



UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

Facultad de Ciencias, Departamento de Ciencias
de la Tierra

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Extensión y estructuras sedimentarias de la facies de calizas con laminación algal de la Fm. Cuevas Labradas en relación con factores genéticos internos y externos



Guillermo M. Prados Andrés

Bajo la dirección de la Dra. Beatriz Bádenas Lago

Septiembre, 2014

INDICE

1. Abstract	1
2. Planteamiento	2
3. Objetivos	3
4. Metodología	3
4.1. Labores previas de gabinete y campo	3
4.2. Trabajo de campo	3
4.3. Trabajo de laboratorio	3
4.4. Análisis mediante programas de ordenador WinGeo	4
4.5. Elaboración de datos y síntesis	4
5. Contexto geográfico y geológico	4
5.1. Situación geográfica y geológica de la serie estudiada	4
5.2. Contexto estratigráfico y paleogeográfico	7
5.3. Contexto sedimentológico: facies de calizas con laminación algal en plataformas carbonatadas	8
6. Presentación y discusión de los principales resultados obtenidos	9
6.1. Presentación de la serie estratigráfica estudiada	9
6.2. Descripción e interpretación de facies	14
6.2.1. Subambiente supramareal: Facies A y B	15
6.2.2. Subambiente intermareal: Facies C	17
6.2.3. Subambiente submareal: Facies D, E y F	17
6.3. Descripción e interpretación de secuencias	22
6.3.1. Macrosecuencias	22
6.3.2. Microsecuencias	23
6.4. Análisis de las facies con laminación algal con el programa WinGeo	24
7. Conclusions	27
8. Bibliografía	28
9. Anexo	29
Intervalo I	29
Intervalo II	30

1. ABSTRACT

The Cuevas Labradas Fm represents carbonate peritidal facies deposited in coastal environments of the carbonate platform that developed in the Iberian Basin during the Sinemurian (Lower Jurassic). Previous sedimentological studies indicate a complex relationship of changes in sea level and local subsidence controlling the lateral extension of facies and sedimentary cycles within this unit. In particular, the algal laminated facies may form discontinuous levels at outcrop scale and have different sedimentary structures indicating variable degree of sub-aerial exposure. The aim of the present work is to improve the knowledge of internal and external factors that controlled the sedimentation of these algal laminated facies, by means of a detailed bed-by-bed facies and sequential analysis of the upper (20 m-thick) part of the Cuevas Labradas Fm outcropping in an abandoned quarry near Muel (Zaragoza province). Facies were studied from outcrop to polish slab and thin-section scales. WinGeo computer program was also used for the first time in this kind of facies to analyze the possible relationship of lamina thickness and controlling factors.

Sedimentological analysis allowed differentiating six main facies belonging to the following subenvironments: upper supratidal (algal laminites distorted by mudcracks), lower supratidal (ondulating algal laminites with tepees and fenestral porosity), intertidal (plano-parallel algal laminites with scarce fenestral porosity), protected subtidal lagoon (mudstones barren of bioclasts), and open high-energy and low-energy subtidal (bioturbated, oolitic and bioclastic packstones-grainstones and bioclastic mudstones-wackestones, respectively). These facies are arranged in aggradational, deepening, shallowing or deepening-shallowing sequences of different scale (decimetre-thick microsequences and metre-thick macrosequences), reflecting the complex interaction of internal factors (e.g., lateral migration of facies belts controlled by hydrodynamic factors) and external factors (climate-controlled sea level changes and local subsidence).

Laminated facies are composed of couplets of dark laminae (algal mesh) and light laminae (mudstone to packstone sediment transported by tides and storms from the subtidal areas), and probably record annual seasonal changes, with light laminae deposited by strong tides and storms during winter-spring seasons. Thickness of light laminae decreases from intertidal to supratidal areas (0,52 mm to 0.22 mm, respectively), i.e., from the source area of sediment towards the land. Laminated beds and intervals of successive laminated beds are variable in thickness and complexly intercalated within the subtidal facies, and may be included within the aggradational, deepening and shallowing parts of both micro- and macrosequences. This vertical facies heterogeneity was probably controlled by the interaction of sea level changes (climate-related eustatism modulated by local tectonics) and internal factors.

2. PLANTEAMIENTO

Los afloramientos de la Fm. Cuevas Labradas (Jurásico Inferior) en las proximidades de Muel (provincia de Zaragoza) exponen la parte superior de esta unidad caracterizada por facies carbonatadas perimareales. Estudios previos en los afloramientos cercanos de Almonacid de la Cuba (Bádenas *et al.*, 2010), han puesto de manifiesto la compleja interrelación de las variaciones del nivel del mar y de la subsidencia local (actuación de fallas normales) en la organización de estas facies en secuencias o ciclos de potencia métrica. Algunas de estas secuencias contienen facies de laminitas algales inter-supramareales, que presentan dos peculiaridades: 1) Son discontinuas a escala de afloramiento y no siempre aparecen a techo de los ciclos; 2) Muestran estructuras sedimentarias (*tepees*, grietas de desecación, brechas de cantos planos y porosidad fenestral), que indican *a priori* un grado de exposición subaérea variable. Con el presente trabajo se pretende avanzar en el conocimiento de los factores internos y externos que controlaron la generación de estas facies con laminación algal, a partir su análisis sedimentológico en el mencionado afloramiento de Muel, desde la escala de campo (a nivel de capa y subcapa) hasta la escala de lámina delgada. Además, se ha explorado por primera vez en el caso de estas facies perimareales, la utilidad del uso de un programa de ordenador de medida de espesores de láminas, como potencial herramienta para la interpretación de los factores genéticos.

3. OBJETIVOS

El análisis sedimentológico de detalle de las facies perimareales de la Fm. Cuevas Labradas en el afloramiento próximo a Muel, pretende alcanzar los siguientes objetivos concretos:

- 1) Establecer la sucesión vertical de las diferentes facies, caracterizando cada una de ellas a partir de su análisis en el campo y laboratorio, y con ello proponer un modelo de sedimentación donde se precisen su adscripción a los subambientes concretos dentro del dominio perimareal, y, específicamente para las facies con laminación algal, proponer una posible secuencia vertical de estructuras indicativas del grado de exposición subaérea en cada subambiente;
- 2) Definir como es el apilamiento de las facies en secuencias de diferente escala, con objeto de entender su relación lateral durante el depósito, así como los factores internos y externos en la sedimentación en el conjunto de la unidad estudiada, por comparación con trabajos previos en la misma unidad;

3) Explorar la utilidad del uso del programa de ordenador de medida de espesores de láminas WinGeo, como herramienta para la interpretación de los factores genéticos en las facies con laminación algal;

4) Con los datos obtenidos, realizar la interpretación de los factores internos y externos, que pudieron controlar la génesis y extensión de las facies con laminación algal.

4. METODOLOGÍA

4.1. Labores previas de gabinete y campo

Abarcaron: 1) la recopilación y consulta de bibliografía relacionada con el tema y la zona de estudio, como material de referencia para el trabajo; y 2) el reconocimiento en campo del afloramiento estudiado (1 sesión de 4 horas), para establecer las pautas de los trabajos posteriores.

4.2. Trabajo de campo

Consistió en: 1) el levantamiento de la columna estratigráfica (aproximadamente 20 metros), capa a capa, para lo cual se procedió a la numeración de todas las capas, y a la caracterización en cada una de ellas de los rasgos de la estratificación, litología, textura, componentes y estructuras sedimentarias; 2) la realización de fotografías generales de la serie y, en particular, de todas las capas con laminitas algales; 3) y la toma de un total de 54 muestras (media de 3,5 muestras/m) para su posterior estudio en el laboratorio, que fueron sigladas siguiendo la numeración de la capa correspondiente.

Para el desarrollo del trabajo de campo, se requirieron cuatro sesiones de 8 horas cada una, y se hizo uso del material habitual para el levantamiento de la columna estratigráfica, como martillo de geólogo, brújula, lupa de mano, metro, rotulador permanente y bolsas para siglar y transportar las muestras, cámara de fotos, cuaderno y lápices para anotar todas las observaciones y datos.

4.3. Trabajo de laboratorio

Consistió en la realización de las labores de laboratorio sobre las muestras e imágenes fotográficas recogidas en campo, para completar los datos de campo, y comprendió: 1) la elaboración de secciones pulidas de las 54 muestras; el cortado, pulido y encerado de las mismas se realizó en régimen de autoservicio; 2) la realización de láminas delgadas de las facies más representativas (muestras nº 9, 13, 28, 36, 46, 51, 54, 60 y 64), llevada a cabo por el personal del Servicio de Preparación de Rocas y Materiales Duros de la Universidad

de Zaragoza; 3) el estudio petrográfico de las secciones pulidas mediante lupa binocular, y de las láminas delgadas en microscopio de luz transmitida, para la caracterización de las facies, siguiendo las clasificaciones texturales de Dunham (1971) y Embry y Klovan (1971); y 4) la toma de imágenes digitales de las facies representativas en sección pulida y lámina delgada, mediante el uso del escáner y cámara fotográfica adaptado a la lupa y al microscopio.

4.4. Análisis mediante el programa de ordenador WinGeo

El programa de ordenador WinGeo se utilizó para calcular el número y espesor de las láminas en las facies de laminitas algales con objeto de analizar la posible relación de estos parámetros con factores internos (procesos sedimentarios y subambiente de sedimentación) y factores externos. El programa requiere realizar el contaje y la medida de espesores a partir de imágenes de gran calidad de las laminitas, dado el espesor milimétrico de las mismas. En la serie estudiada, si bien los intervalos laminados son abundantes, únicamente pudieron obtenerse imágenes de suficiente calidad en dos intervalos (de 40 y 80 cm de espesor total, respectivamente). En el programa, el contaje se realiza de forma perpendicular a la estratificación. Una vez obtenido dichos datos, se introducen en una hoja de Excel para la posterior elaboración de histogramas, que permiten ver forma gráfica las variaciones de espesor de las láminas.

4.5. Elaboración de datos y síntesis

Los datos recogidos en campo y los obtenidos en el laboratorio permitieron caracterizar diferentes tipos de facies perimareales, así como su organización en secuencias o ciclos de distinto rango de espesor (denominadas aquí microsecuencias y macrosecuencias). Mediante la consulta de la bibliografía disponible, se procedió a la interpretación de estos datos y de los obtenidos con el programa WinGeo, siguiendo los objetivos planteados, que se sintetizan en la presente memoria. En esta fase de elaboración y síntesis se utilizaron los programas Adobe Illustrator CS 5.1 y Adobe Photoshop CS 5 para elaborar los gráficos e imágenes, y el procesador de texto Microsoft Office Word 2007 para realizar la redacción.

5. CONTEXTO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO

5.1. Situación geográfica y geológica de la serie estudiada

Para la realización del presente trabajo se estudio una serie estratigráfica de 20 m de potencia de la parte superior de la Fm. Cuevas Labradas, ubicada en una cantera

abandonada localizada entre los municipios de Muel y Longares (Comarca Campo de Cariñena; provincia de Zaragoza). Para llegar al afloramiento estudiado desde la localidad de Muel (Fig. 1A), se ha de seguir 6 km la carretera N-330 en dirección Teruel (Fig. 1B), hasta llegar a una salida de camino de tierra que cruza por debajo las vías del tren, y que se ha de seguir en dirección sureste hasta acceder a la cantera donde aflora la Fm. Cuevas Labradas (Fig. 1C). Las coordenadas geográficas de dicha cantera son $41^{\circ} 25' 38.02''$ N (latitud) y $1^{\circ} 8' 19.93''$ W (longitud).

