



**Universidad**  
Zaragoza



**LA UNIDAD DE LADRUÑÁN EN LADRUÑÁN – LUCO DE  
BORDÓN (MAESTRAZGO, TERUEL): SEDIMENTOLOGÍA Y  
EVOLUCIÓN SEDIMENTARIA DURANTE EL BERRIASIENSE  
EN LA SUBCUENCA DE MORELLA**

*Trabajo de Fin de Máster. Máster en Geología: Técnicas y Aplicaciones*

**Lucía Santas Lajusticia**

**2016/2017**

Directores: Dra. Beatriz Bádenas Lago y Dr. Marcos Aurell Cardona

*A mis directores de Trabajo de Fin de Máster, Dra. Beatriz Bádenas Lago y Dr. Marcos Aurell Cardona, por su paciencia y dedicación*

*A J.M. Gasca y M. Moreno por su colaboración*

*A mi familia y amigos por su confianza*

## *Índice*

<b>1. PLANTEAMIENTO</b>	<b>3 p.</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>3 p.</b>
<b>3. METODOLOGÍA</b>	
3.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4 p.
3.2. TRABAJO DE CAMPO	4 p.
3.3. TRABAJO DE LABORATORIO	5 p.
3.4. TRABAJO DE GABINETE	6 p.
<b>4. SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA</b>	
4.1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA	8 p.
4.2. CONTEXTO GEOLÓGICO	9 p.
<b>5. DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS</b>	
5.1. PERFILES ESTRATIGRÁFICOS Y CARTOGRAFÍA DE LOS AFLORAMIENTOS	13 p.
5.2. DESCRIPCIÓN DE FACIES	29 p.
5.3. CORRELACIÓN	31 p.
<b>6. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS</b>	
6.1. INTERPRETACIÓN DE FACIES Y RECONSTRUCCIÓN PALEOAMBIENTAL	35 p.
6.2. EVOLUCIÓN SEDIMENTARIA	39 p.
<b>7. DISCUSIÓN</b>	
7.1. MODELO DE SEDIMENTACIÓN	43 p.
7.2. EQUIVALENCIA CON LA SUBCUENCA DE GALVE	44 p.
<b>8. CONCLUSIONES</b>	<b>45 p.</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>47 p.</b>

## **ANEXOS**

## **RESUMEN:**

La Unidad de Ladruñán (Berriasiense inferior-medio) es una sucesión de calizas, lutitas y margas depositada en ambientes marinos costeros, definida en el sector de Ladruñán (Maestrazgo, Teruel). Representa la primera unidad del Cretácico Inferior de la Subcuenca de Morella, situada entre las calizas marinas de la Fm. Pleta (Titioniense) y las calizas lacustres de la Fm. Herbers (Valanginiense – Hauteriviense).

No se han realizado estudios que detallen el medio de sedimentación de esta unidad, así como las relaciones estratigráficas con las unidades que la limitan. El presente Trabajo de Fin de Máster pretende dar respuesta a estas cuestiones, mediante el estudio de los afloramientos de Ladruñán, Luco de Bordón y La Algecira. Los datos obtenidos están basados en la realización de cartografías y perfiles estratigráficos detallados en los tres afloramientos seleccionados, y el estudio de muestras, lámina delgada, calcimetría y levigados. La comparación con el registro estratigráfico de similar edad en las subcuencas próximas y el modelo sedimentario en el que se depositó la Unidad de Ladruñán, serán dos aspectos interesantes a discutir.

## **ABSTRACT:**

*The Ladruñán Unit (lower-middle Berriasian) is a succession of limestones, shales and marls deposited in coastal marine environments, defined in the Ladruñán locality (Maestrazgo, Teruel). It consists of the first Lower Cretaceous of the Morella Sub-basin, located between the marine limestones of the Pleta Fm. (Tithonian) and the lacustrine limestones of the Herbers Fm. (Valanginian - Hauterivian).*

*There have been no studies that detail the sedimentary environment of this unit, as well as the stratigraphic relations with the underlying and overlying units. This Master's Degree Project aims to answer these questions by studying the outcrops of Ladruñán, Luco de Bordón and La Algecira. The reported data was obtained by mapping and detailed stratigraphic profiles, as well as by the study of thin sections, calcimetry and whased samples. The possible age equivalence to the stratigraphic record found in the nearby sub-basins and the sedimentary model in wich Ladruñán Unit was deposited, is also discussed.*

## 1. PLANTEAMIENTO

De acuerdo con estudios regionales previos en los materiales del tránsito Jurásico–Cretácico dentro de la Cuenca del Maestrazgo (Canerot, 1974; Salas, 1987; Martín-Closas, 1989; Aurell, 1990), la Unidad de Ladruñán objeto del presente estudio está constituida por una sucesión de calizas, margas y lutitas de edad Berriasiense inferior-medio (Cretácico Inferior) y pertenece a la Subcuenca de Morella, dentro de la Cuenca del Maestrazgo (Cordillera Ibérica centro-oriental).

Estudios más recientes que incluyen la Subcuenca de Morella, han aportado datos estratigráficos y sedimentológicos más precisos para el intervalo Titoniense–Berriasiense (Aurell *et al.*, 1994; Ipas *et al.*, 2005; Aurell *et al.*, 2010). De igual modo este intervalo estratigráfico ha sido objeto de estudio en las Subcuencas de Penyagolosa y Galve (Bádenas *et al.*, 2004, Aurell *et al.*, 2016; respectivamente).

La Subcuenca de Morella carece de estudios estratigráficos y sedimentológicos exhaustivos previos en las unidades del tránsito Jurásico–Cretácico, en particular de la unidad basal del Cretácico (Unidad de Ladruñán) que no ha sido objeto de estudio sistemático hasta el momento. Es por ello que el análisis de facies y estratigráfico de detalle de esta unidad planteado en este trabajo pretende aportar resultados novedosos acerca de la sedimentología y evolución sedimentaria de la misma.

## 2. OBJETIVOS

El objetivo principal del presente trabajo es llevar a cabo la caracterización estratigráfica y sedimentológica detallada de las calizas, margas y lutitas del Berriasiense inferior-medio (Unidad de Ladruñán) en la parte septentrional de la Subcuenca de Morella. Para ello, se han estudiado sus afloramientos en el entorno de las localidades de La Algecira, Ladruñán y Luco de Bordón (provincia de Teruel). Con esta finalidad se ha llevado a cabo el levantamiento de perfiles estratigráfico-sedimentológicos de detalle en los tres afloramientos y su correlación con objeto de estudiar las variaciones laterales y verticales de las facies. Teniendo en cuenta las características de las facies y sus relaciones laterales y verticales, se pretende definir un modelo de sedimentación para la unidad y establecer la relación existente con otras

unidades depositadas en el mismo intervalo de tiempo en las subcuencas colindantes dentro de la Cuenca del Maestrazgo. El objetivo final es discutir qué factores controlaron la sedimentación.

### 3. METODOLOGÍA

La metodología llevada a cabo en este trabajo comprendió revisión bibliográfica, trabajo de campo, trabajo de laboratorio y trabajo de gabinete. Todo ello ha permitido la recopilación y elaboración de datos para, finalmente, realizar la interpretación y síntesis de los mismos.

#### 3.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Con el objetivo de adquirir una visión tanto general como específica de la Unidad de Ladruñán en la zona de estudio, se realizó una revisión bibliográfica tanto del contexto geológico (*e.g.* hoja y memoria MAGNA a escala 1:50.000 nº 519 (Aguaviva); Martín-Closas, 1989; Ipas *et al.*, 2005; Aurell *et al.*, 2010) como paleogeográfico (*e.g.* Aurell *et al.*, 2003 y Aurell *et al.*, 2010) de la misma. Así mismo, también se ha recopilado información acerca de las técnicas de levigado (Caracuel *et al.*, 2004) y calcimetría complementarias al estudio sedimentológico y estratigráfico.

#### 3.2. TRABAJO DE CAMPO

El trabajo de campo aportó una parte importante de la información del presente estudio. Las jornadas de campo consistieron en la elección de los sectores de estudio más favorables para el levantamiento de los perfiles estratigráfico-sedimentológicos de los materiales de la Unidad de Ladruñán y, en su mayor parte, en la toma de datos en los afloramientos seleccionados.

Para la elección de los sectores de estudio, se tuvo en cuenta las condiciones de afloramiento, la accesibilidad y la representatividad, seleccionándose finalmente tres afloramientos, denominados *Ladruñán*, *La Algecira* y *Luco de Bordón*. Las principales labores de recopilación de datos han consistido, *grosso modo*, en el levantamiento de un perfil estratigráfico-sedimentológico de referencia en cada afloramiento.

Simultáneamente, se tomaron datos de dirección y buzamiento de la Unidad de Ladruñán, así como de las unidades infra- y suprayacentes, para su posterior integración en la cartografía del afloramiento.

El levantamiento de perfiles estratigráficos se realizó a detalle capa a capa mediante el estudio de los rasgos de la estratificación (espesor, geometría), litología, color, textura, componentes y estructuras sedimentarias. Paralelamente, se tomaron fotografías tanto generales como de detalle de las series, así como muestras (un total 51 muestras) representativas de las diferentes litologías/facies reconocidas en afloramiento, para su posterior estudio en laboratorio. Para la recogida de muestras en rocas duras (*e.g.*, calizas), se extrajeron muestras de 200-500 g para poder seleccionar el área de la muestra más representativa para elaboración de láminas delgadas; en los niveles lutíticos o margosos, se procuró tomar varias muestras de 200-500 g en cada nivel (a un espaciado de cada 0,3 a 1 m, dependiendo de los cambios en sus características). Las muestras fueron transportadas en bolsas estancas debidamente sigladas.

En estas labores de campo se utilizaron cinta métrica y vara de Jacob, brújula, martillo, lupa de mano, cámara de fotos, y bolsas estancas para guardar las muestras.

### 3.3. TRABAJO DE LABORATORIO

Parte del proceso de recogida de datos ha implicado la realización de diversas sesiones de laboratorio con objeto de precisar las observaciones de campo (fundamentalmente litología, textura y componentes, incluido contenido fósil) a partir del estudio de las muestras. Para ello, de las 51 muestras tomadas se realizaron 22 levigados, 22 calcimetrías y 28 láminas delgadas, estas últimas realizadas en el Servicio de Preparación de Rocas y Materiales Duros de la Universidad de Zaragoza.

1) Levigados. Para la realización de levigados de las muestras de lutitas o margas, una fracción de cada muestra (entre 100 a 200 g), se sumergió en agua con una dilución de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 110 V al 30% un tiempo variable dependiendo de la cohesión de la misma y añadiendo una sustancia disgregante (Caracuel *et al.*, 2004). Una vez disgregada, se procedió a su tamizado en cuatro tamices (de luces de malla de 1 mm, 500 µm, 250 µm y 125 µm). Los residuos retenidos en el tamiz se secaron en un cuenco

refractario en una estufa a 50-90 °C. El residuo seco se guardó en bolsas debidamente etiquetadas.

Del contenido fósil obtenido, se realizaron fotografías mediante un microscopio electrónico de barrido (SEM) JEOL JSM 6400 con filamento de tungsteno, en el Servicio General de Apoyo a la Investigación de la Universidad de Zaragoza.

Se analizó el contenido fósil para intentar afinar la edad de los materiales de trabajos previos (Canerot, 1979; Martín-Closas, 1989). En este análisis, se contó con la colaboración de M. Moreno y J.M. Gasca, paleontólogos con experiencia en las unidades objeto de estudio.

2) Calcimetrías. Para el análisis del porcentaje de  $\text{CaCO}_3$  de las muestras de lutitas o margas, se tomó 2 g de muestra y se procedió a su molienda mediante un mortero y a su tamizado con un tamiz de luz de malla de 100  $\mu\text{m}$ . De los 2 g de muestra ya tamizada, se analizó 1 g (1 g se guarda en un cuenco refractario por si se cometiera algún error durante el procedimiento), mediante un calcímetro debidamente calibrado mediante calcita pura. La muestra se introduce en una ampolla con 5 ml de HCl al 50% y se mide el  $\text{CO}_2$  procedente del carbonato presente.

3) Láminas delgadas. Se estudiaron las muestras de roca dura en lámina delgada mediante microscopio petrográfico de luz transmitida, para precisar sus aspectos texturales. En el caso de las calizas, se ha seguido la clasificación textural de Dunham (1962).

La caracterización de las facies se completó con la toma de imágenes digitales de las facies más representativas mediante una cámara fotográfica digital.

### 3.4. TRABAJO DE GABINETE

El trabajo de gabinete incluyó 1) la realización de esquemas cartográficos de la Unidad de Ladruñán en los tres afloramientos indicados, integrando los datos de imágenes aéreas (ortofotos) y de campo, 2) la elaboración final de las columnas estratigráficas, recopilando todos los datos obtenidos en campo y laboratorio, de modo que a partir de la información obtenida se procedió a realizar la caracterización y clasificación de las



facies, así como su interpretación para caracterizar el medio de depósito, para lo que se utilizaron los manuales de Tucker y Wright (1990) y Flügel (2010), y 3) la correlación de los perfiles estratigráficos, para reconocer las etapas de evolución sedimentaria.

Para esta elaboración y síntesis de datos, así como para la realización de esta memoria, se han utilizado los programas de procesamiento de imágenes *Adobe Illustrator CS6* y *Adobe Photoshop CS6* para la elaboración de las figuras y el programa de procesamiento de textos *Microsoft Office Word 2007* para la redacción y maquetación de la presente memoria.

