



Departamento de
Ciencias de la Tierra
Universidad Zaragoza



Facultad de Ciencias
Universidad Zaragoza

SEDIMENTOLOGÍA Y CICLOESTRATIGRAFÍA DE LAS CALIZAS FANGOSAS DE PLATAFORMA ABIERTA DE LA FM. RÍO PALOMAR (PLIENSBACHIENSE INFERIOR; CUENCA IBÉRICA)

Trabajo de Fin de Máster. Máster “Geología: Técnicas y Aplicaciones”

Septiembre, 2016

Cristina Sequero López

Directores: Dra. Beatriz Bádenas Lago y Dr. Arsenio Muñoz Jiménez



ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| 1. Planteamiento..... | 3 |
| 2. Objetivos..... | 3 |
| 3. Metodología..... | 4 |
| 3.1. Revisión bibliográfica..... | 4 |
| 3.2. Trabajo de campo..... | 4 |
| 3.3. Trabajo de gabinete y laboratorio..... | 5 |
| 3.4. Elaboración y síntesis..... | 7 |
| 4. Situación geográfica y geológica..... | 7 |
| 4.1. Situación geográfica..... | 7 |
| 4.2. Contexto geológico y estratigráfico..... | 9 |
| 4.3. Contexto paleogeográfico y sedimentológico..... | 12 |
| 5. Descripción de resultados..... | 13 |
| 5.1. Análisis estratigráfico-sedimentológico y secuencial..... | 14 |
| 5.2. Susceptibilidad magnética..... | 27 |
| 5.3. Análisis espectral..... | 29 |
| 6. Interpretación de los resultados..... | 34 |
| 6.1. Interpretación de las facies sedimentarias..... | 35 |
| 6.2. Evolución vertical de facies en las secuencias..... | 39 |
| 6.3. Caracterización de la ciclicidad registrada en la susceptibilidad magnética.... | 40 |
| 7. Discusión..... | 46 |
| 7.1. Comparación de resultados: análisis secuencial y espectral..... | 46 |
| 7.2. Origen y expresión de la ciclicidad en la Fm. Río Palomar..... | 47 |
| 7.3. Comparación con series de similar edad de la Cuenca Ibérica..... | 51 |
| 8. Conclusiones..... | 51 |
| 9. Bibliografía..... | 52 |
| 10. Anexos..... | 56 |
| Anexo 1. Perfil <i>Almonacid de la Cuba</i> en detalle | |
| Anexo 2. Perfil <i>Ricla Barranco</i> en detalle | |
| Anexo 3. Perfiles <i>Almonacid de la Cuba</i> , <i>Ricla Barranco</i> y <i>Ricla Estrechos</i> | |

1. PLANTEAMIENTO

Las calizas de la Fm. Río Palomar corresponden a facies predominantemente fangosas con acumulaciones bioclásticas producidas por tormentas, que se depositaron en las zonas abiertas de la plataforma carbonatada desarrollada en la Cuenca Ibérica durante el Pliensbachiense Inferior. Estudios en facies similares de la misma edad en cuencas próximas (e.g. Cuenca Asturiana), han demostrado la impronta de cambios climáticos en la banda de frecuencia de Milankovitch durante su depósito, aspecto que no ha sido estudiado hasta el momento en la Cuenca Ibérica.

El principal objetivo de este trabajo consiste en encontrar y analizar la posible señal de cambios climáticos inducidos por causas orbitales en las calizas de la Fm. Río Palomar, en los afloramientos de Ricla y Almonacid de la Cuba (provincia de Zaragoza), separados entre sí unos 50 km, donde la unidad alcanza en torno a 60 m de potencia. La metodología para este análisis cicloestratigráfico abarcará tanto el estudio estratigráfico-sedimentológico capa a capa de las series conducente a la identificación de secuencias sedimentarias de diferente orden, como el análisis de los datos de espesores de estratos y de la susceptibilidad magnética mediante el programa PAST-3, para la identificación de ciclos y su calibración temporal. La calibración temporal de las series está ajustada mediante datos bioestratigráficos de ammonites.

Los datos obtenidos serán útiles para discutir acerca de cómo influyeron los posibles cambios climáticos en una etapa con clima de tipo *greenhouse*, sobre la sedimentación en zonas marinas abiertas, donde el origen del sedimento se debió, hipotéticamente, a procesos variados (producción *in situ*, pelágica y resedimentación), y donde la acumulación de sedimento estuvo en parte controlada por eventos no necesariamente periódicos (tormentas).

2. OBJETIVOS

El presente trabajo se centra en la identificación y caracterización de la posible señal climática inducida por causas orbitales en las calizas de la Fm. Río Palomar. Los objetivos concretos a seguir en este trabajo son:

- 1) Entender cuál es el significado paleoambiental y proponer un modelo de sedimentación para los materiales de la Fm. Río Palomar, en el ámbito de la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica.
- 2) Detectar y caracterizar señales climáticas inducidas por parámetros orbitales mediante el análisis secuencial y el tratamiento estadístico de dos variables ambientales: espesor de los estratos y contenido en minerales magnéticos (medida de la susceptibilidad magnética).
- 3) Discutir qué factores, tanto externos como internos, han intervenido en la expresión de dicha ciclicidad.

3. METODOLOGÍA

La metodología llevada a cabo para la consecución de los objetivos planteados abarcó 4 procedimientos básicos: revisión bibliográfica, trabajo de campo, trabajo de gabinete y de laboratorio, y elaboración y síntesis de la presente memoria.

3.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El análisis bibliográfico ha consistido en la recopilación de información referente a la unidad de estudio, tanto de carácter general (Aurell *et al.*, 2003) como de carácter más específico (e.g. Comas-Rengifo *et al.*, 1999; Bordonaba y Aurell, 2002; Gómez *et al.*, 2003; Cortés *et al.*, 2009). Así mismo, también se ha recopilado información acerca de las diversas técnicas empleadas en cicloestratigrafía complementarias al estudio sedimentológico y estratigráfico (e.g. Bádenas *et al.*, 2003, 2012; Prados y Bádenas, 2015; Gil *et al.*, 2009).

3.2. TRABAJO DE CAMPO

En función de las características y accesibilidad de los afloramientos de la Fm. Río Palomar en los sectores de Almonacid de la Cuba y Ricla, la labor de campo se organizó en dos partes:

- 1) El levantamiento de dos perfiles estratigráfico-sedimentológicos de referencia, uno en el sector de Almonacid de la Cuba (perfil *Almonacid de la Cuba*) y otro en Ricla (perfil *Ricla Barranco*). El perfil *Almonacid de la Cuba* abarca la práctica totalidad de la Fm. Río Palomar. Sin embargo, en el perfil *Ricla Barranco*, la parte inferior de la unidad no ha podido ser caracterizada debido a que está afectada por diversas fallas. En ambos casos, el levantamiento de los perfiles comprendió:
 - El estudio capa a capa del espesor, tipo de estratificación, litología, color, textura, componentes y estructuras sedimentarias. Respecto a los rasgos de la estratificación, se realizó la identificación de secuencias o de lotes de estratos limitados por superficies de estratificación netas (*bundles* o secuencias elementales), y apilamientos de éstos (*sets* de *bundles* y lotes de *sets*), de modo similar a trabajos previos (e.g. Bádenas *et al.*, 2003, 2012; Cortés *et al.*, 2009). La clasificación textural de las calizas se realizó siguiendo la clasificación de Dunham (1962).
 - La toma de muestras de calizas para su posterior estudio en lámina delgada (26 muestras en total: 16 en *Almonacid de la Cuba* y 10 en *Ricla Barranco*).
 - La medida de la susceptibilidad magnética con un susceptómetro portátil en los estratos de caliza a intervalos medios de 10 cm (569 medidas en *Almonacid de la Cuba* y 404 en *Ricla Barranco*). Se realizaron dos mediciones por cada punto de medida para minimizar los errores instrumentales.
 - La toma de fotografías generales y de detalle de las series.
- 2) Para suplir la falta de información de la parte inferior de la Fm. Río Palomar en el perfil *Ricla Barranco*, se realizó la toma de fotografías mediante un dron de dicha parte inferior, que aflora dando un cortado en el paraje de los estrechos del Río Jalón, distanciado del perfil *Ricla Barranco* unos 200 m. Se empleó este material fotográfico para la medida de los espesores capa a capa e identificación de su organización estratonómica, que conforman el perfil *Ricla Estrechos*.

3.3. TRABAJO DE GABINETE Y LABORATORIO

El trabajo de gabinete y laboratorio implicó la obtención de nuevos datos, así como la elaboración de los datos de campo, y comprendió las siguientes labores:

- 1) Con objeto de ampliar la información referente a las facies, se realizó el estudio de las 26 muestras de caliza en lámina delgada mediante microscopio petrográfico de luz transmitida. La caracterización de las microfacies se completó con la toma de imágenes digitales de las facies más representativas, mediante una cámara fotográfica adaptada a una lupa binocular.
- 2) Respecto al análisis secuencial y cicloestratigráfico:
 - Se realizó el estudio detallado de las fotografías tomadas en campo para completar la identificación y caracterización de los apilamientos de estratos (*bundles*, *sets* de *bundles* y lotes de *sets*).
 - Se llevó a cabo el análisis estadístico de los espesores de estratos en *Almonacid de la Cuba*, *Ricla Barranco* y *Ricla Estrechos*, y de los datos de la susceptibilidad magnética obtenidos en *Almonacid de la Cuba* y *Ricla Barranco*. Para ello se utilizaron los programas de análisis espectral REDFIT (Schulz y Mudelsee, 2002) y *Wavelet* (Torrence y Compo, 1998), englobados en el software PAST (PAleontological STatistics v. 3.11). La asignación de un valor concreto de espesor a cada uno de los máximos identificados como posibles ciclos se denomina análisis espectral en *depth domain*.
 - Con objeto de caracterizar la ciclicidad identificada en los datos de susceptibilidad magnética, y construir un modelo de edad que nos permita realizar un análisis de la periodicidad (análisis espectral en *time domain*), se llevó a cabo una correlación entre las curvas obtenidas para *Almonacid de la Cuba* y *Ricla Barranco* y curvas periódicas teóricas construidas con PAST a partir de los periodos encontrados en el análisis espectral. Posteriormente, utilizando la herramienta *LinAge* del programa *AnalySeries*, se realizó el anclaje entre las curvas teóricas y las curvas de susceptibilidad magnética de ambos perfiles. Una vez realizado el anclaje, y asumiendo una periodicidad concreta para los ciclos, se elaboró un modelo de edad para determinar el intervalo de tiempo que abarca la Fm. Río Palomar en cada perfil. Los datos integrados en este modelo de edad fueron a su vez tratados, mediante el análisis REDFIT, para determinar la periodicidad temporal de cada ciclo.

- 3) Para poder realizar una mejor interpretación de los datos de susceptibilidad magnética obtenidos, se realizó el análisis de los minerales magnéticos presentes en 5 muestras de caliza (3 en *Almonacid de la Cuba* y 2 en *Ricla Barranco*), mediante la obtención de curvas de susceptibilidad-temperatura (Curvas k-t) con los programas SUSTE7 y Cureval v. 8. Se pesan 0,25-0,35 gr de roca pulverizada en una balanza de precisión y se calientan en un tubo de ensayo hasta una temperatura de 700°C. El programa SUSTE7 mide la susceptibilidad magnética de la muestra a intervalos de temperatura constantes (en este caso 12°C), partiendo de una temperatura ambiente de 45°C. Una vez alcanzada la temperatura máxima, la muestra comienza a enfriarse al tiempo que el programa sigue realizando medidas de enfriamiento hasta alcanzar de nuevo la temperatura ambiente. Las curvas de susceptibilidad-temperatura obtenidas son tratadas con el programa Cureval v. 8, que permite corregir las curvas y controlar el porcentaje de minerales para- y ferromagnéticos que hay en cada muestra.

3.4. ELABORACIÓN Y SÍNTESIS

Los datos de campo y laboratorio han permitido identificar una serie de facies y secuencias de diferente orden, así como establecer un modelo de sedimentación en base a la evolución vertical de dichas facies. El tratamiento estadístico de los datos de espesores y de susceptibilidad magnética ha servido como herramienta complementaria para reconocer y caracterizar la ciclicidad registrada en la Fm. Río Palomar, e interpretar y discutir sobre sus factores de control, todo lo cual queda sintetizado en la presente memoria. Para su elaboración se han utilizado los programas *Adobe Illustrator CS6* y *Adobe Photoshop CS5* para la realización de gráficos e imágenes, y el procesador de texto *Microsoft Office Word 2010* para la redacción de la misma.

4. SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA

4.1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA

Los afloramientos de la Fm. Río Palomar estudiados están situados en la provincia de Zaragoza, en las cercanías de los municipios de Almonacid de la Cuba y Ricla, que distan entre sí unos 50 km (Fig. 1A).

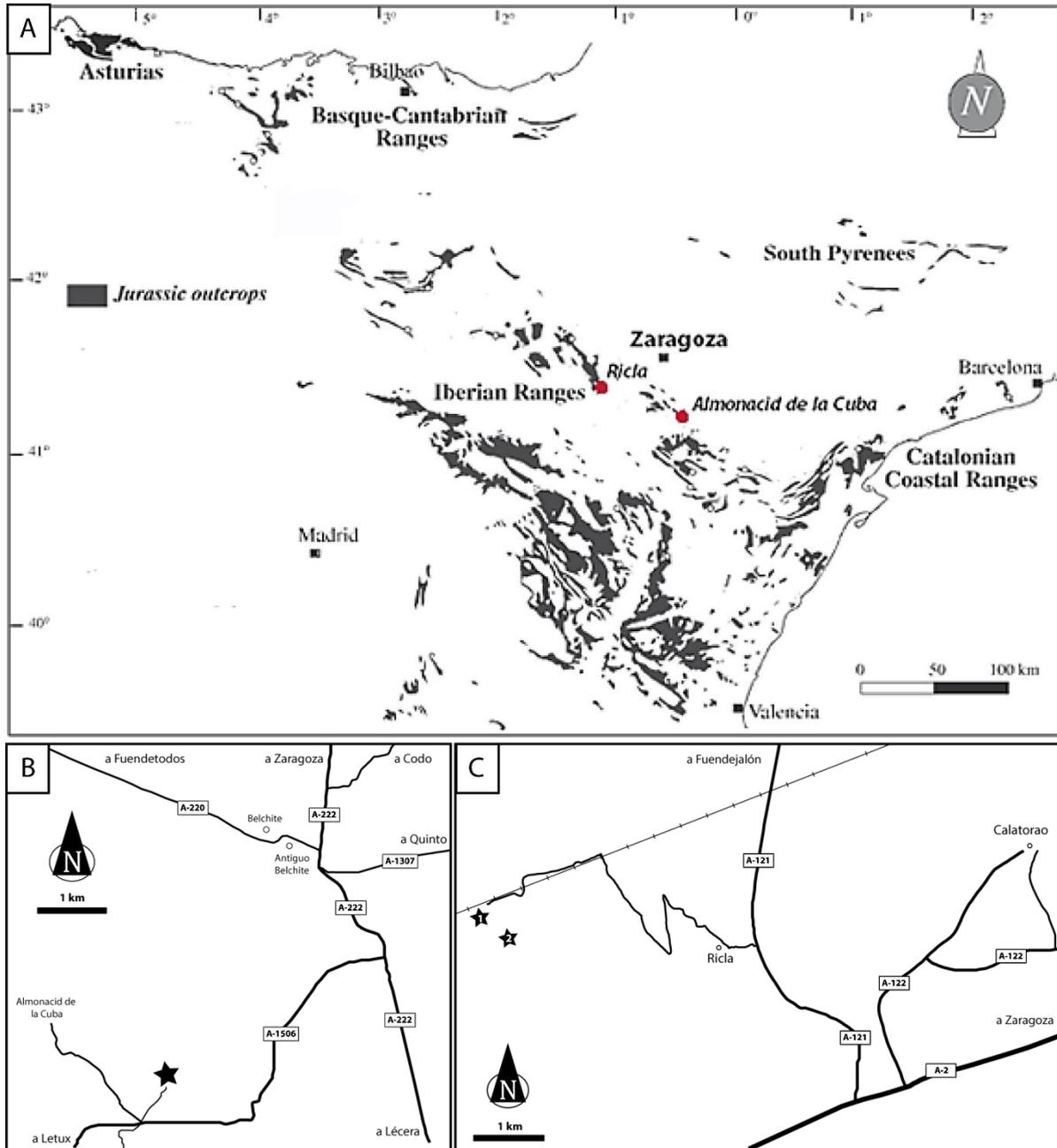


Figura 1. A) Localización de los afloramientos jurásicos del noreste de la Península Ibérica donde se sitúan los afloramientos de la Fm. Río Palomar estudiados en el presente trabajo en las cercanías de Almonacid de la Cuba y Ricla (Tomada de Aurell *et al.*, 2003). B) y C) Localización geográfica y vías de acceso del perfil *Almonacid de la Cuba* (marcado mediante una estrella en B) y de los perfiles estudiados en Ricla: *Ricla Barranco* (1 en C) y *Ricla Estrechos* (2 en C).

El perfil *Almonacid de la Cuba* se sitúa a unos 3 km al sureste de esta localidad, en un barranco que corta la serie de la Fm. Río Palomar (Fig. 1A, B). El acceso a este afloramiento desde Zaragoza se realiza por la carretera A-222 hacia Belchite y una vez pasada la localidad, debe tomarse la carretera A-1506. En el cruce de esta carretera con la que se dirige a Almonacid de la Cuba, se encuentra un camino de tierra que ha de seguirse unos 800 m en sentido noreste hasta la salida del barranco donde se encuentra el perfil. La base del perfil se localiza en las coordenadas 41°16'17,36"N, 0°46'5,91"O, y el techo en 41°16'15,17"N, 0°46'6,13"O.

Los perfiles *Ricla Barranco* y *Ricla Estrechos* se sitúan a unos 3 km al suroeste de la localidad de Ricla, en las proximidades de los estrechos del Río Jalón (Fig. 1A, C). Para acceder a ellos desde Zaragoza, debe tomarse la autovía A-2 hasta tomar la carretera A-121 hacia Ricla, y una vez pasada esta localidad se toma una pista tras el puente bajo la línea del AVE en sentido suroeste, que circula paralela a la vía del tren. El perfil *Ricla Barranco* se encuentra al pie de esta pista, a 3,7 km hacia el sur del municipio de Ricla. La base del perfil está en las coordenadas 41°30'35,18"N, 1°26'54,17"O, y el techo en 41°30'44,02"N, 1°26'52,07"O. El perfil *Ricla Estrechos* está situado a unos 200 m de *Ricla Barranco*, en el paraje de los estrechos del Río Jalón, donde la parte inferior de la Fm. Río Palomar se encuentra horizontal, si bien en una zona próxima la unidad está afectada por pliegues muy apretados. Esta zona es considerada Lugar de Interés Geológico (LIG) de la Comunidad Autónoma de Aragón.

4.2. CONTEXTO GEOLÓGICO Y ESTRATIGRÁFICO

La Fm. Río Palomar está constituida por una sucesión de calizas, y en menor proporción por margas y margocalizas, de edad Jurásico Inferior, en concreto Pliensbachiense Inferior. La unidad fue definida por Gómez *et al.* (2003) en la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica, como una unidad con rango de formación diferenciable por sus características litológicas de la unidad infrayacente (calizas y dolomías tableadas de la Fm. Cuevas Labradas) en la que anteriormente estaba integrada con la denominación "Unidad Calizas nodulosas de Río Palomar" (Gómez, 1991; Comas-Rengifo *et al.*, 1999; Bordonaba *et al.*, 2000) o "Formación Cuevas Labradas superior" (Bordonaba y Aurell, 2001).

Los afloramientos de la Fm. Río Palomar estudiados en Almonacid de la Cuba y Ricla, se enmarcan en los afloramientos jurásicos de la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica (Fig. 1A). La serie estudiada en Almonacid de la Cuba se enmarca en concreto en la hoja MAGNA a escala 1:50.000 n°440 BELCHITE. Se sitúa estructuralmente en el Arco plegado de Belchite-Aguilón (Lendínez y Ruiz, 1989), que en este sector presenta una orientación noroeste-sureste, constituido por materiales jurásicos, que abarcan desde las carnioles de la Fm. Cortes de Tajuña (Triásico terminal-Hettangiense) hasta las margas y calizas de la Fm. Turmiel (Toarciense), y materiales paleógenos discordantes (arcillas rojas, yesos y niveles de conglomerados). En una transversal por Almonacid de la Cuba, la estructura corresponde a un pliegue anticlinal, con vergencia hacia el noreste (Comas-Rengifo *et al.*, 1999). En concreto, el perfil *Almonacid de la Cuba* se sitúa en el flanco sur de este anticlinal, cuyas capas presentan un buzamiento de unos 50° hacia el sur. La serie estudiada en Ricla se enmarca en la hoja MAGNA a escala 1:50.000 n°410 ÉPILA y forma parte del Sinclinatorio de Litago-Ricla (Lendínez y Ruiz, 1989), cuyas capas presentan un buzamiento aproximado de entre 5° y 10° hacia el norte.

Desde el punto de vista estratigráfico y de evolución sedimentaria la Fm. Río Palomar forma parte de las series de calizas y margas de origen marino que se depositaron en la Cuenca Ibérica a lo largo del Jurásico Inferior. Éstas abarcan desde facies de ambientes costeros (llanura de marea) a facies de plataforma relativamente profundas que definen 4 ciclos de facies transgresivo-regresivos, de edad Hettangiense-Sinemuriense Inferior, Sinemuriense Superior, Pliensbachiense y Toarciense (Fig. 2; Aurell *et al.*, 2003). Los tres primeros ciclos conforman el hemicycleo transgresivo del ciclo transgresivo-regresivo del Jurásico Inferior, cuya máxima profundización se alcanzó en el Toarciense.

La Fm. Río Palomar constituye la primera unidad del ciclo de facies transgresivo-regresivo del Pliensbachiense, que está constituido además por las formaciones Almonacid de la Cuba, Cerro del Pez y Barahona (Aurell *et al.*, 2003; Fig. 2A). Su límite con la unidad infrayacente (Fm. Cuevas Labradas) es muy neto y está marcado por una costra ferruginosa o *hardground*, que representa la superficie transgresiva originada al inicio del ciclo del Pliensbachiense (Fig. 2B). Este límite se sitúa en la parte

superior de la biozona *Raricostatum* (última biozona de ammonites del Sinemuriense Superior). El límite con la unidad suprayacente de carácter más margoso (Fm. Almonacid de la Cuba) se sitúa en la parte superior de la biozona *Jamesoni*, primera biozona del Pliensbachiense Inferior (Comas-Rengifo *et al.*, 1999; Aurell *et al.*, 2003).