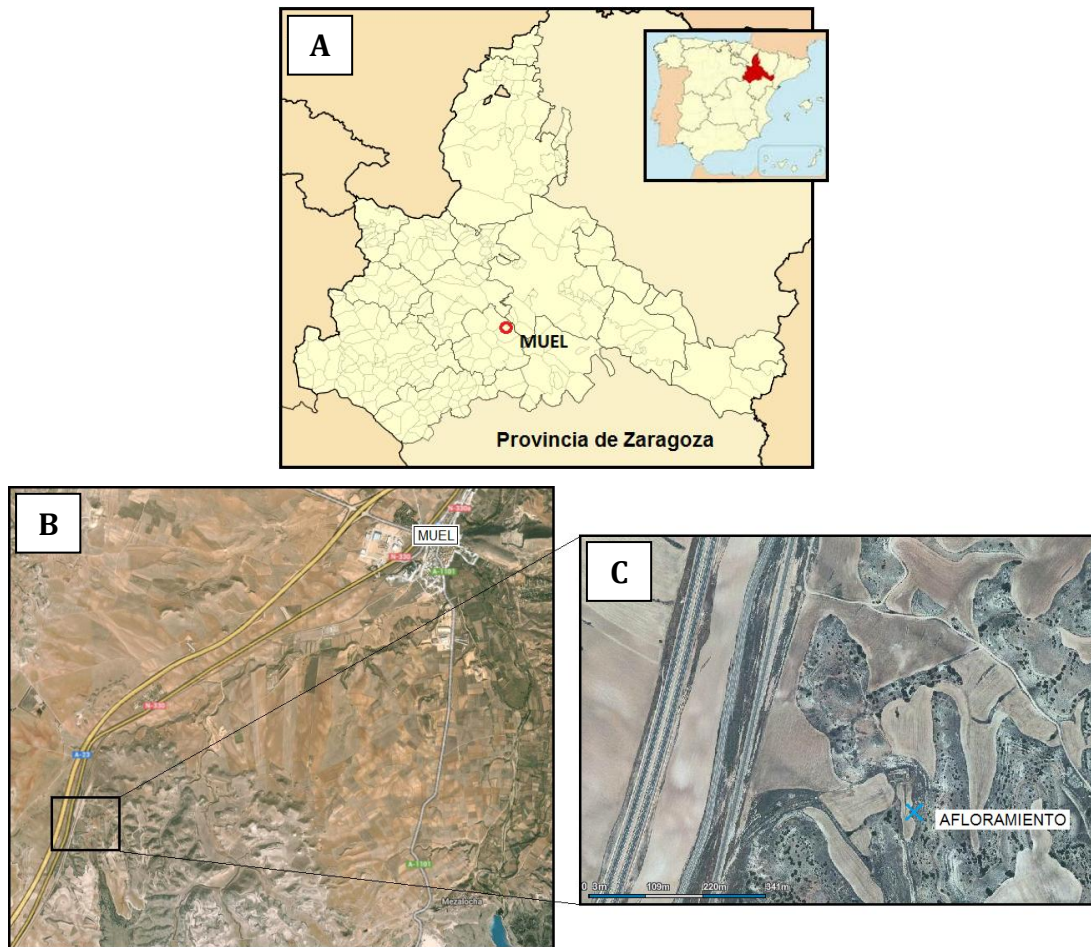


Figura 1. (A y B) Localización geográfica de la serie estratigráfica de la Fm. Cuevas Labradas estudiada al suroeste de Muel (provincia de Zaragoza), (C) en una cantera abandonada a unos 6 km de este municipio (indicada con una cruz azul). Las imágenes aéreas han sido tomadas de <https://maps.google.es>.

Respecto a la situación geológica, el afloramiento de la Fm. Cuevas Labradas estudiado forma parte de un paleorelieve jurásico dentro de los materiales terciarios y cuaternarios de la Cuenca del Ebro. Dicho paleorelieve está formado exclusivamente por unidades del Jurásico Inferior, en concreto, por las calizas tableadas de la Fm. Cuevas Labradas y por las dolomías brechoides de la unidad infrayacente (Fm. Cortes de Tajuña; Hernández *et al.*, 2005; Fig. 2), que presentan una dirección y buzamiento de $050, 50^{\circ}$ W. La figura 3 muestra

una imagen de campo de la serie estudiada en la Fm. Cuevas Labradas en la cantera abandonada, donde las condiciones de afloramiento permiten estudiar capa a capa los 20 m superiores de esta unidad, de los 130 m totales que tiene en este sector. Si bien el mapa geológico no indica la presencia de otras unidades jurásicas (Hernández *et al.*, 2005), en el presente estudio se ha podido constatar la existencia de afloramientos discontinuos de la unidad suprayacente a la Fm. Cuevas Labradas (calizas nodulosas de la Fm. Río Palomar), como ocurre en el caso del afloramiento estudiado (Fig. 3).

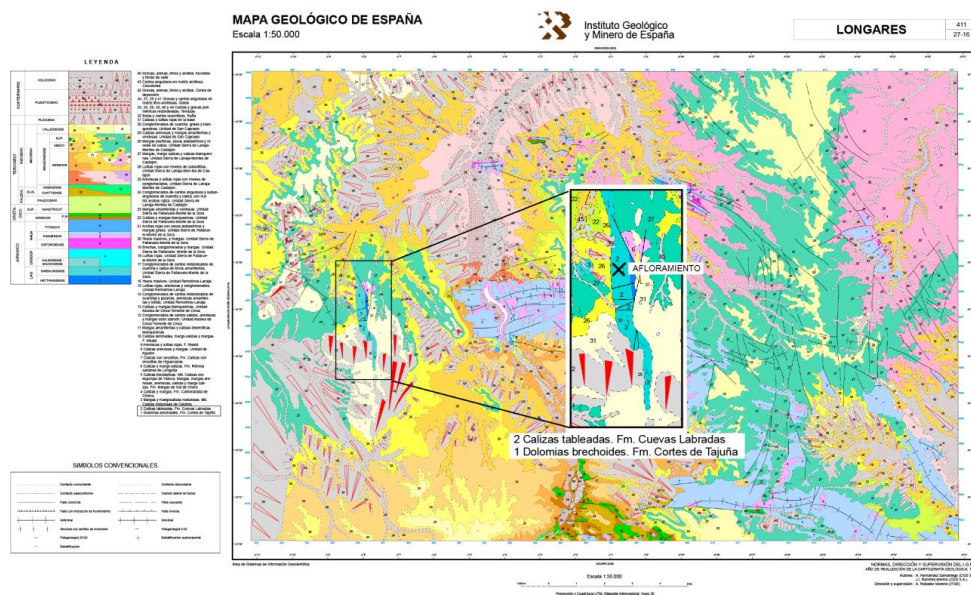


Figura 2. Localización geológica del afloramiento de la Fm. Cuevas Labradas estudiado (ver cruz negra), en el mapa geológico a escala 1: 50.000 de la serie Magna, nº 411-Longares (Hernández *et al.*, 2005).





Figura 3. Imágenes del afloramiento estudiado de la Fm. Cuevas Labradas (espesor total de 20 m). Todas las capas fueron numeradas, si bien en la imagen solo se indican algunas de ellas.

5.2. Contexto estratigráfico y paleogeográfico

La Fm. Cuevas Labradas, de edad Sinemuriense, constituye una unidad de calizas tableadas que representan sedimentos perimareales depositados en la plataforma marina carbonatada de baja pendiente (rampa) que se desarrolló en la Cuenca Ibérica a lo largo del Jurásico Inferior (Aurell *et al.*, 2002; Fig. 4). En el transcurso del Jurásico Inferior tuvo lugar la inundación progresiva y profundización de dicha plataforma, desde ambientes de *sabkha* a hemipelágicos. Durante la etapa temprana de esta transgresión se produjo una transición gradual entre los carbonatos masivos y brechas relacionadas con evaporitas de la Fm. Cortes de Tajuña de *sabkha* costera, a los carbonatos perimareales de la Fm. Cuevas Labradas. El límite superior de esta unidad representó un pulso transgresivo, marcado por una superficie ferruginosa que dio paso al depósito de las calizas nodulosas bioclásticas de la Fm. Río Palomar, ya de ambientes más profundos (Fig. 4). Dicho límite, que se registra en la serie estudiada (ver Fig. 3), ha sido datado en el afloramiento de Almonacid de la Cuba, a

unos 40 km al sureste del afloramiento estudiado, como situado en la parte terminal del Sinemuriense (Bádenas *et al.*, 2010).

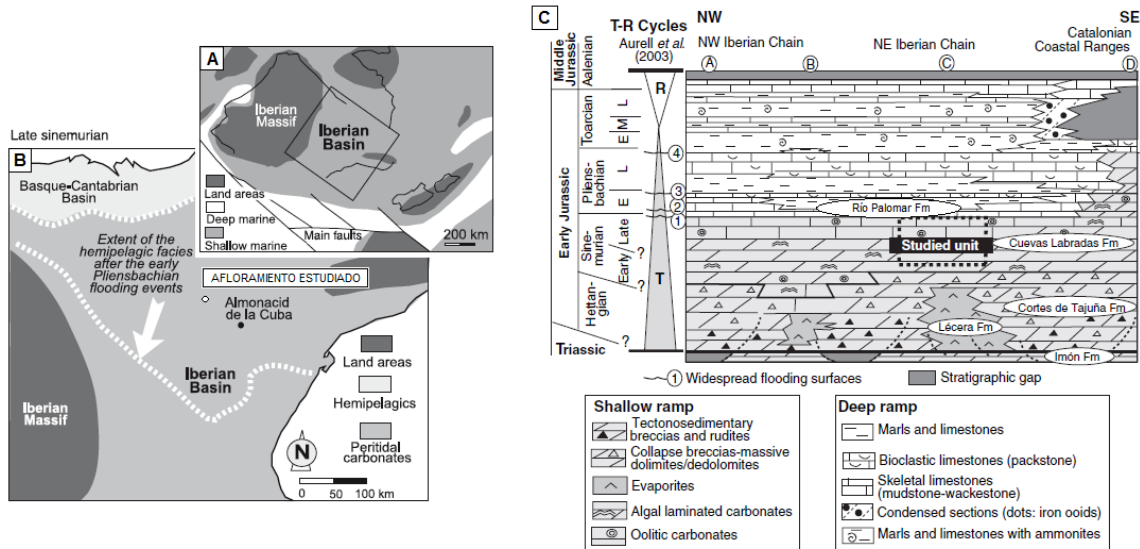


Figura 4. (A y B) Situación paleogeográfica del afloramiento estudiado de la Fm. Cuevas Labradas, en la plataforma marina de la Cuenca Ibérica durante el Sinemuriense superior. (C) Distribución cronoestratigráfica de dicha unidad desde el noroeste de la Cordillera Ibérica hasta las Catalánides (tomado de Bádenas *et al.*, 2010). El recuadro "studied unit" señala la situación del afloramiento de Almonacid de la Cuba estudiado por Bádenas *et al.* (2010) y en el presente trabajo.

5.3. Contexto sedimentológico: facies de calizas con laminación algal en plataformas carbonatadas

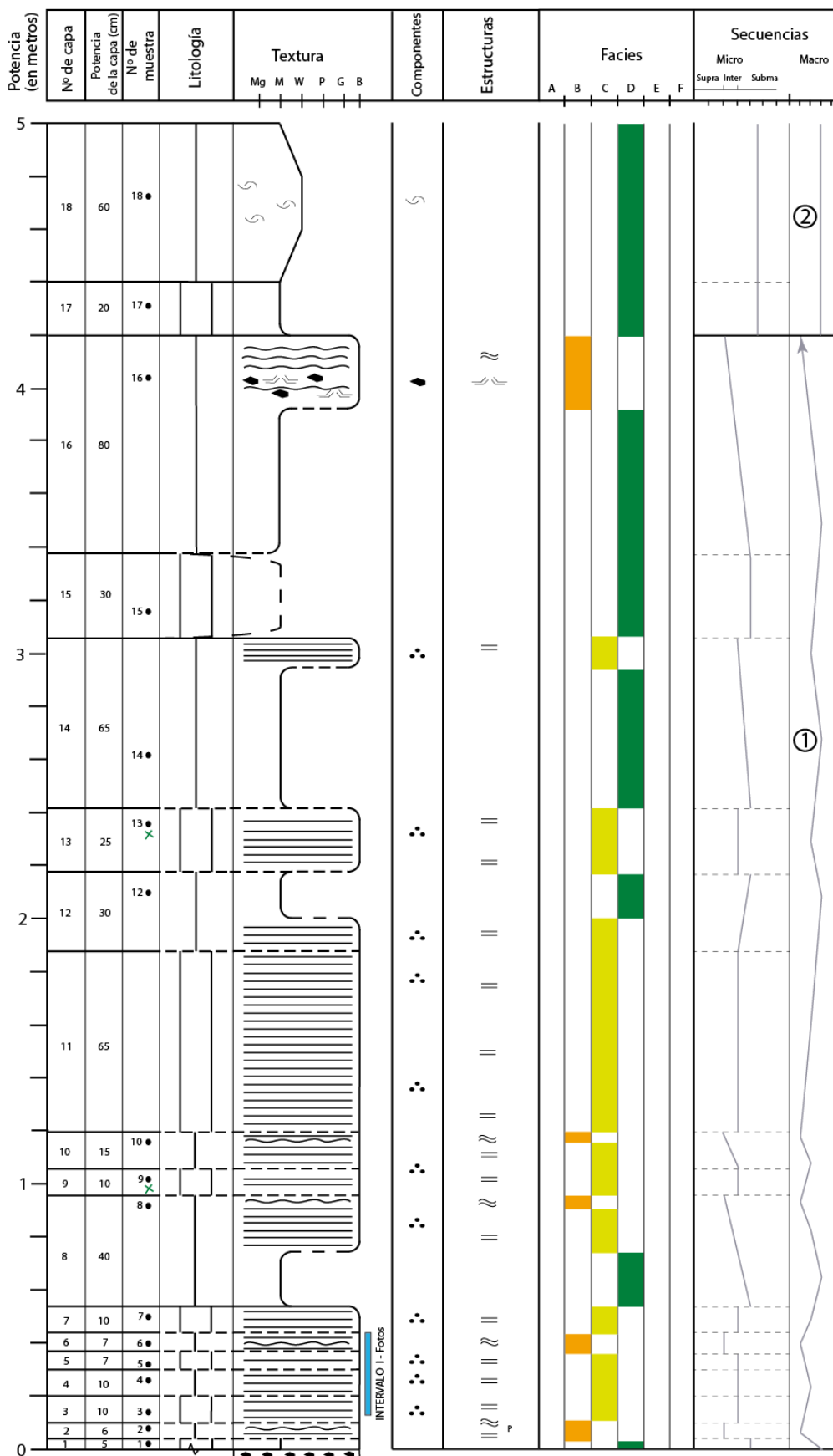
Según Hernández *et al.* (2005), el sector estudiado de la Fm. Cuevas Labradas está formado por 130 m de calizas micríticas (*mudstone*) de tonos grises y beige, dispuestas en estratos tabulares, cuyo espesor oscila entre 3 y 65 cm, con bancos intercalados de calizas arenosas (*packstone* y *grainstone*) y oolíticas (*grainstone* oolítico). Las estructuras sedimentarias más abundantes son las laminaciones debidas a la acción de algas, y más ocasionalmente *ripples* de oscilación y de corriente, y estructuras de mayor energía como estratificaciones cruzadas en surco y planar. Según estos autores, las facies descritas se disponen en secuencias, cuya potencia oscila entre 10 y 20 m estratocrecientes y granocrecientes, en las que el término basal está constituido por calizas (*mudstone*), con laminaciones y *ripples*, y a techo por calizas arenosas y oolíticas (*packstone*, *grainstone* y *grainstones* oolíticos), con restos de braquiópodos y equinodermos en algunos niveles, terminando algunas secuencias en costras ferruginosas. El ambiente de sedimentación corresponde al de una plataforma somera de carbonatos, en la que se distinguen subambientes supra-, inter- y submareales.

