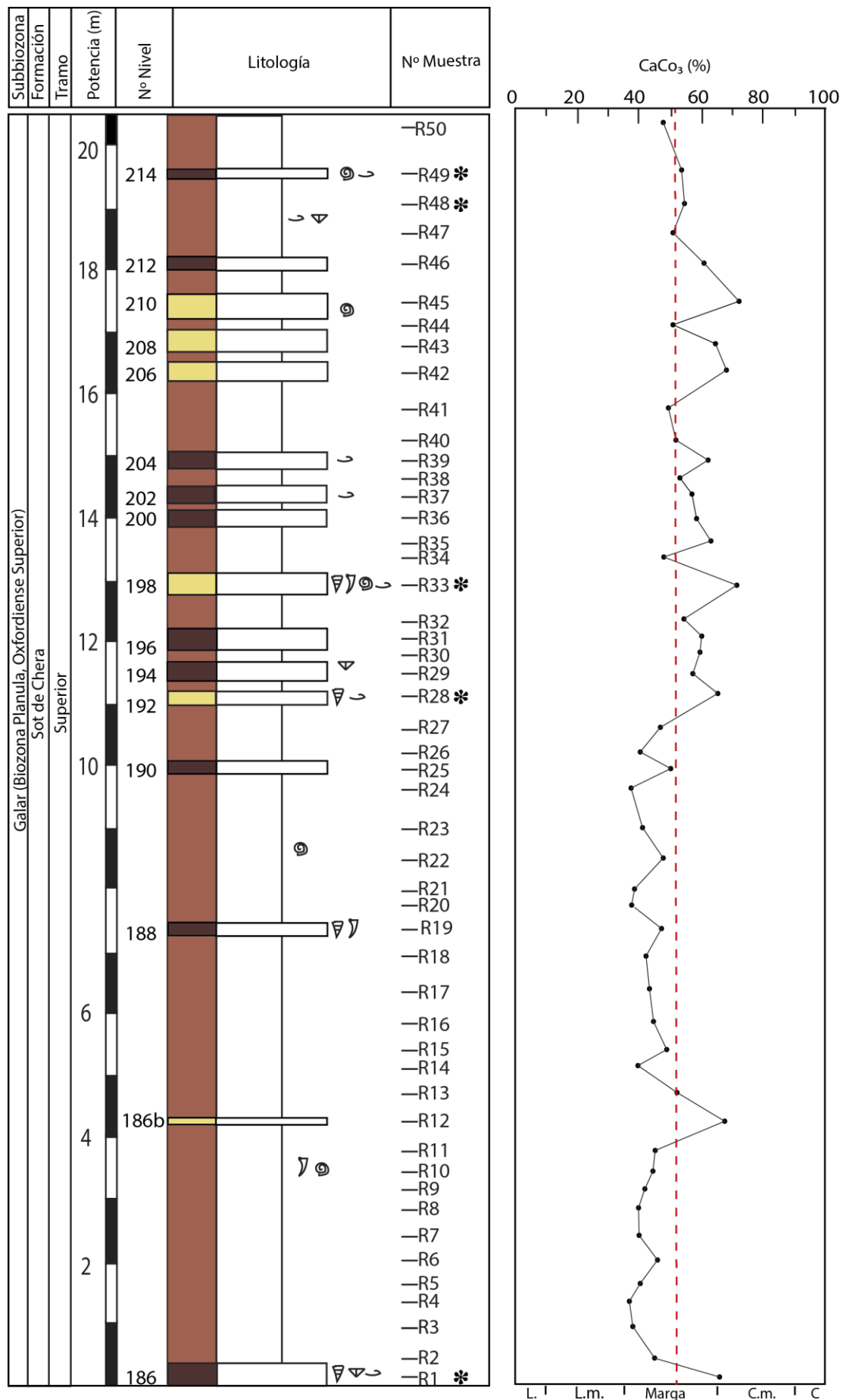


Fig. 6. Columna estratigráfica realizada en la parte media del tramo superior de la Fm. Sot de Chera en el sector de Ricla (ver leyenda de símbolos en fig. 8).