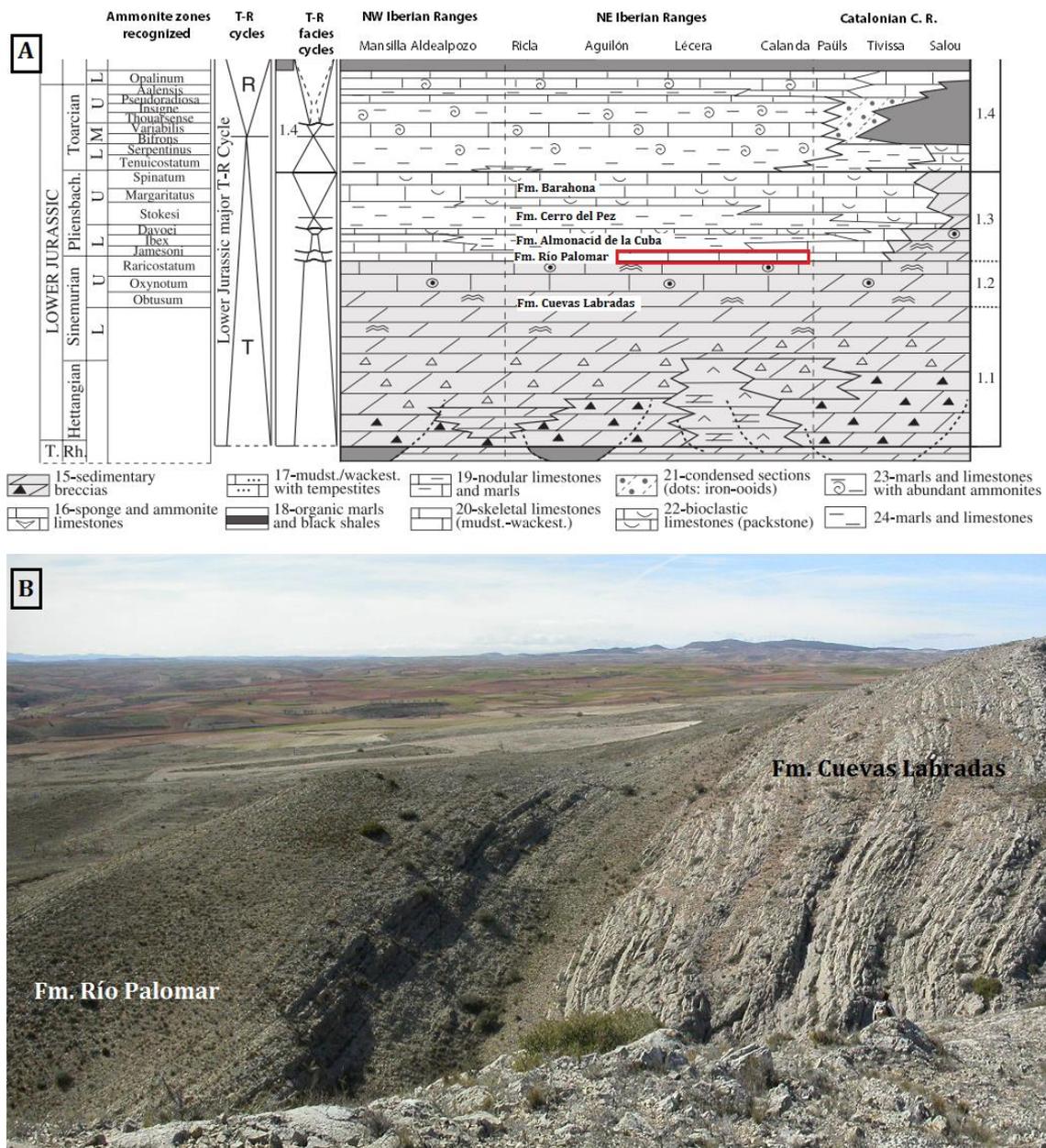


Figura 2. A) Estratigrafía y distribución de los ciclos transgresivos-regresivos del Jurásico Inferior en el noreste de Iberia (Tomado de Aurell *et al.*, 2003). El recuadro rojo señala la unidad estratigráfica estudiada en este trabajo (Fm. Río Palomar). B) Aspecto en campo de la Fm. Río Palomar y su límite con la Fm. Cuevas Labradas en los afloramientos del entorno de Almonacid de la Cuba.

4.3. CONTEXTO PALEOGEOGRÁFICO Y SEDIMENTOLÓGICO

Durante el Jurásico Inferior, el supercontinente Pangea se encontraba rodeado por dos grandes masas oceánicas, Panthalassa y Tethys. La placa Ibérica se situaba en una latitud entre 30° y 40° Norte (Osete *et al.*, 2000). Sus partes occidental y central se encontraban emergidas constituyendo el llamado Macizo Ibérico, circundado por cuencas marinas someras.

El episodio transgresivo acontecido a inicios del Jurásico inundó la mayor parte de Europa, siendo ésta ocupada por mares epicontinentales. Al norte y al este del Macizo Ibérico se desarrollaron tres cuencas marinas intracratónicas, Asturiana, Vasco-Cantábrica e Ibérica, esta última en la que se enmarcan los materiales estudiados (Fig. 3). Dado que el clima general durante el Jurásico fue cálido y con un bajo gradiente de temperatura entre los polos y el ecuador (Hallam, 1985), se dieron las condiciones adecuadas para el depósito de carbonatos en extensas plataformas carbonatadas de tipo rampa (Aurell *et al.*, 2003).

Las plataformas carbonatadas de tipo rampa desarrolladas en la Cuenca Ibérica durante el Jurásico Inferior tuvieron polaridad norte (Fig. 3B) y su evolución sedimentaria estuvo en su mayor parte controlada por una subsidencia tectónica a escala regional, muy homogénea (Aurell *et al.*, 2003). En relación con la transgresión del Jurásico Inferior, las facies de rampa carbonatada somera fueron progresivamente evolucionando a facies de ambientes de sedimentación más profundos (Figs. 2 y 3).

En concreto, durante el depósito de la Fm. Río Palomar en el Pliensbachiense Inferior las facies más someras se localizaron al sur de la Cuenca Ibérica (Fig. 3B), donde se reconocen facies perimareales y localmente facies arrecifales, mientras que al norte se depositaron facies más profundas y abiertas (Bordonaba y Aurell, 2002; Aurell *et al.*, 2003). La Fm. Río Palomar estudiada en las secciones de Almonacid de la Cuba y de Ricla se enmarcan dentro de estos dominios de las facies medio-distales de la rampa carbonatada, y dominados por una alternancia de calizas fangosas, margas y margocalizas, con acumulaciones bioclásticas producidas por tormentas (Bordonaba, 2003; Gómez *et al.*, 2003).

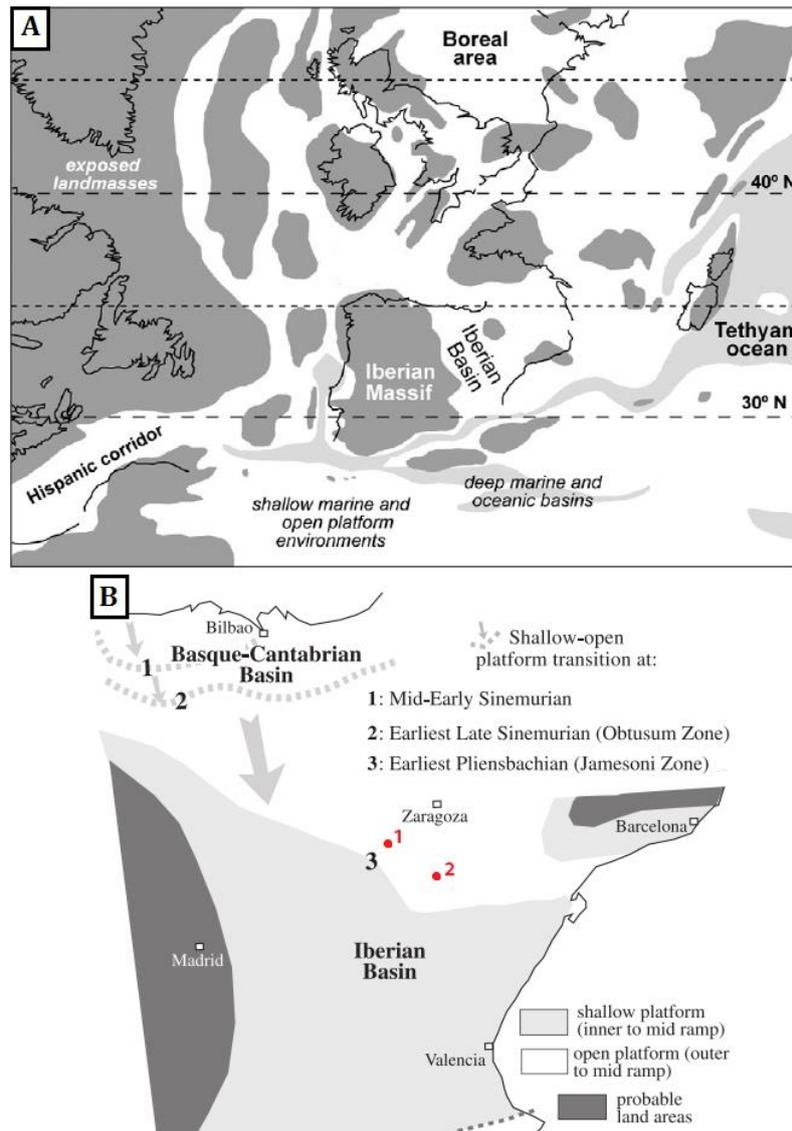


Figura 3. A) Reconstrucción paleogeográfica de la Placa Ibérica y el dominio centro-europeo durante el Jurásico Inferior (Tomado de Bádenas *et al.*, 2012). B) Distribución de los ambientes de sedimentación de plataforma somera y abierta en la Cuenca Ibérica durante el Sinemuriense y el Pliensbachiense (Tomado de Aurell *et al.*, 2003). Los círculos rojos señalan la posición paleogeográfica aproximada de los sectores estudiados en este trabajo: Ricla (1) y Almonacid de la Cuba (2).

5. DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS

En este apartado se aborda la descripción de los datos obtenidos del análisis cicloestratigráfico realizado en la Fm. Río Palomar en los afloramientos de Almonacid de la Cuba y de Ricla. En primer lugar, se describen los datos del análisis estratigráfico-

sedimentológico y secuencial y en segundo lugar, los correspondientes al análisis estadístico de espesores de estratos y susceptibilidad magnética.

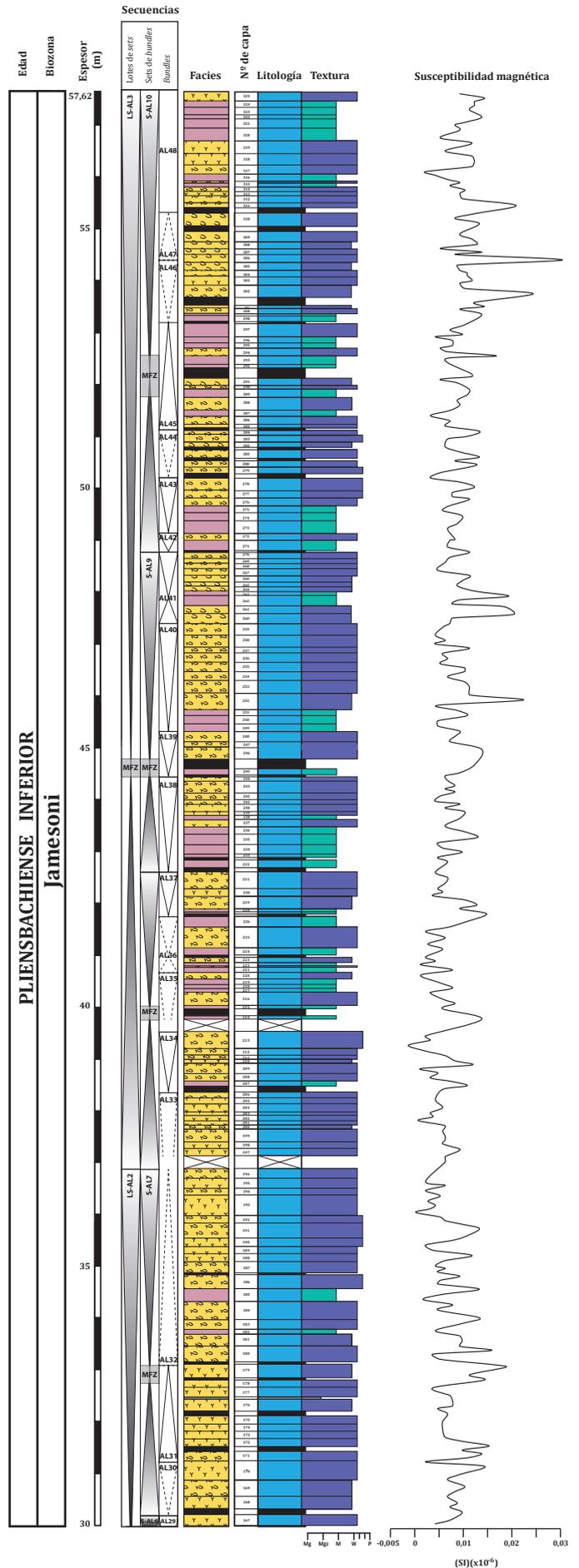
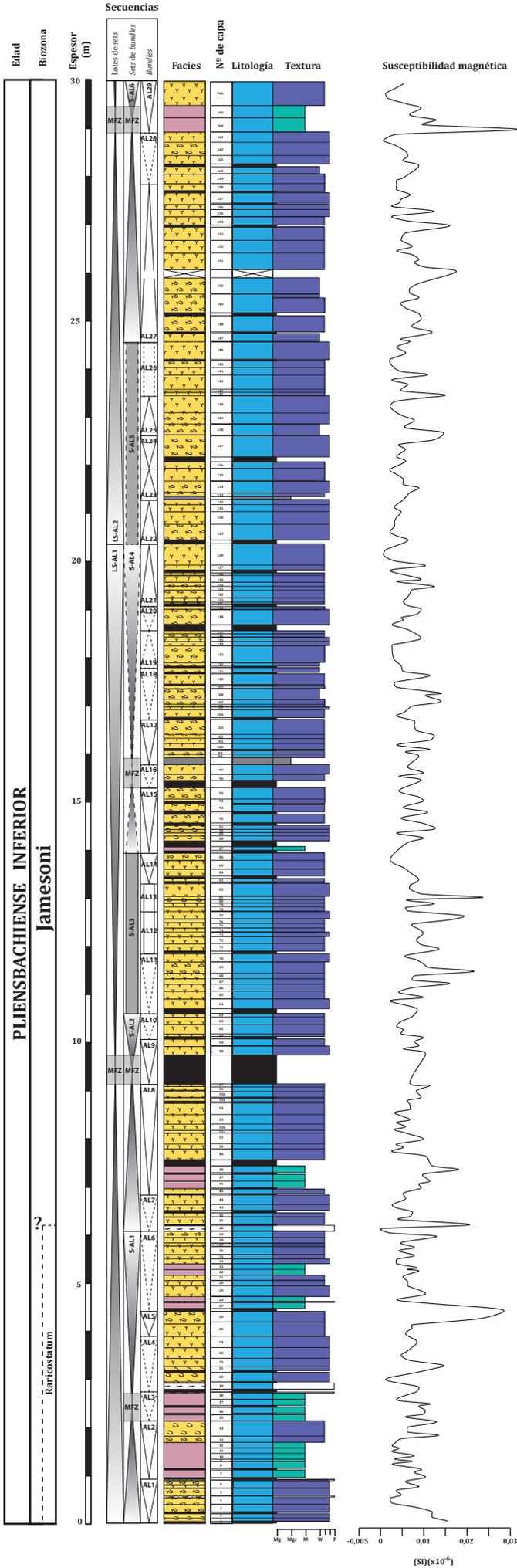
5.1. ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO-SEDIMENTOLÓGICO Y SECUENCIAL

Presentación de los perfiles estratigráficos

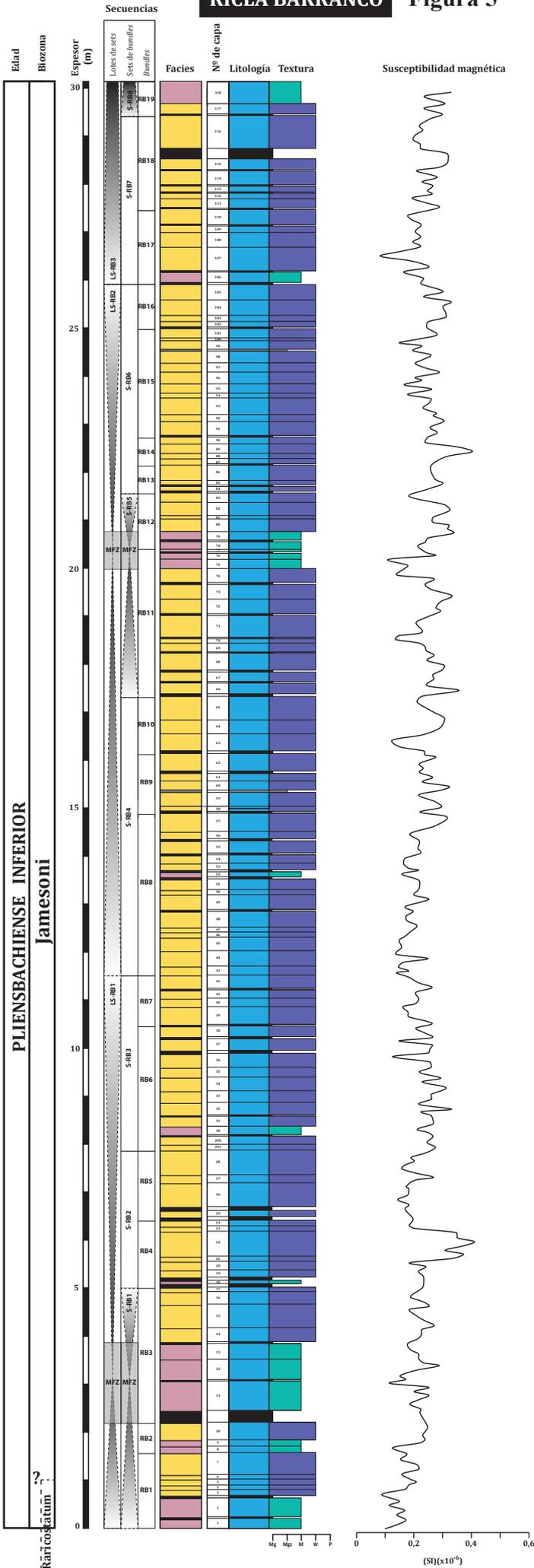
La representación gráfica detallada de los dos perfiles de referencia levantados en Almonacid de la Cuba (*Almonacid de la Cuba*) y en Ricla (*Ricla Barranco*) se encuentra en los Anexos 1 y 2, y su representación sintética se ofrece en las Figuras 4 y 5. El perfil *Ricla Estrechos*, centrado en la parte inferior de la Fm. Río Palomar, y que complementa a *Ricla Barranco*, se ha representado sintéticamente en la Figura 6. La representación gráfica de los tres perfiles en conjunto se muestra en el Anexo 3.

El perfil *Almonacid de la Cuba* (Fig. 4), de 57,62 m de potencia, abarca desde la base de la unidad (superficie de transgresión del inicio del ciclo Pliensbachiense; Fig. 2) hasta, posiblemente, su límite superior con la Fm. Almonacid de la Cuba, si bien por ser esta última más margosa y estar cubierta, no se pudo precisar con exactitud dicho límite. En *Ricla Barranco* (Fig. 5), de 42,84 m de potencia, en cambio, no se pudo identificar la base de la Fm. Río Palomar, y existe cierta incertidumbre en cuanto a la situación de su techo, por la remoción del terreno causada por la construcción de la vía ferroviaria del AVE. El perfil *Ricla Estrechos* (Fig. 6), levantado para completar la información acerca de la parte inferior de la unidad, presenta 35,59 m de potencia y abarca desde la base de la unidad hasta el estrato 116 (de *Ricla Barranco*). En estos perfiles, la Fm. Río Palomar en la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica es bastante homogénea desde el punto de vista litológico, ya que está compuesta fundamentalmente por calizas bioclásticas de textura *mudstone* a *packstone*, y en menor proporción margocalizas y margas. En *Almonacid de la Cuba* se han contabilizado 325 estratos de caliza, 184 en *Ricla Barranco* y 144 en *Ricla Estrechos*, con una potencia media de 20 cm.

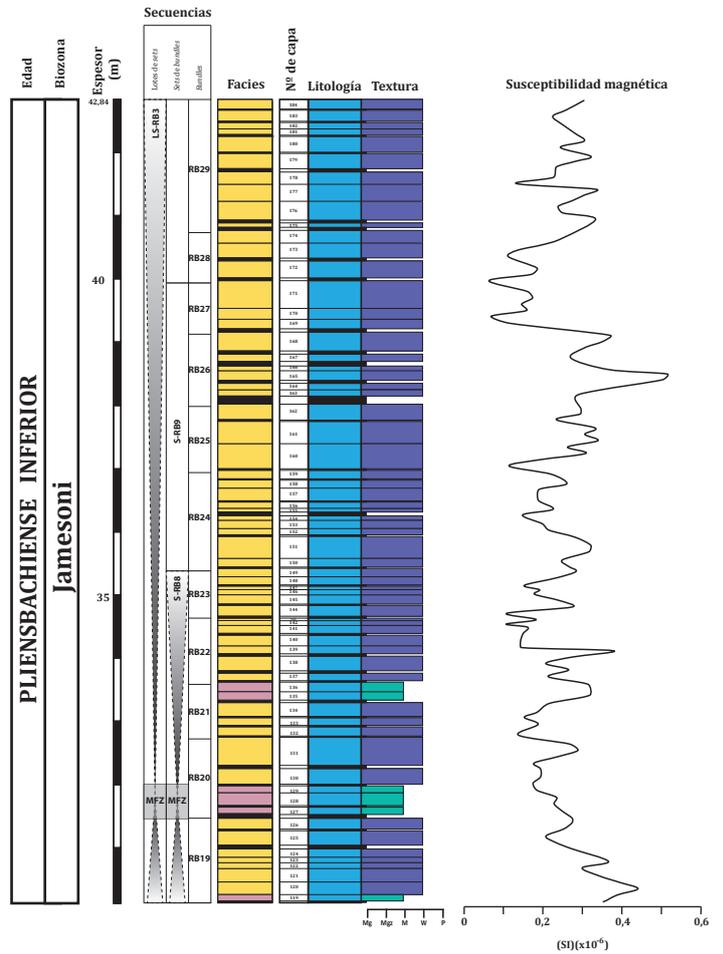
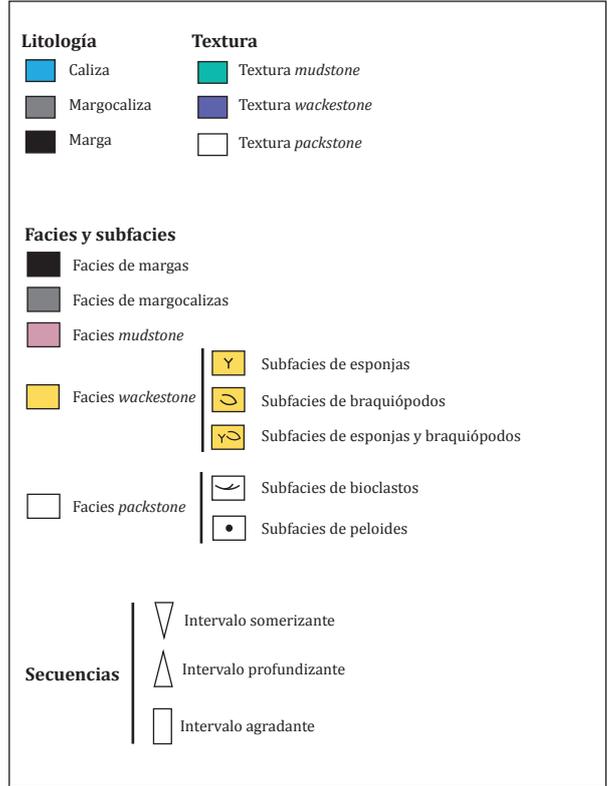
Figura 4 (Perfil *Almonacid de la Cuba*), **Figura 5** (Perfil *Ricla Barranco*) y **Figura 6** (Perfil *Ricla Estrechos* y aspecto en campo) en las páginas siguientes. La leyenda de los perfiles *Almonacid de la Cuba* y *Ricla Barranco* se muestra en la Fig. 5.