## 4. SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA

### 4.1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA

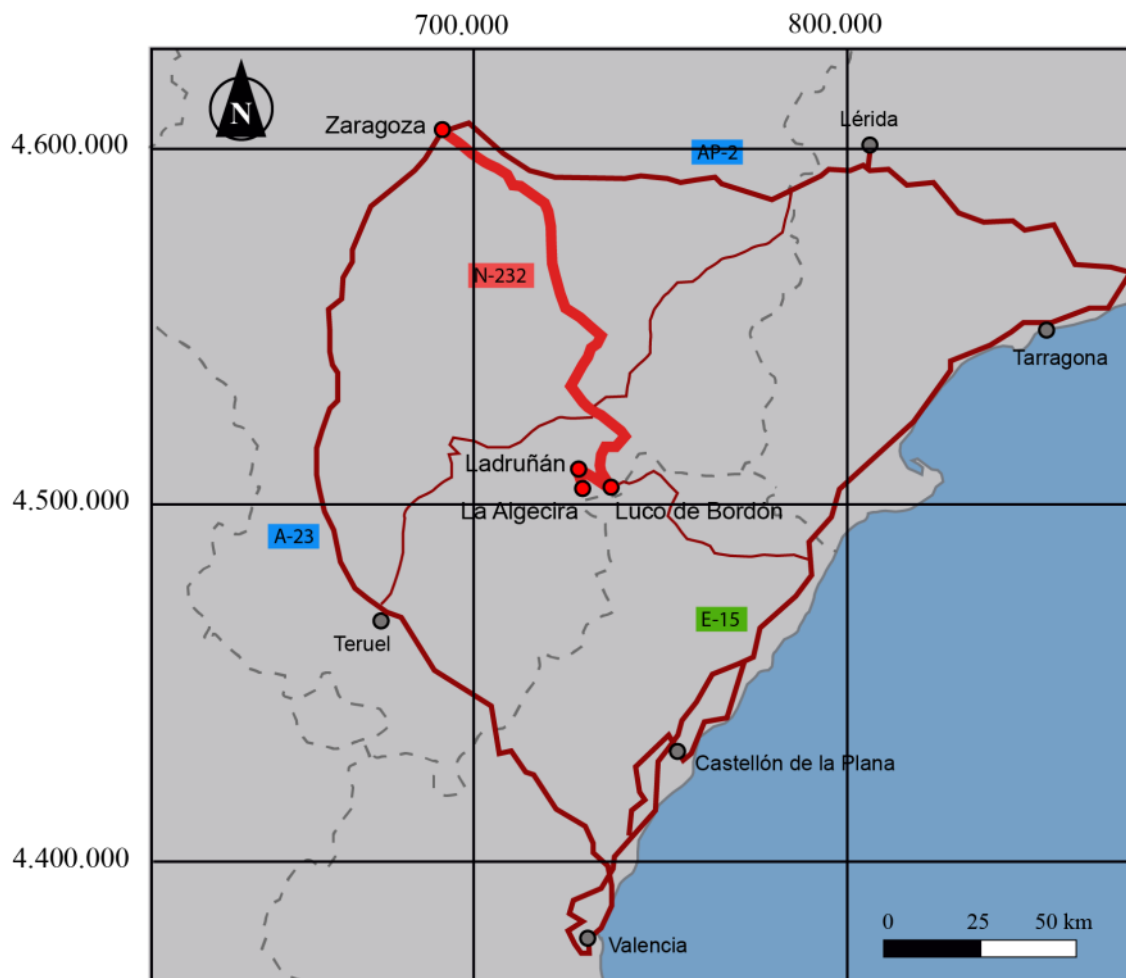
Los afloramientos de la Unidad de Ladruñán estudiados en el presente trabajo se encuentran en las proximidades de las localidades de Ladruñán, La Algecira y Luco de Bordón, pertenecientes a la comarca del Maestrazgo, en la provincia de Teruel (Fig. 1).

El perfil *La Algecira* se localiza a 900 m al SO de la localidad de La Algecira, en la ladera de un barranco que corta al barranco por el que discurre el río Guadalope (Fig. 2A) El acceso a este afloramiento desde La Algecira se realiza por un camino de tierra que discurre hacia el S paralelo al río Guadalope. La entrada al barranco se realiza siguiendo el canal del Molino. La base del perfil está en las coordenadas 40° 43' 20,758'' N, 0° 23' 55,478'' O a 26 m al N de la entrada al barranco.

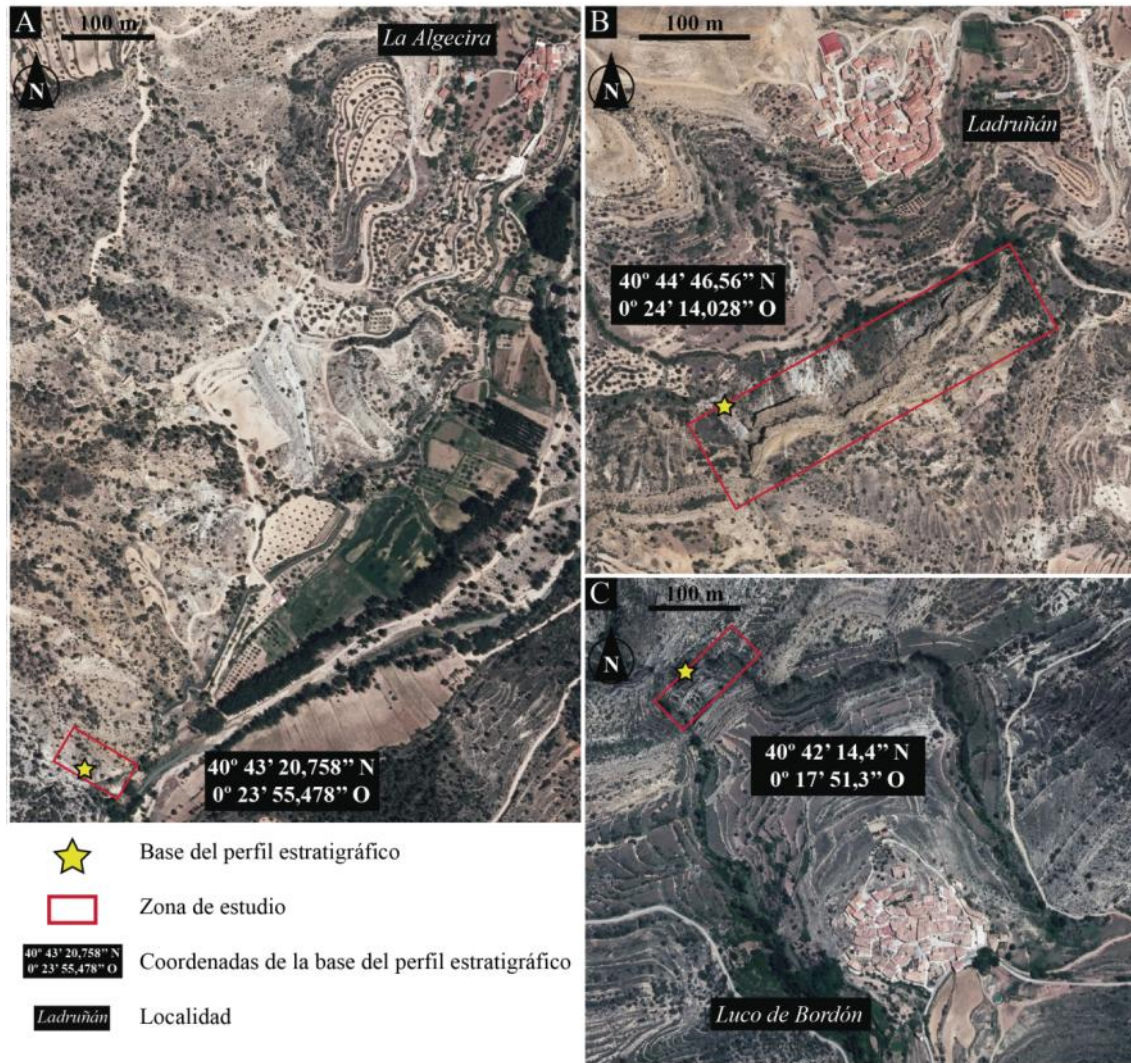
El perfil *Ladruñán* se sitúa en un barranco de dirección aproximada E-O situado a 300 m al SO de Ladruñán, en el barranco de la Algecira (Fig. 2B). El acceso a este afloramiento se realiza por la carretera que conecta Ladruñán con la localidad de La Algecira. La base del perfil se localiza en las coordenadas 40° 44' 46,56'' N, 0° 24' 14,028'' O a 450 m de la entrada al barranco.

El perfil *Luco de Bordón* se encuentra a 400 m al NNO de Luco de Bordón, en las proximidades de la intersección entre el barranco de la Virgen del Pilar y el barranco de las Moreras (Fig. 2C). El acceso a este afloramiento se realiza a pie descendiendo desde

la carretera TE-8402. La base del perfil se sitúa en las coordenadas 40° 42' 14,4'' N, 0° 17' 51,3'' O.



**Fig. 1.** Situación de las localidades de Ladruñán, La Algecira y Luco de Bordón, en cuyas proximidades se encuentran los afloramientos de la Unidad de Ladruñán estudiados en el presente trabajo.



**Fig. 2.** Localización de los afloramientos jurásicos-cretácicos donde se sitúa la Unidad de Ladruñán estudiada en el presente trabajo. **A:** afloramientos en las proximidades de La Algecira; **B:** afloramientos en las proximidades de Ladruñán; y **C:** afloramientos en las proximidades de Luco de Bordón.

## 4.2. CONTEXTO GEOLÓGICO

La Unidad de Ladruñán está constituida por una sucesión de calizas, margas y lutitas de edad Berriasiense inferior-medio (Cretácico Inferior), que fue definida sin rango estratigráfico formal en afloramientos localizados en el entorno de Ladruñán-Castellote, donde presenta una potencia variable, de 40 m en Ladruñán a más de 90 m en Jaganta (Martín-Closas, 1989). La unidad infrayacente corresponde a la Fm. Pleta (secuencia Titoniense-Berriasiense; Salas, 1987), constituida por calizas con laminación de origen algal e intercalaciones margosas. En trabajos posteriores, La Unidad de Ladruñán fue considerada como un cambio vertical y lateral de facies de la Fm. Pleta, con una

categoría informal de miembro, que se encontraría en la parte superior de esta formación (Aurell, 1990; Aurell *et al.*, 1994; Ipas *et al.*, 2005). Está formada por margas, lutitas y calizas de ambientes lacustres y transicionales. Su edad queda bien definida como Berriasiense inferior a medio por Martín-Closas (1989), debido a una asociación de carofitas que caracteriza a la biozona de *Horrida-Maillardii*. A techo de esta unidad, se encuentra las calizas palustres-lacustres con cantos negros y huellas de raíces de la Fm. Herbers (Valanginiese-Hauteriviense; Salas, 1987; Martín-Closas, 1989), que yace discordante sobre las unidades infrayacentes.

Los afloramientos estudiados en el presente trabajo se enmarcan dentro de la Cadena Ibérica Oriental, en la hoja MAGNA a escala 1:50.000 n° 519 (Aguaviva). En la memoria de dicha cartografía, la Unidad de Ladruñán se describe como un tramo superior de 45 m dentro de la unidad J<sub>33</sub>-C<sub>12</sub>, en contacto concordante con las calizas grises y margosas (Fm. Pleta de Salas, 1987), y en relación de discordancia con la unidad suprayacente (unidad C<sub>13-14</sub> o Fm. Herbers). En los afloramientos estudiados, la unidad aparece involucrada en sendas estructuras anticlinales. Las series de *Ladruñán* y *La Algecira* se sitúan en el flanco E de un anticlinal de dirección E-O y N-S. La serie de *Luco de Bordón* se localiza al S del Anticlinal de Bordón, de dirección NO-SE, constituido por materiales del Jurásico Superior-Cretácico Inferior. Como se comentará en los siguientes apartados, en el sector de Ladruñán-La Algecira, se ha precisado la posición el contacto discordante entre la Unidad de Ladruñán y la Fm. Herbers respecto a la cartografía MAGNA disponible.

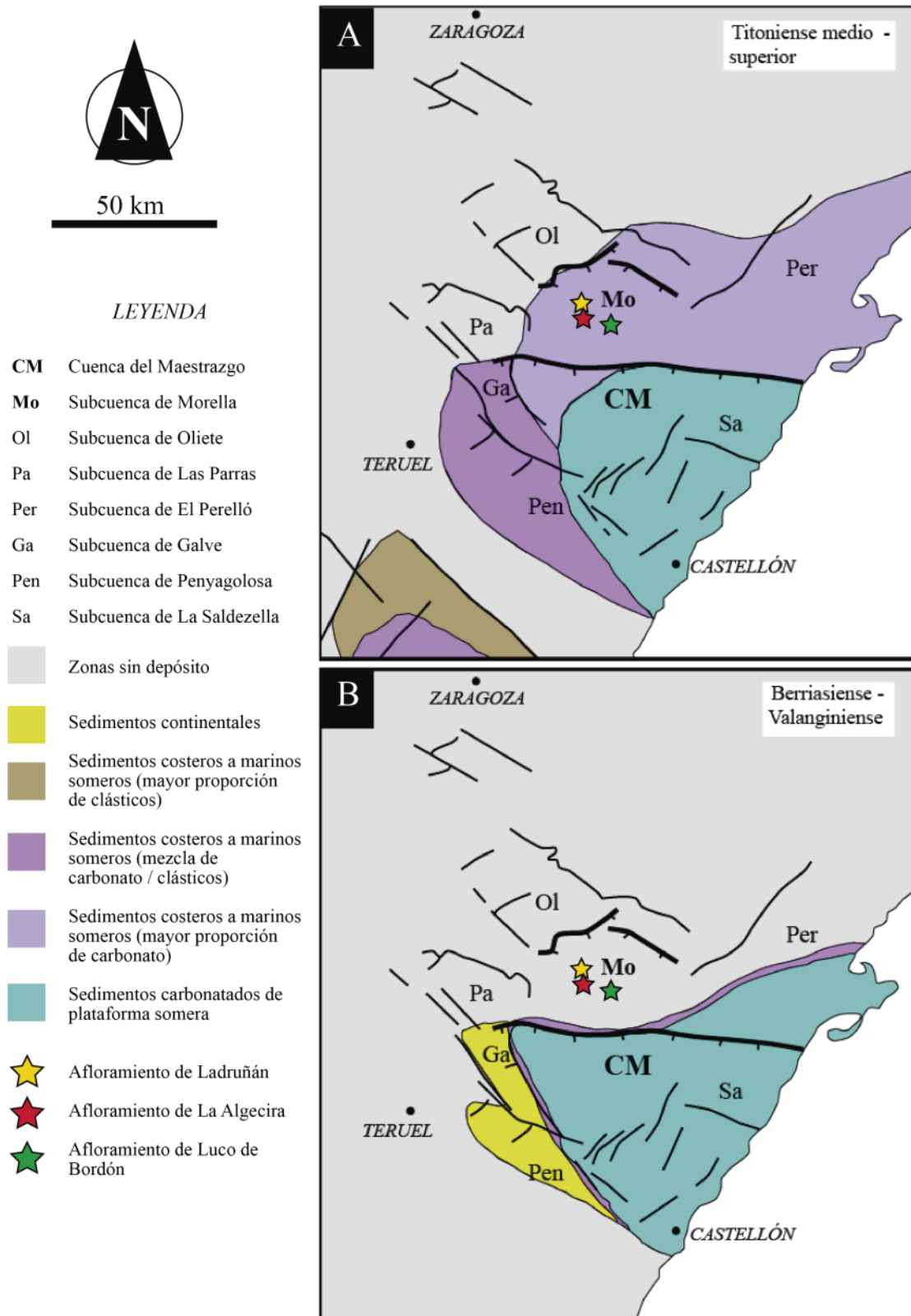
La Unidad del Ladruñán se enmarca dentro de los materiales marinos someros a continentales que se depositaron en torno al tránsito Jurásico–Cretácico en sector septentrional de la Cuenca del Maestrazgo, dentro de la Subcuenca de Morella (Martín-Closas, 1989 e Ipas *et al.*, 2005). La evolución sedimentaria de la Cuenca del Maestrazgo estuvo marcadamente influenciada por la tectónica extensiva, que actuó desde aproximadamente el límite Oxfordiense-Kimmeridgiense hasta el Albiense (secuencia *sinrift* del Jurásico Superior-Cretácico Inferior de Liesa *et al.*, 2018). Esto determinó la individualización de diferentes cuencas o subcuencas con diferente subsidencia y registro estratigráfico (caso de la Subcuenca de Morella). Los materiales

de la Unidad de Ladruñán se enmarcan en concreto dentro de la denominada secuencia *sinrift* 1 (Kimmeridgiense a Berriasiense) de Liesa *et al.* (2018) (Fig. 3).