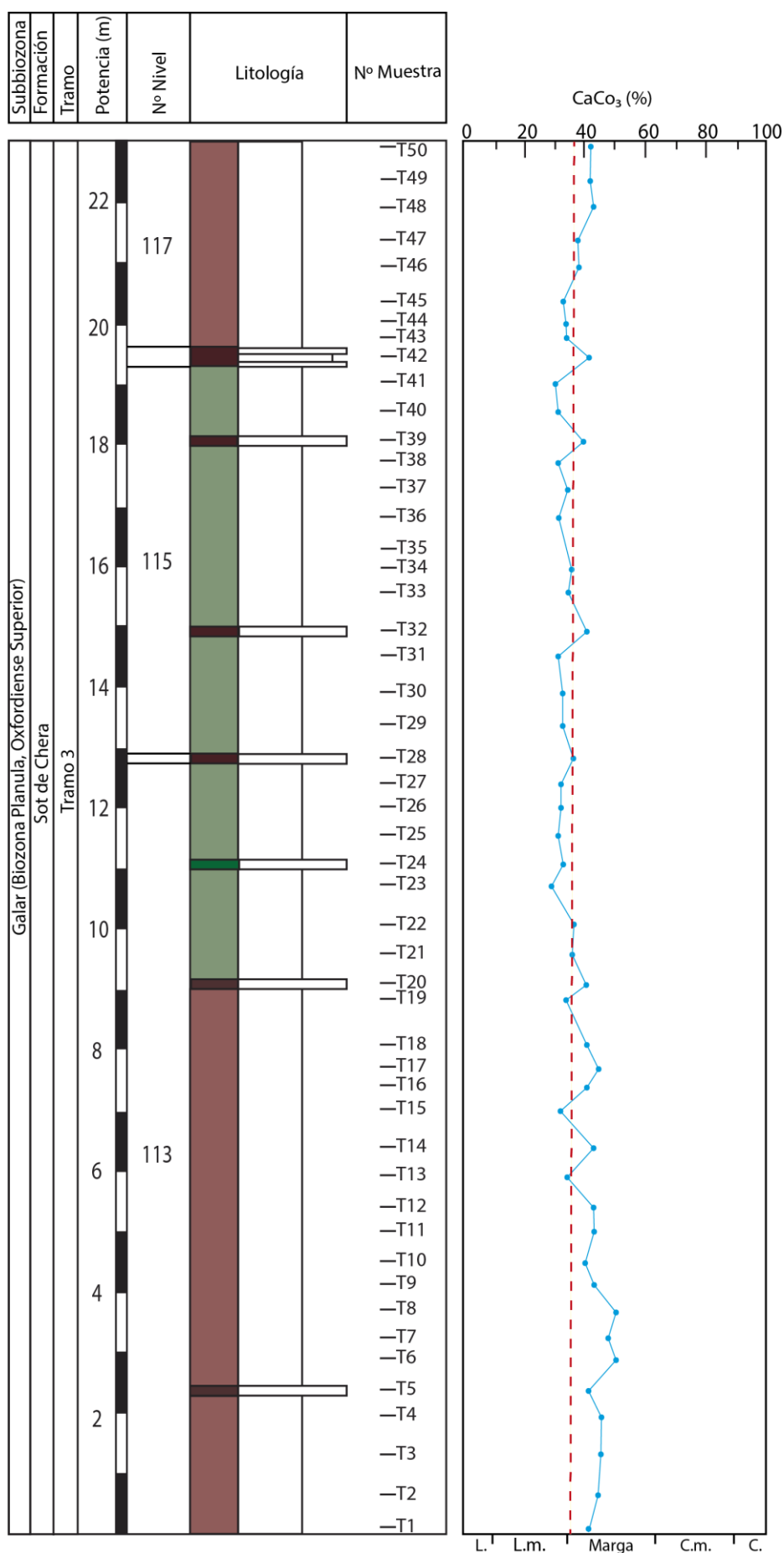


Fig. 7. Columna estratigráfica realizada en la parte basal del tramo superior (tramo 3) de la Fm. Sot de Chera en el sector de Tosos (ver leyenda de símbolos en **fig. 8**).

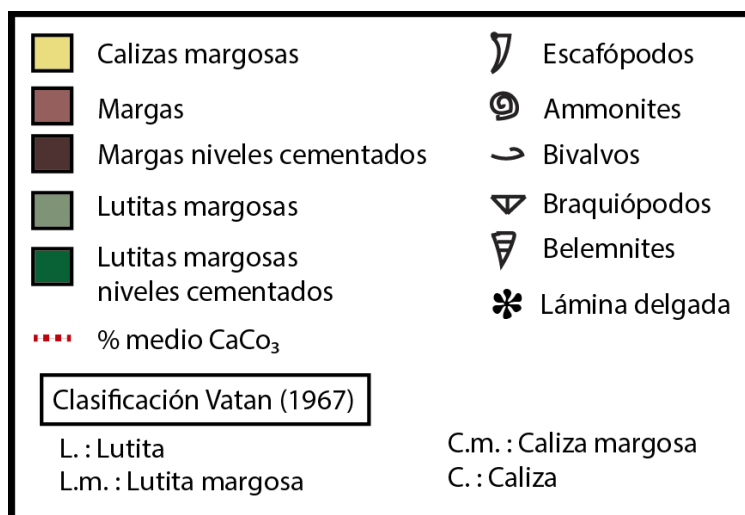


Fig. 8. Leyenda de símbolos de las columnas estratigráficas (ver Figs. 6 y 7).

6. COMPARACIÓN ENTRE LOS SECTORES DE RICLA Y TOSOS: INTERPRETACIÓN SEDIMENTOLÓGICA

Las series estratigráficas analizadas pertenecen al mismo intervalo litoestratigráfico (tramo superior de la Fm Sot de Chera) y temporal (correspondiente a la Subbiozona *Galar*). La correlación física entre las dos series analizadas, que están separadas entre sí 40 km, no es posible. Sin embargo, su equivalencia temporal permite establecer un análisis comparado general entre los resultados obtenidos en uno y otro perfil. Este análisis comparado es de interés, ya que los dos perfiles analizados representan dominios de sedimentación relativamente distales (Tosos) y relativamente proximales (Ricla) de la rampa carbonatada. Por lo tanto la comparación de ambos perfiles permite interpretar los procesos sedimentarios que tuvieron lugar al final del Oxfordiense en diferentes dominios de la rampa carbonatada, localizados en la zona de tránsito de rampa media a externa (Bádenas, 1999).

De la comparación del contenido en CaCO_3 en los sectores de Ricla y Tosos se observa lo siguiente (Fig. 9):

- El contenido medio en carbonato registrado en Ricla (51,30%) es mayor que el registrado en Tosos (37,79%).
- Las variaciones de carbonato son mucho más pronunciadas en Ricla que en Tosos, donde sigue una tendencia más lineal y constante.
- Hasta las muestras T21 y R24 (en torno al metro 10 de ambas sucesiones) el contenido total en carbonato es similar; a partir del metro 10 la proporción de carbonato es significativamente mayor en Ricla.
- El contenido fosilífero es mayor en el sector de Ricla que en Tosos.

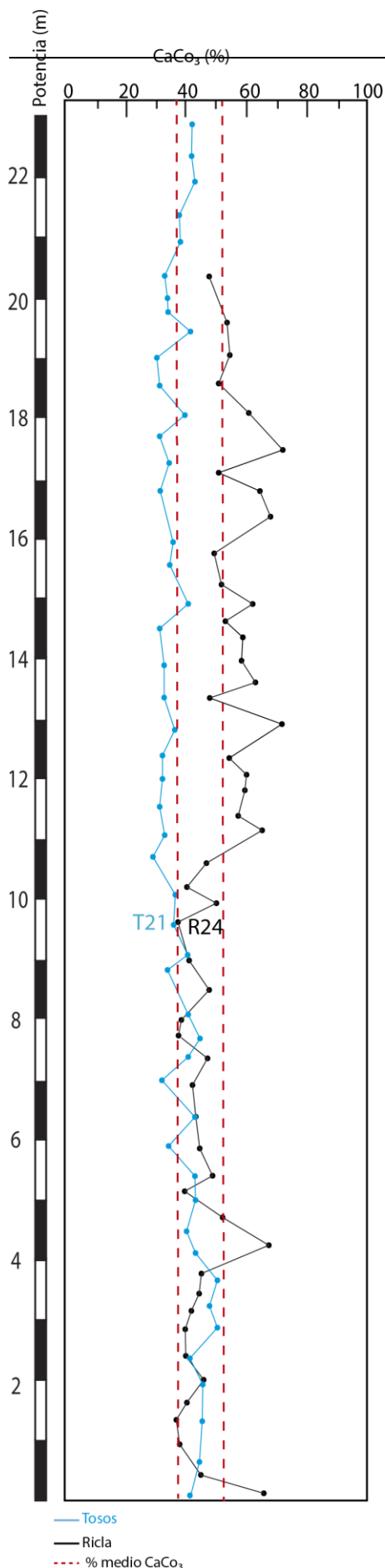


Fig. 9. Comparación de la evolución del contenido en carbonato en los sectores de Ricla y Tosos.

Los dos primeros aspectos podrían interpretarse en términos de variaciones en el aporte de carbonatos en los dominios de sedimentación relativamente profundos de la rampa, debido a la relación de proximidad-distal de los perfiles de Ricla y Tosos respecto a la zona somera de la rampa con elevada producción de carbonatos (la *fábrica de carbonatos*, ver James, 1984). Los datos de este trabajo aportan también nuevos datos respecto al origen del fango carbonatado acumulado en las zonas distales de las rampas del final del Oxfordiense y Kimmeridgiense (Aurell *et al.*, 1995, 1998, Bádenas, 1999, Bádenas y Aurell, 2001).