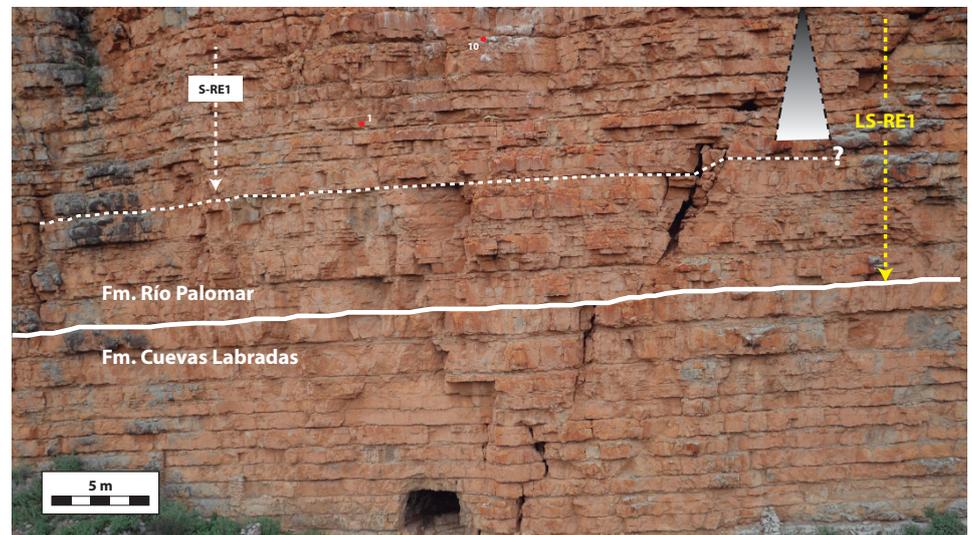
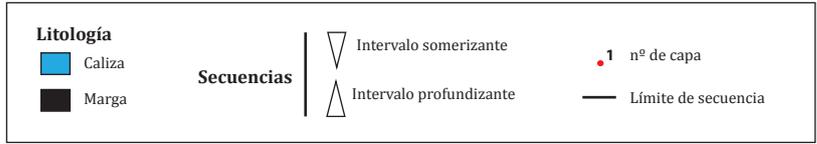
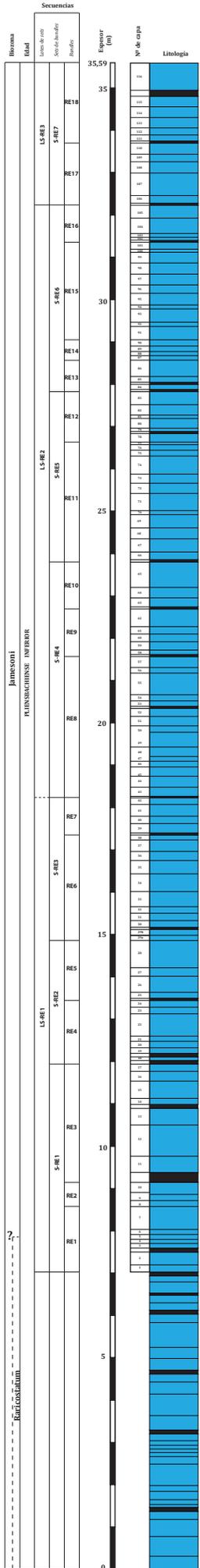
RICLA BARRANCO Figura 5



LEYENDA PARA LOS PERFILES ALMONACID DE LA CUBA Y RICLA BARRANCO



RICLA ESTRECHOS Figura 6



Análisis de facies

El análisis de campo y de las muestras en lámina delgada ha permitido diferenciar 5 grandes tipos de facies en la Fm. Río Palomar: margas (Mg), margocalizas (Mgz), calizas *mudstone* (M), calizas *wackestone* (W) y calizas *packstone* (P). Además, en función de la naturaleza y proporción relativa de los distintos componentes, fundamentalmente granos esqueléticos, se han reconocido diferentes subfacies en las facies *packstone* (P) y *wackestone* (W). En concreto, para las facies *packstone* (P) se han diferenciado dos subfacies: *packstone* de bioclastos (Pb) y *packstone* de peloides (Pp). Para las facies *wackestone* (W), se han identificado tres subfacies: *wackestone* de esponjas (Ws), *wackestone* de braquiópodos (Wb) y *wackestone* de esponjas y braquiópodos (Wsb). En *Almonacid de la Cuba*, la diferenciación en subfacies pudo llevarse también a cabo directamente en el campo, dado que el color blanquecino de las calizas permite ver bien los componentes, pero no así en *Ricla Barranco* donde únicamente se han identificado las facies principales debido al color negruzco en corte fresco de las calizas.

Los granos esqueléticos presentes en estas facies incluyen: espículas de esponjas silíceas y ocasionalmente fragmentos de *estromatopóridos*; braquiópodos, tanto enteros como desarticulados y fragmentados, destacando los géneros *Rhynconella*, *Terebrátula* y *Spiriferina* (Baeza-Carratalá *et al.*, 2014); bivalvos, en su mayoría fragmentados y desarticulados, incluido ostreidos, destacando los géneros *Gryphaea*, *Weyla*, *Mesomiltha*, *Mactromya*, *Protacordia*, *Pholadomya* y *Pleuromya* (Valls *et al.*, 2004); placas de equínidos; artejos de crinoides (género *Pentacrinus*); fragmentos de corales solitarios; gasterópodos, enteros y fragmentados; serpúlidos y foraminíferos bentónicos (miliólidos y texturálidos). Otros tipos de granos presentes son peloides y granos de cuarzo de tamaño limo.

A continuación se describen los principales rasgos distintivos de las facies identificadas. La descripción completa de las facies más abundantes, correspondientes a las calizas, se ofrece en la Tabla 1, e ilustra mediante fotografías de lámina delgada.

Facies packstone (P)

Se trata de calizas bioclásticas dispuestas en estratos tabulares e irregulares de potencia centimétrica a decimétrica. La matriz está constituida por micrita con micro-peloides. La proporción relativa de granos esqueléticos y no esqueléticos permite distinguir dos subfacies: *packstone* de bioclastos (Pb) y *packstone* de peloides (Pp).

La subfacies *packstone* de bioclastos (Pb) se caracteriza por el predominio de artejos de crinoides, placas de equínidos y fragmentos de braquiópodos y bivalvos. El grado de desarticulación y fragmentación es bastante elevado, aunque el grado de redondeamiento es muy variable, especialmente en los restos de equinodermos. Los fragmentos bioclásticos se disponen bien de forma caótica debido a la presencia de bioturbación o en niveles centimétricos a decimétricos orientados paralela o subparalelamente a la estratificación.

La subfacies *packstone* de peloides (Pp) se caracteriza por la abundancia relativa de micro-peloides en comparación con la subfacies Pb. La fracción bioclástica la constituyen fundamentalmente placas de equinodermos (crinoides y equínidos) y fragmentos de bivalvos y braquiópodos. El grado de fragmentación y desarticulación es muy elevado, así como el grado de redondeamiento. La ordenación de los bioclastos suele ser caótica, presentándose en parches milimétricos a centimétricos (reellenos de galerías de bioturbación).

Facies wackestone (W)

Se trata de calizas bioclásticas dispuestas en estratos tabulares e irregulares de potencia decimétrica. La matriz varía de micrita homogénea a micrita con micro-peloides. El tipo y abundancia relativa de granos esqueléticos permite distinguir tres subfacies: *wackestone* de esponjas (Ws), *wackestone* de braquiópodos (Wb) y *wackestone* de esponjas y braquiópodos (Wsb).

La subfacies *wackestone* de esponjas (Ws) se caracteriza por el predominio de espículas de esponjas silíceas. Éstas suelen aparecer orientadas paralelamente a la estratificación, y ocasionalmente en posición vertical. Son frecuentes también los fragmentos de bivalvos y braquiópodos, dispuestos bien de forma caótica o en niveles milimétricos a centimétricos orientados paralela o subparalelamente a la estratificación.

El grado de desarticulación suele ser bastante elevado, aunque el grado de redondeamiento es variable.

La subfacies *wackestone* de braquiópodos (Wb) se caracteriza por la abundancia de braquiópodos, en su mayoría enteros. Conformando la fracción bioclástica fina predominan fragmentos de bivalvos y espículas de esponja. Por lo general la fracción bioclástica de menor tamaño presenta un elevado grado de fragmentación y desarticulación, aunque un escaso redondeamiento, y presenta el mismo tipo de ordenación que la subfacies Ws.

La subfacies *wackestone* de esponjas y braquiópodos (Wsb) se caracteriza por el predominio de espículas de esponja y fragmentos de braquiópodos, que se presentan en proporción similar. El grado de fragmentación es elevado aunque con escaso redondeamiento. El ordenamiento de los bioclastos presenta las mismas características que las dos subfacies anteriores. Ocasionalmente se reconocen oncoides.

Facies mudstone (M)

Son calizas con cierta proporción (<10%) de granos esqueléticos, dispuestas en estratos tabulares e irregulares de potencia decimétrica. La matriz está constituida por micrita con micro-peloides. Predominan los fragmentos de bivalvos, gasterópodos, placas de equínidos y artejos de crinoides. El grado de fragmentación es elevado, así como el grado de redondeamiento. La ordenación de los bioclastos suele ser caótica.

Facies de margocalizas (Mgz)

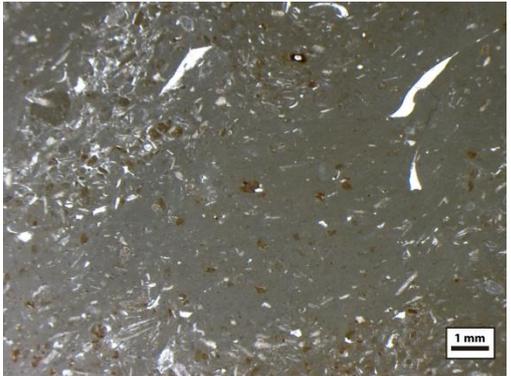
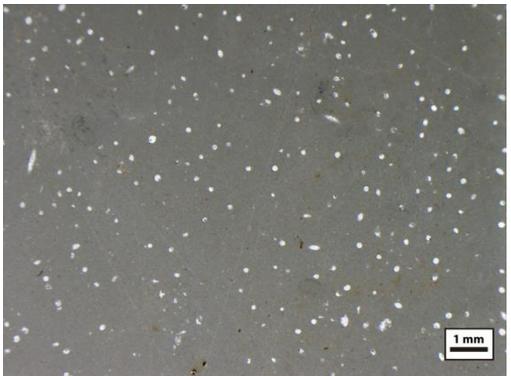
Se disponen en estratos tabulares e irregulares de potencia decimétrica, y presentan ocasionalmente fragmentos de bivalvos y braquiópodos.

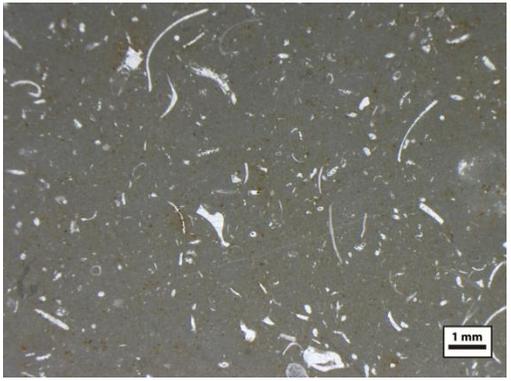
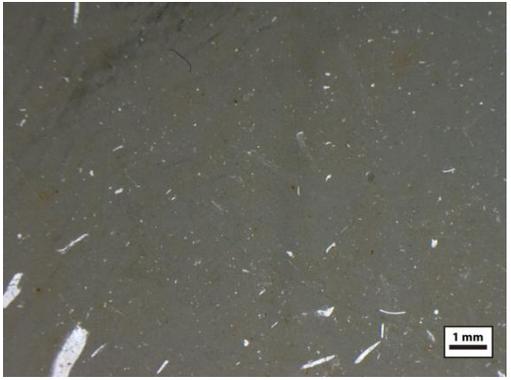
Facies de margas (Mg)

Se trata de margas ocreas dispuestas en capas tabulares e irregulares de potencia generalmente centimétrica y en ocasiones decimétrica, sin estructuras ni restos fósiles visibles en campo.

Las facies y subfacies descritas no muestran una distribución vertical preferente en el perfil *Almonacid de la Cuba* (Fig. 4), sino que se van intercalando entre ellas, si bien las facies M y Mg predominan en la parte inferior y superior de la serie. Respecto a *Ricla Barranco* (Fig. 5), el análisis de las muestras en lámina delgada ha permitido comprobar que en este sector se dan el mismo tipo de facies y subfacies, si bien como se ha comentado anteriormente, su identificación en campo no ha sido posible debido al color negruzco de las calizas. En este perfil tampoco existe una distribución vertical preferente de las facies.

Tabla 1 (en las páginas siguientes). Clasificación y descripción de las subfacies reconocidas en las calizas de la Fm. Río Palomar, e imágenes de lámina delgada ilustrativas de las mismas. En rojo se destacan los componentes más abundantes.

| Facies y subfacies | | Componentes | Estratificación y estructuras | Imagen |
|--------------------|------------------------------|--|---|--|
| Packstone (P) | Packstone de bioclastos (Pb) | <p>Dominante: granos esqueléticos:</p> <p>1- Fracción bioclástica (<1 mm-3 cm): crinoides, equínidos, braquiópodos, bivalvos, gasterópodos, esponjas y foraminíferos bentónicos (miliólidos y texturálidos). Redondeamiento muy variable.</p> <p>2- Fósiles desarticulados: bivalvos, braquiópodos, gasterópodos, equínidos, crinoides</p> <p>Accesorio: peloides líticos y granos de cuarzo de tamaño limo (<10%)</p> | <p>Niveles tabulares de base y techo planos, de 2 a 13 cm de potencia, en ocasiones se acuñan lateralmente</p> <p>Ordenamiento de granos esqueléticos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fracción bioclástica: disposición caótica, con frecuencia en parches centimétricos. No visible granoselección. - Fósiles: paralelos o subparalelos a la estratificación <p>Bioturbación:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Galerías oblicuas a la estratificación (longitud: cm-dm; diámetro: <2 mm-3 cm) - Trazas <i>Planolites</i>, <i>Rhizocorallium</i>, <i>Phymatoderma</i> y <i>Chondrites</i>. - Relleno: <i>packstone</i> bioclástico (similar al sedimento encajante) |  |
| | Packstone de peloides (Pp) | <p>Dominante: peloides líticos y granos esqueléticos</p> <p>1- Fracción bioclástica (<1 mm-7 mm): crinoides, equínidos, bivalvos, braquiópodos, gasterópodos, serpúlidos, esponjas y foraminíferos bentónicos (miliólidos). Redondeamiento muy elevado.</p> <p>2- Fósiles desarticulados: crinoides, equínidos, bivalvos, braquiópodos y esponjas.</p> <p>Accesorio: granos de cuarzo de tamaño limo (<10%)</p> | <p>Niveles tabulares de base y techo planos, de 3 cm de potencia media.</p> <p>Ordenamiento de granos esqueléticos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fracción bioclástica: disposición caótica, con frecuencia en parches centimétricos. No visible granoselección. - Fósiles: sin orientación preferente. <p>Bioturbación:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Galerías oblicuas a la estratificación (longitud: mm-cm; diámetro: <2 mm-3 cm) - Trazas <i>Phymatoderma</i> y <i>Chondrites</i>. - Relleno: <i>packstone</i> bioclástico (similar al sedimento encajante) |  |
| Wackestone (W) | Wackestone de esponjas (Ws) | <p>Dominante: granos esqueléticos:</p> <p>1- Fracción bioclástica (<1 mm-1 cm): esponjas, bivalvos, braquiópodos, gasterópodos, serpúlidos, equinodermos, corales solitarios y foraminíferos bentónicos (miliólidos y texturálidos). Redondeamiento variable.</p> <p>2- Fósiles desarticulados: esponjas, bivalvos, braquiópodos, gasterópodos, equinodermos y corales solitarios.</p> <p>Accesorio: granos de cuarzo de tamaño limo (<10%)</p> | <p>Niveles tabulares de base y techo irregulares, de 16 cm de potencia media</p> <p>Ordenamiento de granos esqueléticos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fracción bioclástica: disposición caótica, con frecuencia en parches centimétricos, niveles centimétricos a decimétricos e hiladas milimétricas. No visible granoselección. - Fósiles: paralelos o subparalelos a la estratificación <p>Bioturbación:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Galerías oblicuas a la estratificación (longitud: mm-cm; diámetro: <2 mm-3 cm) - Trazas <i>Planolites</i>, <i>Rhizocorallium</i>, <i>Phymatoderma</i> y <i>Chondrites</i> - Relleno: <i>wackestone</i> a <i>packstone</i> bioclástico (similar al sedimento encajante) |  |

| Facies y subfacies | | Componentes | Estratificación y estructuras | Imagen |
|--------------------|--|---|--|---|
| Wackestone (W) | Wackestone de braquiópodos (Wb) | <p>Dominante: granos esqueléticos:</p> <p>1- Fracción bioclástica (<1 mm-3 cm): braquiópodos, bivalvos, esponjas, gasterópodos, serpúlidos, equinodermos, y foraminíferos bentónicos (miliólidos y texturálidos). Escaso redondeamiento.</p> <p>2- Fósiles desarticulados: braquiópodos, bivalvos, esponjas, gasterópodos y equinodermos</p> <p>Accesorio: granos de cuarzo de tamaño limo (<10%)</p> | <p>Niveles tabulares de base y techo irregulares, de 12 cm de potencia media</p> <p>Ordenamiento de granos esqueléticos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fracción bioclástica: disposición caótica, con frecuencia en parches milimétricos, niveles centimétricos a decimétricos e hiladas milimétricas. No visible granoselección. - Fósiles: paralelos o subparalelos a la estratificación <p>Bioturbación:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Galerías oblicuas a la estratificación (longitud: mm-cm; diámetro: 2 mm-1 cm) - Trazas <i>Planolites</i>, <i>Rhizocorallium</i>, <i>Phymatoderma</i> y <i>Chondrites</i> - Relleno: wackestone bioclástico (similar al sedimento encajante) |  |
| | Wackestone de esponjas y braquiópodos (Wsb) | <p>Dominante: granos esqueléticos:</p> <p>1- Fracción bioclástica (<1 mm-1,5 cm): braquiópodos, esponjas, bivalvos, gasterópodos, serpúlidos, equinodermos, crinoides, corales solitarios, oncolitos y foraminíferos bentónicos (miliólidos y texturálidos). Escaso redondeamiento.</p> <p>2- Fósiles desarticulados: esponjas, braquiópodos, bivalvos, gasterópodos, equinodermos y corales solitarios</p> <p>Accesorio: granos de cuarzo de tamaño limo (<10%)</p> | <p>Niveles tabulares de base y techo irregulares, de 17 cm de potencia media</p> <p>Ordenamiento de granos esqueléticos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fracción bioclástica: disposición caótica, con frecuencia en parches milimétricos a centimétricos, niveles centimétricos a decimétricos e hiladas milimétricas. No visible granoselección. - Fósiles: paralelos o subparalelos a la estratificación <p>Bioturbación:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Galerías oblicuas a la estratificación (longitud: mm-cm; diámetro: 3 mm-5 mm) - Trazas <i>Thalassinoides</i>, <i>Planolites</i> y <i>Phymatoderma</i> - Relleno: wackestone bioclástico (similar al sedimento encajante) |  |
| Mudstone (M) | <p>Dominante: granos esqueléticos:</p> <p>1- Fracción bioclástica (<1 mm-5 mm): bivalvos, gasterópodos, equínidos, crinoides, esponjas, braquiópodos, serpúlidos y foraminíferos bentónicos (texturálidos). Redondeamiento elevado.</p> <p>2- Fósiles desarticulados: bivalvos, braquiópodos, crinoides, equínidos y esponjas.</p> <p>Accesorio: granos de cuarzo de tamaño limo (<10%)</p> | <p>Niveles tabulares de base y techo irregulares, ocasionalmente con estructuras cóncavas, de 13 cm de potencia media.</p> <p>Ordenamiento de granos esqueléticos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fracción bioclástica: disposición caótica. No visible granoselección. - Fósiles: sin orientación preferente. <p>Bioturbación:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Galerías muy tenues oblicuas a la estratificación (longitud: mm-cm; diámetro: <2 mm-5 mm) - Traza <i>Planolites</i>, <i>Phymatoderma</i> y <i>Chondrites</i>. - Relleno: wackestone bioclástico (similar al sedimento encajante) |  | |

Análisis secuencial

El análisis secuencial o cicloestratigráfico llevado a cabo en campo ha consistido en la identificación de conjuntos de estratos limitados por superficies de estratificación netas (*bundles* o secuencias elementales) que reflejen patrones de repetición regular o casi regular de una señal sedimentaria (e.g., Schwarzacher, 2000; Bádenas *et al.*, 2003). Las superficies netas que los limitan reflejarían cambios bruscos en la sedimentación, en comparación con las superficies limitantes de los estratos que forman estos *bundles*. A su vez, los *bundles* muestran patrones de repetición ya que se apilan en conjuntos (*sets* de *bundles*) y éstos a su vez en lotes de *sets*, identificables en el campo como intervalos con distinto estilo de la estratificación. De esta manera, se han identificado tres órdenes de secuencias: *bundles*, *sets* de *bundles* y lotes de *sets* (Tabla 2).

| Perfil | <i>Bundles</i> | | <i>Sets</i> de <i>bundles</i> | | Lotes de <i>sets</i> | |
|-----------------------------|----------------|--------------------|-------------------------------|--------------------|----------------------|--------------------|
| | Nº | Potencia media (m) | Nº | Potencia media (m) | Nº | Potencia media (m) |
| Almonacid de la Cuba | 48 | 1,2 | 10 | 5,48 | 3 | 19,4 |
| Ricla Barranco | 29 | 1,47 | 9 | 4,46 | 3 | 14,28 |

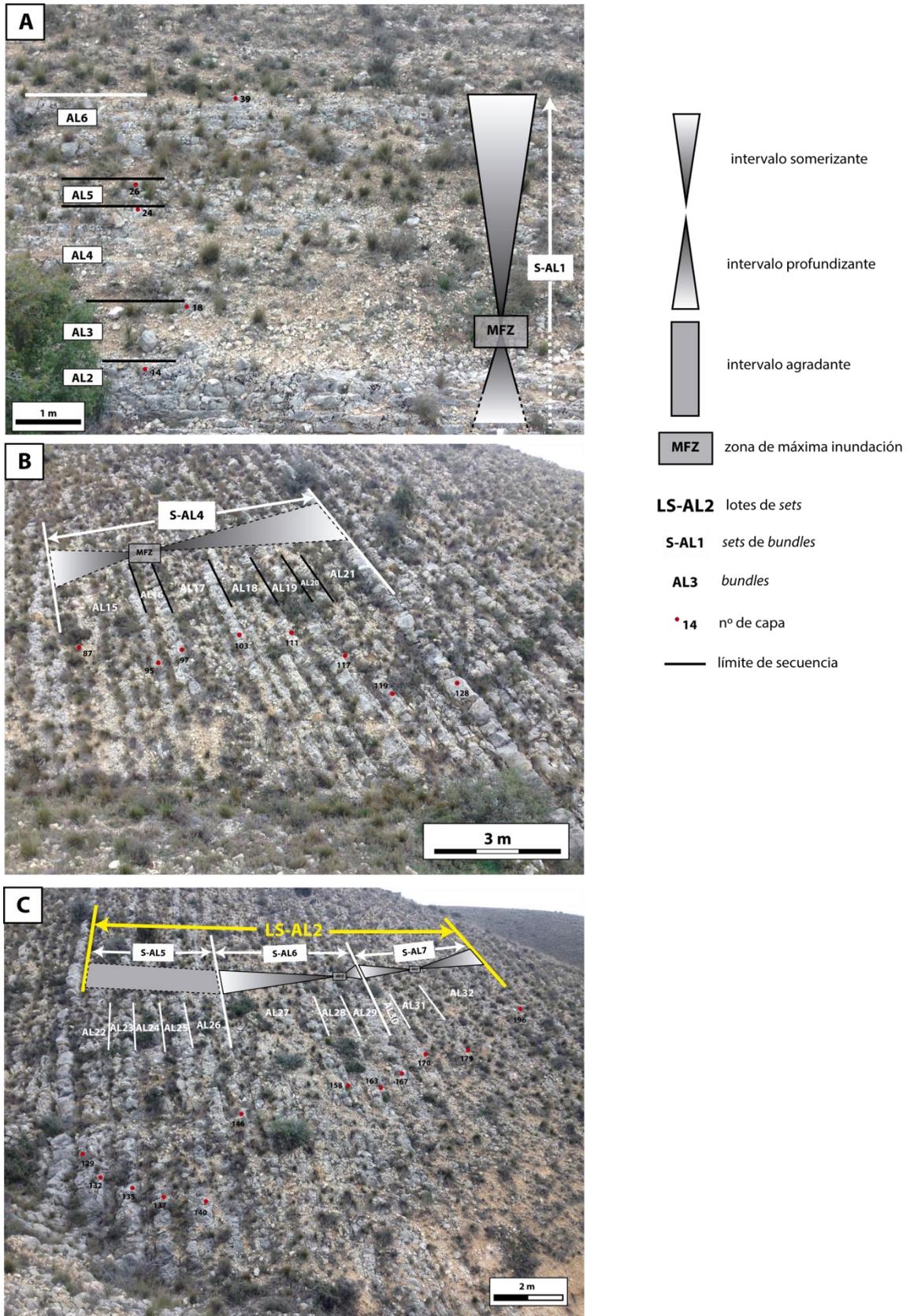
Tabla 2. Número y potencia media de los *bundles*, *sets* de *bundles* y lotes de *sets* que se reconocen en los perfiles *Almonacid de la Cuba* y *Ricla Barranco*.