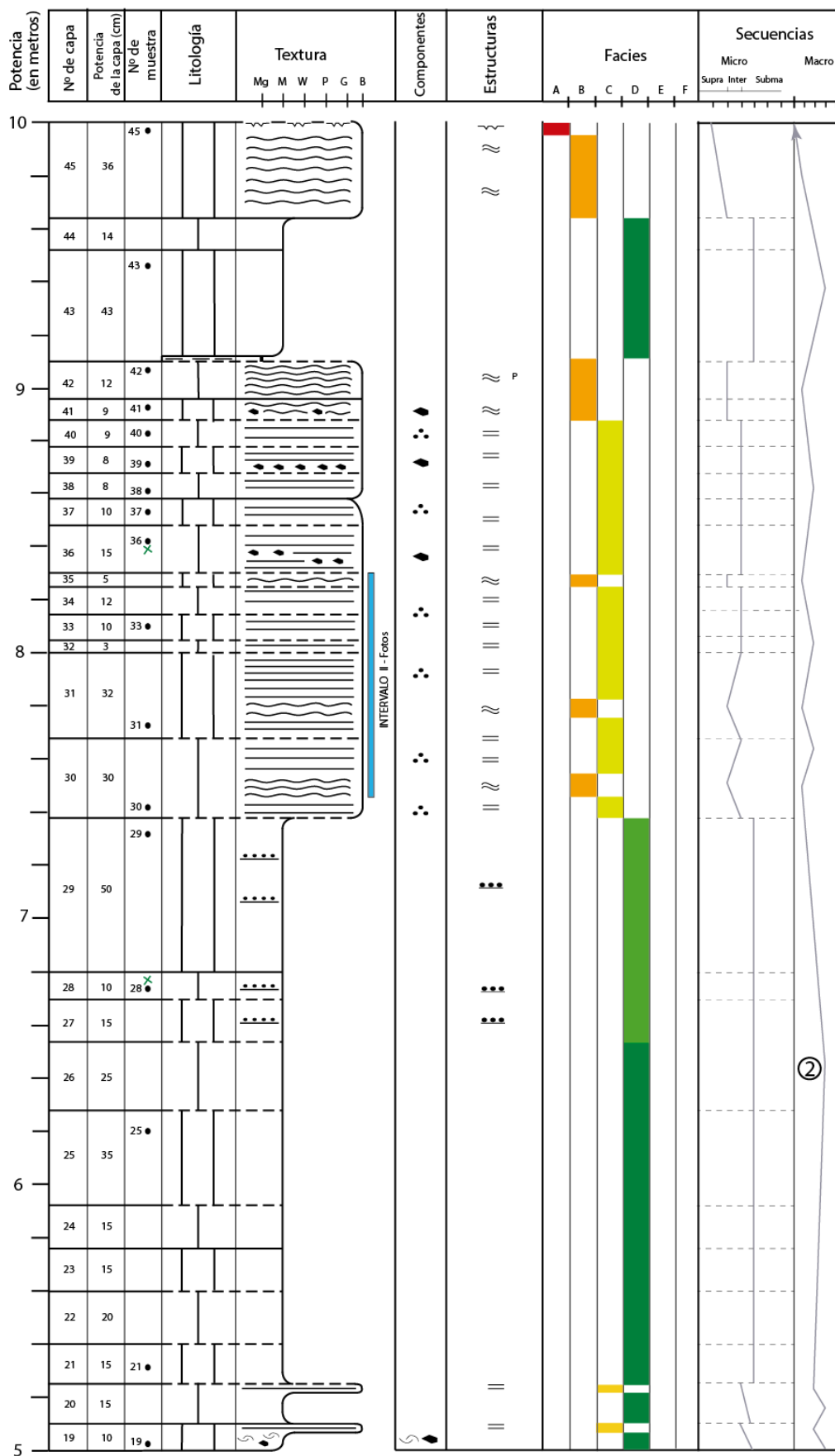
En el dominio de la Cuenca Ibérica son escasos los trabajos sedimentológicos de detalle en la Fm. Cuevas Labradas, en los que se caractericen capa a capa el tipo de facies, sus subambientes de sedimentación relacionados y su apilamiento en secuencias. En este sentido, destaca el trabajo de Bádenas *et al.* (2010) en los afloramientos de la parte superior de la unidad situada en Almonacid de la Cuba, a partir del cual se precisa la distribución y continuidad de las facies de laminitas algales en los subambientes supra- e intermareales, y de diferentes tipos de facies fangosas y granosostenidas, tanto de subambientes submareales protegidos como abiertos. Además, dichos autores identifican diversos tipos de secuencias (somerizantes, simétricas, profundizantes), siendo algunas de ellas discontinuas en relación con la actividad de fallas lítricas. Los datos e interpretaciones realizados por Bádenas *et al.* (2010) han servido de punto de partida de referencia para el análisis sedimentológico realizado en el presente trabajo, y en particular, los datos referibles a las facies de laminitas algales supra- e intermareales.

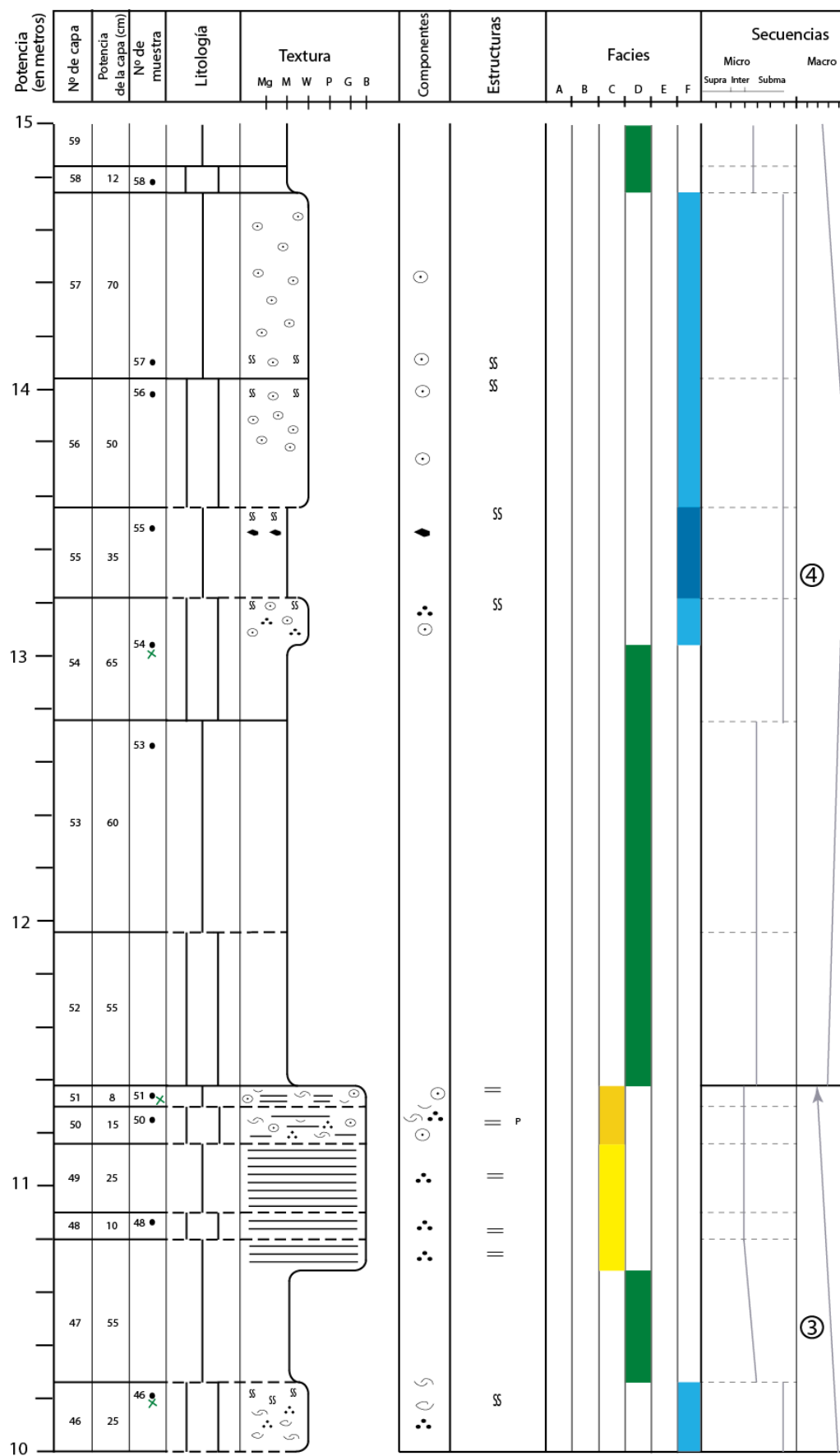
6. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE LOS PRINCIPALES RESULTADOS OBTENIDOS

6.1. Presentación de la serie estratigráfica estudiada

Para enmarcar los datos sedimentológicos y secuenciales que se explican en posteriores subapartados, se realiza aquí la representación gráfica de la serie estratigráfica estudiada y su leyenda adjunta (Figs. 6 y 5; ver también Fig. 3). El perfil sintetiza la información obtenida del estudio de campo y del análisis de muestras en el laboratorio. La serie, de 20 m de potencia, se ha representado a una escala detallada para poder ilustrar la sucesión de las diferentes facies a escala de capa y subcapa. Se indica en concreto: el número de capas, su espesor y sus límites (70 capas en total, con espesores que oscilan de pocos cm a varios dm y de límites planos netos o difusos); el número de muestras (54 secciones pulidas y 9 láminas delgadas, siguiendo la numeración de las capas); y la litología (en su mayoría calizas), textura (muy variada, de *mudstones* a *bindstones*), componentes y estructuras sedimentarias. Se indica también la situación de los dos intervalos en los que se realizó el conteo de las laminitas algales con el programa WinGeo. Por último, se han incluido dos columnas adicionales donde se indica con colores a que facies corresponde cada capa o subcapa y las micro- y macrosecuencias identificadas.