Las zonas someras de las rampas carbonatas del final del Oxfordiense y Kimmeridgiense con elevada productividad de carbonato (Estrecho de Soria) están representadas por las facies arrecifales, oolíticas y bioclásticas de la Fm. Torrecilla (Bádenas y Aurell, 2001, ver **fig. 5**). Esta zona somera explicaría el origen de una parte significativa de fango carbonatado que se encuentra acumulado en las zonas más distales de la rampa carbonata (representada por los perfiles de Ricla y Tosos). De esta forma, según Aurell *et al.* (1995, 1998), una parte significativa del fango carbonatado producido en las zonas someras sería resedimentado mar adentro, fundamentalmente debido a las corrientes o flujo de retorno de tormentas, de modo que **el fango de origen resedimentado** representa una porción importante del carbonato acumulado en los dominios más distales de la rampa. Este *carbonato resedimentado* desde los dominios someros de la rampa, se suma al fango producido a partir de los microorganismos pelágicos de concha carbonatada (fundamentalmente, cocolitofóridos) o *sedimentación pelágica*.

Los estudios previos de Bádenas (1999) en los sectores de Ricla y Tosos interpretan la posibilidad de cierta producción *in situ* de carbonato, debido a que en el sector de Ricla existen abundantes bivalvos bentónicos cuya desintegración de sus partes duras podrían generar el fango carbonatado. Otra posibilidad sería que dicho fango procediera de la desintegración de algas calcáreas bentónicas presentes en la zona media y externa, hecho que sería factible siempre y cuando los dominios estuvieran dentro de la zona de penetración de la luz (zona fótica). Por otro lado, según Bádenas (1999), la correlación con los sectores proximales de Ricla (zonas someras del Estrecho de Soria) y la presencia de niveles de tempestitas con ooides resedimentados en las facies de margas en la sección de Sierra de Albarracín,

favorece el modelo de la presencia de una zona somera de elevada producción de carbonato que actuaría como área fuente del fango de origen resedimentado.

Si consideramos la sedimentación pelágica como un factor constante en los sectores de Ricla y Tosos (ver Aurell et al., 1998 y Bádenas, 1999), los datos aportados en este trabajo apoyan el modelo de los aportes de fango carbonatado por resedimentación, ya que el fango carbonatado de origen resedimentado tendría mayor influencia en el sector de Ricla, debido a su mayor proximidad a la fábrica de carbonatos. El sector de Tosos al localizarse en zonas más distales de la rampa carbonatada no registraría tanta influencia de este carbonato resedimentado, siendo mayor la proporción relativa del carbonato de origen pelágico (**Fig. 10**).

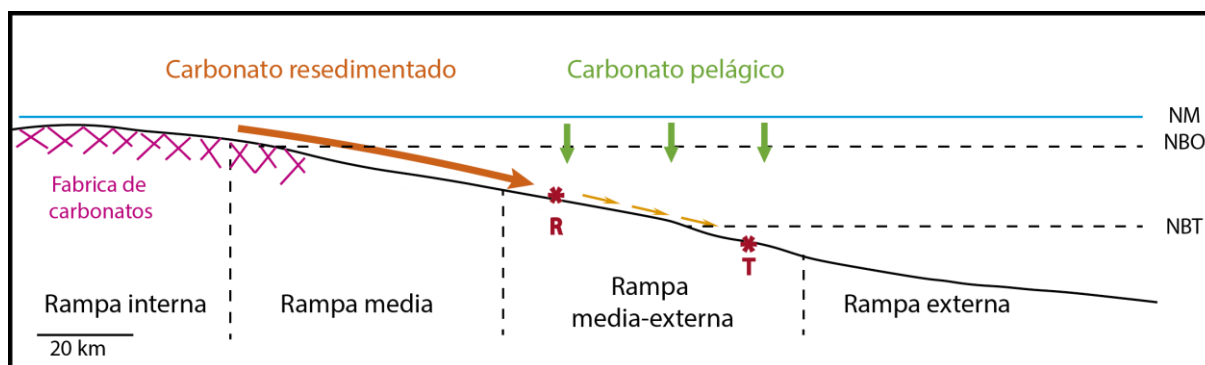


Fig. 10. Modelo de distribución de los procesos sedimentarios que controlan la producción de fango carbonatado de los dominios de sedimentación relativamente profundos de la rampa (sectores de Ricla-R y Tosos-T) en la zona de tránsito de rampa media a externa. El carbonato de origen pelágico se considera como un aporte constante en los dominios profundos estudiados, mientras que la cantidad de carbonato resedimentado decrece mar adentro. NM: nivel del mar, NBO: nivel base de oleaje de buen tiempo, NBT: nivel base de oleaje de tormentas.

Otro aspecto interesante es el incremento de la proporción de carbonato a partir del metro 10 de la serie de Ricla respecto a Tosos (ver **fig. 9**, muestras T21 y R24). Este dato se podría explicar desde la interpretación a largo término de las condiciones de depósito del cortejo transgresivo de la secuencia Kimmeridgiense-1, como un incremento de la resedimentación con el tiempo. Durante los estadios iniciales de la inundación de la plataforma la producción de carbonato es menor. A medida que avanza la inundación de la plataforma, aumenta la productividad de carbonato de las áreas someras y la capacidad de transporte del mismo a áreas más profundas de la plataforma carbonatada (Ricla). El incremento de las facies arrecifales y bioclásticas (corales, estromatopóridos, algas verdes, etc.) en las zona someras del Estrecho de Soria durante el desarrollo de este cortejo transgresivo (Fm. Torrecilla, ver Bádenas, 1999) son coherentes con esta interpretación.

En cuanto al contenido fósil, se puede apreciar una diferencia notable entre los sectores de Ricla y Tosos, siendo el de Ricla más abundantes en organismos bentónicos, en particular bivalvos. Este decrecimiento estaría en relación con la situación de las áreas de aportes continentales (Bádenas, 1999, Delvene, 2000), ya que el principal factor que controlaría la abundancia de organismos bentónicos sería la disponibilidad de nutrientes procedente del continente (Macizo del Ebro, ver **fig. 5**). El material detrítico de procedencia continental y los nutrientes que este arrastra se van reduciendo hacia los dominios más distales (Tosos), concentrándose en los dominios más próximos al área fuente (Ricla). En Ricla las margas de Sot de Chera tienen una mayor influencia siliciclástica

(extraclastos de cuarzo comunes en la matriz), indicativa de mayores aportes continentales, así como un mayor contenido en organismos bentónicos infaunales y epifaunales (bivalvos principalmente), indicativos de fondos bien oxigenados, con aporte de nutrientes. Otro aspecto interesante es la presencia de niveles bioclásticos con acumulación de bivalvos en Ricla, aspecto que explicaría la influencia episódica del oleaje inducido por tormentas. Estos niveles de acumulación de bioclastos atribuidos a tempestitas (Bádenas, 1999) no se observan en el perfil más distal de Tosos, que se encontraría a mayor profundidad, por debajo del nivel de base del oleaje de tormentas (ver **fig. 10**).