En *Almonacid de la Cuba* se han identificado 48 *bundles* (AL1 a AL48, Fig. 4; Anexos 1 y 3), con una potencia media de 1,2 m. Están delimitados por superficies netas y a menudo bioturbadas y/o ferruginosas (Fig. 7 y Anexo 1), y ocasionalmente los estratos que los conforman muestran una evolución estratocreciente (e.g. AL2, AL17, AL21). Los *bundles* están agrupados en 10 *sets* de *bundles* (S-AL1 a S-AL10), delimitados por superficies de estratificación muy netas, con potencias que varían entre 4 y 6 m (Fig. 7). El número de *bundles* que compone cada *set* oscila entre un mínimo de 3 (e.g. S-AL6 y S-AL7) y un máximo de 7 (e.g. S-AL4 y S-AL10). Estos *sets* se agrupan, a su vez, en 3 lotes de *sets* (LS-AL1 a LS-AL3, de 20,7 m, 16,5 m y 21 m

respectivamente) que corresponden a tres tramos diferenciables por el estilo de la estratificación y la presencia o no de intervalos más cubiertos (correspondientes principalmente a facies Mg y M) (Figs. 7 y 8): los lotes de *sets* LS-AL1 y LS-AL3 engloban estratos de menor espesor, y la abundancia de facies M y Mg les otorga un aspecto diferente en campo. El lote de *sets* LS-AL2, en cambio, se caracteriza por presentar estratos de caliza de mayor espesor, y una relativa escasez de facies M y Mg, lo que le confiere un aspecto más homogéneo en campo. El número de *sets* que configura cada lote varía entre 3 y 4.

En *Ricla Barranco* se han identificado 29 *bundles* (RB1 a RB29), agrupados en 9 *sets* de *bundles* (S-RB1 a S-RB9) y estos, a su vez, en 3 lotes de *sets* (LS-RB1 a LS-RB3) (Fig. 5 y Anexos 2 y 3). En *Ricla Estrechos* se reconocen 18 *bundles* (RE1 a RE18), agrupados en 7 *sets* de *bundles* (S-RE1 a S-RE7) y éstos a su vez en 3 lotes de *sets* (LS-RE1 a LS-RE3) (Fig. 6 y Anexo 3), equivalentes todas estas secuencias a las que aparecen en la parte inferior del perfil *Ricla Barranco*, si bien el lote LS-RE3 aparece incompleto. En la parte basal de *Ricla Estrechos* existe otro conjunto de estratos, no existente en *Ricla Barranco*, que podría corresponderse a un cuarto lote, pero la falta de datos dificulta el reconocimiento del mismo. Los criterios utilizados para las secuencias son los mismos que en el perfil *Almonacid de la Cuba*, aunque en este caso no se han podido delimitar con la misma exactitud dada las características del afloramiento. La potencia media de los *bundles* se sitúa por encima del metro de espesor. Ocasionalmente muestran una evolución estratocreciente (e.g. RB1, RB2, RB10, RB18, y sus equivalentes en *Ricla Estrechos* RE1, RE2, RE10, RE18). Los *sets* de *bundles* comprenden potencias entre 3,5 y 6 m, y el número de *bundles* por *set* oscila entre 2 y 4. En cuanto a los lotes de *sets*, se han reconocido también 3 tramos, limitados por superficies muy netas, aunque uno de los límites (entre el lote LS-RB1 y LS-RB2) es más sutil. Del lote LS-RB1 a LS-RB3 aumenta la proporción de facies M y Mg. Las potencias de estos tres lotes son 11,5 m, 14,5 m y 16,84 m, respectivamente.

Figura 7 (en la página siguiente). Distribución de las secuencias en el perfil *Almonacid de la Cuba*. A) *bundles* AL2 a AL6; B) *set* S-AL4; C) lote de *sets* LS-AL2. Se indica también la evolución sedimentaria (profundizante-somerizante o agradante) deducida en función de las facies.



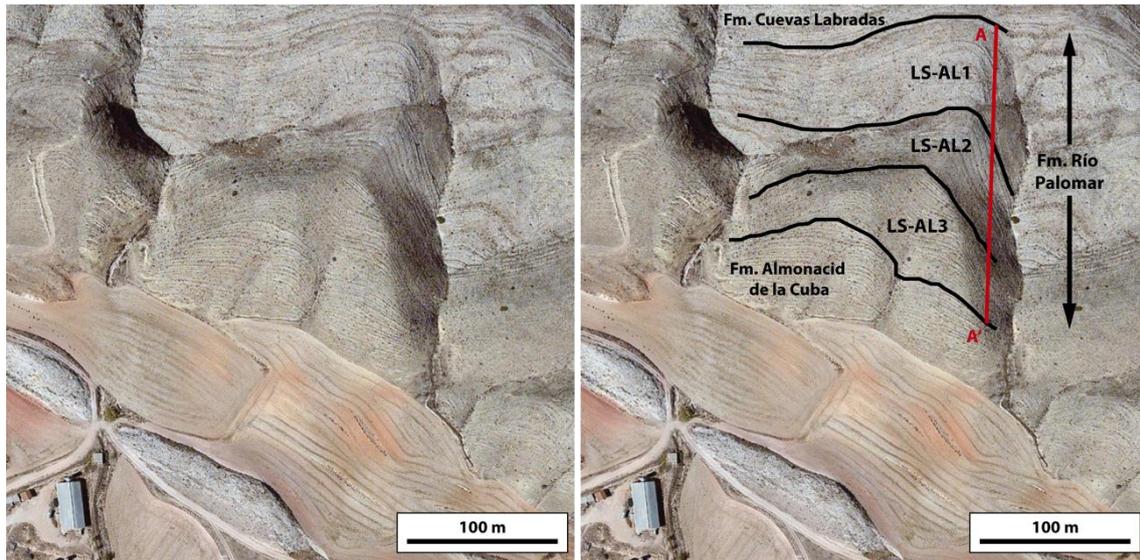


Figura 8. Aspecto de los tres lotes de *sets* del perfil *Almonacid de la Cuba*, LS-AL1, LS-AL2 y LS-AL3, y localización del perfil levantado (A-A') (Imagen tomada de www.googlemaps.com).

5.2. SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA

Se han elaborado tres series de susceptibilidad magnética para los dos perfiles de referencia (*Almonacid de la Cuba* y *Ricla Barranco*), dos de ellas reflejan el dato directo tomado en campo, y la tercera es la media de los valores de cada punto. En las Figs. 4 y 5 y en los Anexos 1, 2 y 3 se indican la media de los valores de cada punto.

En *Almonacid de la Cuba*, los valores de susceptibilidad magnética oscilan entre $-0,005$ y $0,03 \times 10^{-6}$ SI. En *Ricla Barranco* los valores son mayores, entre 0 y $0,6 \times 10^{-6}$ SI. Dado que las medidas se han realizado sobre calizas, es muy probable que dicha señal se deba a la presencia de minerales magnéticos, en vez de minerales de la arcilla (Ellwood *et al.*, 2000). Para averiguar el tipo y abundancia de minerales magnéticos presentes se han obtenido curvas susceptibilidad-temperatura (Curvas k-t) con los programas SUSTE7 y Cureval v. 8 de 5 muestras, 3 en *Almonacid de la Cuba* y 2 en *Ricla Barranco*, elegidas por presentar los mayores valores de susceptibilidad. La clasificación viene dada por la bondad de ajuste de tramos de la curva a determinadas líneas de tendencia (Fig. 9): para los minerales paramagnéticos, en el tramo de la curva que representa los primeros 200°C o 400°C de calentamiento; para los minerales ferromagnéticos a partir de los 400-450°C, resultando en un tramo caracterizado por un máximo (consecuencia de la oxidación de alguno de estos minerales ferromagnéticos

durante su calentamiento) y otro más o menos lineal, cuya bondad de ajuste determinará el tipo de mineral ferromagnético. Las Curvas k-t obtenidas para *Almonacid de la Cuba* (Fig. 9A, B, C) reflejan la abundancia de magnetita (en torno al 80%), y en menor proporción paramagnéticos (menos del 20%). En *Ricla Barranco*, los minerales paramagnéticos son predominantes (entre 60% y 46%) (Fig. 9D, E).

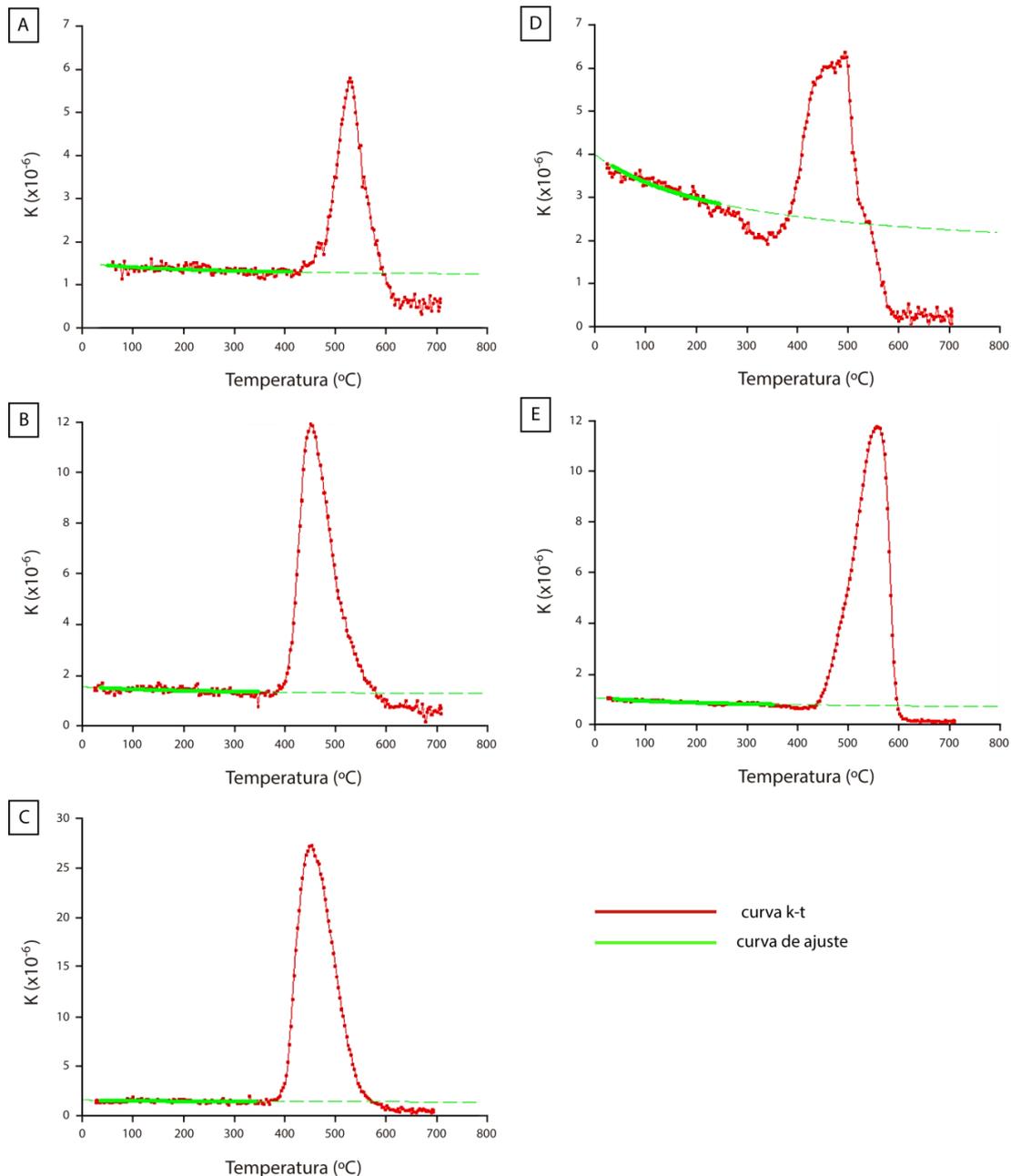


Figura 9. Curvas k-t obtenidas para las muestras A) M-AL1, B) M-AL14 y C) M-AL240 de *Almonacid de la Cuba*; y D) M-RB81 y E) M-RB163 de *Ricla Barranco*. El número de muestra corresponde al número de capa (ver Anexos 1 y 2).

5.3. ANÁLISIS ESPECTRAL

La utilización de análisis estadísticos, como el análisis espectral, sobre datos obtenidos en campo puede aportar más información acerca de los procesos cíclicos registrados en el sedimento, complementaria a la obtenida del análisis secuencial. El análisis espectral se aplica sobre “series de tiempo”, que son valores de un parámetro medidos a intervalos de tiempo o (en Geología) espesor constante. Para ambientes marinos relativamente profundos se asume que existe una relación espesor-tiempo si no existen capas referibles a eventos. Se han utilizado dos parámetros para elaborar dichas series: espesor de las capas y susceptibilidad magnética, y analizados mediante los programas REDFIT (Schulz y Mudelsee, 2002) y *Wavelet* (Torrence y Compo, 1998).

El análisis REDFIT (Fig. 10) representa los resultados en el denominado *espectro de potencia*, donde se muestran las amplitudes relativas y periodos de todos los componentes regulares de la serie de tiempo. El eje horizontal representa *frecuencia* (1/periodo), con las frecuencias más altas en la parte derecha del eje. El eje vertical se define como *potencia*, que representa el nivel de significación de un pico del espectro. Para juzgar si un pico del espectro es significativo se usan las *bandas de confianza*, que normalmente oscilan entre el 90% y el 99%. Picos que se sitúen por debajo de dichas bandas tendrán una probabilidad más alta de que la periodicidad obtenida se deba al azar. Mediante la transformada de *Wavelet* (Fig. 11) se analizan las series de tiempo mediante ventanas de tiempo de longitud variable, pudiendo así cubrir un espectro más amplio de frecuencias. En este caso, en el gráfico el eje de abscisas representa los datos de la serie de tiempo, y el eje de ordenadas el periodo de los ciclos expresado en potencias de 2. Los colores simbolizan la potencia de los ciclos (rojo, alta; azul, baja), y la línea negra en torno a los diferentes colores representa la banda de confianza del 95%. Las líneas simétricas de color negro a ambos lados del diagrama simbolizan el *cono de influencia*, fuera del cual los valores carecen de fiabilidad estadística.

Análisis espectral de espesor de estratos

Según Sander (1936) (en Schwarzacher, 2000), un ciclo ambiental que ocurre de forma regular en el tiempo se puede expresar estratigráficamente (espesor) como un ciclo regular o irregular, mientras que un ciclo irregular en el tiempo difícilmente se

expresará como un ciclo regular en espesor. En consecuencia, la aparición de ciclos regulares en espesor implica la existencia de ciclos ambientales regulares.

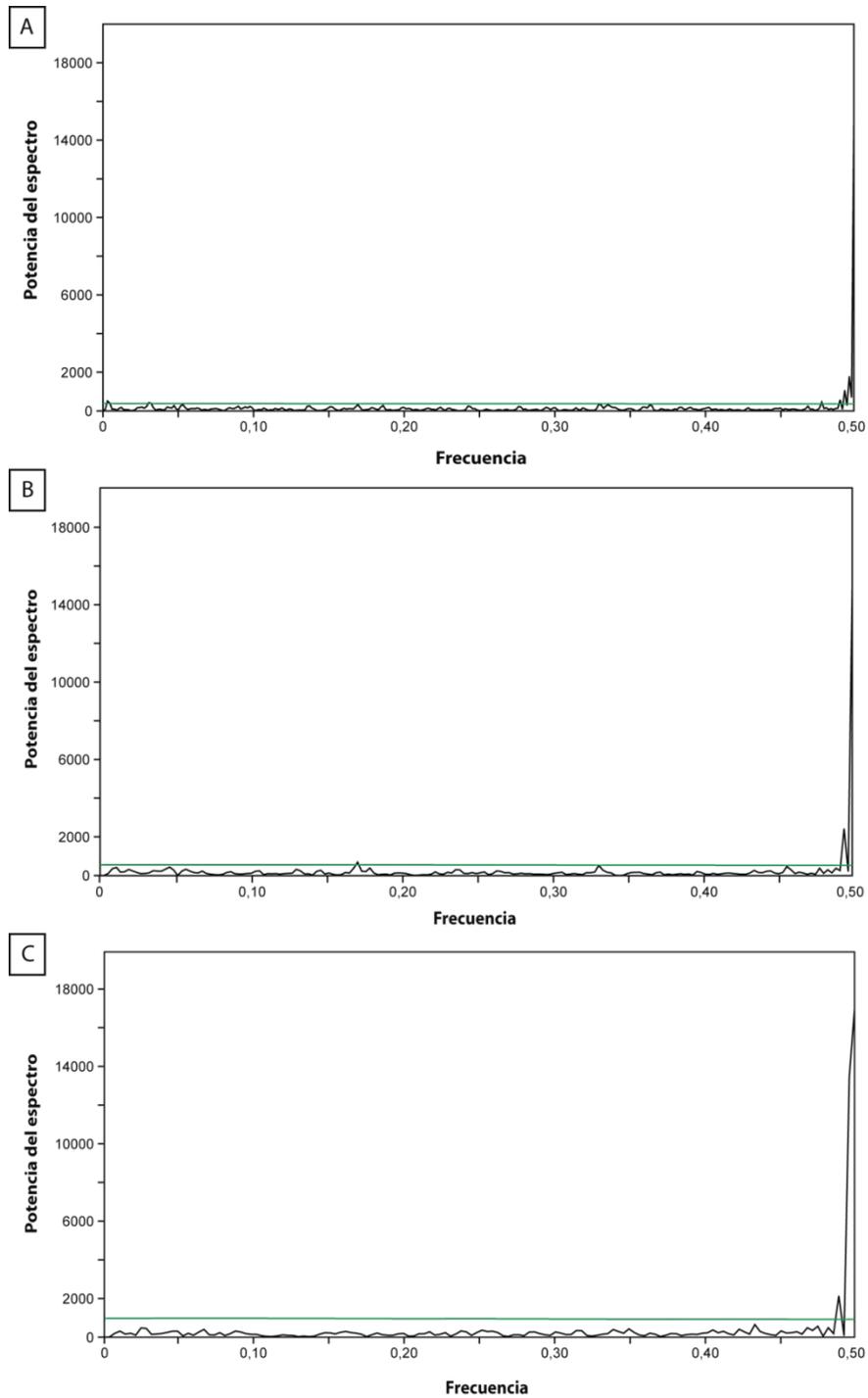


Figura 10. Espectros de potencia obtenidos con REDFIT del espesor caliza/marga en *Almonacid de la Cuba* (A), *Riela Barranco* (B) y *Riela Estrechos* (C). La línea verde es la banda de confianza del 95%.

Partiendo de esta premisa, a partir de los datos de espesores de calizas y margas en los tres perfiles estratigráficos se han elaborado tres series de tiempo, con el fin de detectar un patrón de ciclicidad. Las series de espesor constan de 656 datos en *Almonacid de la Cuba*, 371 en *Ricla Barranco* y 287 en *Ricla Estrechos*. Se han construido por un lado con los espesores de calizas y por otro, alternando un valor de espesor de caliza y otro de marga (al que se le asigna valor 0 cuando son inexistentes entre dos estratos de caliza). El análisis espectral de las dos series de tiempo no ha mostrado periodicidades, a excepción de la alternancia caliza/marga (Figs. 10 y 11), donde aparece un pico correspondiente a la frecuencia de 2 datos (periodo = 0,5) en el análisis REDFIT y la persistencia en la horizontal de colores rojizos en el periodo 2^1 en el análisis *Wavelet* (Fig. 11), que en espesor equivaldría a unos 20 cm.

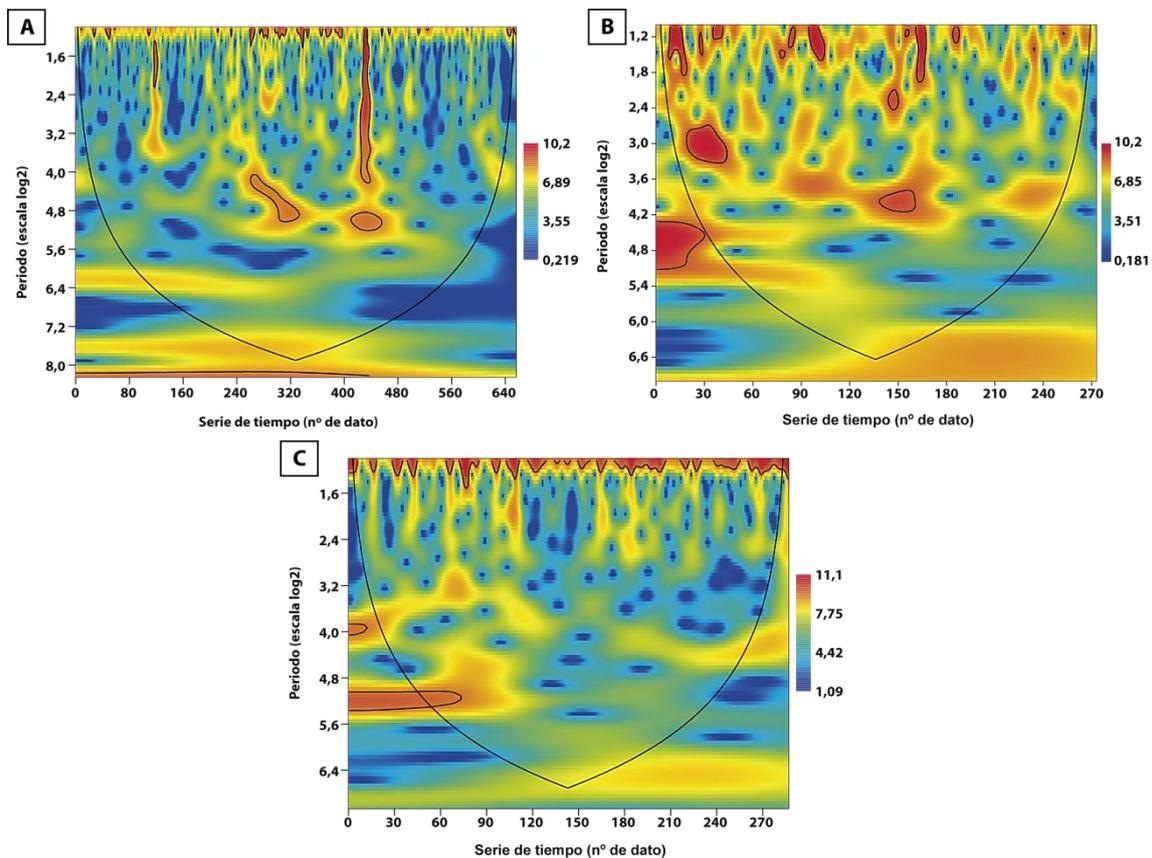


Figura 11. Análisis *Wavelet* de las series de tiempo correspondientes al espesor de capas caliza/marga de los perfiles *Almonacid de la Cuba* (A), *Ricla Barranco* (B) y *Ricla Estrechos* (C). Las líneas negras que rodean los colores representan las bandas de confianza del 95%, y las líneas simétricas a ambos lados del espectro representan el cono de influencia, fuera del cual los valores carecen de fiabilidad estadística.