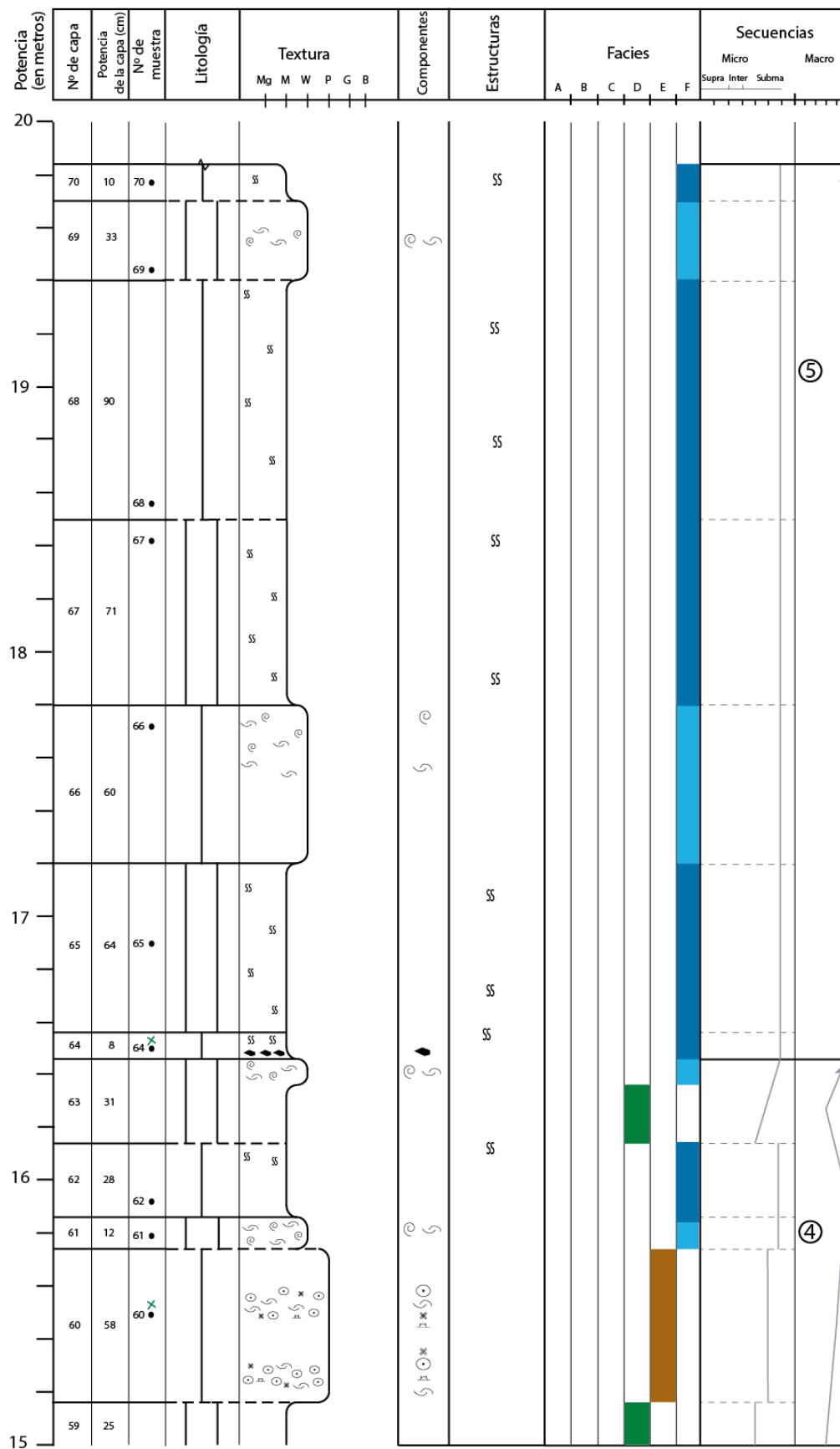


Figura 5. Columna estratigráfica realizada en la parte superior de la Fm. Cuevas Labradas (ver leyenda de símbolos en Fig. 6)

ESTRATIFICACIÓN	COMPONENTES
— plano de estratificación neto	— bioclastos indiferenciados
- - - plano de estratificación difuso	••• peloides
X lámina delgada	••• intraclastos
	⊙ ooides
ESTRUCTURAS	
= laminación algal paralela	bioclastos o fósiles completos de:
≈ laminación algal ondulada	@ gasterópodos
≡ tepees	≡ equinodermos
F porosidad fenestral	◡ bivalvos
◡◡ grietas de desecación (mud cracks)	⊗ algas
•• laminación tractiva	◡ ostrácodos
§§ bioturbación	⊗ foraminíferos

Figura 6. Leyenda de símbolos de la columna estratigráficas (ver Fig. 5).

6.2. Descripción e interpretación de facies

Los materiales estudiados presentan diferentes tipos de facies que representan en conjunto un ambiente de depósito costero de llanura mareal. Todas las llanuras mareales, excepto las que se encuentran en áreas dominadas por mareas producidas por el viento, están compuestas de tres subambientes: supramareal, intermareal y submareal (Shinn, 2006).

En concreto se ha reconocido un total de 6 facies (denominadas facies A a F), algunas de ellas divididas en subfacies. Las características de las mismas así como su asociación vertical, han permitido establecer un modelo de sedimentación (Fig. 7), que incluye subambientes suprameareal (facies A y B), intermareal (facies C), submareal protegido (facies D) y submareal abierto de alta energía (facies E) y de baja energía (facies F). A continuación se procede a describir brevemente cada facies y a justificar su interpretación. Al final de este subapartado se adjunta una tabla donde se sintetiza las características de cada facies, así como sendas figuras (Figs. 9 y 10) donde se recogen imágenes de las mismas en sección pulida y lámina delgada.

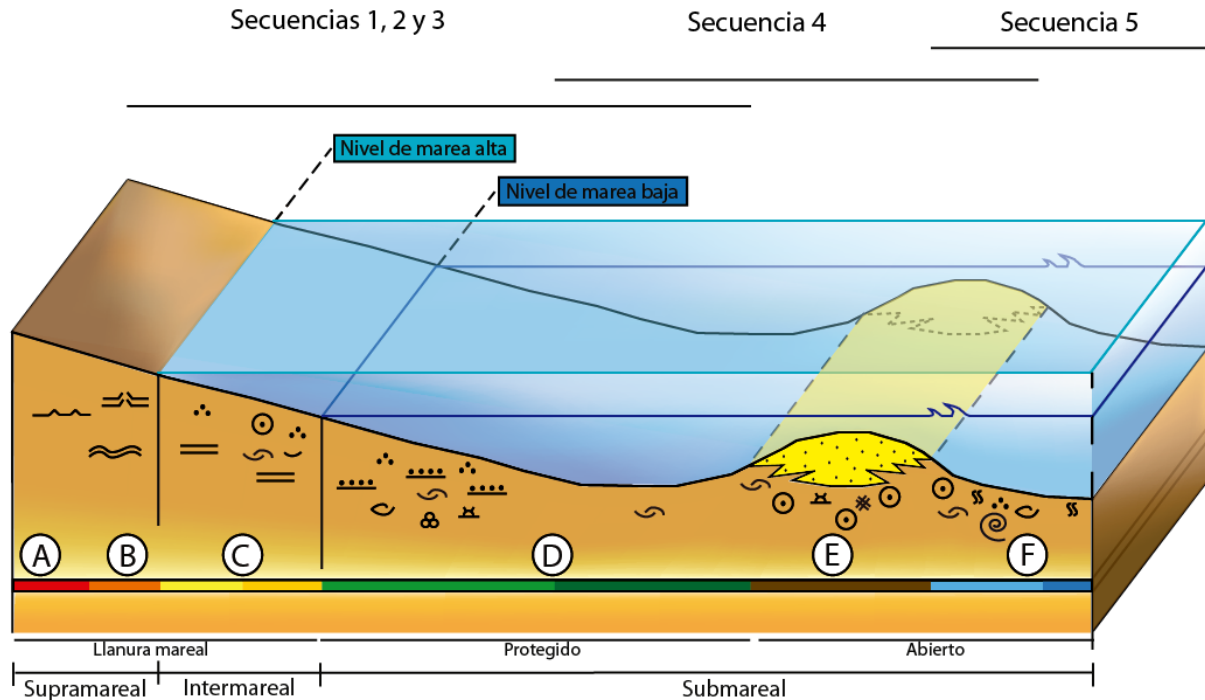


Figura 7. Modelo de sedimentación propuesto para la Fm. Cuevas Labradas, donde se indica la situación de las 6 facies diferenciadas (facies A a F) en los subambientes supra-, inter-, y submareal. Se indica también el rango de facies que presentan las macrosecuencias identificadas.

6.2.1. Subambiente supramareal: Facies A y B

Descripción. Se trata de la zona de llanura mareal situada por encima del nivel de marea alta, donde los sedimentos quedan expuestos a condiciones subaéreas la mayor parte del tiempo, ya que sólo se inundan durante mareas vivas o tormentas. Estas últimas solo ocurren dos veces al mes aproximadamente, mientras que las tormentas se producen esporádicamente. En el caso estudiado, a este subambiente pertenecerían las facies A y B.

La facies A se reconoce únicamente a techo de la capa número 45, suprayacente a la facies B, y presenta 8 cm de espesor (ver Fig. 5). Es una caliza de textura *bindstone* con laminación paralela debida a algas, que presenta en la parte superior grietas de desecación-rompiendo la laminación algal, con polígonos de varios cm o incluso dm de diámetro (Fig. 8).



Figura 8. Grietas de desecación características de la facies A (techo de la capa número 45).

La facies B se encuentra en diversas capas y subcapas de potencia centimétrica a decimétrica, relacionada verticalmente incluso en una misma capa con la facies C y D (a las que normalmente es suprayacente), y con la facies A (a la que es subyacente) (ver Fig. 5). Las calizas de esta facies presentan textura *bindstone* donde se puede observar laminación algal ondulada con láminas de potencia milimétrica, de tono oscuro, correspondiente al crecimiento de las algas, y de color claro micríticas y peloidales de textura *packstone*. Presentan porosidad fenestral, y ocasionalmente *tepees* e intraclastos milimétricos provenientes de las facies D (Fig. 9.1 y 9.2).

Interpretación. En las llanuras de marea carbonatadas actuales (Flügel, 2004; Shinn, 2006) y también en el caso de la Fm. Cuevas Labradas (Bádenas *et al.*, 2010), el subambiente supramareal se caracteriza por facies de laminitas o *bindstones* algales, en las que las algas producen el atrape del sedimento acarreado por las mareas vivas o las tormentas desde el dominio submareal, y que típicamente muestran grietas de desecación, *tepees* y porosidad fenestral. Estas estructuras son indicativas de exposición subaérea del sedimento. Las grietas de desecación son estructuras muy abundantes en superficies desecadas, en las que se crean fisuras en forma de pentágonos. Su génesis está ligada a desecación con la consiguiente contracción del sedimento y la actuación de tensiones horizontales, cuya intensidad se disminuye desde la superficie hacia abajo, dando lugar a una estructura en forma de “V”. La porosidad fenestral son poros milimétricos paralelos a la laminación de aire atrapado en el sedimento, que se preservan al precipitar en ellos cemento. Los *tepees* son antifomas que se generan por deformación de las láminas por expansión causados por la cementación, o durante la desecación o por el relleno de fracturas con sedimento o con cemento. En algunos ejemplos, las ondulaciones presentes en las láminas algales se han interpretado como micro-*tepees* (Bádenas *et al.*, 2010).

En el caso de las facies A y B descritas, la presencia de grietas de desecación en la facies A indicaría periodos de exposición más prolongados (que llegan a producir la compartimentación del sedimento en polígonos), respecto a la facies B con láminas onduladas y *tepees* (que representarían estructuras de menor grado de deformación por desecación del sedimento). Por este motivo, la facies A se interpreta como perteneciente al subambiente supramareal superior, de mayor grado de exposición, y la facies B, al supramareal inferior (Fig. 7). La relación lateral de estas facies en el momento del depósito está avalada por la asociación vertical de la facies A sobre la B (ver capa 45, Fig. 5).

6.2.2. Subambiente intermareal: Facies C

Descripción. Es la zona intermedia de la llanura mareal, entre el nivel de marea alta y baja, donde los sedimentos quedan expuestos una o dos veces diarias dependiendo del régimen mareal y las condiciones locales de viento. En el caso estudiado, a este subambiente pertenecería únicamente la facies C, dividida en dos subfacies (C1 y C2).

La facies C corresponde a calizas con textura *bindstone* en niveles de potencia centimétrica a decimétrica, y está asociada verticalmente a la facies B (en ocasiones interdigitada con ella en una misma capa) y a la facies D, usualmente a techo de esta (ver Fig. 5). A diferencia de la facies B, la laminación algal es en este caso plano-paralela. Las láminas son milimétricas e incluyen láminas oscuras algales y láminas micríticas y peloidales de color claro (textura *packstone*). Estas características son comunes a las subfacies C1 y C2 diferenciadas. En el caso de la subfacies C2 presenta porosidad fenestral, ooides, bivalvos y bioclastos no diferenciados. Ocasionalmente, las subfacies C1 y C2 contienen intraclastos provenientes de las facies D y E, respectivamente (Fig. 9.3 a 9.6).

Interpretación. Al igual que las facies A y B, la facies C se caracteriza por laminaciones algales, pero en este caso, tanto la geometría plana de las láminas como la escasez de estructuras indicativas de exposición (a excepción de la porosidad fenestral en la subfacies C2), indicarían periodos de exposición subaérea de menor entidad, lo que es coherente con su depósito en dominios intermareales (Fig. 7; Bádenas *et al.*, 2010). La relación lateral entre la facies C y la facies B (supramareal inferior) en el momento del depósito, está avalada por su relación en la vertical en la serie estudiada, incluso a nivel del capa (ver Fig. 5). La diferencia entre los componentes en las láminas de sedimento atrapado por las algas en las subfacies C1 y C2, reflejaría diferente aporte desde el dominio submareal.

6.2.3. Subambiente submareal: Facies D, E y F

Descripción. Corresponde al dominio de la llanura situado por debajo del nivel de marea baja, donde los sedimentos quedan permanentemente sumergidos, ya en la zona de enlace entre la costa y la plataforma. La sedimentación está fuertemente influenciada por la acción de las olas y las corrientes de marea, aunque ello depende del grado de conexión con los dominios marinos abiertos. La biodiversidad depende principalmente de la salinidad del agua y de su temperatura. En el caso estudiado, a este dominio pertenecerían las facies D, E y F.