7. DISCUSIÓN: ORIGEN DE LOS CICLOS DE VARIACIÓN DE CARBONATO DE CORTA DURACIÓN

La evolución del contenido de carbonato en la serie estudiada del sector de Ricla permite identificar ciclos de variación de carbonato de espesor métrico (ciclos de corta duración). Por ello, se ha elegido dicho perfil para discutir el origen de esta ciclicidad de la serie.

El perfil de Ricla muestra una sucesión margosa con intercalaciones de niveles más cementados de margas y calizas margosas. Se trataría de sucesiones similares a las ritmitas marga-caliza comunes en el registro sedimentario (Vera, 1994), aunque no en sentido estricto, ya que la litología de los materiales observada no coincide exactamente con la litología de los ritmos marga-caliza más comunes. Esta ritmicidad ha permitido dividir la serie en 7 ciclos sedimentarios (**Fig. 12**), formados por margas con intercalaciones de niveles más cementados de margas y calizas margosas, con una potencia media de 3 metros y dispuestos en sucesiones estratocrecientes y, en su mayoría, carbonatocrecientes. Los límites de los ciclos están marcados por los picos máximos de CaCO_3 (**Fig. 12**, muestras R12, R19, R25, R33, R45 y R49).

Estos ciclos se podrían explicar a partir de la existencia de ciclos de variación del nivel del mar de corta duración. Estas variaciones cíclicas tendrían lugar durante el evento transgresivo o cortejo transgresivo (TST) que marca la parte inferior de la Secuencia Kimmeridgiense-1, en la cual se incluye el intervalo estratigráfico analizado (**Fig. 4**).

Los ciclos de variación del nivel del mar de corta duración generalmente invocados para explicar el origen de las ritmitas calcáreas, incluyen sendas etapas de ascenso y descenso del nivel del mar (**Fig. 11**). En los episodios de ascenso del nivel del mar los organismos productores de carbonato de las zonas someras de la plataformas (fábrica de carbonatos) tienen que adaptarse a los nuevos nichos ecológicos creados en la plataforma tras la etapa de descenso del nivel del mar precedente, por lo que la productividad es baja y, como consecuencia, el aporte de carbonato a zonas distales (*carbonato resedimentado*) es escaso. El episodio de descenso del nivel del mar posterior se traduce en una etapa de estabilización del nivel del mar, debido al efecto de la subsidencia de creación de acomodación. Durante esta etapa de estabilización del nivel del mar, los organismos productores de carbonato disponen de una amplia área de producción, aumentando así su productividad y la capacidad de transporte del mismo a áreas más distales de la plataforma carbonatada (modelo del *highstand shedding*, ver Schlager *et al.*, 1994). Este modelo se puede aplicar en la serie de Ricla para entender la evolución estratocreciente y carbonatocreciente de los ciclos diferenciados.

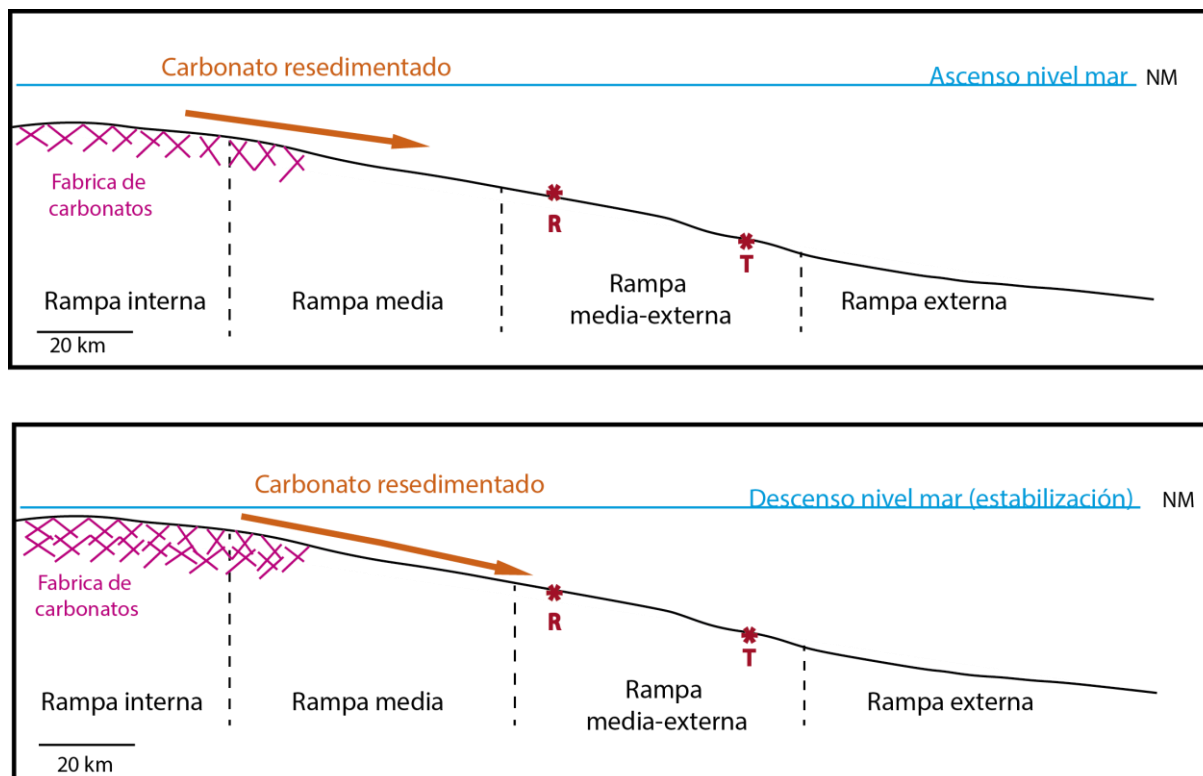


Fig. 11. Relación de los diferentes episodios del nivel del mar con la distribución del carbonato resedimentado en los dominios de sedimentación relativamente profundos de la zona de tránsito rampa media-externa, donde se localizan los perfiles estudiados .A) Durante el ascenso del nivel del mar el aporte de *carbonato resedimentado* a las zonas distales de la rampa carbonatada es menor. B) La estabilización del nivel del mar favorece a la producción y transporte de *carbonato resedimentado* a las zonas distales de la rampa.