Análisis espectral de la susceptibilidad magnética

La serie de tiempo que mejor ha reflejado la ciclicidad de la Fm. Río Palomar es la media de los valores de susceptibilidad magnética en cada punto de medida, por lo que todos los análisis de este apartado se refieren a esta serie de tiempo. A partir del análisis REDFIT de la serie de tiempo correspondiente al perfil *Almonacid de la Cuba* se identificaron 3 máximos pertenecientes a ciclos sedimentarios periódicos, en 19,23 m, 2,06 m y 1,07 m. Los tres sobrepasan un nivel de confianza del 95% (Fig. 12A). Para el perfil *Ricla Barranco*, destacan 3 máximos en 7,15 m, 2,52 m y 1,59 m, en este caso sobrepasando una banda de confianza del 90% (Fig. 12B). Los ciclos con una periodicidad inferior a 1 m no se han tenido en cuenta, por no resultar significativos en la interpretación. A ambas series de tiempo se les ha aplicado un filtro de tipo *Blackman-Harris*, el más restrictivo en este análisis, para garantizar la no aleatoriedad y mayor representatividad de la periodicidad obtenida. Los ciclos y su banda de confianza vienen también representados en la Tabla 3.

Finalmente, con el análisis *Wavelet* (Fig. 13) se puede observar no sólo la periodicidad de los ciclos (que se manifiesta por la persistencia en la horizontal de colores rojos y amarillos) sino también en qué parte de la serie de tiempo aparece la ciclicidad. Para facilitar la interpretación del gráfico, se han trazado líneas blancas coincidiendo con el periodo de los máximos obtenidos mediante el análisis REDFIT. Para *Almonacid de la Cuba* se observa una ciclicidad bastante marcada en el periodo $2^{7,7}$, que se corresponde con el ciclo de 19,23 m. De forma discontinua se distinguen los ciclos de 2,06 m y 1,07 m en los periodos $2^{4,2}$ y $2^{3,2}$, respectivamente. En cuanto a *Ricla Barranco*, la ciclicidad más marcada aparece en el periodo 2^6 , que corresponde al ciclo de 7,15 m, aunque aparece sólo a partir del dato 50 aproximadamente (a unos 5 m de la base). De forma discontinua se aprecian los ciclos de 2,52 m y 1,59 m en los periodos de $2^{4,5}$ y $2^{3,8}$ del espectro, respectivamente.

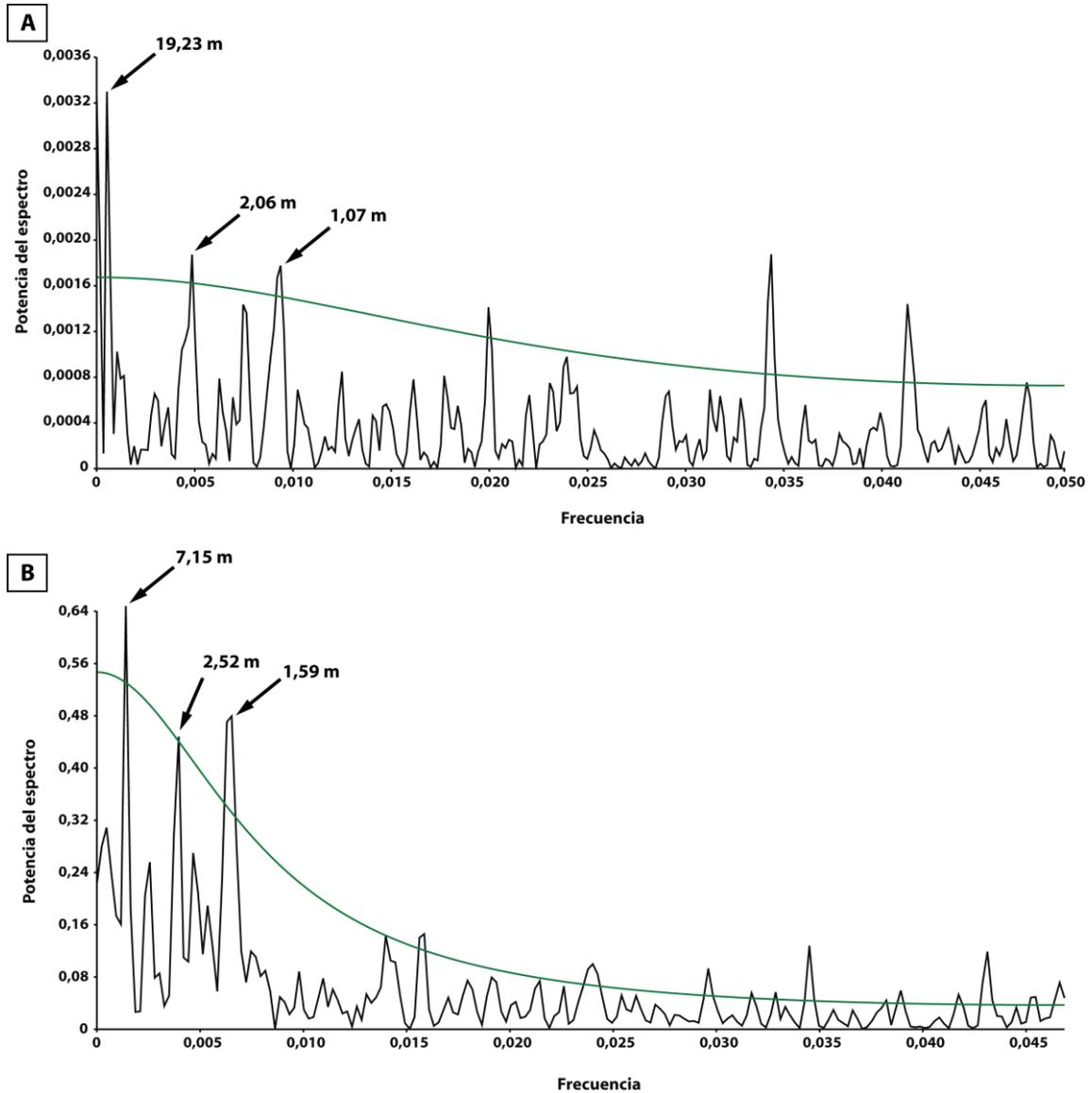


Figura 12. Espectros de potencia de las series de tiempo de susceptibilidad magnética a partir del análisis REDFIT para los perfiles A) *Almonacid de la Cuba* y B) *Riela Barranco*. Las líneas verdes simbolizan las bandas de confianza del 95% y 90%, respectivamente.

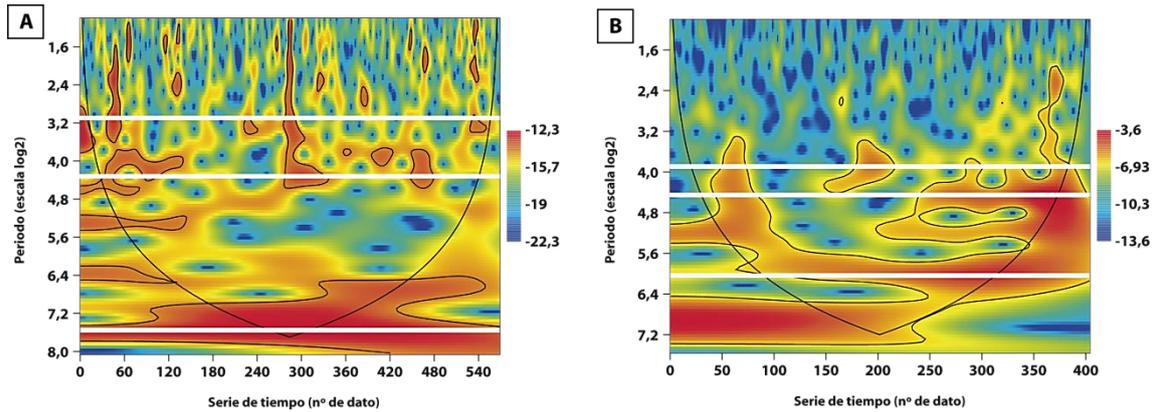


Figura 13. Análisis *Wavelet* de las series de tiempo de susceptibilidad magnética de los perfiles A) *Almonacid de la Cuba* y B) *Ricla Barranco*. Las líneas blancas corresponden a los máximos obtenidos mediante el análisis REDFIT (Fig. 12). Las líneas negras que rodean los colores representan las bandas de confianza del 95%, y las líneas simétricas a ambos lados del espectro representan el cono de influencia, fuera del cual los valores carecen de fiabilidad estadística.

| Almonacid de la Cuba | | Ricla Barranco | |
|----------------------|------------------------|----------------|------------------------|
| Ciclo (m) | Banda de confianza (%) | Ciclo (m) | Banda de confianza (%) |
| 19,23 | 95 | 7,15 | 90 |
| 2,06 | | 2,52 | |
| 1,07 | | 1,59 | |

Tabla 3. Espesores y bandas de confianza de los ciclos obtenidos mediante el análisis REDFIT de las series de susceptibilidad magnética de los perfiles *Almonacid de la Cuba* y *Ricla Barranco*.

6. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

En este apartado se realiza la interpretación de los ciclos sedimentarios observados en la Fm. Río Palomar a partir del análisis estratigráfico-sedimentológico y del análisis espectral. Como paso previo a la interpretación de los factores que controlaron la generación de dichos ciclos se realiza la interpretación sedimentológica de las facies identificadas, y se plantea un modelo de sedimentación para esta plataforma durante el Pliensbachiense Inferior. Así mismo, conforme a esta

interpretación se caracterizan las secuencias identificadas en esta formación, y se analiza su posible relación con cambios climáticos inducidos por parámetros orbitales mediante la interpretación de los datos de susceptibilidad magnética.

6.1. INTERPRETACIÓN DE LAS FACIES SEDIMENTARIAS

Las facies identificadas en la Fm. Río Palomar pueden enmarcarse dentro de un medio de plataforma carbonatada de tipo rampa (Bordonaba y Aurell, 2001), en la que la superficie de depósito profundiza suavemente mar adentro (pendiente inferior a 1°) y el tipo de sedimentos acumulados está en gran medida controlado por la acción del oleaje, en concreto por dos niveles energéticos (Wright y Burchette, 1996): el nivel de base del oleaje de buen tiempo (más somero, generalmente en torno a unos 10 m de profundidad) y el nivel de base del oleaje de tormentas (más profundo, en torno a unos 40-60 m de profundidad). Ambos niveles delimitan las zonas de rampa interna (afectada por ambos tipos de oleaje), rampa media (sometida al oleaje de tormentas) y rampa externa (por debajo del nivel de base de tormentas). En este contexto se suele dar una gradación de facies, de modo que en los dominios someros tienden a acumularse facies granosostenidas y hacia los dominios más distales predominan facies con mayor proporción de fango.

En la Fm. Río Palomar, el predominio de calizas no granosostenidas implicaría unas condiciones de depósito en dominios de baja energía, posiblemente por debajo del nivel de base de oleaje de buen tiempo. Las reconstrucciones paleogeográficas (Fig. 3) indican que las facies someras de rampa interna se situarían al sur de los afloramientos estudiados y al noreste. No obstante, para matizar esta interpretación general y elaborar una propuesta de modelo de sedimentación en el que se relacionen las facies descritas con un subambiente concreto, es necesario interpretar los procesos sedimentarios que se pueden deducir de estas facies, así como analizar su evolución vertical en la secuencia elemental o *bundle* con objeto de deducir su relación lateral en el momento de depósito.

Distribución vertical de facies en las secuencias elementales o bundles

La evolución vertical de facies observada a escala de *bundle* se ha realizado en el perfil *Almonacid de la Cuba*, ya que es el que ha permitido una observación capa a capa

de las facies y subfacies. Las secuencias verticales de facies más representativas a escala de *bundle* observadas en este perfil han permitido definir la secuencia vertical de facies idealizada, que abarca todas las facies y subfacies definidas (Fig. 14). A esta escala, las subfacies *packstone* de bioclastos (Pb) y *packstone* de peloides (Pp), que aparecen ocasionalmente en los primeros metros de la serie, están asociadas sólo a subfacies *wackestone* de esponjas y braquiópodos (Wsb). Esta subfacies, junto con la subfacies *wackestone* de esponjas (Ws), de braquiópodos (Wb), facies *mudstone* (M) y facies de margas (Mg) y margocalizas (Mgz) forman apilamientos verticales del tipo Wsb-Ws-Wsb, Mg/Mgz-Wb-Mg/Mgz-Wsb, Mg/Mgz-M-Wsb-Ws-Wsb y Wb-M-Wb-Wsb. Estas observaciones indican que la sucesión vertical de facies idealizada, abarcando todas las facies y subfacies definidas, sería Mg/Mgz-M-Ws/Wb-Wsb-Pb/Pp, que reflejan las relaciones laterales de facies durante su depósito.

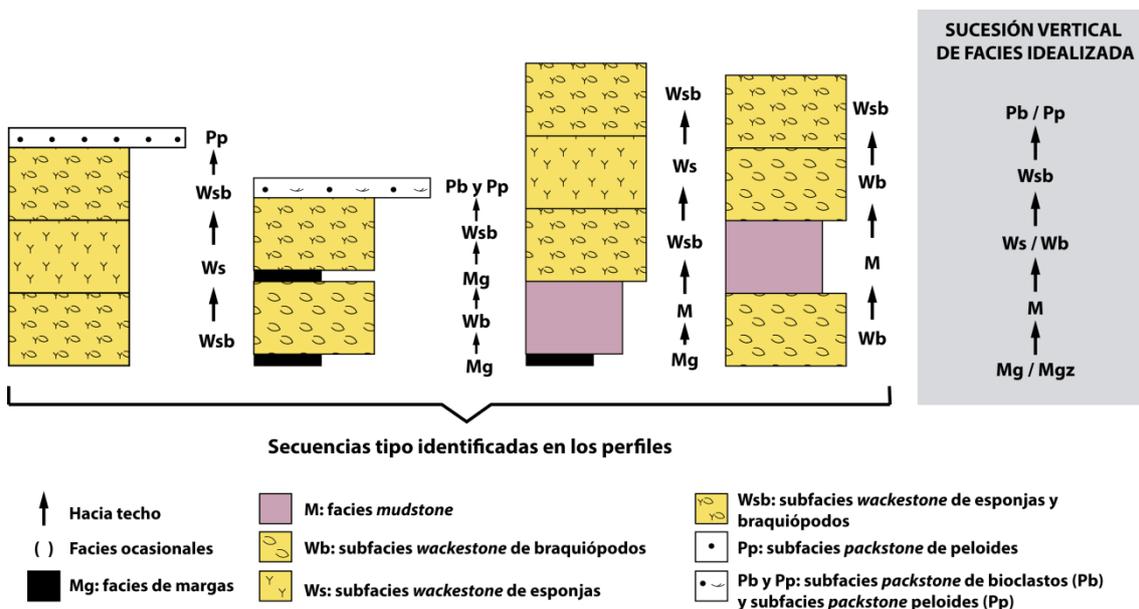


Figura 14. Secuencias de facies más representativas registradas a escala de *bundle* y sucesión vertical de facies idealizada, que refleja las relaciones laterales de facies durante su depósito.

Interpretación de facies y modelo de sedimentación

Las subfacies *packstone* de bioclastos (Pb) y de peloides (Pp) corresponden a estratos discretos o niveles dentro de estratos muy ocasionales en las series estudiadas, intercalados entre facies *wackestone*. La presencia de peloides, granos esqueléticos muy desarticulados y la abundancia de bioturbaciones indicarían que se corresponden con

depósitos de tormenta (i.e. *tempestitas*), asociados a los flujos densos mar adentro generados durante las resacas de tormentas, que acarrearón granos procedentes de las zonas someras (peloides) y removieron los restos esqueléticos para-autóctonos. Destaca la abundancia, gran tamaño y escaso redondeamiento de placas de equínidos y artejos de crinoides en relación al resto de componentes bioclásticos. Dicha asociación es característica de la Fm. Cuevas Labradas, infrayacente a la Fm. Río Palomar, e interpretada en la literatura como depósitos de plataforma interna y media-proximal (Bádenas *et al.*, 2010). La interpretación de estas subfacies como eventos de tormenta está también apoyada por el hecho de que algunos niveles de *packstone* se acuña lateralmente (e.g. nivel 40 en *Almonacid de la Cuba*).

Las facies *wackestone*, dominantes en la unidad, se pueden considerar propias de medios relativamente profundos de rampa media-distal, dado la naturaleza fangosa de estas facies. La subfacies de esponjas y braquiópodos (Wsb) representarían los dominios más someros, pues se han hallado infrayacentes a las facies P (Fig. 14). Además presentan tanto hiladas milimétricas como acumulaciones centimétricas de bioclastos, reafirmando el carácter más somero de esta subfacies. Las esponjas y braquiópodos son fósiles para-autóctonos en este dominio, pues el aspecto fragmentado y desarticulado de los braquiópodos unido a la disposición predominantemente caótica de las espículas de esponja sugieren que fueron removidos (posiblemente por el oleaje de tormentas) desde un área próxima. La presencia de oncoides indicaría también cierto grado de agitación. La fracción bioclástica fina (placas de equinodermos, restos de corales solitarios, etc) constituyen componentes alóctonos, resedimentados desde las zonas más someras, y depositados en esta subfacies durante la resaca de las tormentas. Las subfacies *wackestone* de esponjas (Ws) y *wackestone* de braquiópodos (Wb) pertenecerían a dominios más distales, más próximos al nivel de base del oleaje de tormenta, pues se hallan asociadas a subfacies Wsb y facies *mudstone* (M) (Fig. 14). Las subfacies Ws tan sólo presentan acumulaciones bioclásticas en forma de hiladas, que corresponderían a los depósitos más distales de los eventos de tormenta, cuando la energía prácticamente se ha disipado y lo que se depositan son los fragmentos más pequeños (i.e. *tempestitas diluidas*). El grado de redondeamiento de esta fracción bioclástica es en general elevado, por lo que proceden de zonas más someras sometidas al continuo oleaje de buen tiempo. La orientación y disposición de las espículas de

esponja, y su abundancia, indican que la subfacies Ws reflejaría la cercanía de los fondos colonizados por las esponjas. La subfacies Ws pasaría lateralmente a la subfacies Wb, pues se le atribuye un rango de profundidad parecido por el escaso grado de fragmentación y desarticulación de los componentes autóctonos (i.e. braquiópodos). Incluso se conservan ejemplares enteros de *Rhynchonellida* y *Terebratula* en esta subfacies Wb.

Las facies más distales corresponderían a las facies M, Mg_z y Mg, que representarían los sedimentos depositados en dominios de menor energía, por debajo del nivel de base del oleaje de tormentas, dada la ausencia de componentes esqueléticos y otros tipos de granos, así como de estructuras sedimentarias.

En resumen, el paleoambiente de depósito de la Fm. Río Palomar corresponde a zonas de rampa media-distal a externa-proximal (Fig. 15), siendo las facies P depósitos de tormenta acumulados en la zona media-distal; las facies W, sedimentos de rampa media-distal, con las subfacies Wsb en posiciones más proximales y las subfacies Ws y Wb en posiciones más distales y en relación de cambio lateral, y las facies M, Mg_z y Mg, fangos acumulados por debajo del nivel de base de oleaje de tormenta.

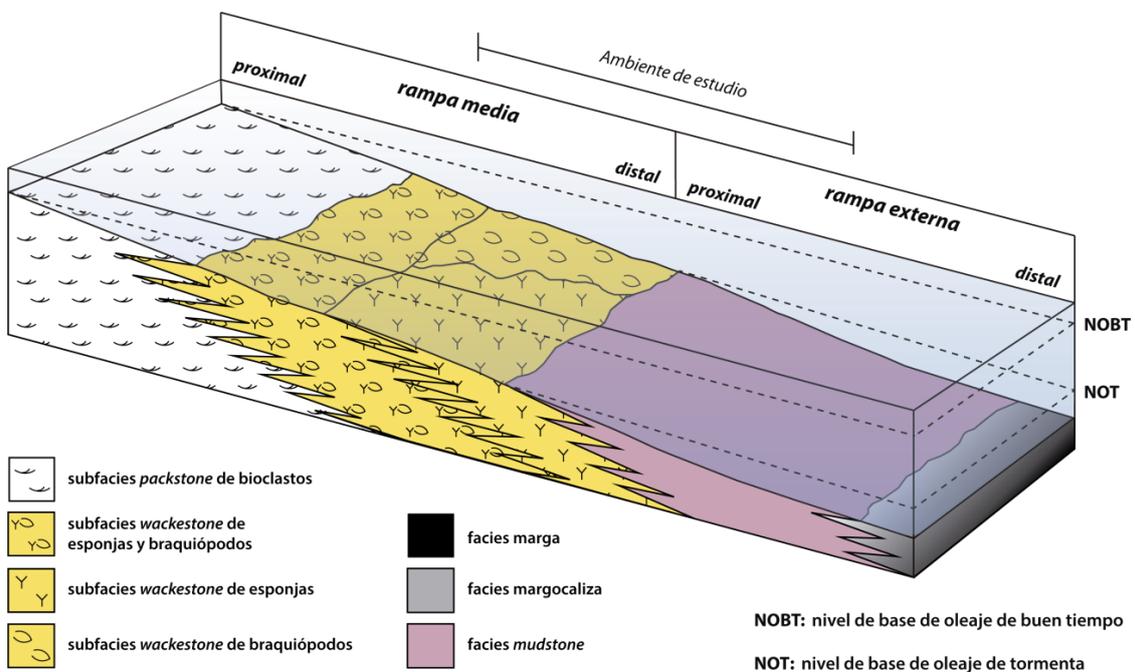


Figura 15. Reconstrucción del medio de sedimentación para la Fm. Río Palomar.

6.2. EVOLUCIÓN VERTICAL DE FACIES EN LAS SECUENCIAS

Teniendo en cuenta la interpretación sedimentológica del ambiente de depósito de las facies reconocidas, se ha definido el carácter somerizante, profundizante, profundizante-somerizante o agradante de las secuencias para los perfiles *Almonacid de la Cuba* y *Ricla Barranco*.

Perfil Almonacid de la Cuba

Como se ha comentado en el apartado 5, las secuencias identificadas en el perfil *Almonacid de la Cuba* incluyen 48 *bundles*, 10 *sets* de *bundles* y 3 lotes de *sets* (Figs. 4 y 7, Anexos 1 y 3).

La evolución vertical de facies idealizada (ver Fig. 14) indica que la mayoría de los *bundles* muestran una tendencia somerizante, cuyos límites suelen coincidir con superficies bioturbadas. En cuanto a los *sets* de *bundles*, la mayoría presentan una tendencia profundizante-somerizante, donde el cambio de tendencia viene definido por una zona de máxima inundación (MFZ). El hemicycleo basal profundizante suele presentar una evolución vertical de Wsb a Wb y M (tránsito de rampa media-distal a rampa externa-proximal). En el hemicycleo somerizante, se da una evolución vertical de Wb a Ws y en último término a Wsb, coherente con una tendencia somerizante. La secuencia que representa mejor esta evolución vertical de facies es el *set* S-AL1 (ver Fig. 4 y Anexos 1 y 3). Algunos de los *sets* muestran también una tendencia agradante, dominados por facies W, en especial Ws y Wsb. Esta tendencia aparece bien reflejada en el *set* S-AL3. Respecto a los lotes de *sets*, presentan una tendencia profundizante-somerizante, en el que el cambio de tendencia viene también definido por una zona de máxima inundación (MFZ). El lote que mejor refleja esta evolución es el LS-AL1 (Fig. 4 y Anexos 1 y 3). Su zona de máxima inundación (MFZ) se halla en el *set* S-AL2, en el potente estrato margoso que define a su vez la MFZ de dicho *set*. El hemicycleo profundizante se caracteriza por el paso de Wsb predominantes en su base a Ws, y abarca *sets* en los que predomina el hemicycleo profundizante. El hemicycleo somerizante culmina a techo con un predominio de Wsb, situándonos de nuevo en ambientes más proximales dentro de las zonas de rampa media-distal de la plataforma, y está constituido por *sets* agradantes (S-AL3) o bien profundizantes-somerizantes (S-AL2 y

S-AL4). Existe por tanto una coherencia entre la evolución que muestran los *sets* de *bundles* que componen este lote y el carácter profundizante-somerizante a gran escala que describe el lote.