La facies D está formada por calizas en niveles tabulares de potencia centimétrica a decimétrica, de textura *mudstone*. Están relacionadas verticalmente con la facies C (a la que usualmente es infrayacente) y con las facies E y F (ver Fig. 5). Se pueden diferenciar dos subfacies (D1 y D2: Fig. 9.7 y 9.8). En la subfacies D1 se reconoce laminación tractiva en la

que se diferencian láminas milimétricas de textura *packstone* de distintos tipos de bioclastos (ostrácodos, bivalvos, equinodermos y foraminíferos) y peloides (Anexo). En la subfacies D2 podemos encontrar ocasionalmente bioclastos de bivalvos de diámetros milimétricos acumulados en láminas de textura *wackestone*.

La facies E únicamente se ha reconocido en un nivel tabular de potencia decimétrica intercalado entre facies D y F (ver Fig. 5). Se trata de una caliza de textura variable de *packstone* a *grainstone*, debido a la presencia de bioturbación, que contiene ooides y bioclastos (equinodermos, bivalvos y en especial algas dasicladáceas; Fig. 10.1 y 10.2). La facies F está constituida por calizas en estratos tabulares decimétricos, que se relacionan verticalmente con la facies D y E (ver Fig. 5). El rasgo distintivo de esta facies es la textura fangosa y la presencia de bioturbación. Se reconocen dos subfacies (F1 y F2). En la subfacies F1, la textura es *wackestone* bioturbado con peloides, ooides y bioclastos (ostrácodos, gasterópodos y bivalvos). La subfacies F2 está compuesta, al igual que la facies D, de calizas de textura *mudstone*, pero la diferencia fundamental con dicha facies es la presencia de bioturbación. Por otro lado, se pueden encontrar algún intraclasto de diámetro milimétrico constituido de material fangoso (Fig. 10.3 a 10.8).

Interpretación. La textura fangosa de la facies D, la ausencia de evidencias de exposición subaérea (a diferencia de la facies C con la que se relaciona verticalmente), y la escasez de bioclastos, permite interpretar esta facies como depositada en un subambiente submareal adosado a la zona intermareal, de baja energía y con cierto grado de protección o restricción (Fig. 7). Bien la existencia de una barrera física situada más mar adentro (que protege la zona de las corrientes y el oleaje), o bien las fluctuaciones de salinidad y temperatura (por evaporación y/o por aporte de aguas dulces), determinarían la presencia de estos dominios protegidos o restringidos caracterizados por el depósito de fangos con baja diversidad de fauna (Bádenas *et al.*, 2010). Ocasionales eventos de alta energía originarían la laminación tractiva con acumulaciones de bioclastos, bien retrabajados dentro de la propia zona submareal protegida, bien transportados desde dominios adosados más abiertos. La textura granosostenida (*packstone*) o no granosostenida (*wackestone*) de dichas láminas se produciría por concentración selectiva dependiendo de la energía del medio. La facies E granosostenida de ooides y bioclastos, intercalada localmente entre las facies D y F, podría representar la barrera de alta energía que protegiera el dominio submareal más interno. La presencia de ooides indica agitación de las aguas, y la existencia de algas dasicladáceas y bioturbación, reflejaría el desarrollo de esta barrera, ya en dominios con condiciones de salinidad normales. Por último, la facies F fangosa y bioturbada con bioclastos, peloides y ooides representaría el depósito de fangos en una zona submareal relativamente más abierta, con ooides resedimentados desde la barrera situada tierra adentro (facies E).

TABLA DE FACIES

Facies	Subfacies	Textura	Estratificación	Componentes y estructuras sedimentarias
 A		Bindstone	Estratos tabulares de base plana y techo irregular, de 8 cm de potencia	<ul style="list-style-type: none"> ○ Laminación algal rota por grietas de desecación. Polígonos de 5 a 15 cm de diámetro y 4 cm de altura aproximadamente
	 B	Bindstone	Estratos tabulares de base y techo plano, de 10 a 25 cm de potencia	<ul style="list-style-type: none"> ○ Laminación algal de geometría ondulada ○ Porosidad fenestral ○ Ocasionalmente tepees e intraclastos (mm) de la facies D
 C	C1	Bindstone	Estratos tabulares de base y techo plano, de 5 a 55 cm de potencia	<ul style="list-style-type: none"> ○ Laminación algal plano-paralela: láminas micríticas oscuras (algales), y láminas micríticas y peloidales (packstone) de tonos claros ○ Ocasionalmente intraclastos (mm) de la facies D
	 C2	Bindstone	Estratos tabulares de base y techo plano, de 8 a 15 cm de potencia	<ul style="list-style-type: none"> ○ Laminación algal plano-paralela: láminas micríticas oscuras (algales) y láminas micríticas con peloides, ooides, bivalvos y otros bioclastos no diferenciados (packstone) de tono claro ○ Porosidad fenestral ○ Ocasionalmente intraclastos (mm) de la facies E
 D	D1	Mudstone	Estratos tabulares de base y techo plano, de 10 a 15 cm de potencia	<ul style="list-style-type: none"> ○ Laminación tractiva con láminas (packstone) de bioclastos (ostrácodos, bivalvos, equinodermos y foraminíferos) y peloides
	 D2	Mudstone	Estratos tabulares de base y techo plano, de 5 a 60 cm de potencia	<ul style="list-style-type: none"> ○ Muy ocasionalmente bioclastos de bivalvos (diámetro mm) acumulados en láminas (wackestone)
 E		Packstone - Grainstone	Estratos tabulares de base y techo plano, de 65 cm de potencia	<ul style="list-style-type: none"> ○ Ooides, equinodermos, bivalvos y algas dasicladáceas ○ Bioturbación
 F	F1	Wackestone	Estratos tabulares de base y techo plano, de 25 cm de potencia	<ul style="list-style-type: none"> ○ Ooides, peloides y bioclastos (ostrácodos y bivalvos) ○ Bioturbación
	F2	Mudstone	Estratos tabulares de base y techo plano, de 15 a 70 cm de potencia	<ul style="list-style-type: none"> ○ Bioturbación ○ Intraclastos (mm) de material fangoso

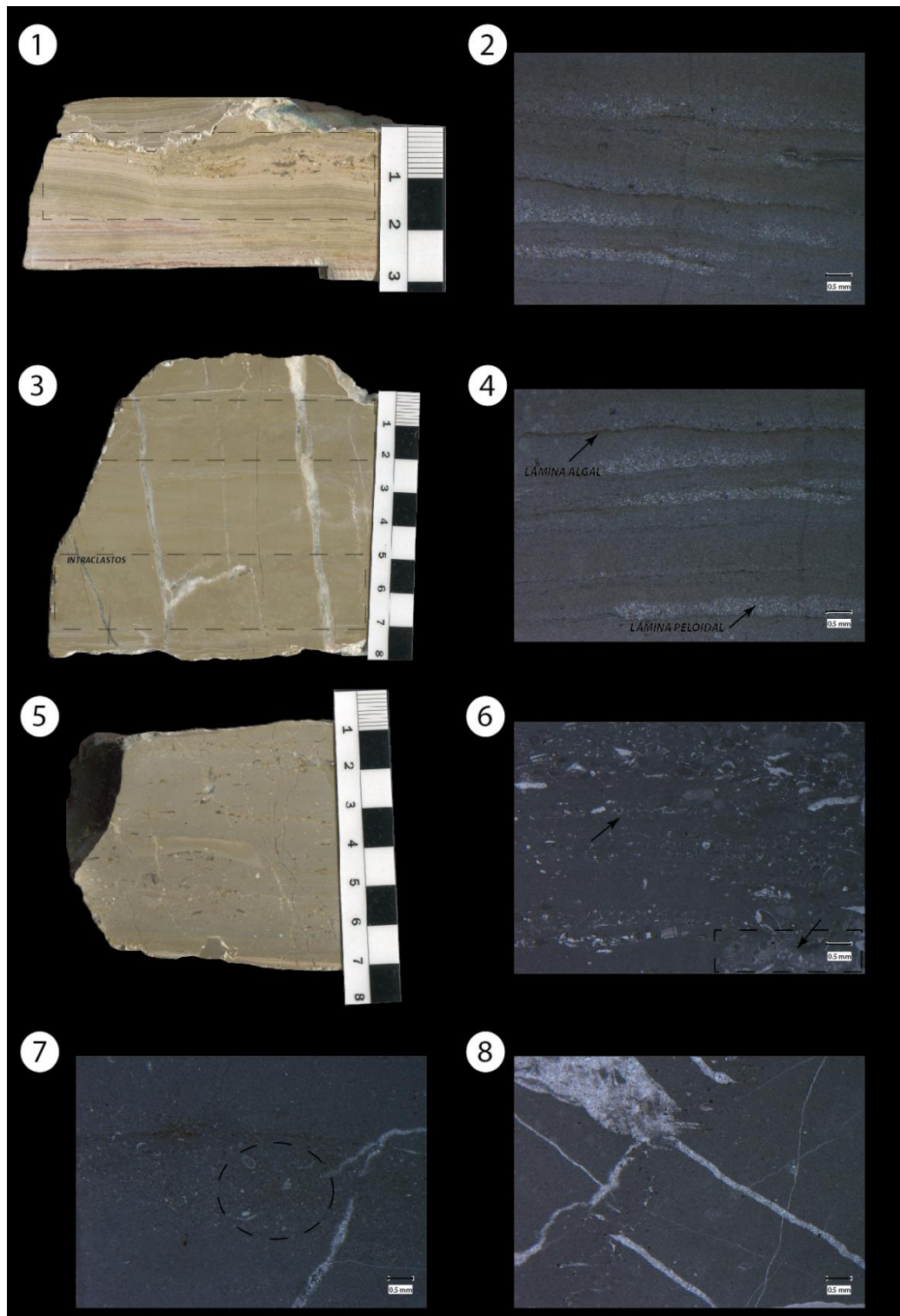


Figura 9. Imágenes de las facies identificadas en sección pulida y lámina delgada. (1, 2) Facies B de *bindstone* algal con laminación ondulada y porosidad fenestral (ver recuadro en 1); (3, 4) Facies C de *bindstone* algal con laminación plano-paralela (subfacies C1); Obsérvese los intraclastos (ver recuadro en 3) y las láminas algales y peloidales (ver flechas en 4); (5, 6) Facies C de *bindstone* algal con laminación plano-paralela (subfacies C2). Obsérvese la porosidad fenestral y la acumulaciones de ooides, bioclastos e intraclastos (ver flechas en 6); (7) Facies D de *mudstone* con acumulaciones de bioclastos (subfacies D1) (ver círculo); (8) Facies D de *mudstone* puro (subfacies D2).

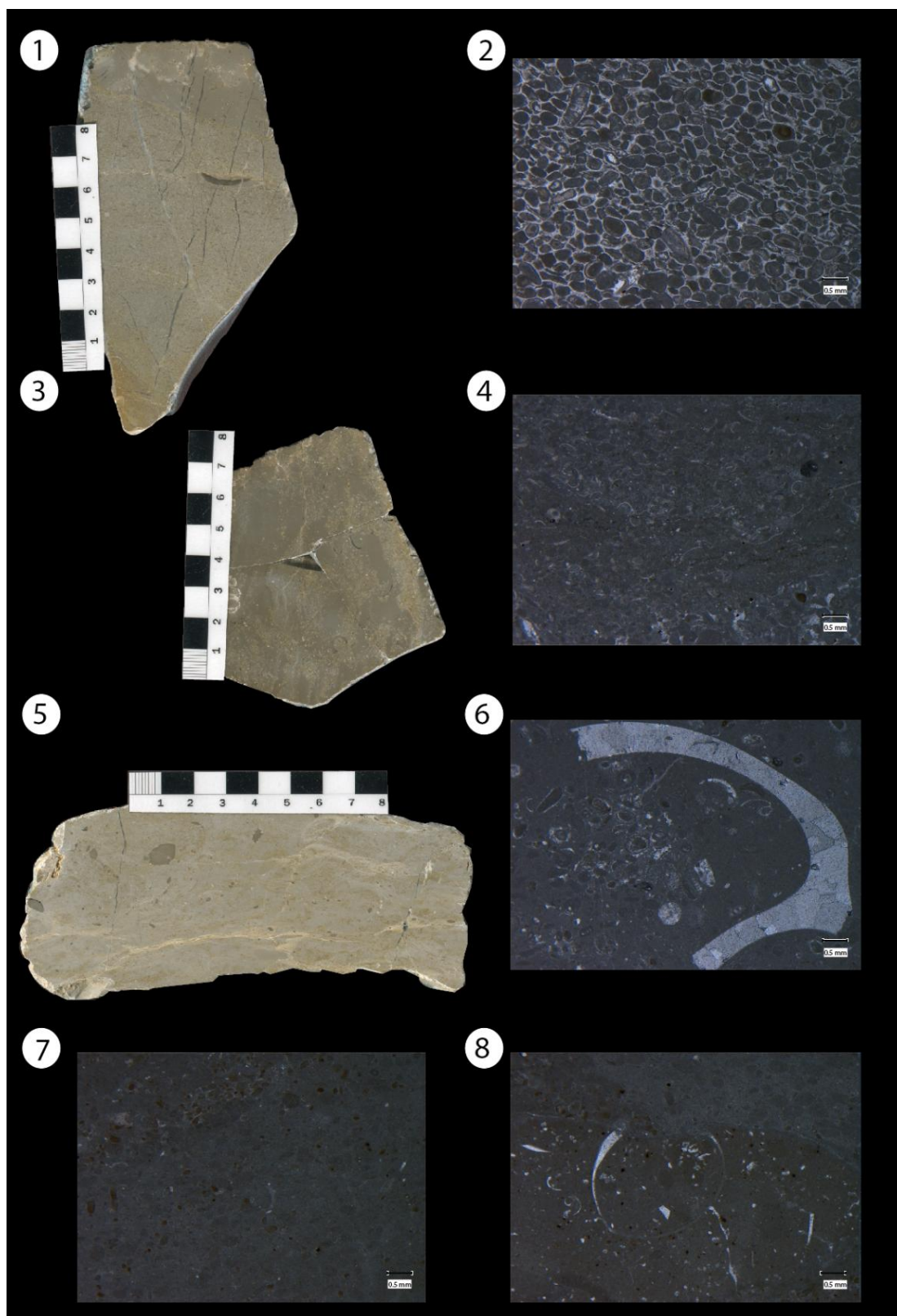


Figura 10. Imágenes de las facies identificadas en sección pulida y lámina delgada. (1, 2) Facies E de *packstone-grainstone* de ooides y bioclastos; (3, 4 y 6) Facies F (subfacies F1) de *wackestone* de ooides, bioclastos y peloides; (5 y 7, 8) Facies F (subfacies F2) de *mudstone* bioturbado con intraclastos y bioclastos dispersos.