7.1 Posible registro de ciclos orbitales en Ricla

El estudio de la ciclicidad en Ricla sugiere la existencia de fluctuaciones del nivel del mar que podrían relacionarse con ciclos climáticos regulados por parámetros orbitales (ciclos de Milankovitch). Como normal general para poder afirmar que unos ciclos concretos son de la banda de frecuencia de Milankovitch (Vera, 1994) es necesario conocer dos parámetros: 1) intervalo de recurrencia (entre 20-100 mil años), que se obtiene dividiendo el tiempo representado en la serie estratigráfica; 2) y la periodicidad.

En Ricla, el intervalo estratigráfico analizado corresponde a 20,5 m de los 68 m totales que corresponden a la Subbiozona *Galar* (Delvene, 1999). Esta subbiozona es una de las dos en la que se divide la Biozona *Planula*. Según Hardenbol *et al.* (1998), la Biozona *Planula* tiene una duración de 0,9 millones de años. Si suponemos que sus dos biozonas tienen igual duración, el tiempo aproximado de duración de la Subbiozona *Galar* sería de 0,45 Ma. Suponiendo una tasa de sedimentación constante para el tramo superior de la Fm. Sot de Chera en Ricla, los 20,5 metros analizados podrían cubrir un intervalo de tiempo de en torno a 0,136 Ma. De este modo, el intervalo de recurrencia de las 7 secuencias diferenciadas en Ricla sería de 19.400 años, que encaja con el intervalo de tiempo que cubre el ciclo orbital de precesión (rango entre 19 y 23 mil años, ver Vera, 1994).

La posible asignación a los ciclos de precesión de las secuencias definidas en el tramo superior de la Fm de Sot de Chera en el sector de Ricla, es coherente con los resultados obtenidos por Bádenas *et*

al. (2005). Estos autores realizaron un estudio cicloestratigráfico en las sucesiones de rampa media-externa del Kimmeridgiense Superior (parte superior de la Fm. ritmita calcárea de Loriguilla, sectores de Ricla-Aguilón). Los resultados más relevantes obtenidos por estos autores son:

- Posible influencia de los ciclos orbitales de precesión en una serie de secuencias de 1 a 3 m de espesor, que incluyen de 2 a 5 niveles carbonatados, en ocasiones dispuestos en sucesiones estratocrecientes.
- Influencia de la resedimentación desde las zonas someras del fango carbonatado para explicar el origen de las secuencias.
- Se muestra también como los dominios mas someros de la plataforma presentan también evidencias de fluctuaciones orbitales, con el desarrollo de secuencias de alta frecuencia.

En conclusión, Bádenas *et al.* (2005) identifican tanto ciclos de excentricidad de rango corto (100 mil años) como ciclos de precesión (en torno a 20 mil años). Estos últimos serian equivalentes en duración a los ciclos identificados en el presente trabajo para las rampas del final del Oxfordiense.

7.2 Implicaciones paleoclimáticas y paleoambientales

Los datos expuestos en la presente memoria son coherentes con los resultados obtenidos por Colombié *et al.* (2014) en el estudio sedimentológico en detalle del Oxfordiense Superior (Biozona *Planula*) de Ricla. Estos autores realizan una reconstrucción de los procesos climáticos, oceanográficos y tectónicos que regularon el ambiente de depósito, que se resumen a continuación.

Estos autores definen el límite de las Subbiozonas *Planula* y *Galar* como un periodo transicional de importantes cambios paleoambientales y paleoclimáticos, controlados por la posible influencia de los ciclos orbitales (ciclos de excentricidad de rango corto de 100 mil años de duración). Este periodo transicional vendría marcado por un incremento en la temperatura del medio lo que supondría: 1) un menor aporte siliciclástico, y como consecuencia de ello, un decrecimiento en el aporte de nutrientes a las plataformas carbonatadas. Ello determinaría un cambio de un medio mesotrófico en el límite *Planula-Galar*, a un ambiente oligotrófico en el intervalo de la Subbiozona *Galar*; 2) y un incremento en el depósito de carbonatos.

En cuanto a la actividad tectónica de la placa Ibérica durante el Oxfordiense Superior, se distinguen dos etapas: 1) etapa de Rifting (Jurásico Superior-Cretácico inferior) antes de la transición de las Subbiozonas *Planula-Galar* que provocaría un incremento en el aporte siliciclástico; 2) y una etapa de subida global del nivel del mar y disminución en las precipitaciones en el interior del continente que supondría un retorno a las condiciones optimas de sedimentación carbonatada en la Subbiozona *Galar*.