Perfil Ricla Barranco

En *Ricla Barranco* se han identificado 29 *bundles*, 9 *sets* de *bundles* y 3 lotes de *sets* (Fig. 5 y Anexos 2 y 3). El aspecto en campo de su parte inferior puede observarse en la Fig. 6 (perfil *Ricla Estrechos*). Como se ha comentado en anteriores apartados, existe bastante incertidumbre en la identificación de algunas de las secuencias, y dada la ausencia del dato de las subfacies sólo se han podido caracterizar, en términos generales, algunos *sets* de *bundles* (1, 5 y 8) y los tres lotes de *sets* reconocidos para este perfil.

En el caso de los *sets*, por la distribución general de facies W, M y Mg y posterior evolución hacia facies W, puede inferirse una tendencia profundizante-somerizante, con una MFZ situada en las facies más fangosas. Por su parte, los lotes de *sets* muestran una tendencia profundizante-somerizante, cuyos hemiciclos profundizantes muestran una evolución vertical hacia facies M y por tanto hacia medios más profundos de la plataforma (rampa externa-proximal), mientras que en el somerizante la evolución es hacia facies W (rampa media-distal).

6.3. CARACTERIZACIÓN DE LA CICLICIDAD REGISTRADA EN LA SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA

El tratamiento de los datos de susceptibilidad magnética de los perfiles *Almonacid de la Cuba* y *Ricla Barranco* ha puesto de manifiesto también la existencia de una ciclicidad, marcada por la variación en el contenido de minerales magnéticos, especialmente magnetita. Las tendencias cíclicas que presenta la susceptibilidad magnética en sedimentos marinos son consideradas resultado de fluctuaciones en el aporte de detritos, controladas a su vez por variaciones climáticas que a menudo reflejan ciclos dentro de la banda de frecuencia de Milankovitch (deMenocal *et al.*, 1991; Weedon *et al.*, 1999; Ellwood *et al.*, 2000, 2007). El aporte de detritos a la cuenca marina está controlado por la mayor o menor erosión de los macizos circundantes,

transportados mar adentro como aporte fluvial, eólico o ambos y redistribuidos por las corrientes marinas (e.g. Sachs y Ellwood, 1988; Ellwood *et al.*, 2006).

Con objeto de calibrar la duración temporal de los ciclos identificados en *Almonacid de la Cuba* y *Ricla Barranco*, se compara las relaciones entre los ciclos obtenidos con el análisis espectral REDFIT de las series de susceptibilidad magnética (Tabla 4) y las existentes, durante el Jurásico Inferior, entre las principales modas de los ciclos de Milankovitch (Tabla 5). De este análisis comparativo, y teniendo en cuenta que la duración de la Fm. Río Palomar según las escalas de tiempo geológicas más recientes es algo más de 1 Ma (Gradstein y Ogg, 2012), para *Almonacid de la Cuba*, el ciclo de 19,23 m equivaldría al ciclo de excentricidad larga (400 ka), el de 2,06 m al de oblicuidad corta (37 ka) y el ciclo de 1,07 m al de precesión larga (21,5 ka). Las relaciones entre los valores de estas periodicidades: $19,23:2,06=9,33$; $2,06:1,07=1,92$ y $19,23:1,07=17,97$ son similares a las relaciones $E_2:O_1=10,81$; $O_1:P_2=1,72$ y $E_2:P_2=18,6$ (ver Tablas 4 y 5). Por su parte, para *Ricla Barranco*, el ciclo de 7,15 m se correspondería con el de excentricidad corta (100 ka), el de 2,52 m con el de oblicuidad corta (37 ka) y el de 1,59 m con el de precesión corta (18 ka). Las relaciones entre los valores de estas periodicidades: $7,15:2,52=2,84$; $2,52:1,59=1,58$ y $7,15:1,59=4,49$ son similares a las relaciones $E_1:O_1=2,7$; $O_1:P_1=2,05$ y $E_1:P_1=5,56$ (ver Tablas 4 y 5).

| Almonacid de la Cuba | | | | Ricla Barranco | | | |
|-----------------------------|--------------|-------------|-------------|-----------------------|-------------|-------------|-------------|
| m | 19,23 | 2,06 | 1,07 | m | 7,15 | 2,52 | 1,59 |
| 19,23 | 1 | 9,33 | 17,97 | 7,15 | 1 | 2,84 | 4,49 |
| 2,06 | | 1 | 1,92 | 2,52 | | 1 | 1,58 |
| 1,07 | | | 1 | 1,59 | | | 1 |

Tabla 4. Relaciones entre los ciclos obtenidos en el análisis espectral REDFIT de las series de tiempo de susceptibilidad magnética en los perfiles *Almonacid de la Cuba* y *Ricla Barranco*.

| Modas | Excentricidad | | Oblicuidad | | Precesión | |
|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | E ₂ | E ₁ | O ₂ | O ₁ | P ₂ | P ₁ |
| Ka | 400 | 100 | 47 | 37 | 21,5 | 18 |
| 400 | 1 | 4 | 8,51 | 10,81 | 18,6 | 22,22 |
| 100 | | 1 | 2,12 | 2,7 | 4,75 | 5,56 |
| 47 | | | 1 | 1,27 | 2,18 | 2,61 |
| 37 | | | | 1 | 1,72 | 2,05 |
| 21,5 | | | | | 1 | 1,19 |
| 18 | | | | | | 1 |

Tabla 5. Relación entre los ciclos de Milankovitch calculados para el Jurásico Inferior (Berger y Loutre, 1994)

Según el análisis espectral (ver Figs. 12 y 13), los ciclos dominantes en los espectros de potencia son los de 19,23 m para *Almonacid de la Cuba* y 7,15 m para *Ricla Barranco*. Añadiendo las coincidencias entre las relaciones de los ciclos descritas (ver Tablas 4 y 5), la asignación de un periodo determinado a cada pico dominante viene apoyado por una serie de premisas. Para *Almonacid de la Cuba*: 1) el ciclo de 19,23 m viene representado por un pico muy dominante en el espectro (Fig. 12A) y, por lo tanto, muy fiable como ciclo periódico; 2) si se tratase del ciclo de excentricidad corta (100 ka), la Fm. Río Palomar tendría una duración de 300 ka, incompatible con las escalas de tiempo geológico más recientes. Para *Ricla Barranco*: 1) el ciclo de 7,15 m, por ser también un pico muy dominante en el espectro, es muy fiable como ciclo periódico (Fig. 12B); 2) si se tratase del ciclo de excentricidad larga (400 ka), la Fm. Río Palomar tendría una duración de más de 2,4 Ma, incompatible con las escalas de tiempo geológico más recientes; 3) si se tratase del ciclo de oblicuidad, la duración en este caso sería de 240 ka, posibilidad también descartada por el mismo motivo.

Partiendo de estos ciclos dominantes, y utilizando la herramienta *LinAge* del programa *AnalySeries*, se ha realizado la correlación, para cada perfil, entre la curva de susceptibilidad magnética (previamente suavizada con una media móvil de 15 puntos para eliminar las oscilaciones de más alta frecuencia) y una curva teórica con el periodo obtenido en el análisis espectral, calculada por el programa PAST (Fig. 16): la curva teórica para *Almonacid de la Cuba* representaría la repetición del ciclo de excentricidad larga (19,23 m), y en *Ricla Barranco* el de excentricidad corta (7,15 m). Para realizar el anclaje se distorsionan las curvas de susceptibilidad magnética hasta hacer coincidir los máximos y los mínimos de éstas con las curvas teóricas. De esta forma podemos inferir el número de ciclos presentes en cada perfil, obteniendo así un total de 3 ciclos de excentricidad larga para *Almonacid de la Cuba* (Fig. 16A) y 6 de excentricidad corta para *Ricla Barranco* (Fig. 16B). Las escalas de tiempo flotantes construidas a partir de estos anclajes muestran una duración temporal para la Fm. Río Palomar en *Almonacid de la Cuba* de 1,23 Ma, y de 667.000 años en *Ricla Barranco*. Una vez obtenidos estos modelos de edad, el análisis espectral en *time domain* (Fig. 17) muestra que: para *Almonacid de la Cuba*, el ciclo de excentricidad larga está caracterizado, en el espectro de potencia (REDFIT), por un pico con una periodicidad de 398.000 años, el de oblicuidad corta de 39.800 años y el de precesión larga de 25.300 años. Para *Ricla Barranco*, al ciclo de excentricidad corta se le asigna una periodicidad de 106.400 años, y de 34.100 años al de oblicuidad corta. El ciclo de precesión no ha quedado representado en este análisis.

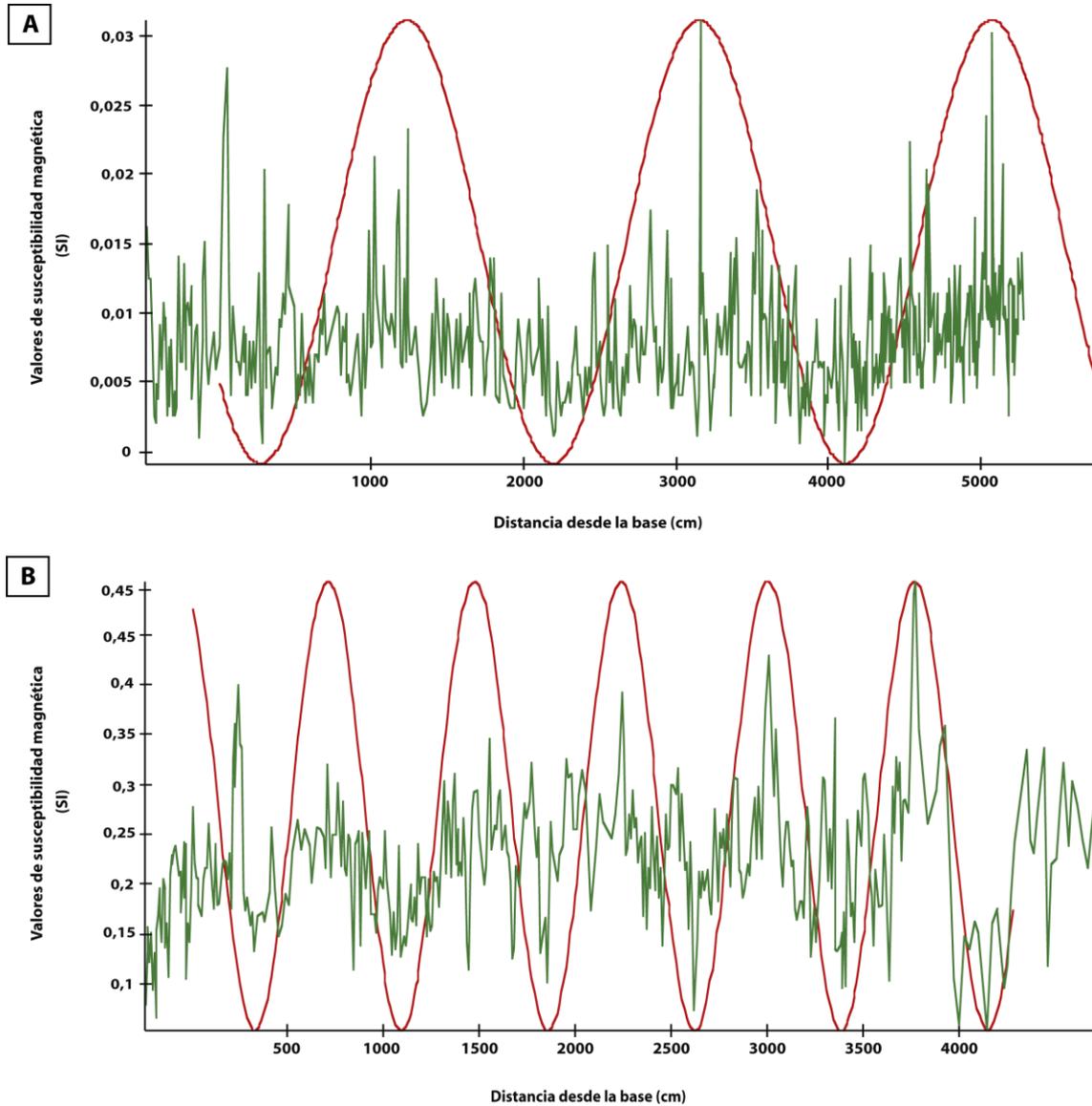


Figura 16. Anclaje entre las curvas de susceptibilidad magnética para *Almonacid de la Cuba* y *Ríola Barranco* (líneas verdes) y sus correspondientes curvas teóricas con el periodo mejor definido en el análisis espectral de los datos de susceptibilidad magnética (líneas rojas). A) Para *Almonacid de la Cuba*, se considera el ciclo de 19,23 m, relacionado con el de excentricidad larga; B) Para *Ríola Barranco*, el ciclo de 7,15 m, que se corresponde con el de excentricidad corta.

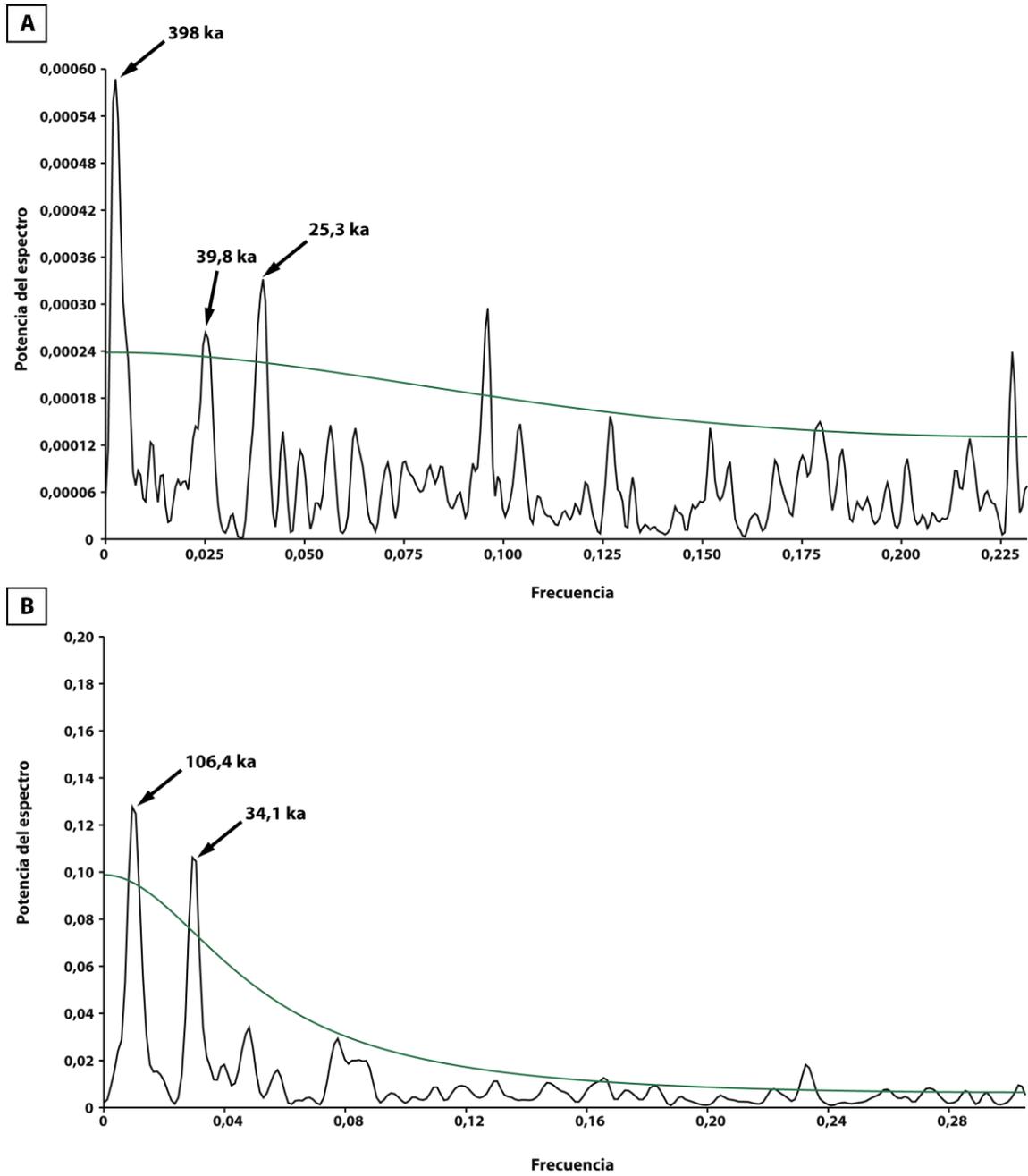


Figura 17. Espectros de potencia en *time domain* de las series de susceptibilidad magnética de los perfiles A) *Almonacid de la Cuba* y B) *Riela Barranco*, obtenidos mediante el análisis REDFIT. La línea verde simboliza el nivel de confianza del 95%.

7. DISCUSIÓN

7.1. COMPARACIÓN DE RESULTADOS: ANÁLISIS SECUENCIAL Y ESPECTRAL

El registro de ciclos dentro de la banda de frecuencia de Milankovitch de la Fm. Río Palomar en *Almonacid de la Cuba* y *Ricla Barranco* se ha puesto de manifiesto tanto en el análisis secuencial como espectral de la susceptibilidad magnética, y su comparación puede dar la clave para discutir la expresión en el registro sedimentario de dichos ciclos.

Perfil Almonacid de la Cuba

Para el perfil *Almonacid de la Cuba*, se dan una serie de coincidencias notables entre ambos tipos de datos: 1) se han identificado 3 lotes de *sets* (LS-AL1, LS-AL2 y LS-AL3) al igual que 3 ciclos de excentricidad larga (398 ka) en el análisis espectral de la susceptibilidad magnética; 2) el espesor de los lotes (19,4 m de potencia media) es similar a la potencia del ciclo más representativo hallado en los valores de susceptibilidad magnética (19,23 m); 3) la media de *bundles* por *set* se sitúa en torno a 5. Teniendo en cuenta la potencia de la serie (57,62 m) y el número de *bundles* identificados (48), la potencia media por *bundle* resulta en 1,2 m, similar a la potencia definida para el ciclo de precesión con los datos de susceptibilidad magnética (1,07 m); 4) si se considera que los *bundles* representan el ciclo de precesión (25,3 ka), se obtiene una duración de la Fm. Río Palomar en *Almonacid de la Cuba* de 1,21 Ma (25,3 ka x 48 *bundles*), similar a la obtenida mediante el modelo de edad (1,23 Ma).

Respecto a los aspectos no coincidentes, no se ha hallado expresión estratigráfica para el ciclo de oblicuidad obtenido del análisis espectral (2,06 m). Por otra parte, en el análisis espectral tampoco se ha detectado el ciclo correspondiente a los *sets* de *bundles*, aunque el hecho de que el promedio de *bundles* por *set* sea 5 (igual que el número de ciclos de precesión por cada ciclo de excentricidad corta), que se hayan identificado 10 *sets* de *bundles* y que el *bundle* se relacione con el ciclo de precesión, permite asociar el *set* al ciclo de excentricidad corta (en torno a 100 ka).

Perfil Ricla Barranco

En este caso existe una mayor discrepancia entre los resultados del análisis secuencial y espectral: 1) aunque la potencia media por *bundle* (1,47 m) coincide con la de uno de los ciclos obtenidos con los datos de susceptibilidad magnética (1,59 m), el espesor de los *sets* de *bundles* y lotes de *sets* (4,46 m y 14,28 m de potencia media, respectivamente) no coincide con el del resto de ciclos obtenidos con los datos de susceptibilidad (7,15 m y 2,52 m); 2) suponiendo que el ciclo de 7,15 m obtenido mediante análisis espectral sea el de excentricidad corta, el número de ciclos correspondientes según este análisis (6) no coincide con el de ningún tipo de secuencia (29 *bundles*, 9 *sets* de *bundles* y 3 lotes de *sets*); 3) si el ciclo de 34,1 ka se correspondiera con los *bundles* y el ciclo de 106,4 ka con los *sets* de *bundles*, la duración temporal de la Fm. Río Palomar en este perfil resultaría en unos 988,9 ka en el primer caso y 957,6 ka en el segundo, muy diferente a la obtenida mediante el modelo de edad (667 ka).

Es importante resaltar no obstante la incertidumbre que existe en este perfil en cuanto al reconocimiento de algunos límites de secuencia, así como la imprecisión en la definición de las facies y subfacies que hubieran permitido caracterizar las secuencias identificadas.

7.2. ORIGEN Y EXPRESIÓN DE LA CICLICIDAD EN LA FM. RÍO PALOMAR

El tratamiento estadístico de los valores de susceptibilidad magnética ha constatado la existencia de una ciclicidad en los materiales de la Fm. Río Palomar controlada por variaciones en parámetros orbitales (i.e. ciclos de Milankovitch), que determinan la cantidad de insolación recibida. Dicha ciclicidad también se ha constatado en el análisis secuencial, puesta de manifiesto por la organización en secuencias de distinto orden (*bundles*, *sets* de *bundles* y lotes de *sets*), las cuales se adscriben a secuencias generalmente somerizantes y profundizantes-somerizantes, que reflejarían la interacción entre el espacio de acomodación y la sedimentación durante el depósito de la Fm. Río Palomar (Fig. 18). Respecto a la acomodación, durante el depósito de la unidad actuaría la acomodación a “largo término”, resultado del ascenso del nivel del mar ligado al hemicycle transgresivo del Jurásico Inferior y la subsidencia homogénea

que experimenta la plataforma, y del ascenso del nivel del mar ligado al hemicyclo transgresivo del ciclo Pliensbachiense Inferior (Aurell *et al.*, 2003); y otra de “corto término”, expresada por las secuencias identificadas, donde la acomodación estaría controlada por el clima, no superando los 10 m de oscilación del nivel del mar teniendo en cuenta un clima de tipo *greenhouse* (e.g. Aurell y Bádenas, 2004). Como se explica líneas abajo, la impronta de estos cambios de acomodación en los dominios de rampa media-distal y externa-proximal estudiados sería mediante cambios en la resedimentación. En cuanto a la sedimentación, ésta iría ligada también al clima, pues influye en la producción bentónica y pelágica. De forma más compleja, en los procesos de resedimentación de sedimento carbonatado registrados en las facies estudiadas, intervendría también las variaciones del nivel del mar de corto término y el clima, ya que ambos controlarían fluctuaciones en la producción somera y por tanto, en la cantidad de sedimento que pudiera resedimentarse hacia los dominios abiertos, si bien las tormentas tienen un componente no periódico, aunque su impacto puede ser variable en función de las condiciones climáticas (e.g. Bengtsson *et al.*, 2009; Pielke *et al.*, 2005). Tanto en Almonacid de la Cuba como en Ricla, los datos disponibles apuntan que la producción bentónica no experimentó variaciones significativas, pues se han reconocido las mismas facies en los perfiles de referencia. La hipótesis más probable es que se dieran cambios en la producción pelágica y los procesos de resedimentación, de modo que la producción pelágica adquiriría mayor importancia a medida que se profundiza en la plataforma, al contrario que la resedimentación.