6.3. Descripción e interpretación de secuencias

Una vez abordado el análisis de facies se procedió a la identificación de secuencias de distinta escala, que se han denominado informalmente microsecuencias y macrosecuencias. Para su definición se han seguido la metodología establecida en trabajos previos en facies perimareales de similar edad (Bádenas *et al.*, 2010; Sevillano *et al.*, 2013), en concreto, en el análisis de la evolución vertical de las facies y de superficies de discontinuidad representadas por los límites de capas, que marcan detenciones en la sedimentación, asociadas a cambios más o menos bruscos en la sedimentación. Las secuencias definidas pueden ser agradantes (implicando a facies del mismo subambiente), somerizantes, profundizantes o de evolución compleja.

6.3.1. Macrosecuencias

Descripción. Siguiendo las ideas de autores previos (Bádenas *et al.*, 2010; Sevillano *et al.*, 2013, entre otros), las superficies de estratificación netas asociadas a cambios también netos de facies en la vertical, representarían límites de secuencia de menor orden (es decir, de mayor duración temporal) en la serie estudiada, que hemos denominado macrosecuencias. En concreto, se han reconocido de base a techo 5 macrosecuencias (ver Fig. 5): 1) macrosecuencia 1 (4,20 m) de tendencia general profundizante desde facies intermareales a submareales protegidas, pero con una somerización brusca en su parte terminal; 2) macrosecuencia 2 (5,8 m) de tendencia claramente somerizante y desde facies submareales protegidas a intermareales y supramareales, terminando en grietas de desecación; 3) macrosecuencia 3, de menor potencia (1,4 m) que las demás, que constituye un claro ejemplo de secuencia somerizante desde subambientes submareales abiertos a intermareales; 4) macrosecuencia 4 (5,1 m) en facies submareales protegidas y abiertas (incluido el registro de las facies de alta energía E), de evolución compleja con varias fases profundizantes-somerizantes; y 5) macrosecuencia 5 (3,4 m) claramente agradante en facies submareales abiertas, con un nivel prominente de intraclastos en su base.

En conjunto la evolución general del intervalo estudiado representaría una profundización general desde las macrosecuencias 1, 2 y 3, que implican a facies supra- a submareales protegidas, a las macrosecuencias 4 y 5, con facies submareales, exclusivamente abiertas en el caso de la secuencia 5 (ver Fig. 5 y distribución de secuencias en Fig. 7).

Interpretación. Las macrosecuencias definidas presentan potencias variables, similares a las secuencias descritas por Bádenas *et al.* (2010) en los sectores próximos de Almonacid de la Cuba, que interpretan como originadas por ciclos eustáticos asociados a ciclos climáticos de excentricidad, modulados por la subsidencia local. Al igual que en Almonacid, la compleja evolución de facies dentro de cada macrosecuencia, se explicaría por la

actuación combinada de dichos factores externos y de procesos internos (por ejemplo, migración de los cinturones de facies asociados a la dinámica de las corrientes o tormentas). Por otro lado, la evolución general profundizante concuerda con la registrada tanto en Almonacid, como a nivel de la Cuenca Ibérica (Aurell *et al.*, 2002).

6.3.2. Microsecuencias

Descripción. La sucesión estudiada está conformada por capas de calizas limitadas por superficies de estratificación (netas o difusas a escala de afloramiento), que representarían detenciones en la sedimentación de distinta entidad, de modo que cada capa individual podría constituir una microsecuencia (ver Fig. 5). En concreto, se han reconocido: 1) microsecuencias somerizantes, con una sucesión vertical gradual de facies somerizante (caso del ejemplo de la Fig. 11A, desde facies submareales a intermareales y supramareales); 2) ocasionalmente, microsecuencias profundizantes, que presentan una sucesión vertical gradual de facies profundizante (caso del ejemplo de la Fig. 11B, desde facies intermareales a submareales); y 3) en la mayoría de los casos, microsecuencias agradantes, que implican a facies del mismo subambiente de sedimentación (ver Fig. 5). Ocasionalmente se da incluso alternancias de facies dentro de una misma capa (ver capas 30 y 31 en Fig. 5).

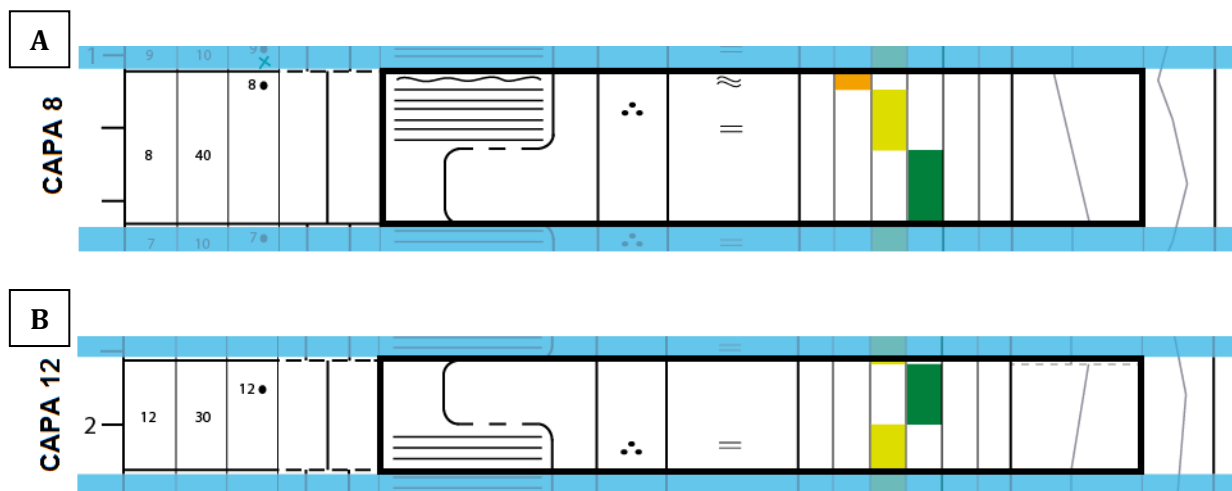


Figura 11. (A) Ejemplo de secuencia somerizante a nivel de capa, que implica a facies submareales protegidas (facies D, en verde), intermareales (facies C, en amarillo) y supramareales inferiores (facies B, en naranja). (B) Ejemplo de secuencia profundizante a nivel de capa, que implica a facies intermareales (facies C, en amarillo) y submareales protegidas (facies D, en verde).

Interpretación. El significado de las microsecuencias es incierto. El espesor y evolución interna de facies de estas microsecuencias es muy variable, y también lo es el número de microsecuencias registrado en cada macrosecuencia (de 6 en el caso de la macrosecuencia 3 a 29 en la macrosecuencia 2). Ello apuntaría a una compleja interrelación de factores

internos y externos, como ocurre en las macrosecuencias. Por ejemplo, factores internos como los procesos erosivos asociados a la dinámica de las corrientes o tormentas, podrían explicar la génesis de los límites de las microsecuencias o la ausencia de algunas de ellas por erosión.

6.4. Análisis de las facies con laminación algal con el programa WinGeo

Como se ha comentado anteriormente, el objetivo final de este estudio es realizar la interpretación de los factores internos y externos que controlaron la génesis y extensión de las facies con laminación algal y para ello, además del análisis de facies y secuencias, se ha aplicado por primera vez en estos materiales el conteo de láminas mediante el programa WinGeo en dos intervalos (Intervalo I de en torno a 40 cm de espesor total; e Intervalo II, de en torno a 80 cm de espesor total; ver situación en Fig. 5 y Fig. 12), que abarcan facies supramareales inferiores e intermareales.

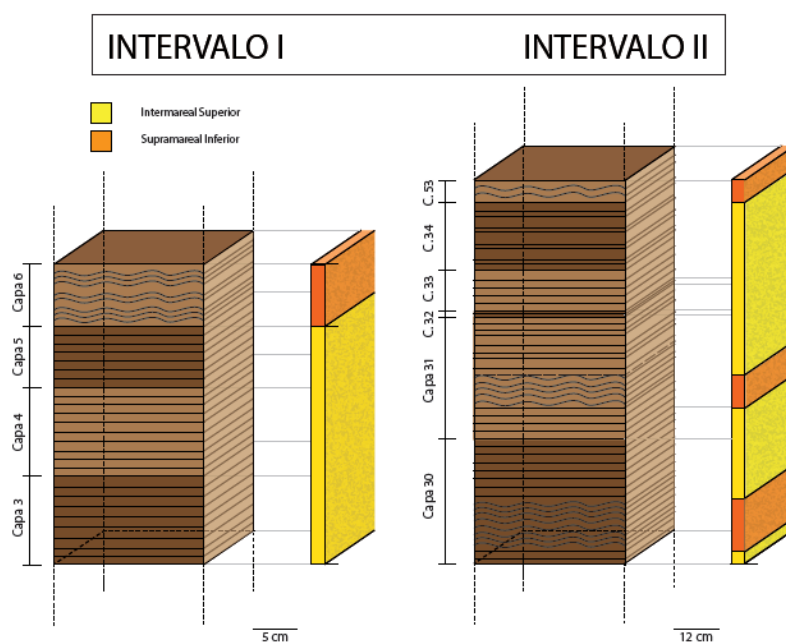


Figura. 12. Intervalos de la columna estratigráfica donde se ha realizado el conteo de láminas en las facies con laminación algal con el programa WinGeo.

Descripción de resultados. En el Anexo se ofrece las imágenes de las capas y el histograma de espesores obtenidos en cada una de los dos intervalos analizados, cuyos datos estadísticos se resumen en la Fig. 13. El programa diferencia el espesor y número de láminas oscuras y claras, que teniendo en cuenta los datos de facies, corresponderían respectivamente a láminas algales y a láminas de sedimento de distinta textura, acarreado desde la zona submareal por las mareas o tormentas.

		CAPA/FACIES	ESPEJOR TOTAL (mm) DE LAS LÁMINAS OSCURAS	ESPEJOR TOTAL (mm) DE LAS LÁMINAS CLARAS	ESPEJOR TOTAL (mm) DE LA CAPA
INTERVALO I	3		32.507	31.994	64.501
	4		40.242	40.391	80.633
	5		24.560	25.080	49.640
	6		27.760	26.691	54.451
INTERVALO II	30		77.095	74.726	151.821
	31		123.303	125.856	249.159
	32 y 33		32.984	35.061	68.045
	34		53.133	55.266	108.399
	35		15.022	16.848	31.870

		CAPA/FACIES	ESPEJOR OSCURAS / ESPEJOR TOTAL	ESPEJOR CLARAS / ESPEJOR TOTAL	ESPEJOR OSCURAS (mm) / N° LÁMINAS	ESPEJOR CLARAS (mm) / N° LÁMINAS	N° DE PARES DE LÁMINAS
INTERVALO I	3		0.504	0.496	0.369	0.364	88
	4		0.499	0.501	0.303	0.301	133
	5		0.495	0.505	0.307	0.317	79
	6		0.510	0.490	0.278	0.264	100
INTERVALO II	30		0.508	0.492	0.374	0.363	206
	31		0.495	0.505	0.518	0.529	238
	32 y 33		0.485	0.515	0.492	0.523	67
	34		0.490	0.510	0.287	0.299	185
	35		0.471	0.529	0.250	0.281	60

Figura 13. Datos estadísticos obtenidos con el programa WinGeo.