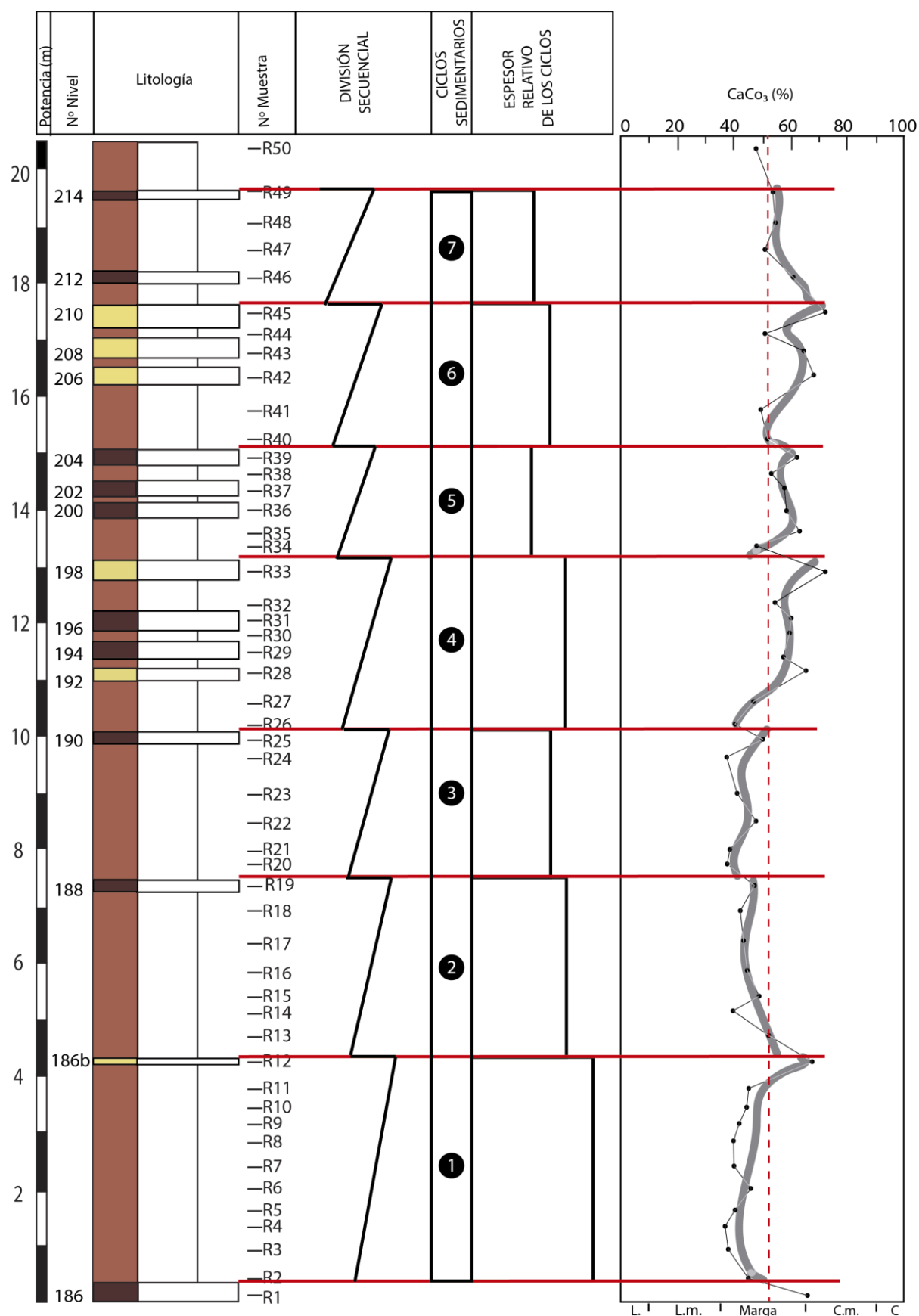


Fig. 12. División de la columna estratigráfica de Ricla en 7 ciclos sedimentarios. En el gráfico se muestra: la evolución secuencial (estratocreciente), el espesor relativo y la evolución del contenido en carbonato (carbonatocreciente en su mayoría) de los ciclos sedimentarios. Ver leyenda de símbolos en **fig. 8**.

8. CONCLUSIONES

Calcium carbonate content was analyzed in two outcrops (Ricla and Tosos) representing different sedimentary domains of the transition area between middle-outer of the uppermost Oxfordian (*Galar Subzone*) carbonate ramp. The obtained results are summarized below:

- The carbonate mudstones accumulated on the middle-outer ramp area were partly derived from the export of carbonate from the shallow production areas (carbonate factory). The amount of carbonate content varies accordingly with the distance from the carbonate factory. In the shallower domains, as Ricla section represents, the influence of exported carbonates is higher due to its proximity to the carbonate factory. Whereas, Tosos section represents deeper domains where the influence of exported carbonate is not so important.
- The marly-dominated succession of Ricla record 7 sedimentary cycles that can be explained by sea-level fluctuations that influenced the carbonate factory and consecutively, the amount of carbonate mud supplied to and accumulated on the middle-outer ramp areas. During sea level rise events, the lowest productivity of the shallow production areas (carbonate factory) took place. The subsequent highstand of sea level is characterized by an increase in carbonate production and in turn, the proportion of the exported carbonate (*highstand shedding*).
- This high-frequency sea level changes could be explained by climatic changes associated with orbital parameters (Milankovitch cycles). The sedimentary cycles studied with a recurrence interval of 19.4 Kyr, are interpreted as precessional cycles.

9. BIBLIOGRAFÍA

Aurell, M., Bosence, D.W.J. y Waltham, D.A. (1995): Carbonate ramp depositional systems from a late Jurassic epeiric platform (Iberian basin, Spain): a combined computer modelling and outcrop analysis. *Sedimentology*, 42: 75-94.

Aurell, M., Bádenas, B., Bosence, D.W.J. y Waltham, D.A. (1998): Carbonate production and offshore transport on a Late Jurassic carbonate ramp (Kimmeridgian, Iberian basin, NE Spain): evidence from outcrops and computer modelling. En: *Carbonate ramps* (Wright, V.P. y Burchette, T.P., eds.) Geological Society of London, Special Publication, 149: 137-161.

Aurell, M., Bádenas, B., Ipas, J. y Ramajo, J. (2010): Sedimentary evolution o fan Upper Jurassic carbonate ramp (Iberian Basin, NE Spain).En: *Reference models of Mesozoic and Cenozoic carbonate systems in Europe and the Middle East – stratigraphy and diagenesis*,(van Buchem, F. , Gerdes, K. y Esteban, M., eds.),Geological society of London, Special Publication, 329: 87-109.

Bádenas, B. (1999): *La sedimentación en las rampas carbonatadas del Kimmeridgiense en las cuencas del Este de la Placa Ibérica*. Tesis Doct. Dpto. Ciencias de la Tierra, Univ. Zaragoza, 256 p.

Bádenas, B. y Aurell, M. (2001): Kimmeridgian paleogeography and basin evolution of northeastern Iberia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 168: 291-310.

Bádenas, B., Aurell, M., Pérez-Urresti, I. y Delvene, G. (1998): Estratigrafía y evolución sedimentaria del Oxfordiense superior-Titónico inferior en Ricla (Zaragoza). *Geogaceta*, 24: 35-38.

Bádenas, B., Aurell, M. y Gröcke, D. R. (2005): Facies analysis and correlation of high-order sequences in middle-outer ramp successions: variations in exported carbonate on basin-wide $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ (Kimmeridgian, NE Spain). *Sedimentology*, 52: 1253-1275.

Colombié, C., Giraud, F., Schnyder, J., Götz, A. E., Boussaha, M., Aurell, M. y Bádenas, B. (2014): Timing of sea level, tectonics and climate events during the uppermost Oxfordian (Planula zone) on the Iberian ramp (northeast Spain).*Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 412: 17-31.

Delvene, G. (2000): *Los bivalvos del Jurásico Medio y Superior en la Cordillera Ibérica (España): sistemática y paleoecología*. Tesis Doct. Dpto. Ciencias de la Tierra, Univ. Zaragoza, 209 p.

Delvene, G., Ramajo, J. y Pérez-Urresti, I. (1997): Primeros datos sobre la paleoecología y bioestratigrafía en la Fm. Sot de Chera (Ricla, Zaragoza).*XII Jornadas de Paleontología, La Coruña, libro comunic y excurs.*: 169-173.

Delvene, G., Ramajo, J. y Pérez-Urresti, I. (1998): Nuevos datos sobre Paleontología y Bioestratigrafía en la Formación Sot de Chera (Jurásico Superior) de Ricla, Zaragoza. *Coloquios de Paleontología*, 49: 77-95.

Dunham, R.J. (1962): Classification of carbonate rocks according to depositional texture. En: *Classification of Carbonate Rocks* (W.E. Ham, ed.). American Association of Petroleum Geologists Memoir, 1: 108-121.

Hardenbol, J., Thierry, J., Farley, M.B., Jacquin, T., De Gracianski, P.C. y Vail, P.R. (1998): Mesozoic and Cenozoic sequence chronostratigraphic framework of European basins. En: *Mesozoic and Cenozoic Sequence Stratigraphy of European basins* (De Gracianski, P.C.; Hardenbol, J., Jacquin, T. y Vail P.R., eds.). *Society for Sedimentary Geology*, 60: 1-8.