Dentro de esta secuencia *sinrift* 1, se identifican tres grandes secuencias de segundo orden a escala de Cuenca Ibérica, limitadas por superficies de discontinuidad. La segunda de ellas o secuencia *sinrift* 1B abarca desde la parte media del Titoniense medio hasta la parte media del Berriasiense (secuencia Ti-2 de Aurell *et al.*, 2010). En la zona de estudio está representada por las calizas marinas someras de la Fm. Pleta. La edad de la Unidad de Ladruñán (biozona de *Horrida-Maillardii*) y su relación de cambio lateral con la Fm. Pleta, indica que la unidad objeto de estudio corresponde al techo de la secuencia *sinrift* 1B (Aurell *et al.*, 2010, 2016).

Así pues, los datos sedimentarios de la Unidad de Ladruñán en los afloramientos estudiados disponibles hasta el momento indican que el tránsito Jurásico–Cretácico representa un intervalo de tiempo con marcados cambios sedimentarios en el dominio paleogeográfico donde se enmarca la zona de estudio, con etapas dominadas por el depósito de sedimentos marinos costeros y someros carbonatados durante el Titoniense (Fig. 3A) a etapas ya sin aparente depósito en torno al tránsito Berriasiense-Valanginiense (Fig. 3B).





**Fig. 3.** Evolución sedimentaria y tectónica durante el Jurásico Superior-Cretácico Inferior de la Cuenca del Maestrazgo. **A:** tránsito Titoniense medio - superior (147-148 M.a.). **B:** tránsito Berriasiense – Valanginiense (140 M.a.). Modificado de Liesa et al. (2018).

## 5. DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS

### 5.1. PERFILES ESTRATIGRÁFICOS Y CARTOGRAFÍA DE LOS AFLORAMIENTOS

#### *Perfil Luco de Bordón*

En el sector de Luco de Bordón, la Unidad de Ladruñán tiene 44,5 m de potencia (Fig. 4; la representación sintética del perfil se muestra en el Anexo D). Se presenta en contacto concordante con las calizas de la Fm. Pleta, mientras que con la Fm. Herbers se definiría una discordancia cartográfica (Fig. 5). El perfil realizado consta de 23 tramos, que se describen a continuación de manera resumida:

**Tramo 1:** 0,8 m de calizas dolomíticas ocres dispuestas en un único nivel tabular. Presenta textura *mudstone* con micropeloides microbianos y porosidad fenestral.

**Tramo 2:** 0,7 m de cubierto sobre lutitas.

**Tramos 3 a 7:** 3,1 m de calizas grises con posibles intercalaciones de lutitas. Las calizas se disponen en estratos tabulares centimétricos a decimétricos. Su textura varía de *mudstone* con micropeloides y porosidad fenestral, *packstone* con micropeloides, ostrácodos con porosidad fenestral, y *grainstone* de micropeloides, intraclastos y ostrácodos.

**Tramo 8:** 15 m de cubierto.

**Tramos 9 a 11:** 5,4 m de calizas beige y grises dispuestas en estratos tabulares de potencia decimétrica a métrica. Son de textura *grainstone* de micropeloides, limo de cuarzo, ostrácodos, miliólidos, fragmentos de bivalvos y gasterópodos. Presentan laminación horizontal o de bajo ángulo, *ripples* y estratificación cruzada *hummocky* en los tramos 9 y 10, y porosidad fenestral en el tramo 11.

**Tramo 12:** 1,7 m de brechas calcáreas grises dispuestas en un único estrato. Son clastosoportadas con clastos de naturaleza calcárea subangulosos, con un centilo de 5 cm y matriz lutítica - calcárea.

**Tramos 13 y 14:** 0,9 m de calizas beigeas dispuestas en sendos estratos tabulares. Son de textura *packstone* a *grainstone* de micropeloides, peloides, intraclastos, ostrácodos, miliólidos, fragmentos de bivalvos y oogonios de caráceas. En el tramo 14, estas facies tienen *ripples* entre las que se intercalan láminas centimétricas de textura *mudstone*. En el tramo 13 únicamente se reconoce porosidad fenestral.

**Tramo 15:** 1,5 m de cubierto posiblemente sobre lutitas y calizas.

**Tramo 16:** 1,1 m de calizas de color beige dispuestas en estratos de potencia decimétrica y geometría irregular. Son de textura *grainstone* de peloides y, a la base del tramo, contienen cantos blandos de colores rojos y amarillos. Presentan estratificación cruzada *hummocky*.

**Tramos 17 a 19:** 4,4 m dominados por calizas grises dispuestas en estratos de tabulares de bases y techos irregulares centimétricos a decimétricos. Son de textura *grainstone* con peloides líticos.

**Tramo 20:** 7 m de cubierto.

**Tramos 21 a 23:** 2,5 m de calizas grises, localmente cubiertas, dispuestas en estratos tabulares de potencia centimétrica a decimétrica. Son de textura *mudstone* con porosidad fenestral.



Perfil de: LUCO DE BORDÓN; dirección y buzamiento: 059, 62 SE

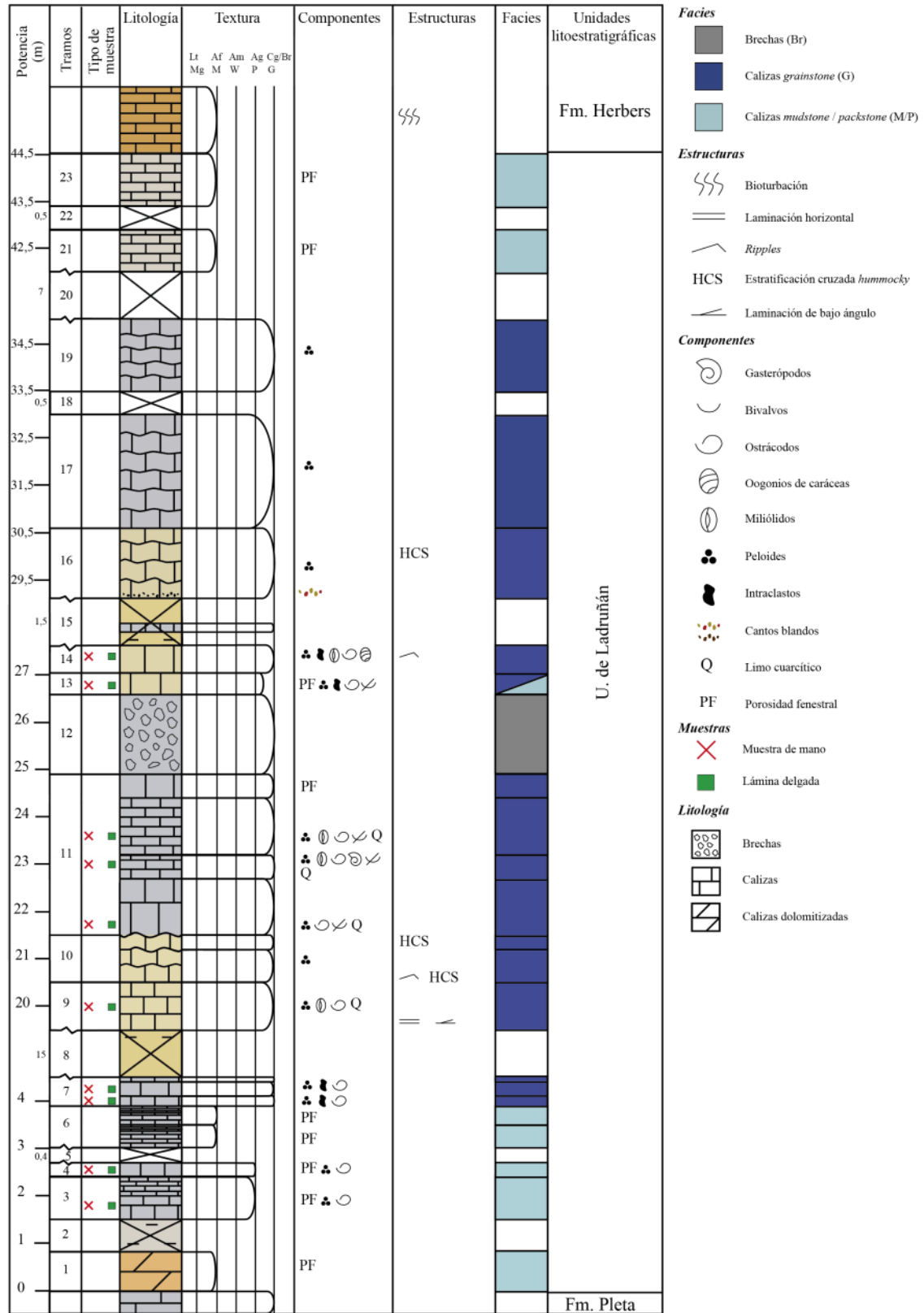
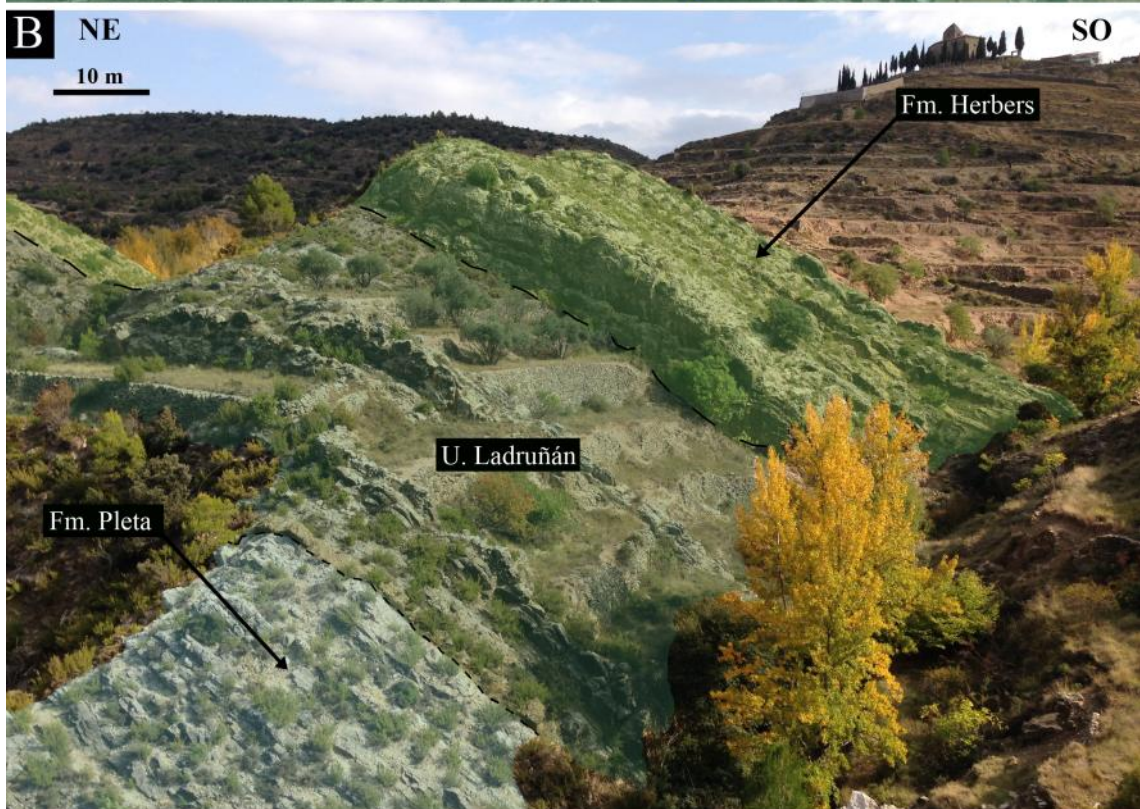
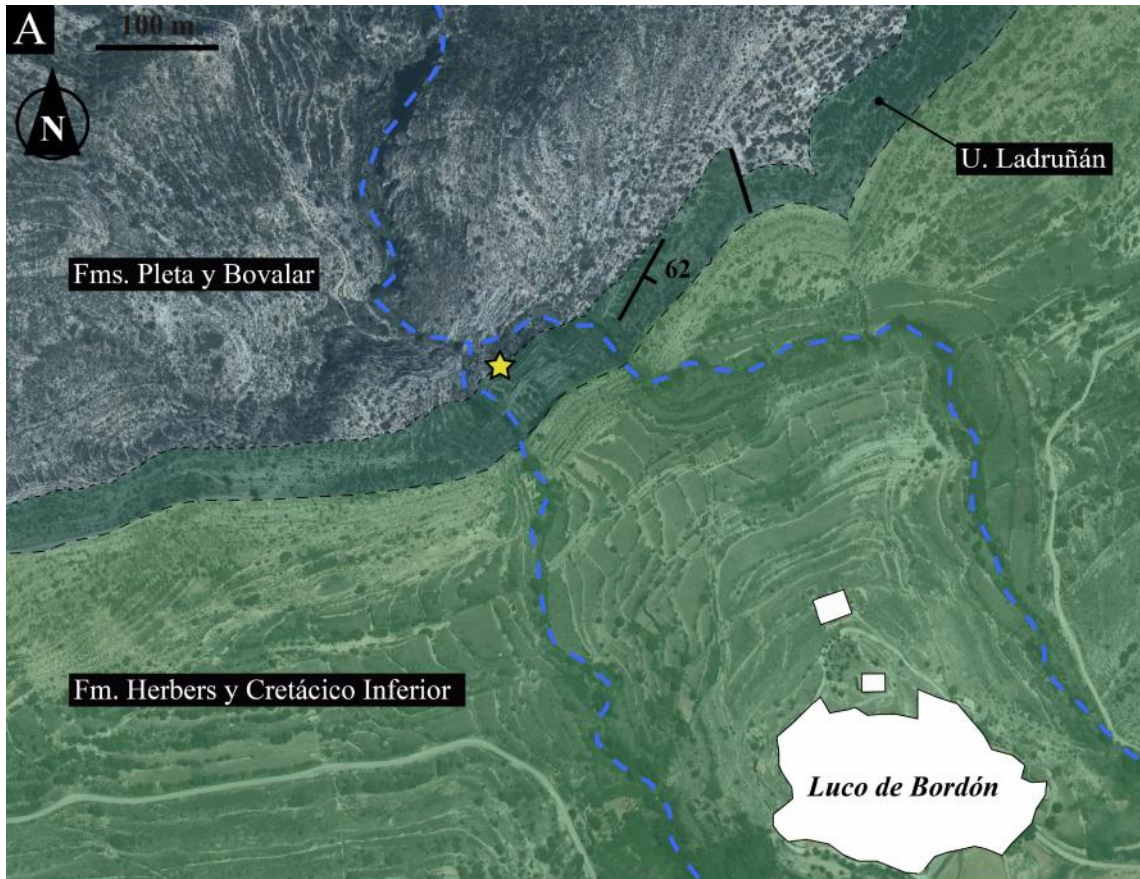


Fig. 4. Perfil de la Unidad de Ladruñán en Lucu de Bordón. Ver Tabla 1 para la leyenda de facies.