El Intervalo I abarca cuatro capas (3 a 6), las tres primeras de facies intermareales y la última supramareal inferior (Fig. 12), con láminas de espesor de en torno a medio milímetro (Fig. 13; ver también Figs. A a D en el Anexo). De los datos obtenidos (Fig. 13) destaca que el valor espesor total de láminas claras/nº de láminas, es decir el espesor medio de las láminas de sedimento, es significativamente menor en la capa 6 (supramareal inferior: ~0,26) comparada con las capas 3, 4, y 5 (intermareal: ~0,31) y lo mismo ocurre con las láminas oscuras (algales).

El intervalo II abarca 6 capas (30 a 35), algunas de ellas de evolución de facies compleja (Fig. 12). La capa 30 presenta una parte basal dominada por laminación ondulada o crenulada (supramareal inferior) y una parte superior de laminación plano-paralela (intermareal). Los espesores medios de las láminas son similares a los detectados en las facies intermareales del Intervalo I (Fig. 13), pero el histograma de espesores (ver Fig. E en el Anexo), claramente revela que el espesor medio de las láminas es significativamente mayor en la facies intermareal. En la capas 31, 32 y 33 dominadas por facies intermareal, se registran valores medios de espesores de láminas muy elevados (~0,52 para las láminas claras: Fig. 13). Por ejemplo, en la capa 31, donde se registran laminación intermareal con

una zona intermedia de facies supramareal inferior (con *tepees* y superficie erosiva que los corta; ver Fig. F en el Anexo) se destacan picos de predominio de láminas claras en la zona intermareal. Por último, en las capas 34 y 35 intermareales, los valores medios de espesor vuelven a situarse en torno a 0,3 (Fig. 13), si bien en la capa 34 tanto en campo como en el histograma (ver Fig. H) se aprecian claramente cuatro “ciclos” de predominio de láminas gruesas.

Interpretación. Con los datos estadísticos obtenidos a partir del programa WinGeo, podemos llegar a la conclusión de que la distribución de los espesores medios de las láminas es mayor en la zona intermareal superior y decrece hacia el supramareal inferior. En la figura 14 se han sintetizado los valores obtenidos para el caso de las láminas claras de sedimento que muestran mayor espesor en la zona intermareal superior y un progresivo decrecimiento hacia el supramareal inferior. Estos datos están en coherencia con el hecho de que el sedimento que se acumula en la llanura mareal procede del submareal, de modo que tierra adentro la lámina de sedimento acumulado por las mareas y tormentas será cada vez menor.

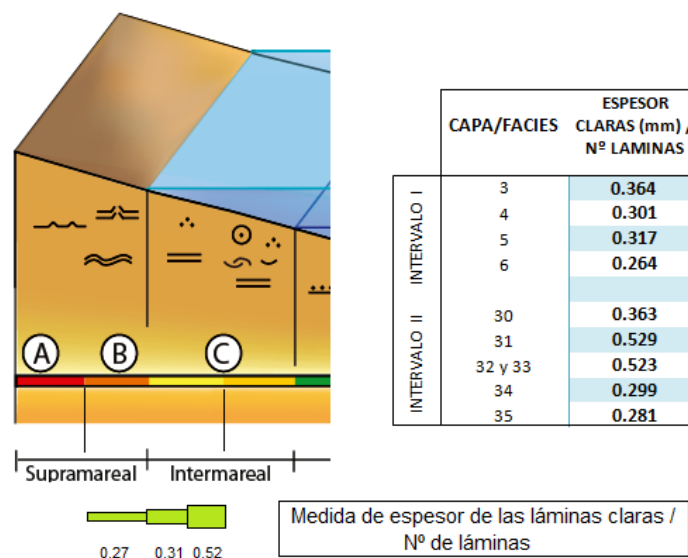


Figura 18. Espesor medio de las láminas claras de sedimento obtenido con el programa WinGeo en la zona intermareal superior a supramareal inferior.

El par lámina oscura (algal) y clara (sedimento) podría atribuirse, como proponen algunos autores (Tang *et al.*, 2014) a un ciclo anual, de modo que las variaciones estacionales determinaran el crecimiento de la malla de alga o el depósito de la lámina de sedimento de color claro (durante invierno y primavera donde tuvieron lugar posibles huracanes, tormentas o mareas fuertes). Si el par de láminas fuera anual, los 4 ciclos de predominio de láminas gruesas detectados por ejemplo en la capa 34, corresponderían a ciclos de una duración aproximada de 50 años cada uno. No obstante, esta calibración es muy especulativa, ya que

pueden existir otros factores que modulen estos ciclos sedimentarios y, en casos extremos, que destruyan sus sedimentos asociados. Por ejemplo, los datos sedimentológicos revelan la existencia de superficies de omisión y erosión, tanto en los límites de las capas como internamente en las capas (caso de la capa 31), de modo que posiblemente el sedimento registrado es menor que el potencialmente depositado. De cualquier modo, para poder afirmar la existencia de ciclos anuales o de mayor duración, dentro de la banda de frecuencia del calendario o solar, deberíamos realizar un estudio más detallado donde se introduzcan métodos matemáticos de análisis espectral, como pueden ser el análisis de Fourier y Walsh.

7. CONCLUSIONS

Sedimentological and sequential analysis and lamina counting using WinGeo computer program of the algal laminites recorded in the Cuevas Labradas Fm (Muel outcrop, Iberian Basin, Spain) have allowed to characterize the main factors controlling their generation and extension, from lamina- to outcrop-scale:

1) Algal laminites are composed by millimetre couplets of dark laminae (algal mesh) and light laminae (mudstone to packstone sediment). They deposited from supratidal to intertidal subenvironments, and show different geometry and sedimentary structures related to variable subaerial exposure: laminae distorted by mudcracks (upper supratidal); undulating laminae with tepees and fenestral porosity (lower supratidal); and plano-parallel laminae with scarce fenestral porosity (intertidal);

2) Lamina couplets are interpreted as recording annual seasonal changes, being light laminae deposited by strong storms and tides in winter-spring seasons. Thickness of light laminae decreases from intertidal to supratidal subenvironments (from ~0,52 mm to 0,22 mm), *i.e.*, from the subtidal source area of sediment, towards the land;

3) Alternating thinner and thicker laminae recorded in some laminated beds is uncertain and requires further statistical analysis. Evidences of erosion and omission surfaces (boundary of beds and internal erosion surfaces) reflect incompleteness of sedimentary record;

4) Laminated intervals are recorded within both aggradational, deepening and shallowing parts of decimetre-scale sequences (*i.e.*, microsequences or beds) and metre-scale sequences (*i.e.*, macrosequences), where they are complexly intercalated within the subtidal facies. As in coeval successions in the Iberian Basin, this distribution reflects that the vertical extension of laminated facies in the studied outcrop was probably controlled by the interaction of sea level changes (climate-related eustatism modulated by local tectonics) and internal factors.

8. 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., Ipas, J., Bádenas, B. y Muñoz, A. (2012): *Distribución de facies con corales y estromatopóridos en el dominio interno de una plataforma carbonatada (Titónico, Cordillera Ibérica)*. *Geogaceta*, 51, 2012.
- Bádenas, B., Aurell, M. y Bosence, D. (2010): *Continuity and facies heterogeneities of shallow carbonate ramp cycles (Sinemurian, Lower Jurassic, North-east Spain)*. The journal of the International Association of Sedimentologists.
- Dunham, R.J. (1962): Classification of carbonate rocks according to depositional texture. En: *Classification of Carbonate Rocks*, (W.E. Ham, Ed). American Association of Petroleum Geologists Memoir, 1: 108-121.
- Embry, A.F. y Klován, J.E. (1971): A Late Devonian reef tract on northeastern Banks Island, Northwest Territories. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*: 33, 730-781.
- Flügel, E. (2004): *Microfacies of Carbonate Rocks*. Springer Berlin Heidelberg New York, 976 p.
- Hernández, A., Ramírez, J.I., Navarro, J.J., Cortes, A.L., Rodríguez, R., Babiano, F., Gómez, D., Ramírez, J., Cuenca, G., Pozo, M., Casas, J., De Aja, S. y Robador, A. (2005): *Mapa geológico de España 1:50.000, hoja nº 411 (Longares)*. IGME, Madrid.
- Sevillano, A., Bádenas, B. Rosales, I., Barnolas. A. y López-García. J.M. (2013): *Facies y secuencias de la plataforma carbonatada sinemuriense en la isla de Mallorca (sección Es Barraca), España*. *Geogaceta*, 54: 15-18.
- Shinn, E. (2006): *Carbonate depositional environments*. Tidal flat.
- Tang, D., Shi, X. y Jiang, G. (2014): *Sunspot cycles recorded in Mesoproterozoic carbonate biolaminates*. *Precambrian Research* 248 (2014) 1-16.

9. ANEXO

– INTERVALO I –

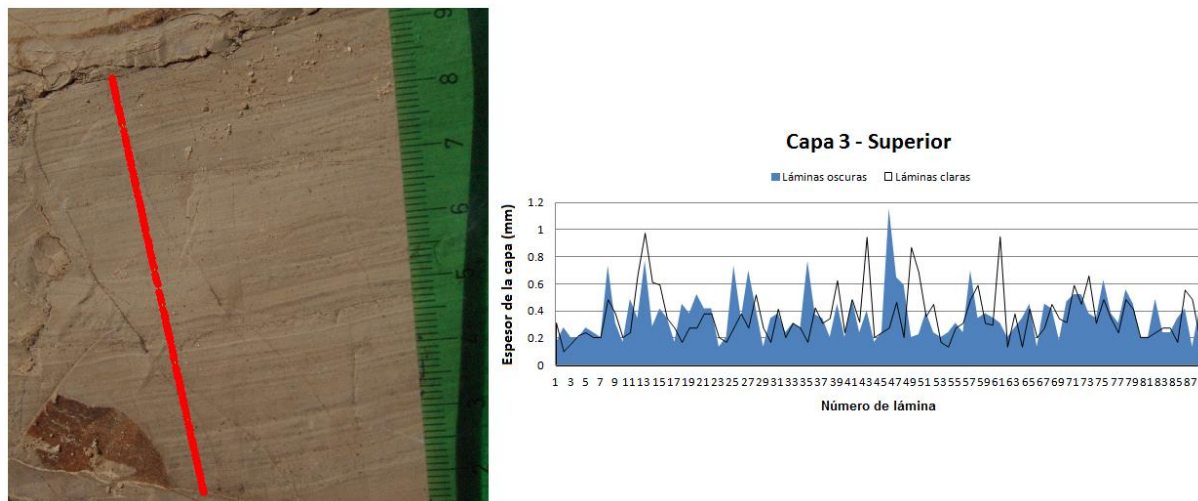


Fig. A. Histograma de espesores de las láminas oscuras (algales) y claras (sedimento) obtenido con el programa WinGeo de la parte superior de la capa 3.

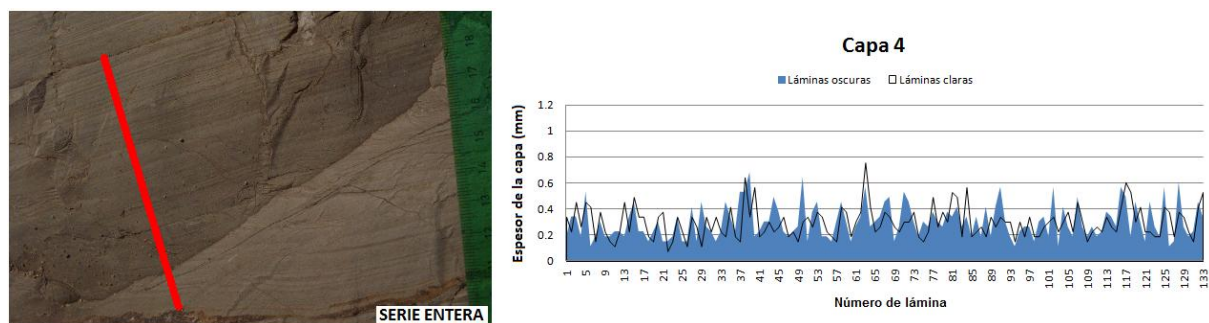


Fig. B. Histograma de espesores de las láminas oscuras (algales) y claras (sedimento) obtenido con el programa WinGeo de la capa 4 completa.