James, N.P. (1984): Shallowing-upward sequences in carbonates. En: Facies models (R.G. Walker, ed.). *Geoscience Canada*, 213-228.

Lendínez González, A., Ruiz Fernández de la Lopa, V., Carls, P. (1989): *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº439 (Azuara) y memoria*. IGME, Madrid, 80 p.

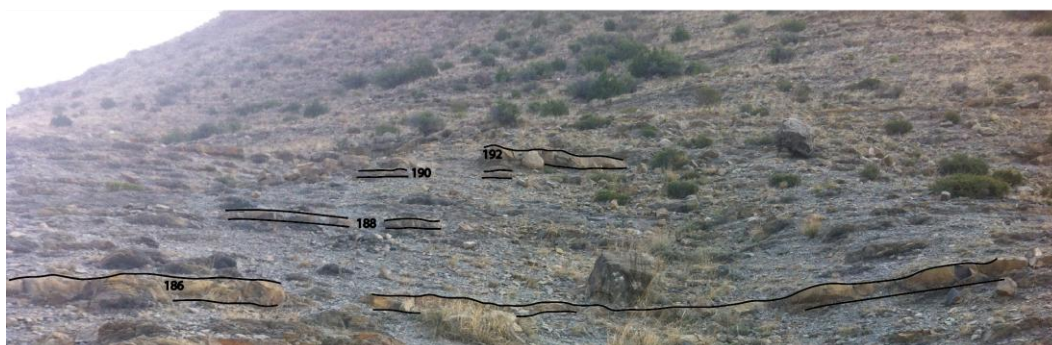
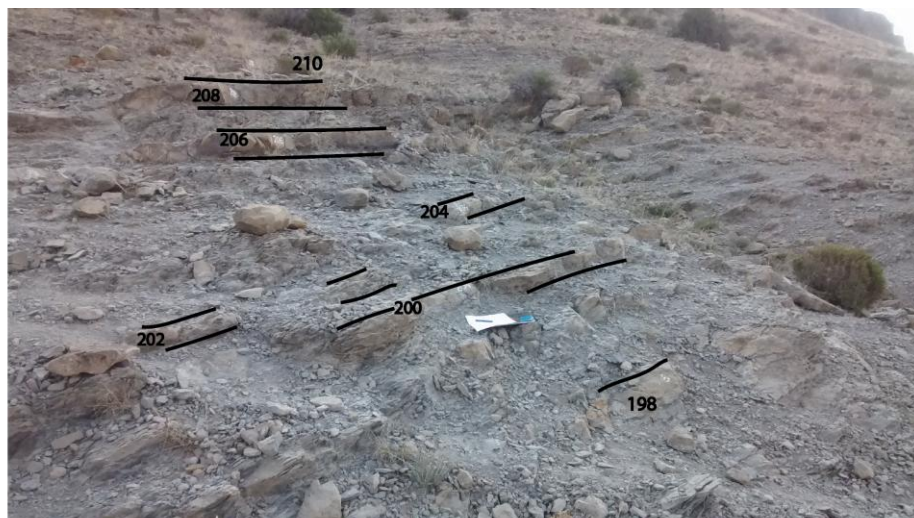
Lendínez González, A., Gozalo Gutiérrez, R., Ramajo Cordero, J., Robador Moreno, A., Cabra Gil, P., Pérez García, A. (2006): *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº382 (Épila) y memoria*. IGME, Madrid, 163 p.

Pérez-Urresti, I., Delvene, G., Meléndez, G. y Ramajo, J. (1998): El Oxfordiense Superior y la posición del límite Oxfordiense-Kimmeridgiense en el sector de Tosos-Aguilón (Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica, España. *Geogaceta*, 24: 251-254.

Schlager, W., Reijmer, J.J.G. y Droxler, A. (1994): Highstand shedding of carbonate platform. *Journal of sedimentary research*, 3: 270-281.

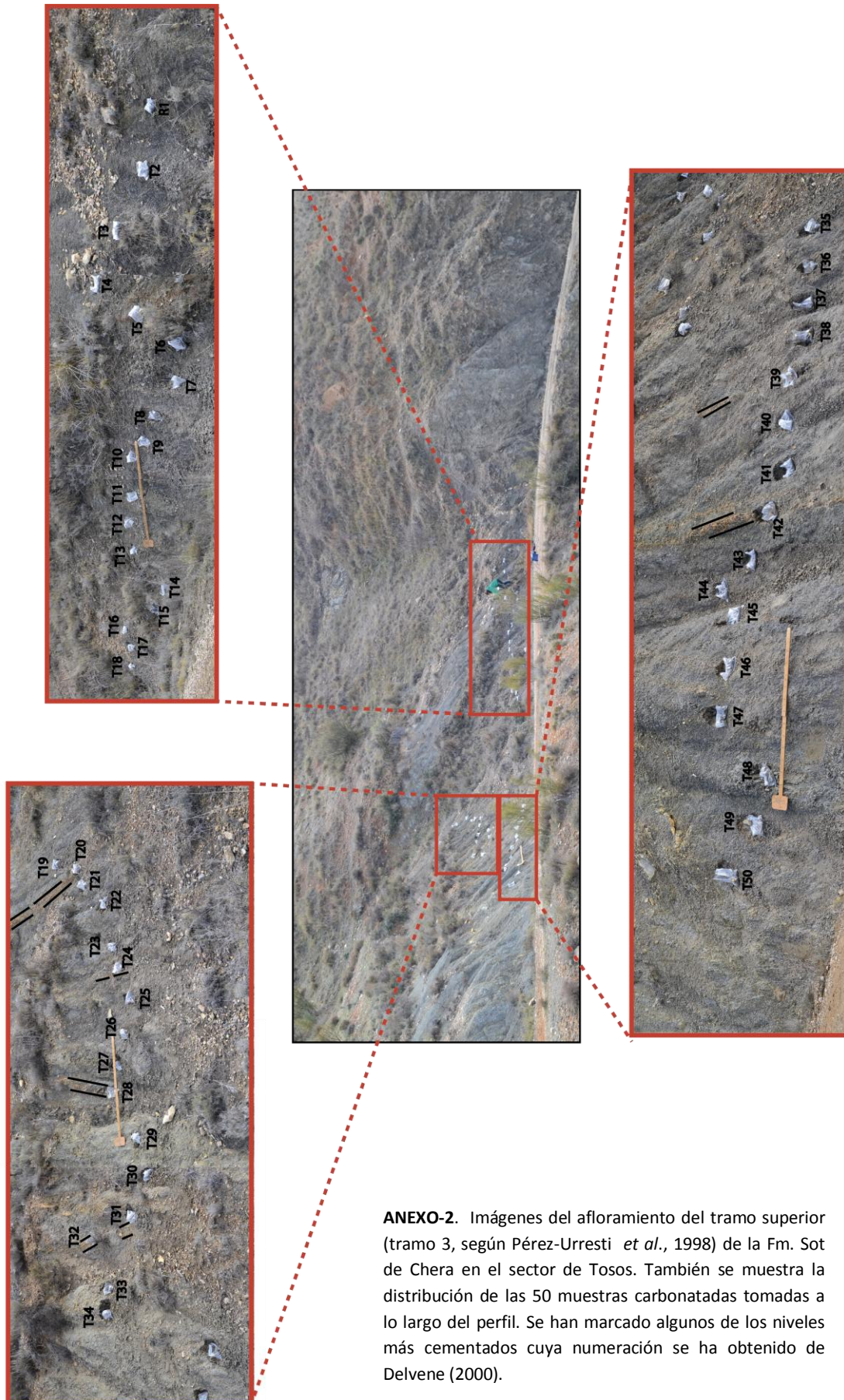
Torres, J. A. V. (1994): *Estratigrafía: principios y métodos*. Editorial Rueda, S.L., Madrid, 806 p.