- |   |          |   |                      |
|---|----------|---|----------------------|
|  | Falla    |  | Contacto discordante |
|  | Barranco |  | Contacto concordante |

**Fig. 5.** Cartografía geológica (A) e imagen de afloramiento (B) de la Unidad de Ladruñán en el afloramiento de Luco de Bordón.

---

### ***Perfil de La Algecira***

En el sector de La Algecira, la Unidad de Ladruñán presenta 25 m de potencia (Fig. 6; la representación sintética del perfil se muestra en el Anexo II). Se presenta en contacto concordante con las calizas de la Fm. Pleta. Sin embargo, la Fm. Herbers se dispone discordante sobre ella (discordancia angular) (Fig. 7). El perfil realizado consta de 12 tramos, que se describen a continuación de manera resumida:

**Tramos 1 y 2:** 2 m de calizas ocres y grises, dispuestas en nivel decimétricos de geometría tabular y bases y techos algo irregulares. Son calizas dolimíticas de textura *mudstone* con micropeloides y porosidad fenestral (tramo 1) y *packstone* de peloides, intraclastos micríticos, ostrácodos y porosidad fenestral (tramo 2).

**Tramo 3:** 0,3 m de brechas calcáreas organizadas en un único estrato de geometría tabular. Son clastosoportadas con clastos calcáreos subangulosos con un centilo de 7 cm, y matriz de naturaleza lutítica - calcárea.

**Tramo 4:** 2,7 m de lutitas beigeas. Contienen 17% de carbonato y presentan fragmentos de bivalvos y gasterópodos, ostrácodos, oogonios y tallos de caráceas y gasterópodos.

**Tramo 5:** 1,8 m de margas beigeas con intercalaciones de calizas beigeas hacia la base. Las margas se disponen en estratos tabulares de potencia decimétrica. Contienen 36% de carbonato y presentan fragmentos de bivalvos, gasterópodos, ostrácodos, y oogonios y tallos de caráceas. Las calizas se disponen en estratos de potencia centimétrica a decimétrica de geometría tabular. Son de textura *grainstone* de peloides y, ocasionalmente, ostrácodos. Presentan laminación horizontal, y estratificación cruzada *hummocky*.

**Tramo 6:** 5,9 m de lutitas beigeas, rojas y versicolores dispuestas en niveles tabulares de potencia métrica, con laminación horizontal ocasional. Las lutitas rojas y beigeas presentan un porcentaje de carbonato de 1% y contienen fragmentos de bivalvos y gasterópodos, ostrácodos, oogonios y tallos de caráceas y, ocasionalmente, semillas. Las



lutitas versicolores presentan entre de 4% y 14% de carbonato y contienen fragmentos de bivalvos y gasterópodos, oogonios y tallos de caráceas y, ocasionalmente, restos de plantas.

**Tramo 7:** 2,3 m de lutitas beiges/ocres con intercalaciones de calizas *grainstone*. Las lutitas están dispuestas en niveles de potencia decimétrica a métrica. Las calizas conforman niveles tabulares decimétricos, y están formadas por peloides líticos y matriz esparítica. En afloramiento se observan que dichas calizas poseen algún canto blando oscuro inmerso, subanguloso y con un centilo de 5 cm.

**Tramo 8:** 1,8 m de conglomerados ocres dispuestos en un único estrato tabular. Son conglomerados clastosoportados por cantos micríticos y de textura granosostenida de peloides y oncoides, y con matriz microconglomerática y cemento calcáreo. Los cantos son subredondeados a angulosos, y presentan un centilo de 15 cm.

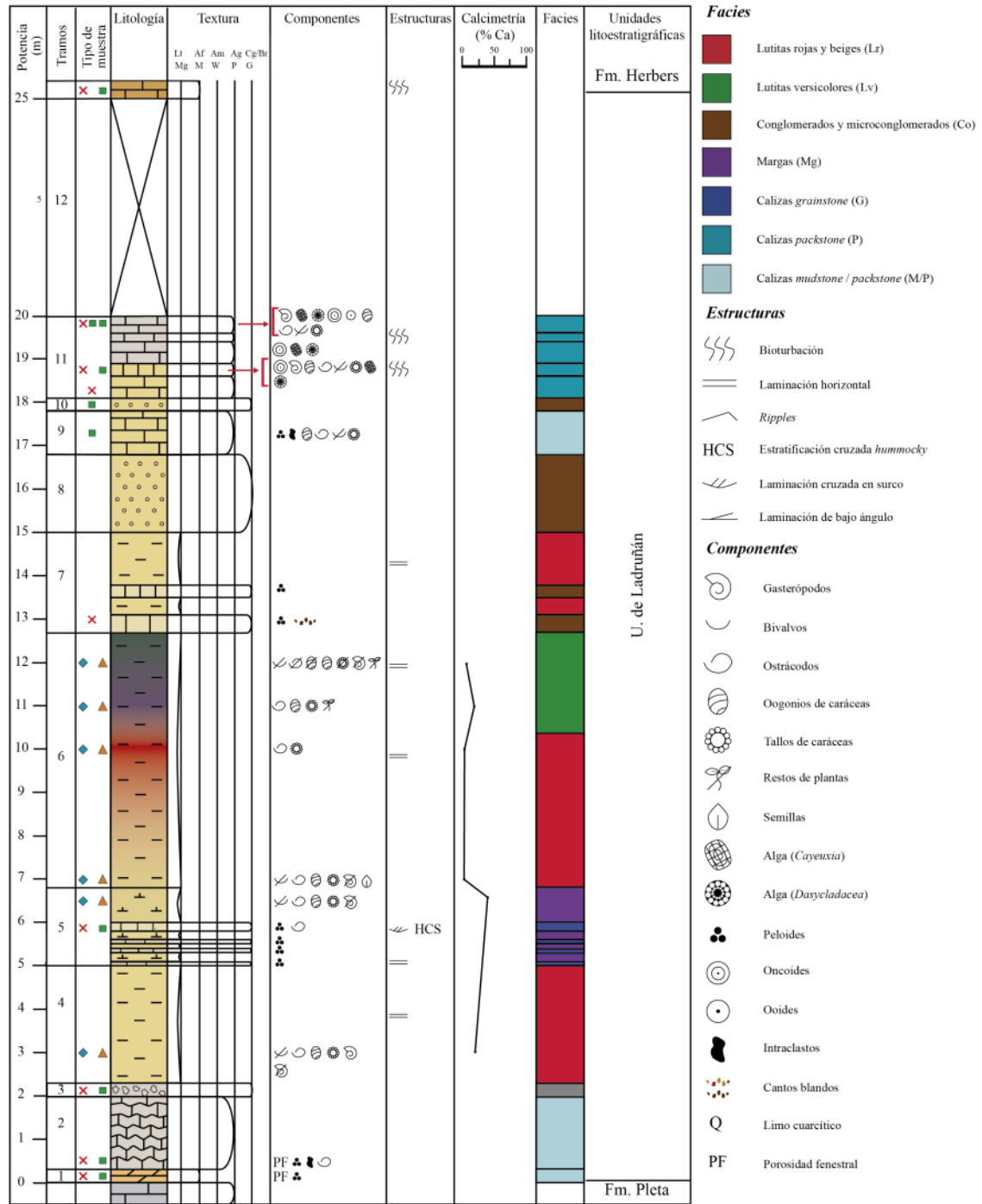
**Tramo 9:** 1 m de calizas ocres dispuestas en niveles decimétricos de geometría tabular. Son de textura *packstone* y contienen peloides, intraclastos, oogonios y tallos de caráceas, ostrácodos y fragmentos de bivalvos.

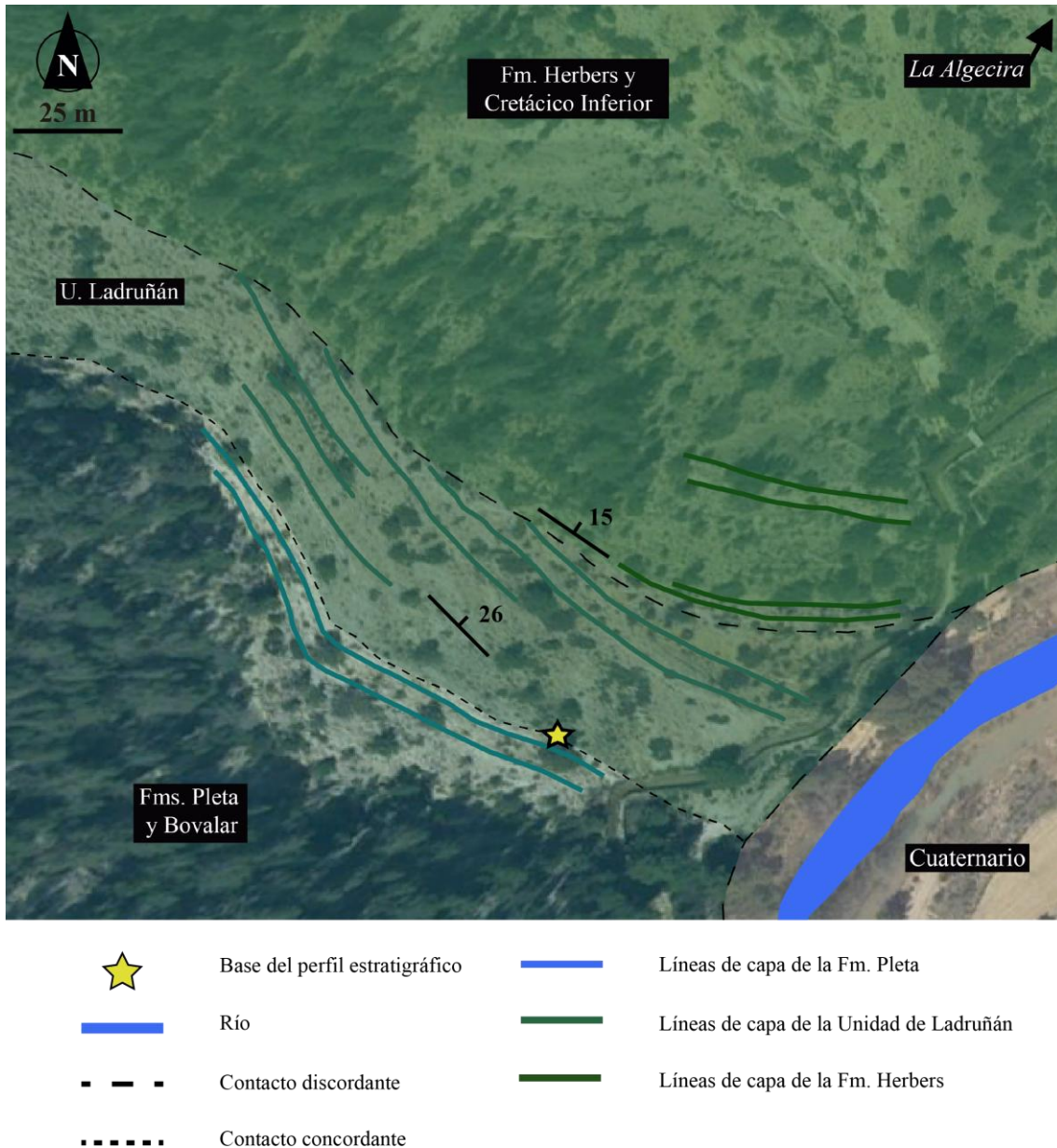
**Tramo 10:** 0,3 m de conglomerados ocres organizados en un único estrato tabular. Presentan cantos calcáreos sostenidos por una matriz microconglomerática y cemento calcáreo. Los cantos son subredondeados a angulosos y presentan un centilo de 15 cm. Al observar en lámina delgada los cantos, se han hallado textura granosostenida por oncoides, ooides, intraclastos, fragmentos de conchas de bivalvos, gasterópodos, oogonios y tallos de caráceas.

**Tramo 11:** 1,9 m de calizas ocres y grises dispuestas en estratos decimétricos con geometría tabular, con textura *packstone*. Contienen oncoides, ooides, gasterópodos y bivalvos, ostrácodos, y oogonios y tallos de caráceas. Algunos de los niveles presentan bioturbación debida a raíces.

**Tramo 12:** 5 m de cubierto.

Perfil de: LA ALGECIRA ; dirección y buzamiento: 131, 26 NE





**Fig. 7.** Cartografía geológica detallada de la Unidad de Ladruñán en el afloramiento de La Algecira.

### ***Perfil de Ladruñán***

En el sector de Ladruñán, la Unidad de Ladruñán no ha podido ser caracterizada en su totalidad, ya que la base (y límite con la Fm. Pleta) se encuentra cubierta. El perfil realizado tiene 60,2 m de potencia ((Fig. 8; una representación sintética del perfil se incluye en el Anexo III). El contacto superior con la Fm. Herbers es una discordancia angular, con una dirección y buzamiento de 160, 20 SE (Fig. 9). El perfil realizado consta de 34 tramos, que se describen a continuación de manera resumida:

**Tramo 1:** 1 m de lutitas grises y rojas dispuestas en niveles tabulares decimétricos. Las lutitas grises tienen 16% de carbonato y contienen fragmentos de gasterópodos y bivalvos, ostrácodos, gasterópodos, y oogonios y tallos de caráceas. Las lutitas rojas están compuestas por un porcentaje de carbonato de 13 %. Presentan fragmentos de bivalvos y gasterópodos, ostrácodos, gasterópodos y tallos de caráceas.

**Tramo 2:** 3 m de calizas ocres dispuestas en estratos tabulares de potencia decimétrica. Tienen textura *packstone* y están compuestos por peloides. Presentan fragmentos de conchas de bivalvos, gasterópodos, ostrácodos y tallos de caráceas. Presentan porosidad fenestral e intensa bioturbación vertical debida a raíces.

**Tramo 3:** 1 m de lutitas grises con un porcentaje de carbonato de 7%, que contienen fragmentos de bivalvos y gasterópodos, ostrácodos, y oogonios y tallos de caráceas.

**Tramo 4:** 0,3 m de calizas ocres dispuestas en un único estrato tabular. Tienen textura *packstone* y contienen peloides, porosidad fenestral, intraclastos, gasterópodos y ostrácodos. Presentan intensa bioturbación debida a raíces.

**Tramo 5:** 4,7 m de lutitas rojas, grises y verdes dispuestas en niveles tabulares de potencia decimétrica a métrica. Algunos de estos niveles son azoicos pero, por lo general, se han encontrado fragmentos de bivalvos y gasterópodos, tallos de caráceas y restos de plantas. El porcentaje de carbonato varía entre 3 y 24%.

**Tramo 6:** 1,7 m de alternancia de calizas grises y lutitas grises, dispuestas en niveles tabulares de potencia decimétrica. Las calizas son de textura *grainstone* y presentan peloides limo cuarcítico y ostrácodos, y tienen trazas de semejantes a *Thalassinoides*, *Rhizocorallium* y *Teichichnus*. Las lutitas contienen en torno a 12% de carbonato y presentan fragmentos de gasterópodos y bivalvos y oogonios de caráceas.