Así pues, para entender cómo los cambios de insolación asociados a los ciclos de Milankovitch influyeron en la sedimentación es necesario tener en cuenta las condiciones paleogeográficas y profundidad de depósito, y los procesos sedimentarios potencialmente involucrados durante el depósito (producción bentónica y pelágica y origen resedimentado). Las variaciones en la cantidad de insolación (i.e. ciclos de Milankovitch) afectan a la productividad de la factoría carbonatada como resultado de la alternancia de periodos fríos/cálidos, áridos/húmedos y el mayor o menor aporte fluvial en función de las condiciones de aridez. Los valores de susceptibilidad magnética registrados en el perfil *Ricla Barranco* son considerablemente mayores que en el perfil *Almonacid de la Cuba*, del orden de 10 veces superior (ver apartado 5.2). Estos resultados concuerdan con la posición de ambos sectores según la paleogeografía de la

Cuenca Ibérica propuesta por Aurell *et al.* (2003) para el Pliensbachiense Inferior: el paleoambiente de depósito para los perfiles *Ricla Barranco* y *Ricla Estrechos* se situaría más próximo a la zona somera de la plataforma situada al sur (ver Fig. 3B), donde recibiría más aporte de detritos.

En *Almonacid de la Cuba* es bastante notable la coincidencia entre el análisis secuencial y el espectral, y además la duración temporal deducida para la Fm. Río Palomar es congruente con la propuesta en las escalas de tiempo geológico más recientes para el Pliensbachiense Inferior (1,23 Ma). Sin embargo, en *Ricla Barranco*, la mayoría de las secuencias identificadas no coinciden con los ciclos deducidos del análisis espectral, y existe una incongruencia en cuanto a su duración temporal (667 ka). Una posible explicación a la disparidad en cuanto al tipo de ciclos registrados es la importancia que adquiere la producción pelágica con respecto a la bentónica y la resedimentación en dominios más proximales, caso de *Ricla*, y distales, caso de *Almonacid de la Cuba*. Así pues, la marcada ciclicidad registrada en *Almonacid de la Cuba* se atribuiría a un posible predominio de la producción de fango pelágica (nannoplancton calcáreo), que es muy susceptible de reflejar variaciones climáticas (e.g. traducidas en cambios de temperatura de las aguas superficiales). Esto unido a su posición más distal, con menor impacto de la resedimentación en este sector, disminuye la probabilidad de alteración de la señal climática registrada en el sedimento, por procesos internos debidos a remoción o pérdida de material por erosión atribuida a los eventos de tormenta.

En el perfil *Ricla Barranco*, existe disparidad entre los datos obtenidos del análisis secuencial y del análisis espectral, así como incertidumbre en cuanto su duración temporal (667 ka según el anclaje con los datos espectrales), que ponen de manifiesto la complejidad de la impronta de los cambios climáticos en la sedimentación. Probablemente, una mayor incidencia de los procesos de resedimentación, sobre la producción bentónica y pelágica, podría explicar que en el registro sedimentario no exista una expresión clara de los cambios climáticos. Algunas de las secuencias sedimentarias (i.e. *sets* de *bundles* y lotes de *sets*) podrían ser la expresión en el registro de la impronta de más de un ciclo astronómico de distinto rango. Prueba de ello es la no correspondencia entre la potencia de dichas secuencias observadas en campo y la de los

ciclos obtenidos en este perfil mediante los datos de susceptibilidad magnética: la potencia de los ciclos de 2,52 m y 7,15 m no coincide con la de los *sets* de *bundles* (entre 3,5 y 6 m) o lotes de *sets* (superior a 10 m). La potencia media de los *bundles* (1,47 m), en cambio, coincide con la potencia de uno de los ciclos obtenidos en el análisis espectral (1,59 m), aunque dicha coincidencia hay que tomarla con precaución, pues es importante resaltar la incertidumbre en este perfil en cuanto al reconocimiento de límites de secuencias.

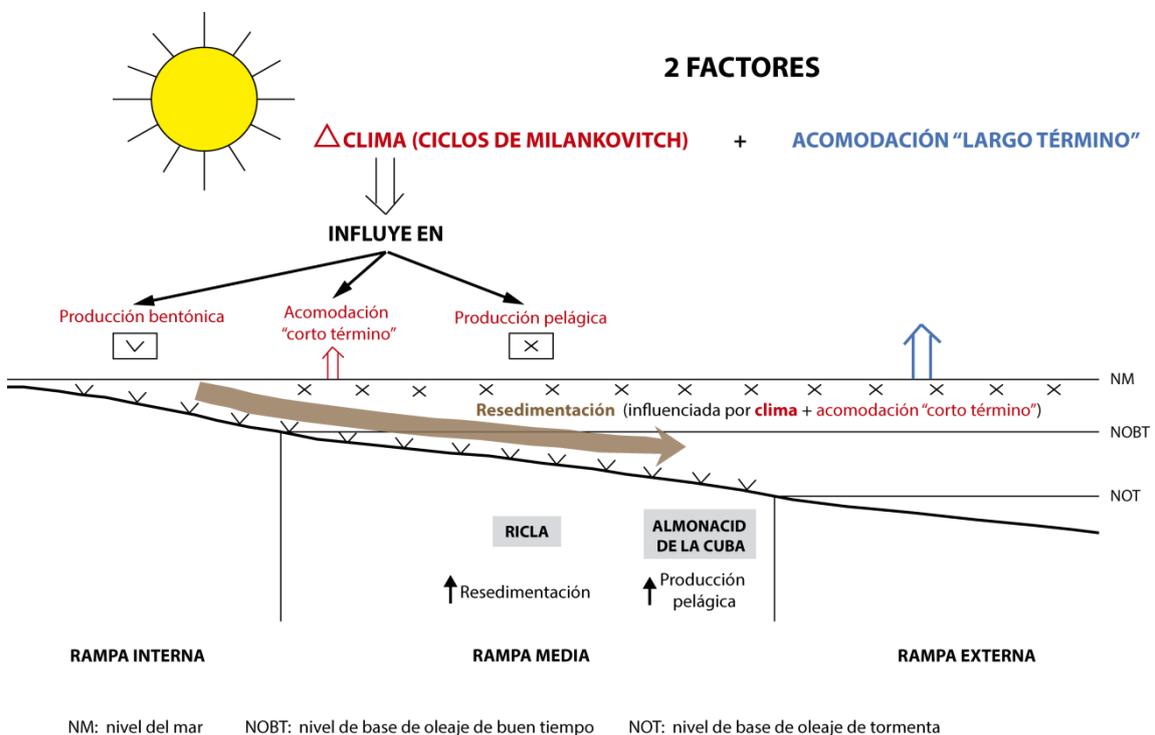


Figura 18. Esquema de los principales factores que han influido en la expresión de los ciclos en los sectores de Ricla y Almonacid de la Cuba. Se sitúa en el esquema la posición relativa de ambos sectores en la plataforma.

Por último, el contexto de los perfiles estudiados en los dominios de plataforma afectados por la acción de oleaje y flujos densos de tormentas, con la consiguiente remoción del sedimento ya depositado durante los eventos de tormenta, sería el factor que explicaría que el tratamiento estadístico de los datos de espesores de los estratos individuales no haya dado un resultado significativo.

7.3. COMPARACIÓN CON SERIES DE SIMILAR EDAD DE LA CUENCA IBÉRICA

Existen diversos estudios en otros sectores de la Cuenca Ibérica que señalan la existencia de ciclos climáticos dentro de la banda de frecuencia de Milankovitch para materiales del Pliensbachiense. Para la sección *Almonacid de la Cuba*, Comas-Rengifo *et al.* (1999) realizaron un estudio sedimentológico y estratigráfico de dos perfiles en los que reconocían también una organización estratónómica en secuencias para materiales desde el Pliensbachiense Inferior al Toarciense Inferior, aunque a todas ellas les atribuía una tendencia somerizante. También, para el Pliensbachiense Inferior se han hallado ciclos de alta frecuencia en facies carbonatadas y margosas de la Cuenca Asturiana, detectados mediante análisis sedimentológico y geoquímico (Mg/Ca, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) (Bádenas *et al.*, 2012).

Análisis secuenciales similares se han realizado para materiales del Sinemuriense al Pliensbachiense en la Cuenca Ibérica (Bádenas *et al.*, 2010; Cortés *et al.*, 2009), donde también atribuyen dichas secuencias a ciclos de Milankovitch.

8. CONCLUSIONES

Los materiales de la Fm. Río Palomar (Pliensbachiense Inferior) en los sectores de Ricla y Almonacid de la Cuba se enmarcan en un contexto de plataforma carbonatada de tipo rampa, entre los dominios de rampa medio-distal, caracterizadas por facies *packstone* de bioclastos y de peloides, y *wackestone* de esponjas, braquiópodos y esponjas y braquiópodos; y de rampa externa-proximal, con predominio de facies *mudstone*, margocalizas y margas, en los que la producción y acumulación de sedimento carbonatado estaría controlada por la producción bentónica y pelágica y la resedimentación producida por las tormentas desde dominios someros. Los valores mayores de susceptibilidad magnética registrados en Ricla indicarían una posición relativamente más proximal de este sector respecto a Almonacid de la Cuba.

La sedimentación estuvo controlada por cambios climáticos controlados por parámetros orbitales (i.e. ciclos de Milankovitch), pero a su vez por la propia dinámica interna de la plataforma (i.e. resedimentación por tormentas). Dicha ciclicidad se ha

puesto de manifiesto tanto en el reconocimiento en campo de secuencias sedimentarias de diferente orden (*bundles*, *sets* de *bundles* y lotes de *sets*; análisis secuencial) como en el tratamiento estadístico de los valores de susceptibilidad magnética (análisis espectral). El tratamiento estadístico de los espesores de los estratos no ha dado resultados significativos, por la importancia que adquieren los procesos de resedimentación en estos dominios.

Para el perfil *Almonacid de la Cuba* parece existir una mayor coherencia entre los resultados obtenidos del análisis secuencial y espectral: los 3 lotes de *sets* identificados en campo se corresponden con los 3 ciclos de excentricidad larga (398 ka) obtenidos del análisis espectral y los *bundles* representarían el ciclo de precesión (25,3 ka). Aunque los *sets* de *bundles* no tengan representación en el análisis espectral, dada la calibración temporal de la Fm. Río Palomar en este perfil (1,23 Ma), congruente con las modernas escalas de tiempo geológico, se les puede atribuir al ciclo de excentricidad corta (en torno a 100 ka). En *Ricla Barranco* no existe expresión estratigráfica para la mayoría de los ciclos obtenidos en el análisis espectral (7,15 m y 2,52 m), y la calibración temporal de la formación en este perfil (667 ka) dista demasiado de las escalas de tiempo geológico más recientes.

Una posible explicación de esta disparidad radicaría en una mayor impronta de la resedimentación en los dominios más proximales (*Ricla*), alterando la señal climática que haya podido quedar registrada, mientras que en *Almonacid de la Cuba*, la producción pelágica, que es más susceptible de reflejar variaciones climáticas, adquiriría mayor importancia sobre la producción bentónica y la resedimentación. No obstante, dicha hipótesis puede ser contrastada en futuros trabajos realizando análisis del plancton calcáreo en ambas series.

9. BIBLIOGRAFIA

Aurell, M., Robles, S., Bádenas, B., Quesada, S., Rosales, I., Meléndez, G. y García-Ramos, J.C. (2003): Transgressive/Regressive Cycles and Jurassic palaeogeography of Northeast Iberia. *Sedimentary Geology*, 162: 239-271

Aurell, M. y Bádenas, B. (2004): Facies and depositional sequence evolution controlled by high-frequency sea-level changes in a shallow-water carbonate ramp (late Kimmeridgian, NE Spain). *Geological Magazine*, 141 (6): 717-733

Bádenas, B., Aurell, M., Rodríguez-Tovar, F.J. y Pardo-Igúzquiza, E. (2003): Sequence stratigraphy and bedding rhythms of an outer ramp limestone succession (Late Kimmeridgian, Northeast Spain). *Sedimentary Geology*, 161: 153–174

Bádenas, B., Aurell, M. y Bosence, D. (2010): Continuity and facies heterogeneities of shallow carbonate ramp cycles (Sinemurian, Lower Jurassic, North-east Spain). *Sedimentology*, 57: 1021-1048

Bádenas, B., Aurell, M., Armendáriz, M., Rosales, I., García-Ramos, J.C. y Piñuela, L. (2012): Sedimentary and chemostratigraphic record of climatic cycles in Lower Pliensbachian marl-limestone platform successions of Asturias (North Spain). *Sedimentary Geology*, 281: 119-138

Baeza-Carratalá, J.F., García, F., Goy, A. y Tent-Manclús, J.E. (2014): Braquiópodos del Jurásico Inferior del norte de España en la colección Jiménez de Cisneros. *Geogaceta*, 56: 111-114

Bengtsson, L., Hodges, K.J. y Keenlyside, N. (2009): Will extratropical storms intensify in warmer climate? *Journal of Climate*, 22: 2276-2301

Berger, A. y Loutre, M.F. (1994): Astronomical forcing through geological time. *Int. Ass. Sediment. Spec. Publ.*, 19: 15-24

Bordonaba, A.P., Bádenas, B. y Aurell, M. (2000): La unidad de Almonacid de la Cuba en el sector de Obón a Castel de Cabra (Teruel). *Geotemas*, 1 (2): 163-166

Bordonaba, A.P. y Aurell, M. (2001): El Pliensbachiense de la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica: análisis secuencial. *Geotemas*, 3 (1): 89-92

Bordonaba, A.P. y Aurell, M. (2002): El Pliensbachiense de la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica: Análisis de facies y establecimiento de secuencias. *Journal of Iberian Geology*, 28: 31-34

Bordonaba, A.P. (2003): *Evolución sedimentaria del Jurásico Inferior (Hettangiense - Pliensbachiense) en el sector centrorienta de la Cordillera Ibérica.*

Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 417 p.

Comas-Rengifo, M.J., Gómez, J.J. y Goy, A. (1999): El Jurásico en la sección de Almonacid de la Cuba (sector central de la Cordillera Ibérica, Zaragoza, España). *Cuadernos de Geología Ibérica*, 25: 27-57

Cortés, J.E., Gómez, J.J. y Goy, A. (2009): Facies associations, sequence stratigraphy and timing of the earliest peak transgression in central Spain (Iberian Range): Correlation with other Lower Jurassic sections. *Journal of Iberian Geology*, 35 (1): 47-58

deMenocal, P., Bloemendal, J. y King, J. (1991): A rock-magnetic record of monsoonal dust deposition to the Arabian Sea: evidence for a shift in the mode of deposition at 2.4 Ma. En: *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results* (W.L. Prell y N. Niitsuma, *et al.*, Eds.), 117 (22): 389-407

Dunham, R.J. (1962): Classification of carbonate rocks according to depositional texture. En: *Classification of carbonate rocks* (W.E. Ham, Ed.). A symposium American Association of Petroleum Geologists Memoir, 1: 108-171

Ellwood, B.B., Crick, R.E., El Hassani, A., Benoist, S. y Young, R. (2000): MagnetoSusceptibility Event and Cyclostratigraphy (MSEC) in marine rocks and the question of detrital input versus carbonate productivity. *Geology*, 28: 1135-1138

Ellwood, B.B., Balsam, W.L. y Roberts, H.H. (2006): Gulf of Mexico sediment sources and sediment transport trends from magnetic susceptibility measurements of surface samples. *Marine Geology*, 230: 237-248

Ellwood, B.B., Brett, C.F. y MacDonald, W.D. (2007): MagnetoSusceptibility stratigraphy of the Upper Ordovician Kope Formation, Northern Kentucky. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 243:42-54

Gil, J., García-Hidalgo, J.F., Mateos, R. y Segura, M. (2009). Orbital cycles in a Late Cretaceous shallow platform (Iberian Ranges, Spain). *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 274: 40-53.

Gómez, J.J. (1991): *Mapa y memoria explicativa de la hoja 7-5 (40) Daroca del Mapa Geológico de Síntesis a escala 1:200.000*. IGME. Madrid, 31-82

Gómez, J.J., Comas-Rengifo, M.J. y Goy, A. (2003): Las unidades litoestratigráficas del Jurásico Inferior de las Cordilleras Ibérica y Costeras Catalanas. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 16 (3-4): 227-238

Gradstein, F.M. y Ogg, J. (2012): The Chronostratigraphic Scale. En: *The Geologic Time Scale 2012* (F.M. Gradstein, J.G. Ogg, M.D. Schmitz y G.M. Ogg, Eds.), 1: 31-42

Hallam, A. (1985): A review of Mesozoic climates. *Journal of the Geological Society of London*, 142: 433-445

Lendínez-González, A. y Ruiz Fernández de la Lopa, V. (1989): *Mapa geológico de España, escala 1:50.000 (20 serie). Hoja 440 (Belchite)*. Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria y Energía, Madrid, 42 p.

Osete, M.L., Villalaín, J.J., Osete, C. y Gialanella, P.R. (2000): Evolución de Iberia durante el Jurásico a partir de datos paleomagnéticos. *Geotemas*, 1 (1): 117-119

Pielke Jr, R.A., Landsea, C., Mayfield, M., Laver, J. y Pasch, R. (2005): Hurricanes and global warming. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 86: 1571-1575

Prados, A.G. y Bádenas, B. (2015): Sedimentary factors controlling thickness of stratiform stromatolites, from laminae to metre-thick packages (Sinemurian, Iberian Basin). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 28 (2): 3-14

Sachs, S.D. y Ellwood, B.B. (1988): Controls on magnetic grain-size variations and concentrations in the Argentine Basin, South Atlantic Ocean. *Deep Sea Research*, 35: 929-942

Sander, B. (1936): Beiträge zur Kenntnis der Anlagerungs Gefüge. *Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*, 48: 27-139

Schulz, M. y M. Mudelsee. (2002): REDFIT: estimating red-noise spectra directly from unevenly spaced paleoclimatic time series. *Computers & Geosciences*, 28: 421-426

Schwarzacher, W. (2000): Repetitions and cycles in stratigraphy. *Earth-Science Reviews*, 50: 51-75

Torrence, C. y G.P. Compo (1998): A practical guide to wavelet analysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79: 61-78

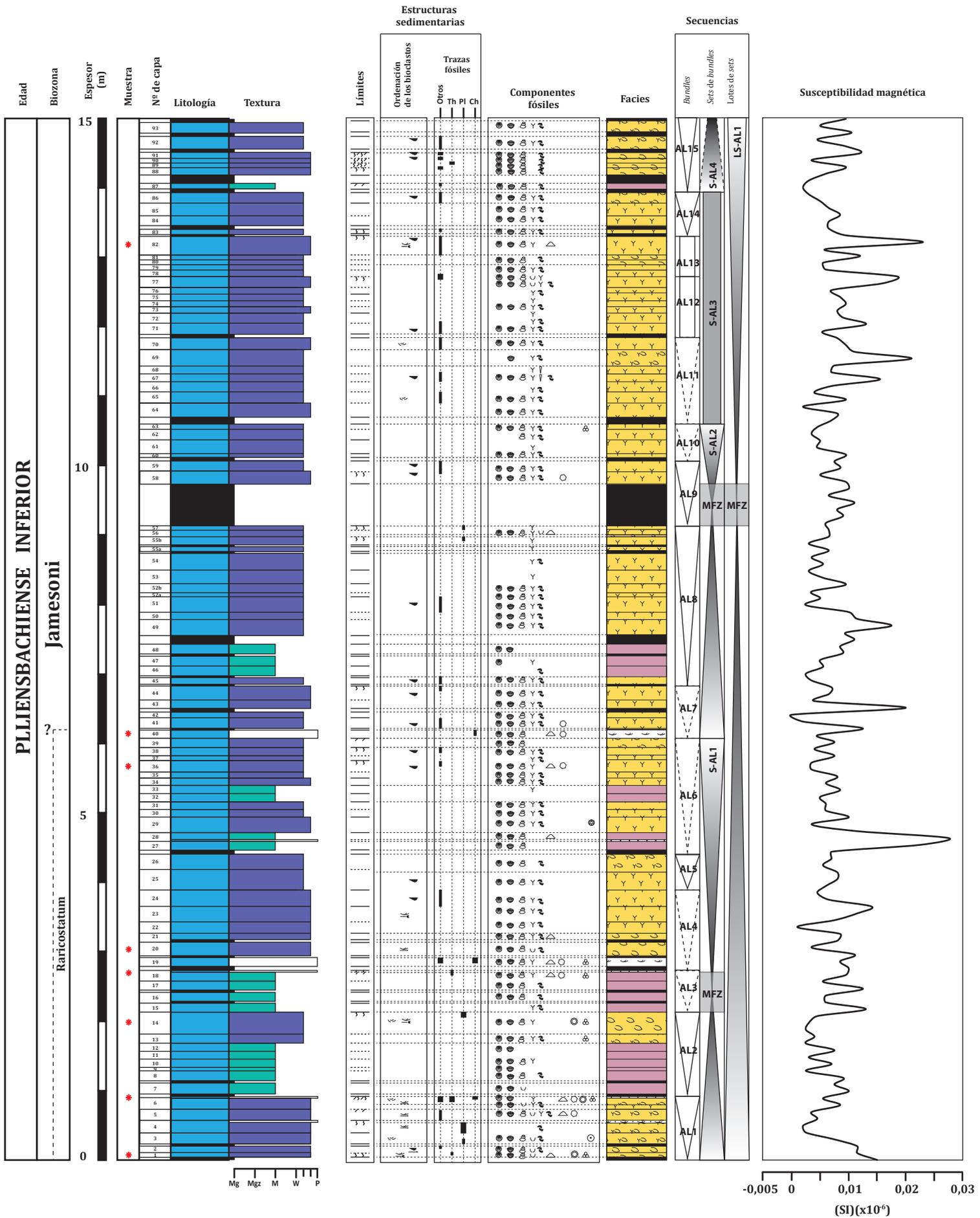
Valls, J., Comas-Rengifo, M.J. y Goy, A. (2004): Bivalvos del Pliensbachiense en la Sección Almonacid de la Cuba (Cordillera Ibérica, España). *Coloquios de Paleontología*, 54: 145-178

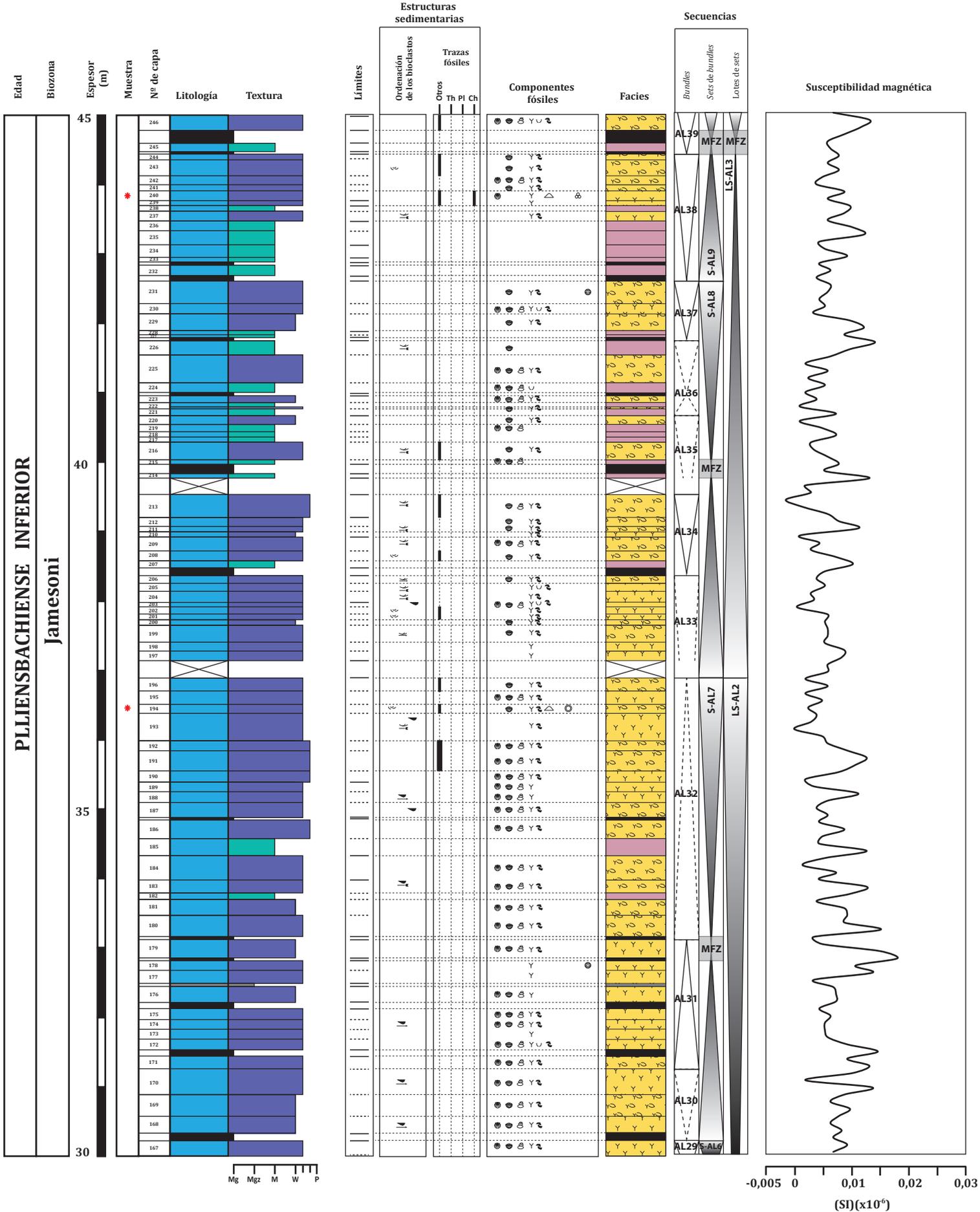
Weedon, G.P., Jenkyns, H.C., Coe, A.L. y Hesselbo, S.P. (1999): Astronomical calibration of the Jurassic time-scale from cyclostratigraphy in British mudrock formations. *Philosophical Transactions of the Royal Society London*, A 357: 1787-1813