Vatan, J.M. (1967): *Manual de Sedimentologie*. Editorial Technip, Paris, 397 p.

ANEXO-1

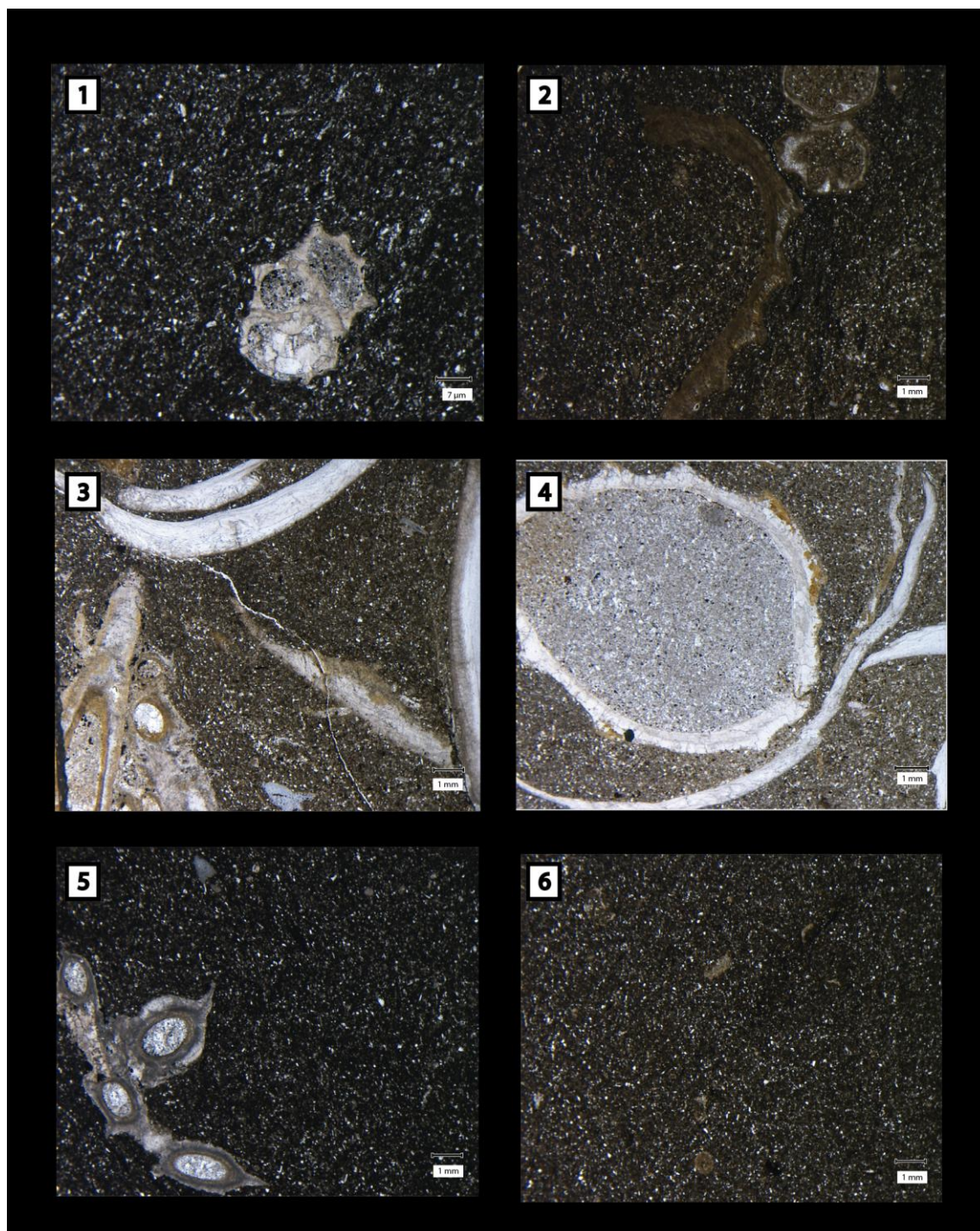
ANEXO-1. Imágenes del afloramiento de base a techo del tramo superior de la Fm. Sot de Chera en el sector de Ricla. La numeración de los niveles más cementados de la serie se ha obtenido de Delvene (2000).

ANEXO-2



ANEXO-2. Imágenes del afloramiento del tramo superior (tramo 3, según Pérez-Urresti *et al.*, 1998) de la Fm. Sot de Chera en el sector de Tosos. También se muestra la distribución de las 50 muestras carbonatadas tomadas a lo largo del perfil. Se han marcado algunos de los niveles más cementados cuya numeración se ha obtenido de Delvene (2000).

ANEXO-3



Anexo-3. Microfacies: **1)** Gasterópodo completo en muy buen estado de conservación inmerso en una matriz micrítica con extraclastos de cuarzo (25%) y una fracción bioclástica de tamaño arena no identificable (muestra R1); **2)** Valva de bivalvo desarticulada y bivalvos completos de menor tamaño de aspecto ferruginizado inmersos en una matriz micrítica con extraclastos de cuarzo (25%) y una fracción bioclástica de tamaño arena no identificable (muestra R28) **3, 4)** *Wackestone-packstone* de bivalvos ocasionalmente con serpúlidos adheridos a las valvas, inmersos en una matriz de micrítica con extraclastos de cuarzo (20%) y una fracción bioclástica de tamaño arena no identificable (muestra R33); **5)** Colonia de serpúlidos inmersos en una matriz micrítica con extraclastos de cuarzo (25%) y una fracción bioclástica de tamaño arena no identificable. En la parte superior, se identifica un fragmento de equinodermo (muestra R48); **6)** Bioclastos de menor tamaño (aproximadamente 1mm) inmersos en una matriz micrítica con extraclastos de cuarzo (25%) y una fracción bioclástica de tamaño arena no identificable. En esta lámina se puede diferenciar las trazas de bioturbación (muestra R49).