**Tramo 7:** 0,8 m de margocalizas grises.

**Tramo 8:** 1,6 m de calizas ocres con intercalación de lutitas rojas, dispuestas en niveles decimétricos a métricos. Las calizas son de textura *grainstone* de peloides con estratificación cruzada *hummocky* y con posibles niveles de textura *mudstone* con laminación algal con *tepees*.

**Tramo 9:** 1 m de alternancia de lutitas rojas y margocalizas grises de geometría tabular y potencia decimétrica.

**Tramo 10:** 1,4 m de calizas beiges y grises con intercalaciones de conglomerados y margas beiges. Las calizas son de textura *grainstone* y están compuestas por peloides. Presentan *ripples*, laminación horizontal deformada, trazas semejantes a *Thalassinoides*, *Rhizocorallium* y *Teichichnus*, e icnitas de arcosaurio. Los conglomerados son sostenidos por la matriz, y presentan cantos calcáreos subredondeados a angulosos con un centilo de 3 cm, con matriz microconglomerática lutítica y calcárea. Las calizas de este tramo se acuñan lateralmente a margocalizas y lutitas rojas.

**Tramo 11:** 0,9 m de margocalizas y calizas grises en estratos de potencia decimétrica. Las margocalizas tienen geometría tabular, mientras que las calizas presentan forma lenticular. Estas últimas tienen textura *grainstone* con peloides.

**Tramos 12 a 17:** 9,3 m de margas grises con intercalaciones de calizas grises y lutitas rojas. Las margas se disponen en niveles tabulares de potencia decimétrica a métrica, contienen 30% de carbonato y fragmentos de conchas de bivalvos, gasterópodos y ostrácodos, y oogonios y tallos de caráceas. Las calizas se presentan en niveles tabulares decimétricos, son de textura *mudstone* y presentan por bioturbación vertical por raíces. Las lutitas se presentan en niveles de potencia decimétrica. Contienen 21% de carbonato y fragmentos de conchas de bivalvos y gasterópodos, oogonios de caráceas y restos de plantas.

**Tramo 18:** 0,2 m de calizas *grainstone* grises con peloides. Presentan estratificación cruzada *hummocky* y *ripples*.

**Tramo 19:** 2,5 m de alternancia de calizas grises y margas grises en niveles tabulares decimétricos. Las calizas presentan textura *mudstone* y bioturbación vertical por raíces.

**Tramo 20:** 1,4 m de alternancia de calizas grises y margas grises dispuestas en estratos decimétricos. Las calizas son de textura *grainstone* de peloides y presentan *ripples*.

**Tramos 21 a 23:** 6,1 m de margas grises y calizas grises, dispuestas en niveles decimétricos a métricos. Las margas presentan 34% de carbonato y contienen



fragmentos de conchas de bivalvos y gasterópodos, oogonios y tallos de caráceas y fragmentos de los mismos. Las calizas tienen textura *mudstone* y presentan bivalvos, gasterópodos y ostrácodos y bioturbación vertical por raíces. En el tramo 22 se reconoce un nivel de lutitas negras (9% de carbonato) con fragmentos de conchas de bivalvos, gasterópodos y restos de plantas.

**Tramo 24:** 1,8 m de alternancia de calizas grises y margocalizas grises en niveles decimétricos tabulares, Las calizas son de textura *grainstone* y contienen peloides, limo cuarcítico, oogonios de caráceas, fragmentos de bivalvos y miliólidos. Como estructuras sedimentarias se observan *ripples*.

**Tramo 25:** 39,2 a 39,5 m. 0,3 m de calizas *mudstone* grises tabulares afectadas por bioturbación vertical de raíces.

**Tramo 26:** 3,1 m de lutitas grises tabulares. Presentan fragmentos de bivalvos, gasterópodos, oogonios de caráceas y restos de plantas. Contienen un porcentaje de carbonato de 13,68%

**Tramo 27:** 1,5 m de margocalizas y calizas grises dispuestas en niveles tabulares de potencia decimétrica. Las calizas de la base tienen textura *grainstone* con peloides y laminación horizontal, y las de techo son calizas *mudstone*.

**Tramo 28:** 0,9 m de lutitas beige y negras de potencia decimétrica dispuestas en niveles tabulares. Las lutitas negras contienen fragmentos de conchas de bivalvos y gasterópodos, restos de plantas y tallos de caráceas, y presentan laminación horizontal. Contiene un porcentaje de carbonato de 6,32%.

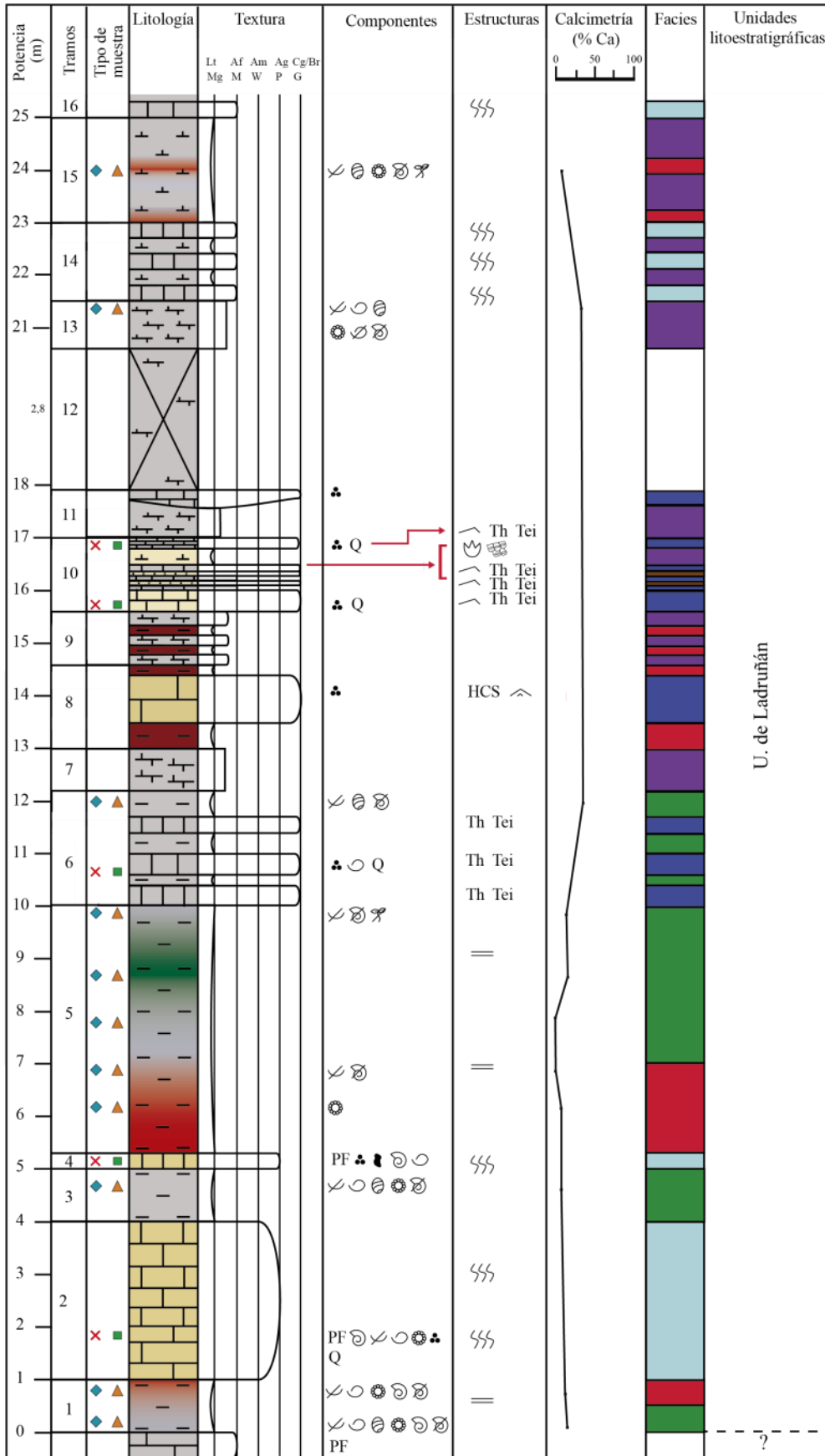
**Tramo 29:** 3,5 m de cubierto.

**Tramo 30:** 4 m de calizas grises con intercalación de lutitas grises y negras, dispuestas en estratos tabulares de base y techo irregulares de potencia decimétrica. Las calizas tienen textura *packstone* con peloides, conchas de bivalvos, ostrácodos, oogonios de caráceas y foraminíferos, y pueden presentar porosidad fenestral y bioturbación vertical por raíces. Las lutitas negras son azoicas y presentan laminación horizontal. Las lutitas

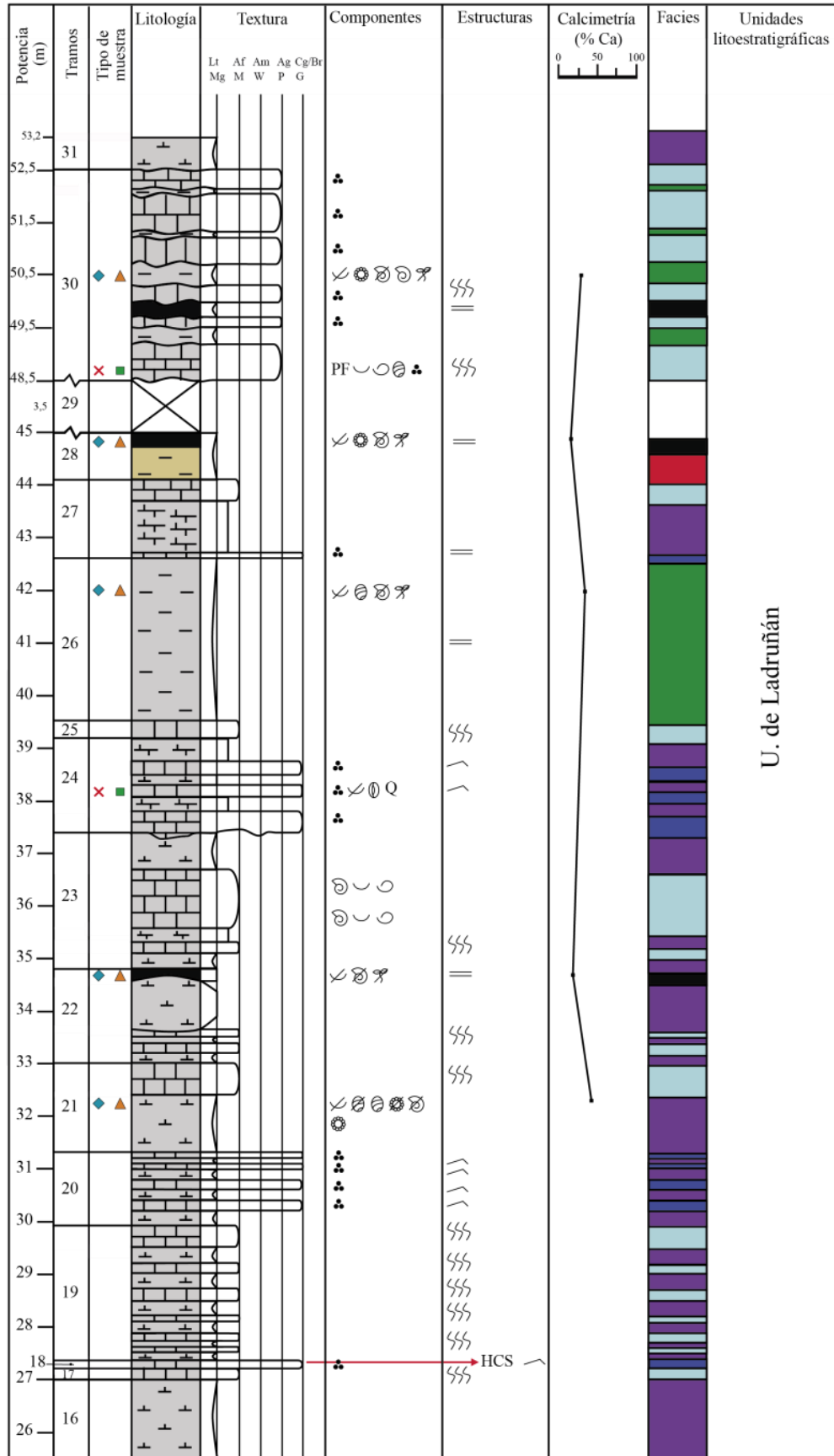
grises contienen fragmentos de conchas de bivalvos y gasterópodos, gasterópodos, tallos de caráceas y restos de plantas. Su contenido de carbonato es de 12,63%.

**Tramo 31 a 34:** 7,7 m de calizas grises con intercalación de margas y margocalizas grises, dispuestas en bancos tabulares de potencia decimétrica a métrica. Las calizas tienen textura *grainstone* con peloides y, en su mayoría, están afectados por bioturbación vertical por raíces. El tramo 31 contiene intraclastos, limo cuarcítico, porosidad fenestral, ostrácodos, conchas de bivalvos y oogonios de caráceas. Dentro del tramo 33 se observa un nivel con laminación horizontal y, a techo del tramo 34 se encuentra una brecha calcárea debida a la bioturbación vertical por raíces.