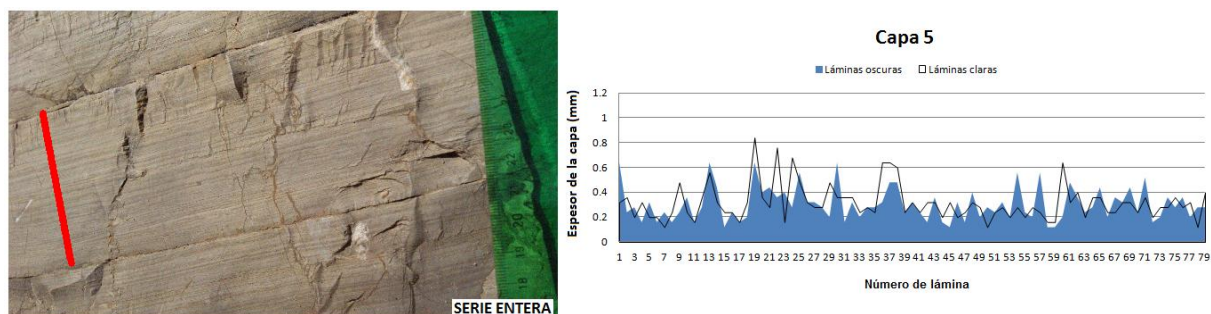


Fig. C. Histograma de espesores de las láminas oscuras (algales) y claras (sedimento) obtenido con el programa WinGeo de la capa 5 completa.

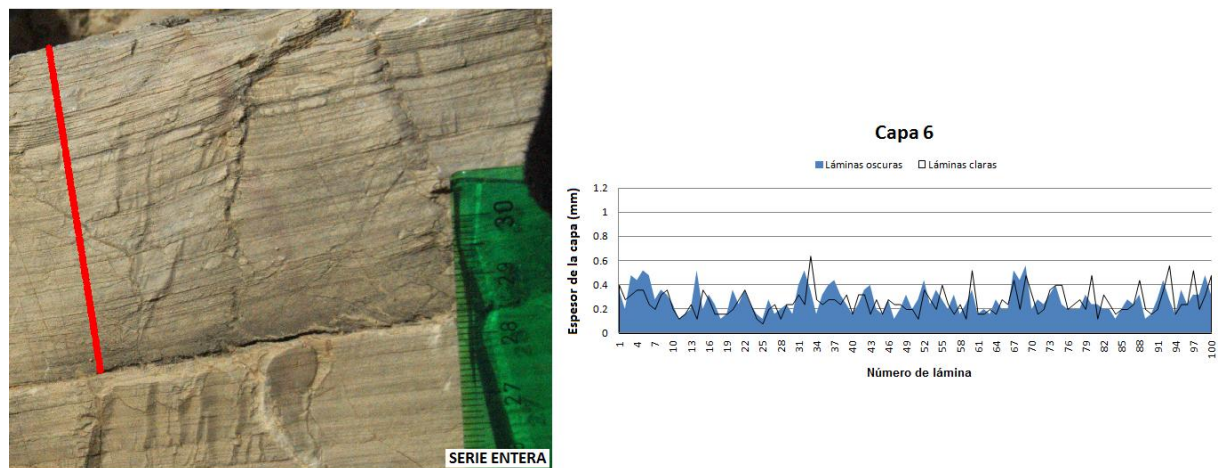


Fig. D. Histograma de espesores de las láminas oscuras (algales) y claras (sedimento) obtenido con el programa WinGeo de la capa 6 completa.

– INTERVALO II –

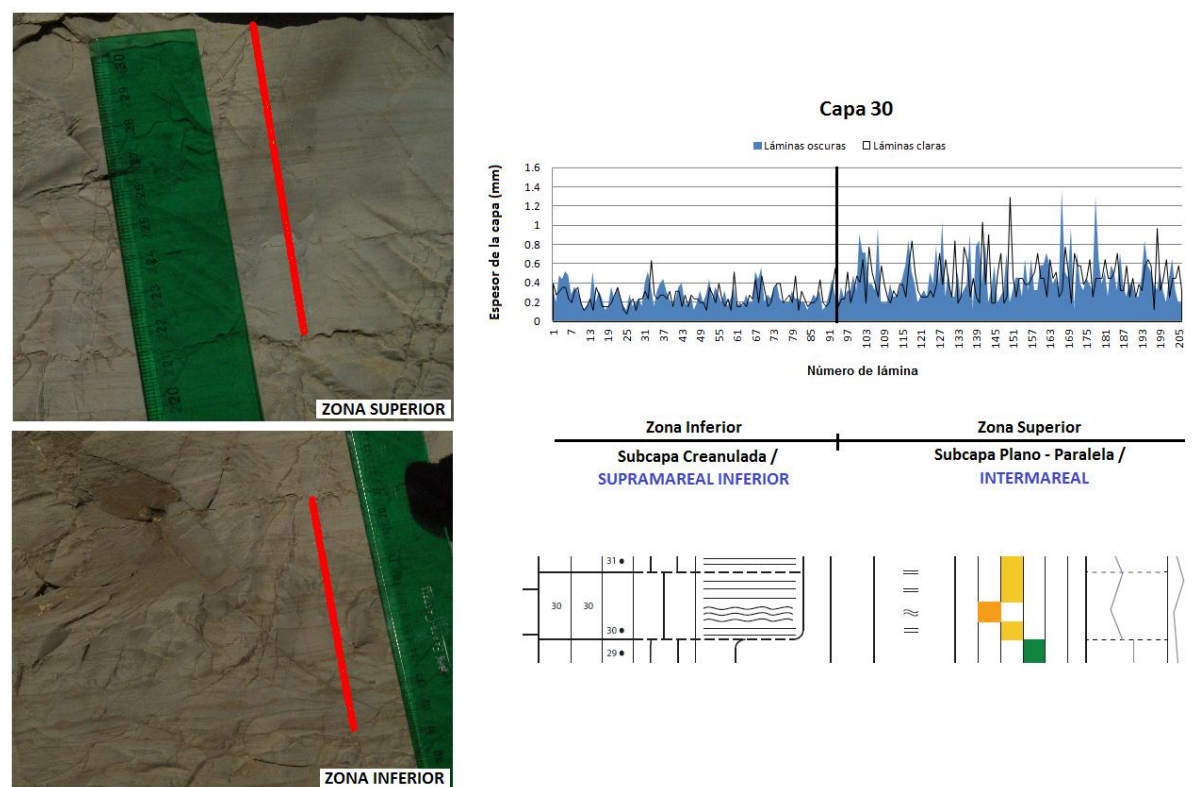


Fig. E. Histograma de espesores de las láminas oscuras (algales) y claras (sedimento) obtenido con el programa WinGeo de la capa 30 completa.

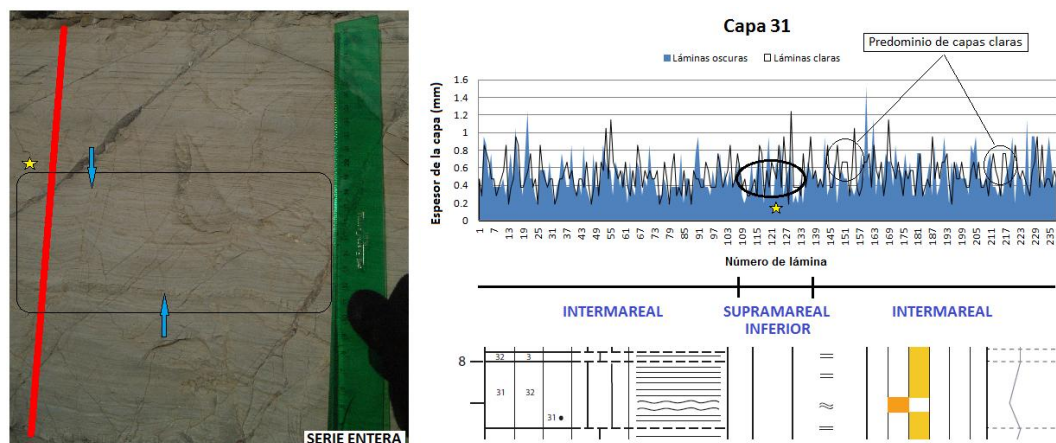


Fig. F. Histograma de espesores de las láminas oscuras (algales) y claras (sedimento) obtenido con el programa WinGeo de la capa 31. En la zona recuadrada se puede observar una estructura antiforme (*tepee*) delimitada por una superficie de erosión a techo, y una junta estilolítica a base (ver explicación en el texto).

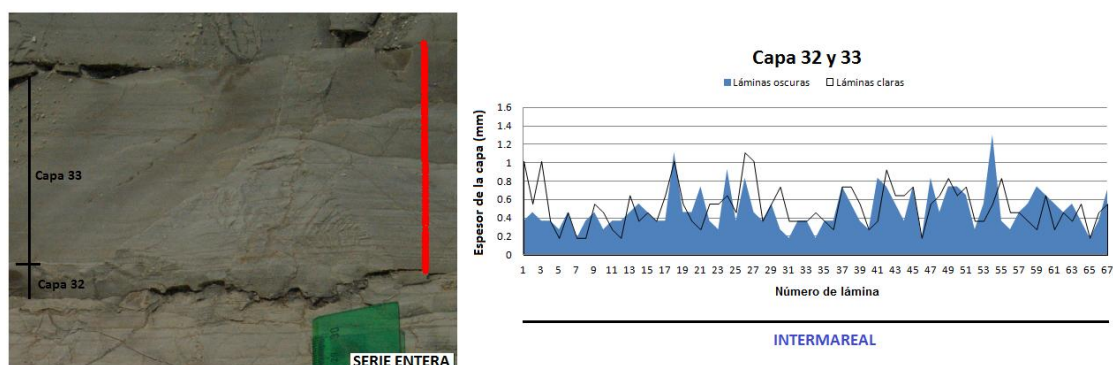


Fig. G. Histograma de espesores de las láminas oscuras (algales) y claras (sedimento) obtenido con el programa WinGeo de las capas 32 y 33.

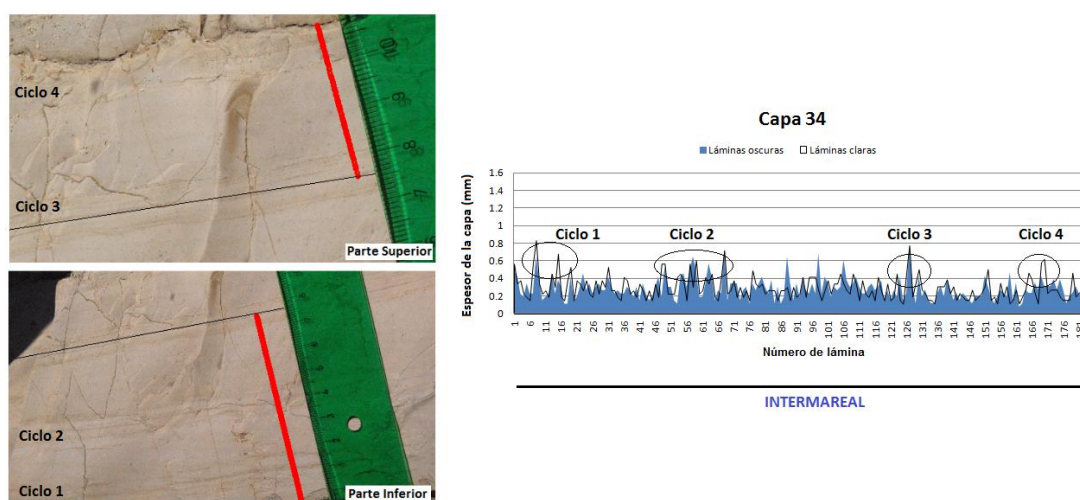


Fig. H. Histograma de espesores de las láminas oscuras (algales) y claras (sedimento) con el programa WinGeo de la capa 34 (ver explicación en el texto).

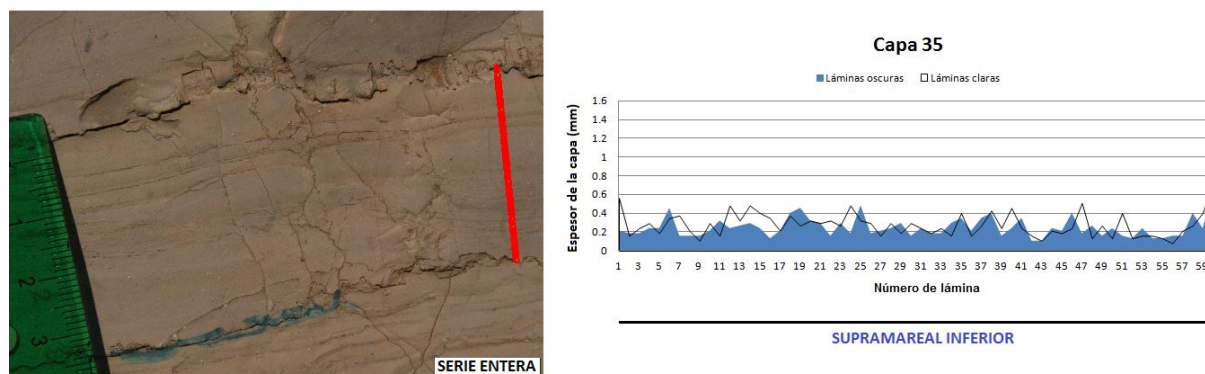


Fig. 1. Histograma de espesores de las láminas oscuras (algales) y claras (sedimento) obtenido con el programa WinGeo de la capa 35.