Wright, V.P. y Burchette, T.P. (1996): Shallow-water carbonate environments. En: *Sedimentary environments: processes, facies, stratigraphy* (H.G. Reading, Ed). Blackwell Scientific Publications, Oxford, 325-394

10. ANEXOS (en las siguientes páginas)

ALMONACID DE LA CUBA HOJA 1

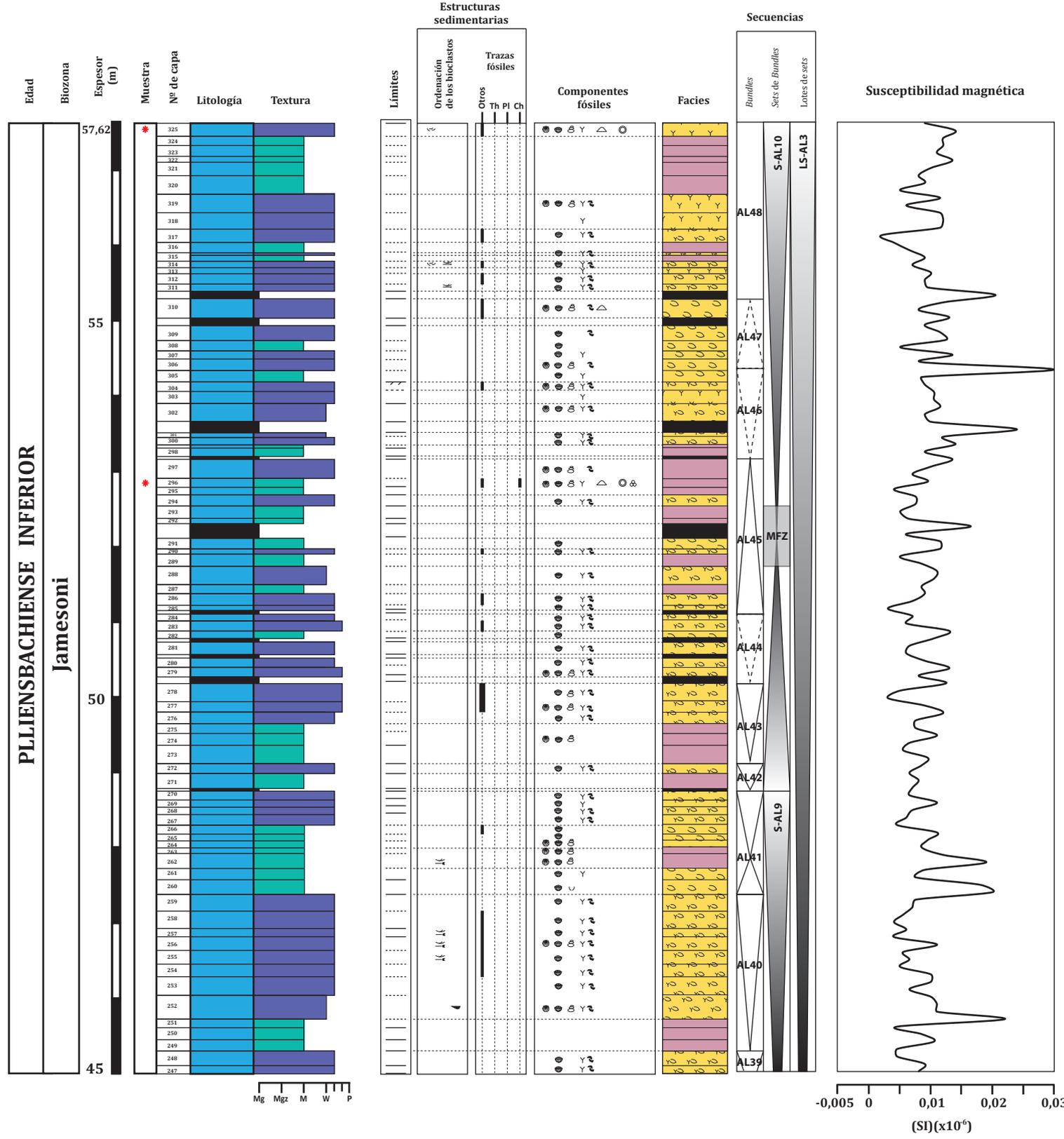


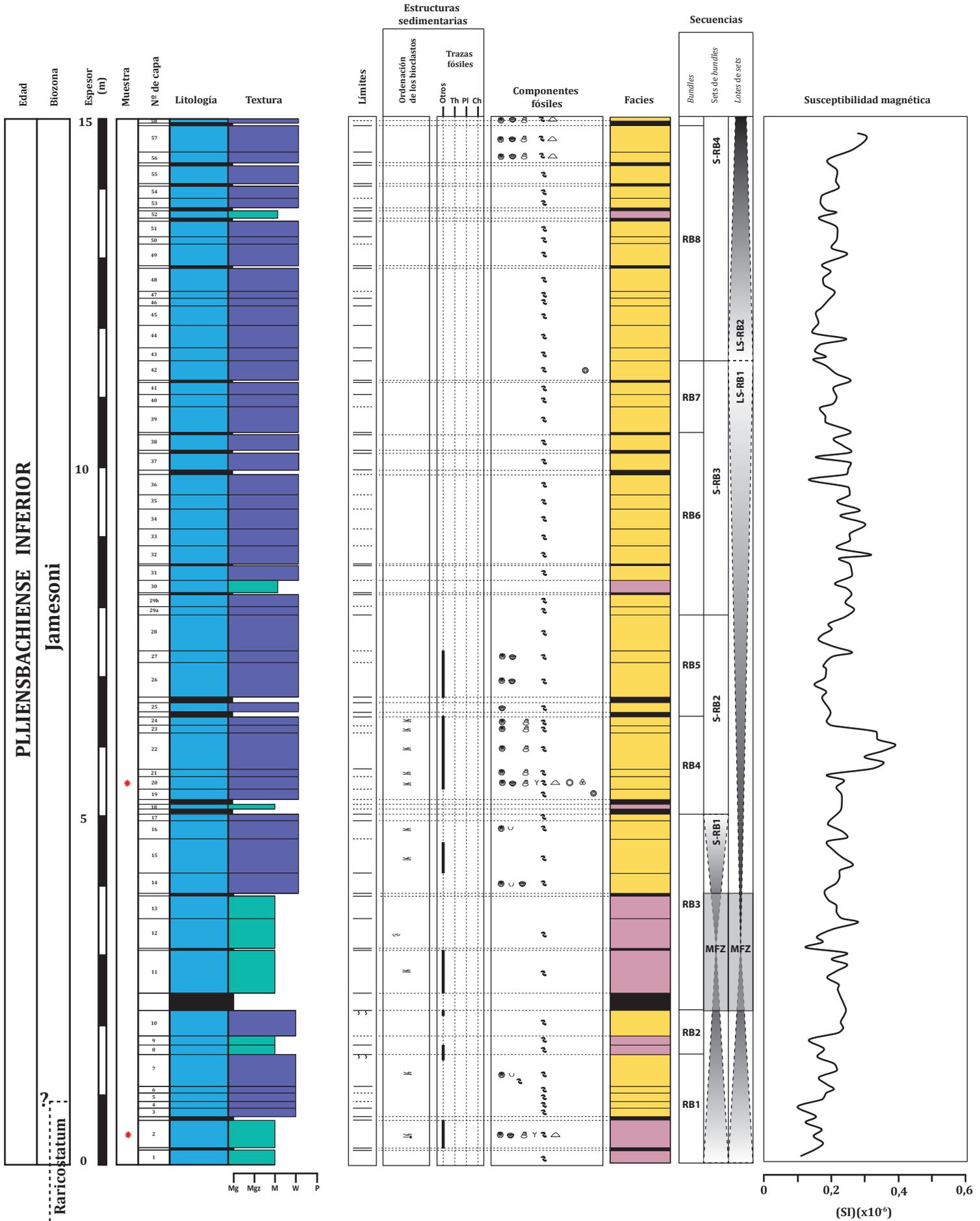


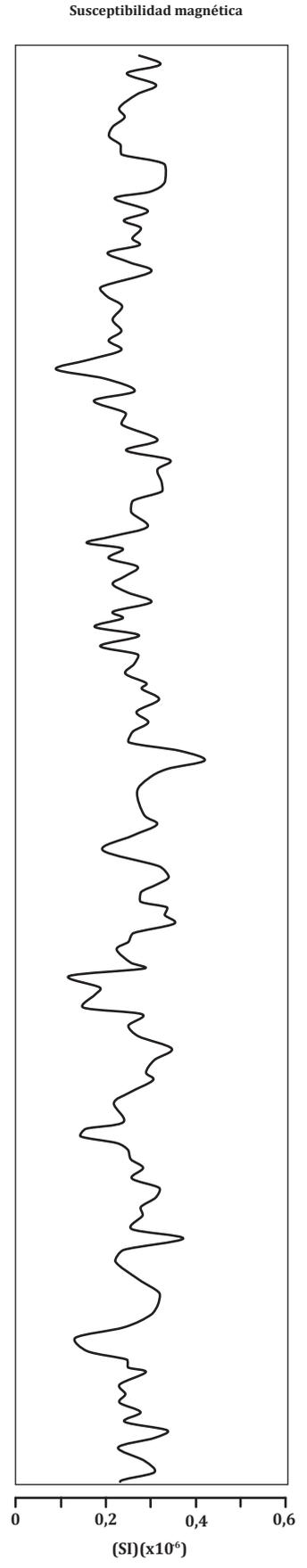
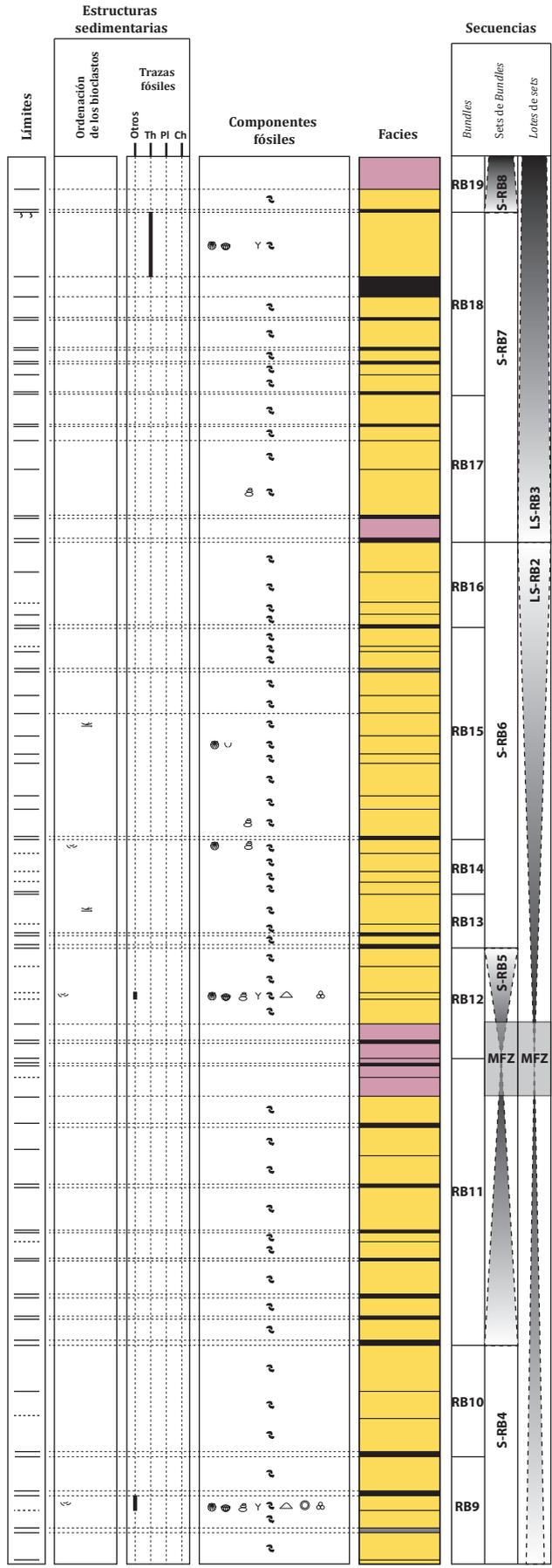
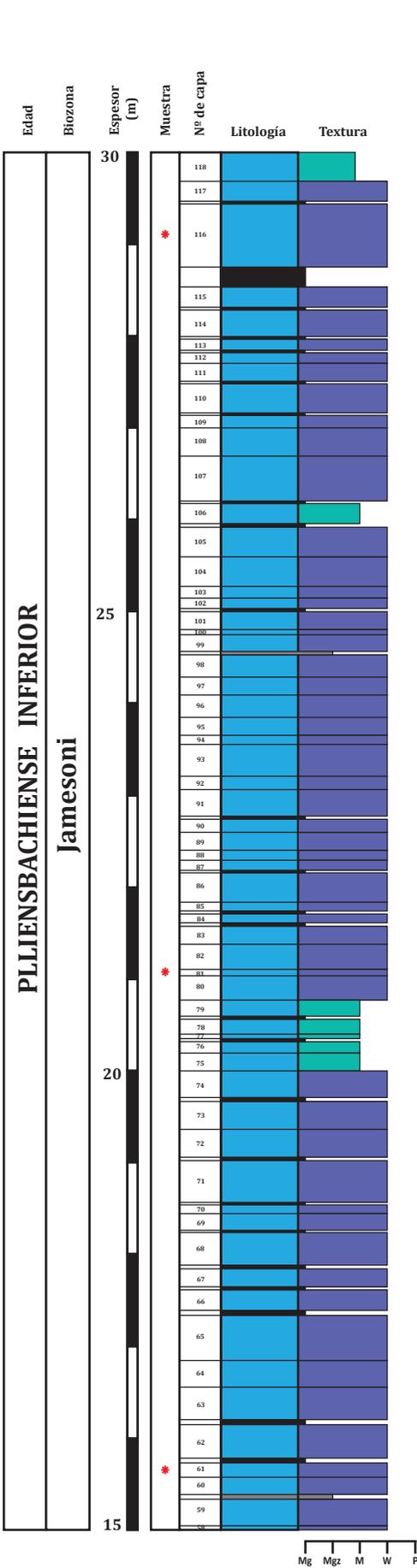
| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| Litología Caliza Margocaliza Marga | Textura Textura <i>mudstone</i> Textura <i>wackestone</i> Textura <i>packstone</i> | Tipos de límites — Límite neto Límite difuso ㄣ Límite bioturbado ㄣ Límite ferruginizado | Componentes fósiles Bivalvos Braquiópodos Gasterópodos Esponjas Equinidos Crinoides Corales Foraminíferos bentónicos Fracción fina bioclástica Organismos <i>in situ</i> Espículas de esponja verticales Oncolito Serpúlidos | Facies y subfacies Facies de margas Facies de margocalizas Facies <i>mudstone</i> Facies <i>wackestone</i> Facies <i>packstone</i> subfacies de esponjas subfacies de braquiópodos subfacies de esponjas y braquiópodos subfacies de bioclastos subfacies de peloides |
|--|--|--|--|--|

| | | | |
|--|--|---|--|
| Estructuras sedimentarias Ordenación de los bioclastos Trazas fósiles | ▼ Parches de braquiópodos ◁ Parches de fracción fina bioclástica Th- <i>Thalassinoides</i> Bioturbación | ▼ Niveles de braquiópodos ▼ Hiladas de braquiópodos Pl- <i>Planolites</i> Bioturbación intensa | ≍ Niveles de fracción fina bioclástica ≍ Hiladas de fracción fina bioclástica Ch- <i>Chondrites</i> Otros- <i>Rhizocorallium, Phymatoderma, etc</i> |
|--|--|---|--|

| |
|--|
| Secuencias ▼ Intervalo somerizante ▲ Intervalo profundizante □ Intervalo agradante |
|--|







- | | | | | |
|---|--|---|---|--|
| Litología | Textura | Tipos de límites | Componentes fósiles | Facies |
| <ul style="list-style-type: none"> Caliza Margocaliza Marga | <ul style="list-style-type: none"> Textura <i>mudstone</i> Textura <i>wackestone</i> | <ul style="list-style-type: none"> — Límite neto Límite difuso ~ Límite bioturbado ~ Límite ferruginizado | <ul style="list-style-type: none"> Bivalvos Braquiópodos Gasterópodos Esponjas Equínidos Crinoides Corales Foraminíferos bentónicos Fracción fina bioclástica Organismos <i>in situ</i> Espículas de esponja verticales Oncolito Serpúlidos | <ul style="list-style-type: none"> Facies de margas Facies de margocalizas Facies <i>mudstone</i> Facies <i>wackestone</i> |

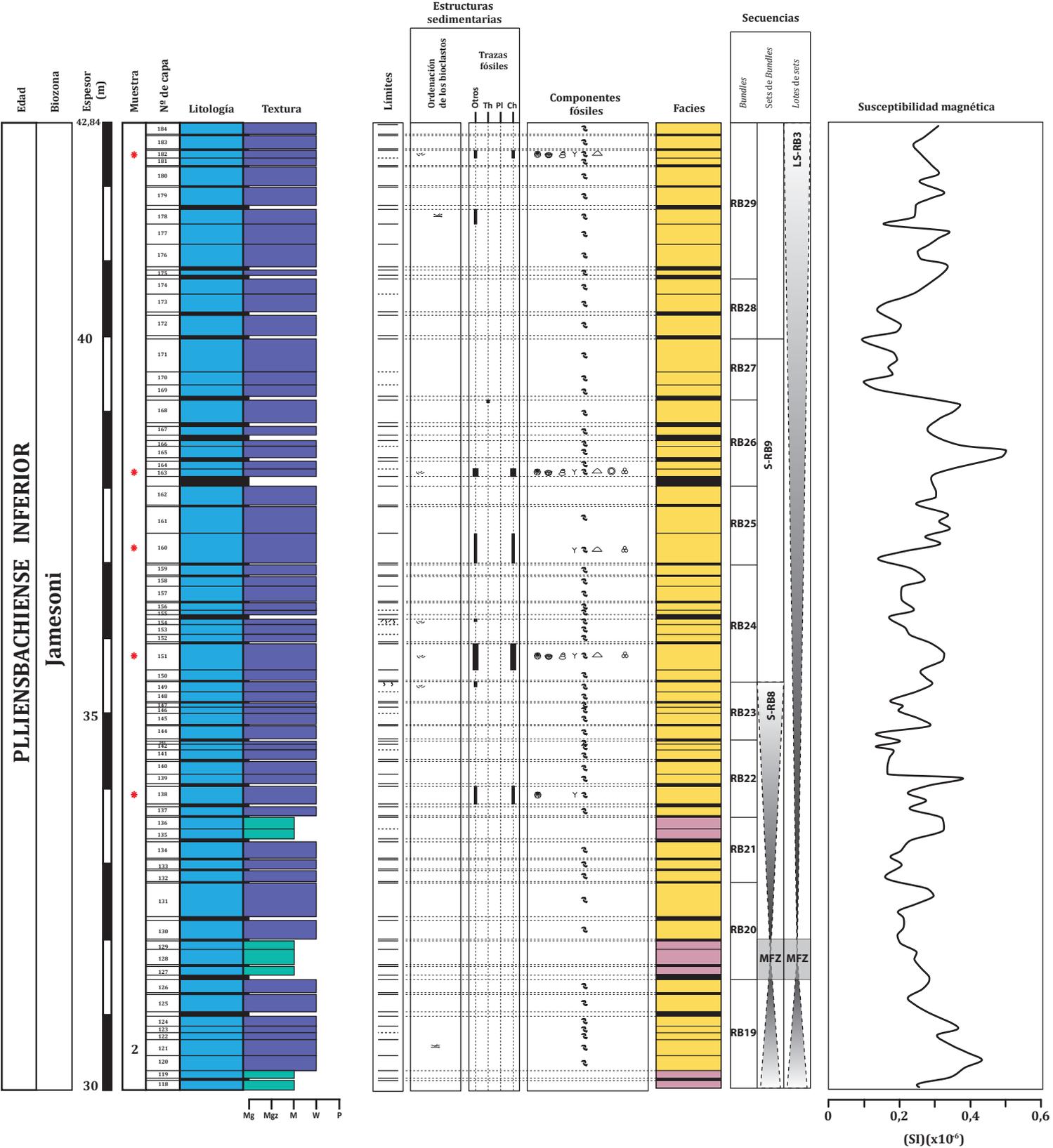
Estructuras sedimentarias

Ordenación de los bioclastos
Trazas fósiles

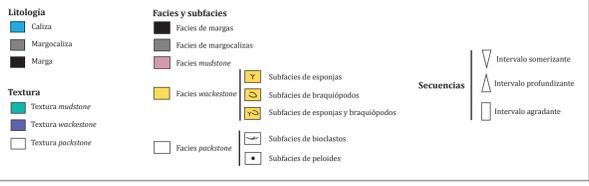
- | | | |
|--------------------------------------|-------------------------|---|
| Parches de braquiópodos | Niveles de braquiópodos | Niveles de fracción fina bioclástica |
| Parches de fracción fina bioclástica | Hiladas de braquiópodos | Hiladas de fracción fina bioclástica |
| Th- <i>Thalassinoides</i> | Pl- <i>Planolites</i> | Ch- <i>Chondrites</i> |
| Bioturbación | Bioturbación intensa | Otros- <i>Rhizocorallium, Phymatoderma, etc</i> |

Secuencias

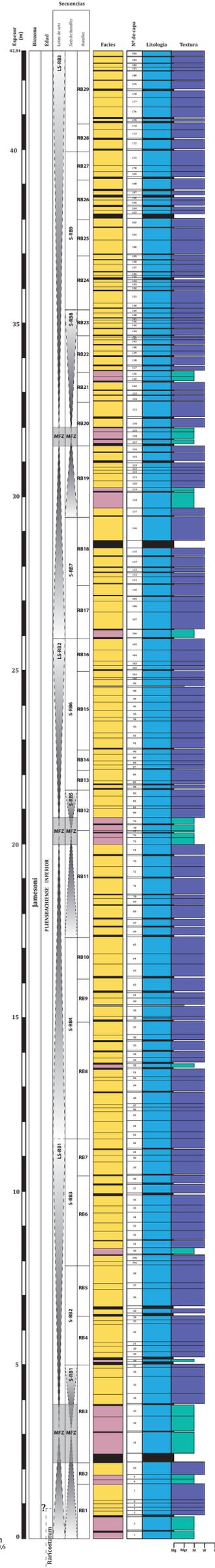
- Intervalo somerizante
- Intervalo profundizante



LEYENDA



RICLA BARRANCO



RICLA ESTRECHOS