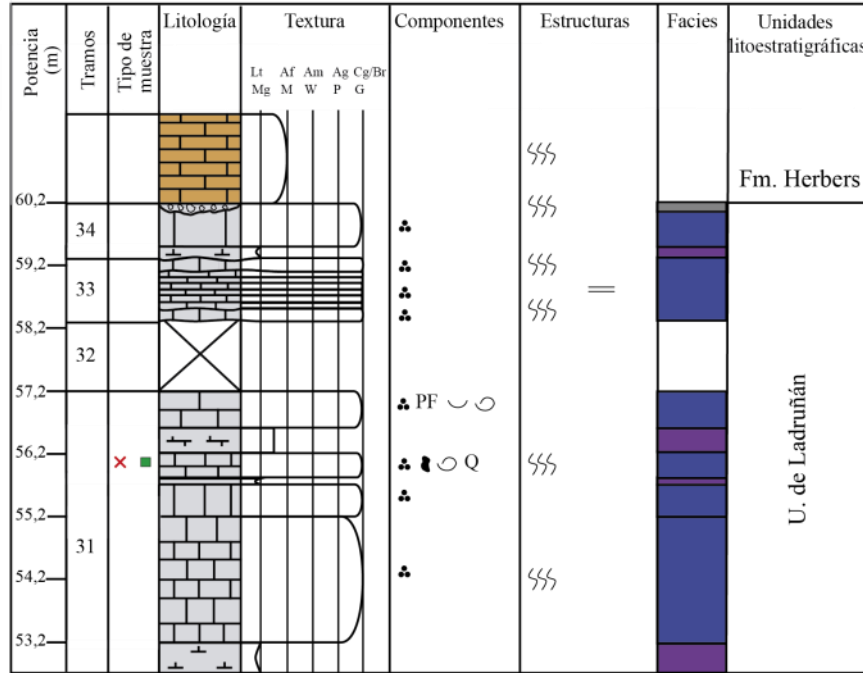
Perfil de: LADRUÑÁN; dirección y buzamiento: 080,05 SE



Perfil de: LADRUÑÁN; dirección y buzamiento: 080,05 SE



Perfil de: LADRUÑÁN; dirección y buzamiento: 080,05 SE



**Facies**

- Lutitas rojas y beigeas (Lr)
- Lutitas versicolores (Lv)
- Lutitas negras (Ln)
- Conglomerados y microconglomerados (Co)
- Brechas (Br)
- Margas (Mg)
- Calizas *grainstone* (G)
- Calizas *mudstone / packstone* (M/P)

**Estructuras**

- Bioturbación
- Th** Trazas fósiles (*Thalassinoides*)
- Tei** Trazas fósiles (*Teichichmus* o *Rhizocorallium*)
- Tepees*
- Laminación horizontal
- Ripples*
- HCS** Estratificación cruzada *hummocky*
- Laminación cruzada en surco
- Laminación de bajo ángulo
- Icnita (indeterminado)
- Icnita de escamas de *arcosaurio*

**Componentes**

- Gasterópodos
- Bivalvos
- Ostrácodos
- Oogonios de caráceas
- Tallos de caráceas
- Restos de plantas
- Semillas
- Miliólidos
- Peloides
- Intraclastos
- Q** Limo cuarcítico
- PF** Porosidad fenestral

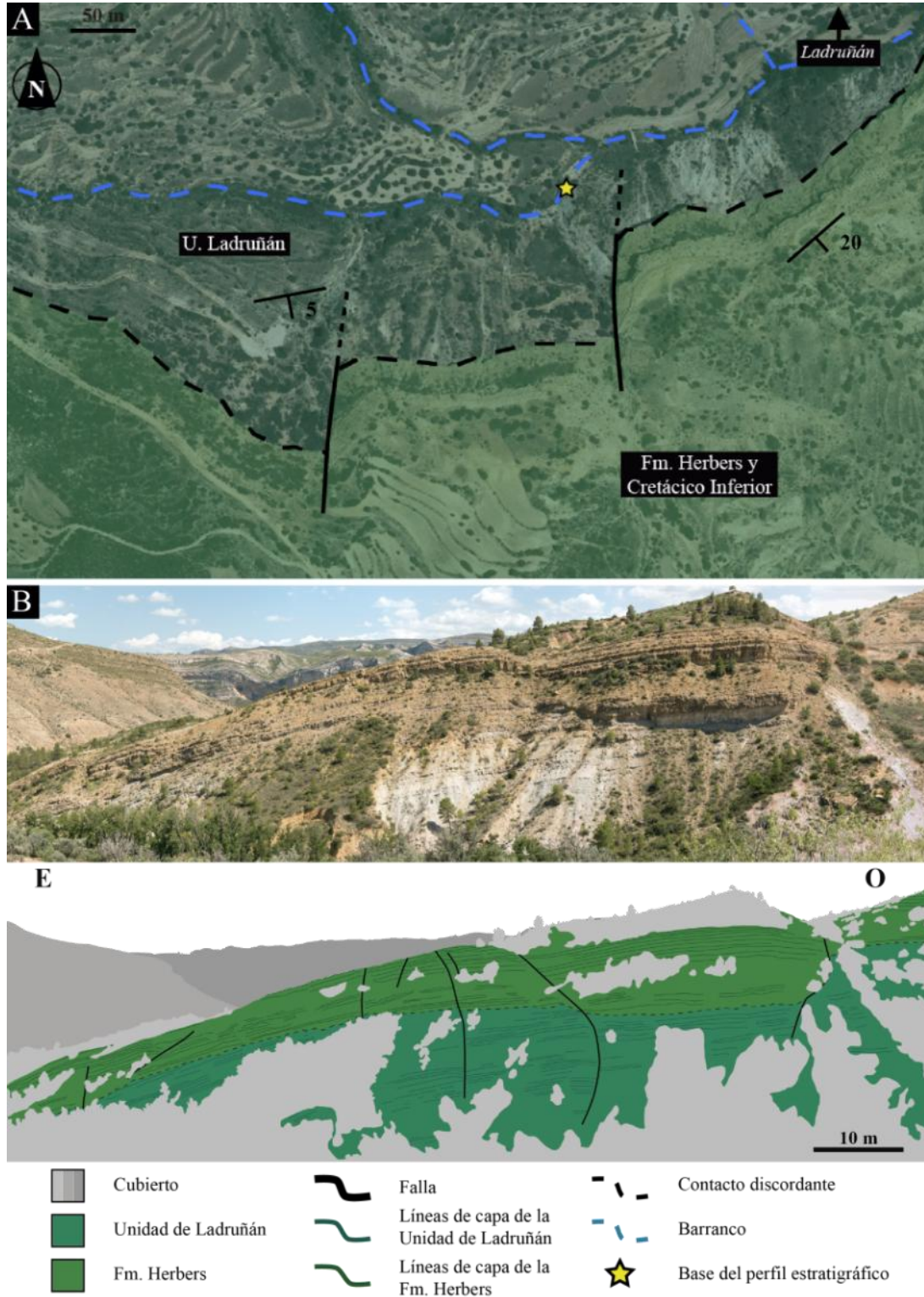
**Litología**

- Conglomerados
- Conglomerados y microconglomerados
- Brechas
- Lutitas
- Margas
- Margocalizas
- Calizas

**Muestras**

- Muestra de mano
- Lámina delgada
- Levigado
- Calcimetría

**Fig. 8.** Perfil de la Unidad de Ladruñán en el afloramiento de Ladruñán. Ver Tabla 1 para la leyenda de facies.



**Fig. 9.** Cartografía geológica (A) e imagen de afloramiento (B) de la Unidad de Ladruñán en los alrededores de Ladruñán.

## 5.2. DESCRIPCIÓN DE FACIES

Se han reconocido nueve facies que se agrupan en tres grandes tipos de facies (Figs. 4, 6 y 8): detríticas, mixta y carbonatadas. Imágenes ilustrativas de las mismas se incluyen en los Anexos IV a XI. A continuación se resumen las principales características de cada facies (Tabla 1).

- 1) Facies detríticas. Abarcan cinco facies: facies de lutitas rojas y beiges (Lr), facies de lutitas versicolores (Lv), facies de lutitas negras (Ln), facies de conglomerados y microconglomerados (Co) y facies de brechas (Br).

La facies de *lutitas rojas y beiges (Lr)* corresponde a lutitas dispuestas en niveles de potencia decimétrica con laminación horizontal. Presentan un porcentaje de carbonato entre el 1 y 20% y contienen fragmentos de conchas de bivalvos y gasterópodos, ostrácodos, oogonios y tallos de caráceas, y, ocasionalmente, semillas y restos de plantas (Anexos IV y V, A).

La facies de *lutitas versicolores (Lv)* son lutitas moradas, verdes y grises estratificadas en niveles de potencia decimétrica a métrica que pueden llegar a tener laminación horizontal. Presentan entre 4 y 25% de CaCO<sub>3</sub>. El contenido fosilífero está compuesto por ostrácodos, oogonios y tallos de caráceas, restos de conchas de bivalvos y gasterópodos y, ocasionalmente, gasterópodos enteros y restos de plantas (Anexos IV y V, B).

La facies de *lutitas negras (Ln)* aparecen en niveles tabulares decimétricos con laminación horizontal. Estas lutitas presentan un porcentaje de CaCO<sub>3</sub> entre 5 y 9% y contienen fragmentos de conchas de bivalvos, gasterópodos, restos de plantas, y ocasionalmente, tallos de caráceas (Anexos IV y V, C).

La facies de *conglomerados y microconglomerados (Co)* se dispone en estratos de potencia decimétrica y geometría tabular. Los conglomerados son granosostenidos y presentan cantos calcáreos (calizas fangosas (facies *mudstone/packstone*, M/P), peloidales (facies *grainstone*, G) y oncolíticas (facies *packstone*, P) heterométricos con



un centilo en torno a 10 cm, subredondeados a angulosos, con una matriz microconglomerática y cemento calcáreo (Anexo VI).

La facies de *brechas calcáreas* (*Br*) se presenta en niveles métricos de geometría tabular y con una textura granosostenida. Contienen cantos de naturaleza calcárea y, ocasionalmente, conglomerados soportados por la matriz, ésta última lutítica - calcárea. Los cantos que conforman el esqueleto son subangulosos, y presentan un centilo alrededor de 5 cm (Anexo VII).

## 2) Facies mixta.

Corresponde a *facies de margas* (*Mg*) que aparece estratificada en niveles de potencia decimétrica a métrica con geometría tabular, aunque ocasionalmente poseen geometría lenticular de base plana y techo convexo. El contenido de carbonato oscila entre el 30 y el 35%. Por lo general, no presentan estructuras sedimentarias asociadas. Se han hallado fragmentos de conchas de bivalvos y gasterópodos, ostrácodos, oogonios y tallos de caráceas y, ocasionalmente, restos de plantas (Anexos IV y VIII)

## 3) Facies carbonatadas. Abarcan tres facies: facies *grainstone* (*G*), facies *packstone* (*P*) y facies *mudstone/packstone* (*M/P*).

La facies *grainstone* (*G*) corresponde a niveles de caliza, de potencia decimétrica a métrica y dispuestas en niveles tabulares e irregulares (base y techo ondulados), y ocasionalmente estratificación cruzada planar. Presentan estructuras sedimentarias como estratificación cruzada *hummocky*, *ripples* y laminación horizontal. El componente principal son peloides líticos (fragmento de sedimento de textura *mudstone*: Flügel, 2010), junto con un porcentaje variable de limo de cuarzo, bioclastos de bivalvos, ostrácodos, miliólidos y, ocasionalmente, oogonios de caráceas. Ocasionalmente, presentan trazas fósiles de *Thalassinodes*, *Teichichnus* y *Rhizocorallium* (Anexos IX y XII, “Facies carbonatadas *grainstone* (*G*)”).

La facies *packstone* (*P*) corresponde a calizas dispuestas en estratos tabulares e irregulares de potencia decimétrica, que contiene ooides, oncoides y bioclastos y una matriz compuesta por micrita y micropeloides. Los granos no esqueléticos están



representados por peloides de origen microbiano, ooides y oncoides; mientras que los granos esqueléticos están constituidos por bivalvos, gasterópodos, oogonios y tallos de caráceas, ostrácodos y algas dasicladaceas. En estas facies, los oncoides presentan un diámetro de 4 a 5 mm. Las envueltas están compuestas por micrita y posibles cianobacterias, mientras que en sus núcleos se observan algas *Cayeuxia* o fragmentos de conchas de bivalvos. Los ooides tienen un diámetro de en torno a 2 mm, envueltas micríticas y núcleos compuestos por bioclastos (oogonios y tallos de caráceas) (Anexos X y XII, “Facies carbonatadas *packstone* (P)”)

La facies de *mudstone/packstone* (M/P) corresponde a calizas estratificadas, dispuestas en estratos de potencia decimétrica a métrica con geometría tabular y lenticular, que presentan una textura variable a nivel de capa, reconociéndose láminas o intervalos fangosos y granosostenidos, ambos con micropeloides de origen microbiano. En el caso de la textura *packstone*, muestra también granos esqueléticos, incluyendo gasterópodos, bivalvos, ostrácodos y tallos de caráceas. Se observan porosidad fenestral rellena de calcita y, localmente, galerías de bioturbación de pocos milímetros de diámetro rellenas de micrita (Anexos XI y XII, “Facies carbonatadas *mudstone / packstone* (M/P)”)

### 5.3.CORRELACIÓN

Se ha llevado a cabo una correlación entre los perfiles de Ladruñán, La Algecira y Luco de Bordón, basada en las facies dominantes observables a lo largo de la sucesión vertical en cada perfil (Fig. 10).

La base de los perfiles se ha considerado como una superficie isócrona, debido a la relativa cercanía espacial entre los perfiles y ya que, en el caso de La Algecira y Luco de Bordón, corresponde al límite con la Fm. Pleta. Por otra parte, la base del perfil de Ladruñán es incierta, ya que se encuentra cubierta. Se ha considerado la base en este perfil por muy próximo al primer tramo lutítico aflorante, debido a las características de los primeros materiales de la unidad, muy semejantes a los de la parte inferior de los otros dos perfiles, y tentativamente se ha considerado como techo de la Fm. Pleta el primer estrato calcáreo observable a base de la columna litoestratigráfica (ver Fig. 8).

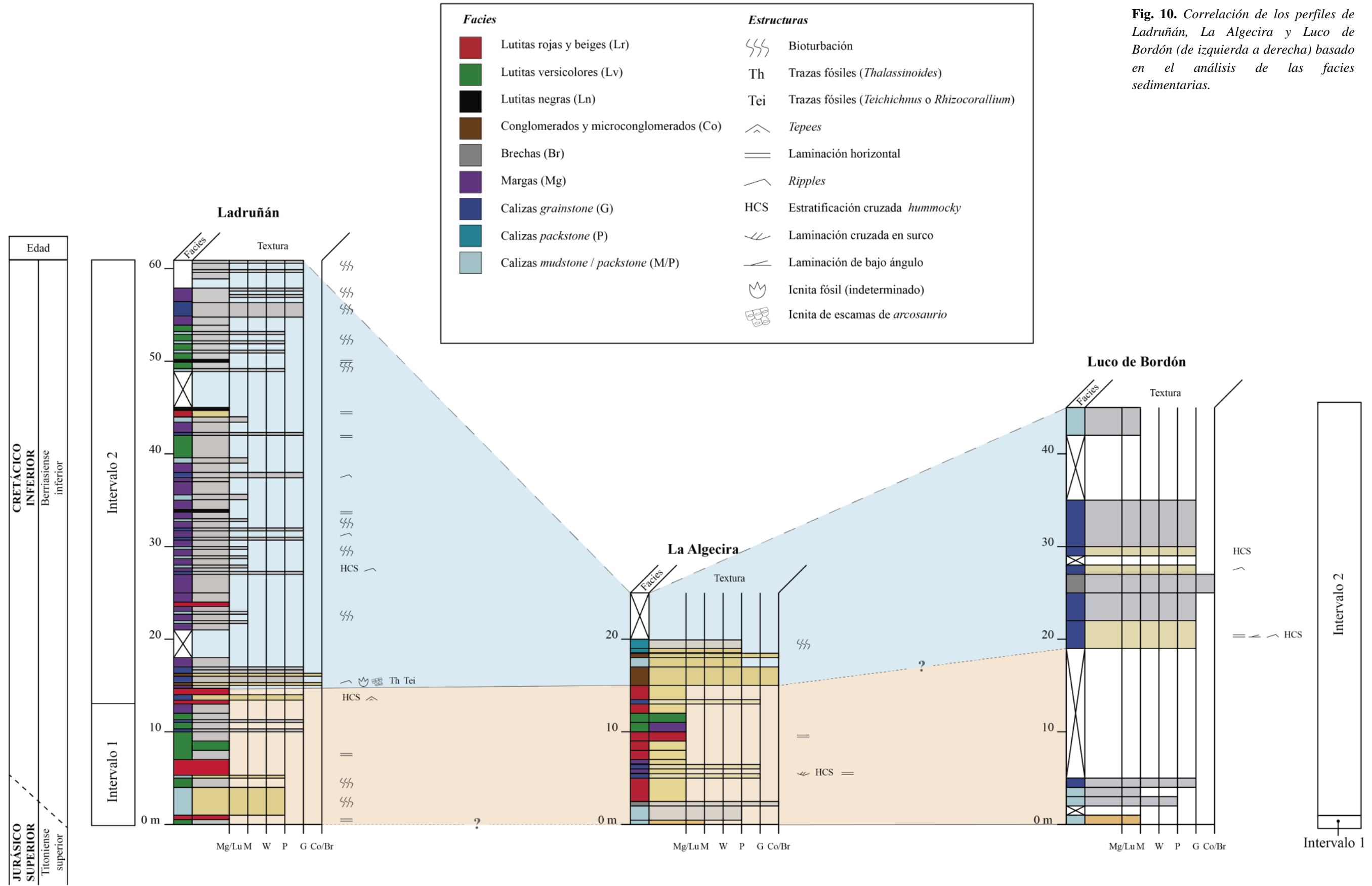
Se ha diferenciado dos intervalos (intervalo 1 y 2) dentro de la Unidad de Ladruñán (Fig. 10). El límite entre ambos viene marcado por un cambio en la proporción relativa de materiales detríticos y carbonatados, con el intervalo 1 dominado por facies detríticas y el intervalo 2 con predominio de facies carbonatadas, que se ha podido definir de forma precisa entre los perfiles de Ladruñán y La Algecira. Sin embargo, en el perfil de Luco de Bordón este límite no se ha podido definir claramente. No obstante, debido a que en la parte inferior de este perfil se encuentra un tramo bastante cubierto, se ha supuesto que su litología será predominantemente margosa o lutítica y que, por tanto, esta parte inferior podría corresponder al intervalo 1.

El intervalo 1 abarca un espesor de unos 17 m. Se caracteriza por ser una secuencia con predominancia de las facies lutíticas (lutitas rojas, Lr, y versicolores, Lv) y, en menor medida, facies de calizas *grainstone* (G), calizas *mudstone/packstone* (M/P), conglomerados y microconglomerados (Co) y brechas (Br). Dentro de esta secuencia, se han hallado oogonios de caráceas que han permitido datar la serie como Berriasiense inferior: *Clavator grovesii grovesii* y *Clavator reidii* sp. *pseudoglobatoroides* (Anexo IV, G y H; respectivamente); coincidiendo, así mismo, con la datación que hizo Martín-Closas (1989) en su tesis doctoral sobre la Unidad de Ladruñán. De acuerdo con estos datos, el depósito de la Unidad de Ladruñán se iniciaría probablemente en el Berriasiense.

El intervalo 2 está dominada por facies carbonatadas, como son las facies de calizas *mudstone/packstone* (M/P), calizas *grainstone* (G) y margas (Mg), y, en menor proporción, calizas *packstone* (P), lutitas rojas (Lr), lutitas versicolores (Lv), lutitas negras (Ln), conglomerados y microconglomerados (Co) y brechas (Br). Se trata de un intervalo con mayor influencia marina, ya que en estas facies se reconoce la presencia de restos fósiles de miliólidos y algas dasicladáceas y *Cayeuxia* en algunas de sus facies (facies de calizas *granistone* y facies de calizas *packstone*, respectivamente) en los tres perfiles (Canérot, 1974).

Facies		Símbolo	Componentes	Estratificación y estructuras sedimentarias
Facies detríticas	Lutitas rojas y beigeas	Lr	Fragmentos de conchas de bivalvos y gasterópodos, ostrácodos, oogonios y tallos de caráceas. Ocasional: Semillas y restos de plantas.	Laminación horizontal.
	Lutitas versicolores	Lv	Ostrácodos, oogonios y tallos de caráceas, restos de conchas de bivalvos y gasterópodos Ocasional: Gasterópodos y restos de plantas.	Laminación horizontal.
	Lutitas negras	Ln	Fragmentos de conchas de bivalvos, gasterópodos, restos de plantas . Ocasional: Tallos de caráceas.	Laminación horizontal.
	Conglomerados y microconglomerados	Co	Cantos calcáreos: calizas fangosas (facies M/P), peloidales (facies G) y oncolíticas (facies P). Matriz microconglomerática. Cemento calcáreo.	Estratos tabulares.
	Brechas calcáreas	Br	Cantos de naturaleza calcárea. Matriz lutítica – calcárea.	Geometría tabular.
Facies mixtas	Margas	Mg	Carbonato entre el 30 y el 35%. Fragmentos de conchas de bivalvos y gasterópodos, ostrácodos, oogonios y tallos de caráceas. Ocasional: Restos de plantas.	Geometría tabular o en montículos.
Facies carbonatadas	<i>Grainstone</i>	G	Peloides líticos. Limo de cuarzo, bioclastos de bivalvos, ostrácodos, miliólidos Ocasional: Oogonios de caráceas.	Niveles tabulares e irregulares. Laminación cruzada planar, estratificación cruzada <i>hummocky</i> , <i>ripples</i> y laminación horizontal. Trazas de <i>Thalassinodes</i> y trazas de <i>Teichichnus</i> o <i>Rhizocorallium</i> . Icnitas de arcosaurio.
	<i>Packstone</i>	P	Ooides, oncoides. Matriz compuesta por micrita y micropeloides. Bivalvos, gasterópodos, oogonios y tallos de caráceas, ostrácodos y algas <i>Dasycladacea</i> y algas <i>Cayeuxia</i>	Estratos tabulares e irregulares.
	<i>Mudstone / packstone</i>	M/P	Micropeloides de origen microbiano, peloides. Porosidad fenestral. Ocasional: Gasterópodos, bivalvos, ostrácodos y tallos de caráceas.	Geometría tabular y lenticular. Bioturbaciones verticales debidas a raíces.

**Tabla 1.** Tabla de descripción de las facies identificadas en los perfiles de Luco de Bordón, La Algercira y Ladruñán. En el Anexo V a XI se muestra una serie de imágenes representativas de cada facies, tanto en afloramiento, en detalle y de microscopio.



**Fig. 10.** Correlación de los perfiles de Ladruñán, La Algecira y Luco de Bordón (de izquierda a derecha) basado en el análisis de las facies sedimentarias.

## 6. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

### 6.1. INTERPRETACIÓN DE FACIES Y RECONSTRUCCIÓN PALEOAMBIENTAL

El análisis de las facies diferenciadas en los materiales de la Unidad de Ladruñán en los perfiles de Ladruñán, La Algecira y Luco de Bordón ha permitido diferenciar los subambientes de sedimentación en los que se depositaron dichos materiales (Fig. 11).

Se han distinguido varios subambientes en función de las facies identificadas (Tabla 2):

#### ***Llanura lutítica costera***

En este subambiente se incluyen tanto las facies de lutitas rojas y beiges (Lr), facies de lutitas versicolores (Lv), facies de lutitas negras (Ln) y facies de margas (Mg).

Estas facies se interpretan como depósitos llanura próxima a la costa de baja energía, con aportes detríticos finos de origen continental. Estas facies, por lo general, presentan restos de bivalvos, gasterópodos, ostrácodos, tallos y oogonios de caráceas y restos de plantas, además de laminación horizontal.

La facies de lutitas rojas y beiges (Lr) probablemente se depositaron en zonas emergidas, bien drenadas y oxidadas; mientras que las facies de lutitas versicolores (Lv), de lutitas negras (Ln) y de margas (Mg) representarían depósitos en zonas pobremente drenadas y con posible influencia marina episódica; correspondiéndose con charcas o *ponds* en la llanura o con zonas extensas laterales a las lutitas rojas y beiges.

Por su parte, dentro de las zonas pobremente drenadas, las facies de lutitas negras representan zonas con mayor cantidad de materia orgánica preservada. Por otro lado, las facies de lutitas versicolores serían zonas más afectadas por la acción de raíces.

#### ***Llanura de mareas***

Este subambiente queda representado por la facies de calizas *mudstone/packstone* (M/P) y la facies de brechas (Br).

La facies de calizas *mudstone/packstone* presentan gasterópodos, bivalvos, ostrácodos, tallos de caráceas, porosidad fenestral y, localmente, galerías de bioturbación. Se encuentran afectadas por bioturbación vertical debidas a raíces.

La porosidad fenestral es indicativa de exposición subaérea, por lo que estos carbonatos probablemente se depositaron en la zona supramareal a intermareal. La presencia de peloides de origen microbiano y la baja presencia de granos esqueléticos indican un depósito en zonas de baja energía. La presencia de estas facies tanto en niveles continuos potentes como en niveles discontinuos de menor espesor laterales a las facies lutíticas y margosas (ver fig. 10) hace pensar en 1) la existencia tanto de un cinturón de carbonato situado en la zona intermareal como en 2) la formación de charcas o *ponds* dentro de la zona supramareal e influenciada por la subida y bajada de las mareas; respectivamente.

Asociadas a estas facies, se encuentran las facies de brechas (Br), que están caracterizadas por cantos calcáreos subangulosos y por una matriz de naturaleza lutítica – carbonatada. Se han interpretado como intensos procesos de edafización sobre las facies de calizas *mudstone/packstone* en los momentos de nivel del mar bajo.

#### ***Depósitos de alta energía en la zona supra e intermareal.***

A este tipo de depósitos pertenecerían las facies de calizas *grainstone* (G), de calizas *packstone* (P) como la facies de conglomerados y microconglomerados (Co).

La facies de calizas *grainstone* están formadas por peloides líticos y por una menor proporción de limo de cuarzo y granos esqueléticos (bivalvos, ostrácodos y miliólidos, principalmente). Además, estas facies suelen estar afectadas por estructuras tractivas, que incluyen estratificación cruzada *hummocky*, *ripples* y laminación horizontal y de bajo ángulo. Localmente, presentan bioturbación vertical debida a raíces, trazas de *Thalassinoies*, de *Teichichnus* y *Rhizocorallium* e incitas de arcosaurio. Puntualmente, pueden estar intercaladas a nivel de capa con las facies de calizas *mudstone/packstone*, formando capas centimétricas con alternancia de estas facies (Anexo XIII.); y también entre la facies de margas y la facies lutitas rojas y beigeas (e.g. Laduñán) como posibles depósitos de *whasover* (Fig. 11).

Por otra parte, las facies de calizas *packstone* se caracterizan por la abundancia de bivalvos, gasterópodos, algas dasicladáceas y oncoides, y, en menor medida, algas *Cayeuxia*, algas caráceas, intraclastos micríticos, ooides y peloides. Localmente, presentan bioturbación vertical por raíces.

Así, las facies de calizas *grainstone* representan condiciones de alta energía durante su depósito. Diferentes características de estas facies hacen pensar que estas facies representan sedimentos retrabajados por oleaje y tormentas correspondientes con las facies de plataforma submareal somera, y su posterior depósito en la zona de llanura costera y llanura supra-intermareal: 1) la presencia de peloides líticos que indican el retrabajamiento de facies fangosas (Flügel, 2010), que podrían corresponder a la facies *mudstone/packstone* y/o bien a facies carbonatadas fangosas submareales, no registradas en las series; 2) la presencia de miliólidos demuestra que los granos proceden del medio marino somero, y que el depósito posterior al retrabajamiento se realiza en la zona costera y en la llanura supra e intermareal; 3) la abundancia de estructuras tractivas debida al oleaje y a las tormentas (especialmente estratificación cruzada *hummocky*); 4) la intercalación a nivel de capa con las facies *mudstone/packstone*; 5) la presencia de estas facies intercaladas en las facies lutíticas y margosas de la llanura costera; y 6) la presencia de bioturbación vertical por raíces en estas facies, que reflejaría su acumulación en zonas emergidas.

Por otra parte, las facies de calizas *packstone* se interpretan como depósitos de alta energía con granos procedentes de zonas más abiertas, y que se depositaron en los dominios intermareales a submareales someros, debido a 1) la presencia tanto de algas dasicladáceas como de *Cayeuxia*, características ambas de sistemas marinos abiertos no restringidos; 2) presencia de una textura granosostenida con presencia de ooides; y 3) presencia de oncoides (Flügel, 2010).

Relacionadas con la facies de calizas *mudstone/packstone*, *packstone* y *grainstone* se encuentran las facies de conglomerados y microconglomerados. Estas facies se caracterizan por tener cantos calcáreos de calizas fangosas (facies *mudstone/packstone*, M/P), peloidales (facies *grainstone*, G) y oncolíticas (facies *packstone*, P), matriz microconglomerática y cemento calcáreo. La gran variedad litológica y redondeamiento

que poseen los clastos indican que fueron erosionados y depositados cerca del área fuente, probablemente producto de la acción de *tsunamis* o de tormentas.

Facies	Dominio mareal	Subambiente	Proceso / Origen
Lutitas rojas y beigeas	Dominio supramareal	Llanura lutítica costera	Zonas bien drenadas y oxidadas
Lutitas versicolores		Llanura lutítica costera	Zonas pobremente drenadas y con cierta influencia marina ( <i>ponds</i> )
Lutitas negras		Llanura lutítica costera	Zonas pobremente drenadas y con gran cantidad de materia orgánica preservada ( <i>ponds</i> )
Margas	Dominio intermareal	Llanura lutítico costera	Zonas pobremente drenadas ( <i>ponds</i> ) y/o con influencia marina
<i>Mudstone / packstone</i>		Llanura de mareas	Zonas de baja energía con exposición subaérea y formación <i>ponds</i>
Brechas calcáreas		Llanura de mareas	Intensa edafización
<i>Grainstone</i>	Dominio supra e intermareal	Llanura de mareas a llanura lutítica costera	Episodios de oleaje de tormenta
<i>Packstone</i>		Llanura de mareas a llanura lutítica costera	Zonas marinas abiertas de alta energía
Conglomerados y microconglomerados		Llanura de mareas	<i>Tsunami</i> o fuertes episodios de oleaje de tormenta

**Tabla 2.** Tabla resumen de las facies identificadas y su medio de depósito. En la fig. 12 se representa la reconstrucción ambiental del medio de depósito dichas facies.





**Fig. 11.** *Facies de calizas grainstone (G) intercalada tanto en la facies de lutitas rojas y beigeas (Lr) como en la facies de margas (Mg). Se han interpretado como posibles depósitos de whasover.*

## 6.2.EVOLUCIÓN SEDIMENTARIA

La Unidad de Ladruñán es una unidad que abarca tanto facies terrígenas clásticas, como terrígeno-carbonatadas y carbonatadas, que reflejan diferentes contextos de depósito e incluyen desde una llanura lutítica costera hasta una llanura mareal dominada por el oleaje.

Con ello, se ha podido diferenciar dos estadios de evolución sedimentaria, coincidentes con los intervalos 1 y 2 del apartado de “Correlación”:

El estadio 1 representa un depósito mixto detrítico y carbonatado dentro de la llanura lutítica costera y la llanura de mareas (Fig. 12, A). Las facies de lutitas rojas se concentran únicamente en la llanura lutítica costera en el dominio supramareal, aumentando la proporción de las facies de carbonatadas hacia dominios de mayor influencia marina. Dentro de la llanura lutítica costera existen zonas deprimidas mal

drenadas (charcas o *ponds*) que quedarían inundadas durante los episodios de tormenta o de subida del nivel del mar, donde se acumulan las facies de lutitas versicolores, lutitas negras y margas.

Dentro de este estadio también se incluyen la sedimentación en llanuras de marea, en dominio intermareal y en dominio submareal somero, donde se depositan facies carbonatadas. El dominio intermareal estaría caracterizado por las facies de calizas *mudstone/packstone*; mientras que las facies de calizas *grainstone*, formadas por el retrabajamiento de los carbonatos de la zona submareal debida a episodios de tormenta, están acumuladas como depósitos de tormenta tanto en la zona submareal somera como en la llanura lutítica costera.

Por otra parte, dentro de la llanura lutítica costera, en el dominio intermareal (dominado por la facies de margas) se generan zonas deprimidas mal drenadas en momentos del nivel del mar bajo. Estas zonas deprimidas (*ponds*) se quedarían inundadas en estos momentos de bajada del nivel del mar, precipitando los carbonatos que producen las facies de calizas *mudstone/packstone* y estableciéndose la flora y fauna correspondientes en estos ambientes.

El estadio 2 (Fig. 12, B) se caracteriza por el depósito en una llanura mixta lutítico-carbonatada costera, en una llanura de mareas dominada por el oleaje y en la zona submareal somera.

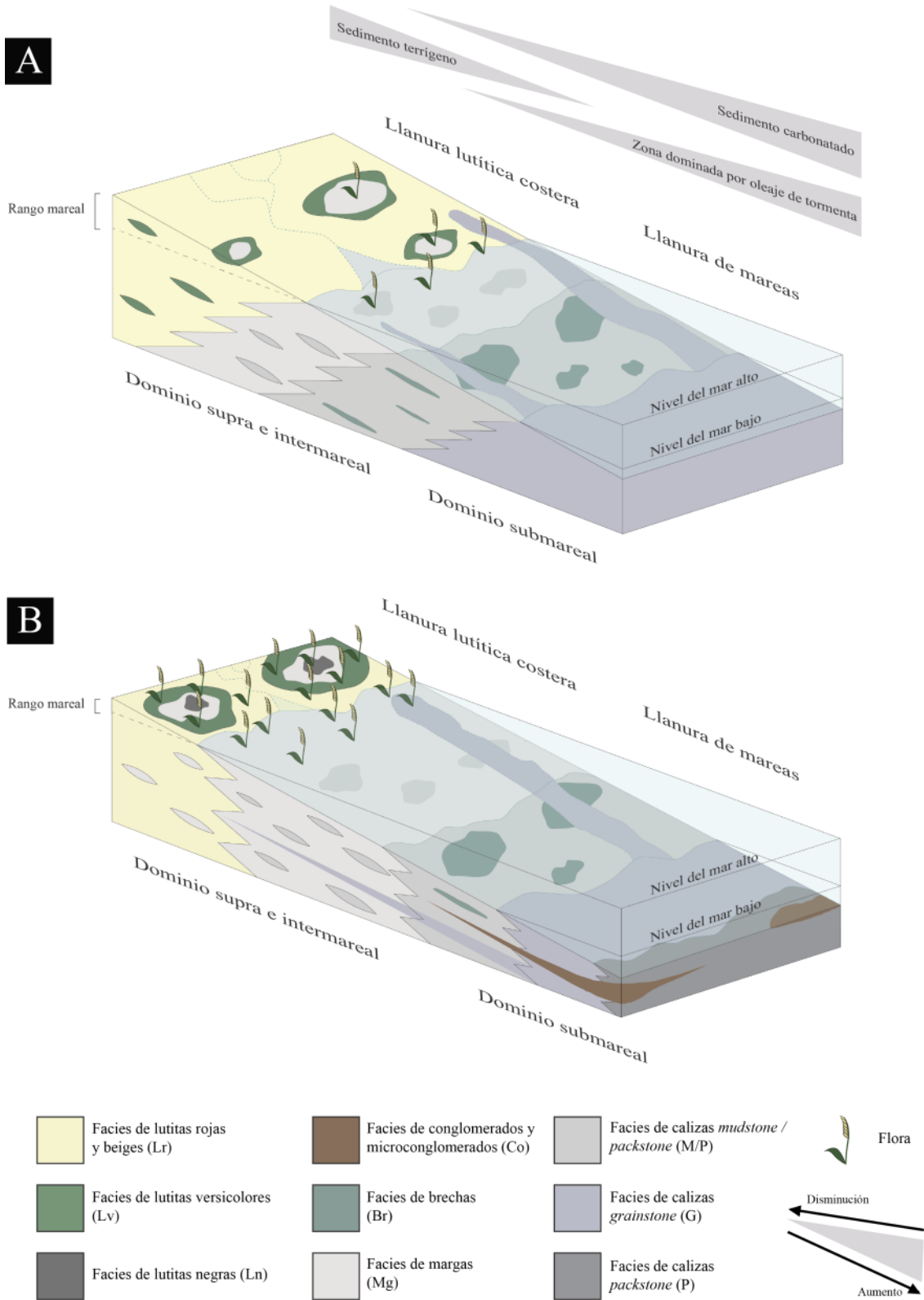
La llanura costera mixta está principalmente dominada por las facies de margas, lo que puede implicar una ampliación de los *ponds* o de las margas depositadas en el dominio intermareal debido a una subida prolongada temporalmente del nivel del mar. Dentro de esta plataforma también existen zonas oxidadas y bien drenadas donde se depositarían las facies de lutitas rojas y beiges. En los *ponds*, junto de con las margas, se depositan las facies de lutitas versicolores y las facies de lutitas negras. La aparición de lutitas negras en esta secuencia, junto con la abundancia de bioturbación vertical con raíces que se encuentra a lo largo de la serie (Fig. 11), hace pensar en un aumento de la vegetación dentro de la plataforma lutítico-carbonatada costera.

En momentos de bajada del nivel del mar, dentro de la llanura costera, existen *ponds* que quedan inundados y donde se acumulan las facies de calizas *mudstone/packstone*. A su vez, estas facies están afectadas por la actividad de raíces de vegetales.

La llanura de mareas está generalmente formada por las facies de calizas *mudstone/packstone*, que quedan expuestas debido a una bajada de nivel del mar y sometidas a procesos de intensa edafización (porosidad fenestral y facies de brechas, respectivamente)

Por otra parte, la llanura submareal somera incluye tanto a las facies de calizas *grainstone* como *packstone*. Las primeras están son originadas a partir de la resedimentación de las facies de origen marino debido a eventos de alta energía. Las claves para interpretar episodios de oleaje de tormenta en estas facies en la presencia de estructuras tractivas, como estratificación cruzada *hummocky* y *ripples*, que se encuentran tanto en aquellos materiales depositados en la llanura submareal somera como en dominios inter- y supramareales, dentro de la llanura de mareas. La exposición aérea de estas facies queda confirmada por la presencia de bioturbación vertical por raíces e icnitas de vertebrados (*e.g.* escamas de *arcosaurio*). Las trazas de *Thalassinoides*, *Rhizocorallium* o *Teichichnus* indican la actividad de invertebrados en el dominio submareal e intermareal.

La llanura submareal somera, se caracteriza también por la presencia de las facies de calizas *packstone* depositadas zonas marinas abiertas de alta energía (algas dasicladáceas y *Cayeuxia*, ooides y oncooides). Estas facies son retrabajadas, producto de la acción de *tsunamis* o de fuertes episodios de tormenta, y depositadas en zonas submareales a supramareales, dando lugar a las facies de conglomerados y microconglomerados.



**Fig. 12.** Reconstrucción del medio de depósito incluyendo la distribución de facies del mismo. **A:** durante el Episodio 1, y **B:** durante el Episodio 2.

## 7. DISCUSIÓN

### 7.1. MODELO DE SEDIMENTACIÓN

El modelo sedimentario para la sucesión correspondiente con el Berriasiense inferior-medio en Ladruñán, La Algecira y Luco de Bordón en la Subcuenca de Morella corresponde con una llanura de mareas abierta, dominada por el oleaje de tormenta. En la llanura se depositaban tanto facies detríticas como carbonatadas y abarcan un rango de subambientes que incluye desde los dominios supramareales a submareales someros. En concreto, estas facies se han asignado a un modelo de llanura mareal, con influencia marina y dominada por oleaje de tormenta (Tucker y Wright, 1990).

La llanura lutítica costera abarca tanto áreas bien drenadas, oxigenadas y con vegetación, representadas por las facies de lutitas rojas y beiges (Lr), como zonas pobremente drenadas y con influencia marina, constituidas por las facies de lutitas versicolores (Lv), las facies de lutitas negras (Ln) y las facies de margas (Mg). Lateralmente a ésta se encuentra la llanura de mareas, que es principalmente carbonatada (facies de calizas *mudstone/packstone* con porosidad fenestral, M/P) con presencia de intensos procesos de edafización (facies de brechas, Br). Mar adentro, la llanura submareal somera está dominada por facies carbonatadas (facies de calizas *grainstone*, G) y con influencia de facies marinas más abiertas (facies de calizas *packstone*, P)

El conjunto de esta plataforma está dominada por el oleaje de tormenta y/o por *tsunamis* y por las mareas. La acción del oleaje de tormenta es patente debido a 1) la existencia de estructuras sedimentarias relacionadas con tormentas (*e.g.* laminación cruzada *hummocky*), 2) la presencia de capas de calizas *grainstone* de peloides líticos, y 3) la aparición de estos últimos como capas de tormenta dentro de la llanura lutítica costera. Por otra parte, la posible influencia de *tsunamis* en la plataforma quedaría marcada por las facies de conglomerados y microconglomerados (Co), ya que sus cantos están formados con calizas *mudstone* (M/P), *packstone* (P) y *grainstone* (G), formadas a partir del retrabajamiento de las facies anteriormente descritas. Las fluctuaciones del nivel del mar debidas a las mareas dejarían impronta en las facies de calizas *mudstone/packstone* (M/P) mediante la porosidad fenestral existente.

## 7.2. EQUIVALENCIA CON LA SUBCUENCA DE GALVE

La Subcuenca de Galve es una de las subcuencas que compone a la Cuenca del Maestrazgo (Fig. 2, “Ga”). Esta subcuenca se encuentra situada al oeste de la Subcuenca de Morella, y está separada de la misma por el Umbral del Maestrazgo Occidental, que consiste en una zona elevada sin registro sedimentario durante el tránsito del Jurásico Superior al Cretácico Inferior (Liesa *et al.*, 2018).

Durante el Titoniense inferior – Berriasiense medio en la Subcuenca de Galve, tuvo lugar el depósito de la Fm. Villar del Arzobispo y Fm. Aguilar de la Alfambra. La Fm. Villar del Arzobispo ha sido atribuida al Titoniense inferior-medio, ya que en esta serie se encuentra. Esta formación está compuesta por depósitos detríticos-carbonatados que abarcan desde la costa hasta zonas marinas someras. Por encima de esta unidad, tras una discordancia angular que se reconoce a escala de subcuenca, se sitúa la Fm. Aguilar de la Alfambra. Esta formación contiene hacia su parte media niveles con el foraminífero bentónico *Anchispirocyclus lusitánica* y a techo la carácea *Globator maillardii incrassatus* y el ostrácodo *Theriosynoecum fittoni*. De este modo, su edad es Titoniense superior – Berriasiense medio. Se trata de una alternancia de lutitas, areniscas y carbonatos, depositados en llanuras costeras abiertas, con una influencia del oleaje y de las tormentas (Aurell *et al.*, 2016).

De acuerdo con Aurell *et al.* (2010), dentro de la Subcuenca de Morella se encuentra a la Fm. Pleta (Titoniense medio-superior) y a la Unidad de Ladruñán (Berriasiense inferior – medio). Los datos aportados en este trabajo aportan datos a favor de la relación lateral de facies entre la Fm. Pleta y la Unidad de Ladruñán. En la Fm. Pleta dominan las calizas perimareales con laminación algal e intercalaciones margosas, mientras que la Unidad de Ladruñán está formada por lutitas, margas y carbonatos depositados en una llanura de mareas con episodios prolongados de sedimentación en el dominio supramareal.

La similitud de facies y la edad propuesta para la Fm. Pleta/Unidad de Ladruñán y la Fm. Aguilar de la Alfambra, hace pensar en que estas unidades ser correlacionables entre sí, quedando enmarcadas en la dentro de la parte superior de la secuencia *sinrift* 1 (secuencia B) definida por Liesa *et al.* (2018).



Estudios recientes (Bádenas *et al.*, 2017) proponen un modelo sedimentario para la Fm. Aguilar de la Alfambra en la Subcuenca de Galve. Este modelo sedimentario está compuesto por una plataforma mixta costera y mareal abierta dominada por el oleaje de tormenta. En ella, se encuentran lutitas rojas, lutitas grises, calizas margosas y calizas limosas bioturbadas formando la plataforma costera. Además, en esta plataforma también se encuentran areniscas relacionadas con canales mareales e inundaciones, y conglomerados originados por *tsunamis*. Dentro de la plataforma inter y submareal, Bádenas *et al.* (2017) encuentran calizas *mudstone* laminadas y con porosidad fenestral, *packstone - grainstone* peloidales; además, también encuentran evidencias de influencia de ambientes marinos abiertos, como son *wakestone-packstone* bioclásticos bioturbados y *packstone - grainstone* oolíticos. Lateralmente a estos depósitos, han hallado areniscas procedentes de barras de marea y alternancias heterolíticas intermareales (lutitas y areniscas).

La similitud de las facies existentes entre los modelos sedimentarios deducidos para la Fm Pleta/Unidad de Ladruñán y la Fm. Aguilar de la Alfambra, refuerza la idea de la equivalencia lateral entre ambas unidades.

## 8. CONCLUSIONES

La Unidad de Ladruñán, de edad Berriasiense inferior-medio, se extiende por la zona marginal de la Subcuenca de Morella, en el entorno de las localidades de Ladruñán, La Algecira y Luco de Bordón. En este trabajo se ha demostrado que se encuentra en continuidad sedimentaria con la unidad infrayacente, las calizas perimareales de la Fm. Pleta, atribuida al Titoniense medio-superior. Por otro lado, la cartografía de detalle presentada en este trabajo, ha permitido precisar la relación de discordancia angular entre la Unidad de Ladruñán y las calizas palustres-lacustres Fm. Herbers (Valanginiense – Hauteriviense). Este contacto discordante se han definido en el presente trabajo como una discordancia angular en los sectores de Ladruñán y La Algecira, y como una discordancia cartográfica en Luco de Bordón.

El estudio sedimentológico detallado de la Unidad de Ladruñán ha permitido distinguir nueve facies, que han sido asignadas a diferentes subambientes localizados dentro de

una llanura mareal dominada por el oleaje de tormenta. Las facies se han relacionado con tres subambientes: dominio supramareal (facies de lutitas rojas y beiges, Lr; facies de lutitas versicolores, Lv; facies de lutitas negras, Ln; y facies de margas, Mg), dominio intermareal (facies de calizas *mudstone/packstone*, M/P; y facies de brechas, Br) y dominio submareal somero abierto (facies de calizas *grainstone*, G; y facies de calizas *packstone*, P). Todas estas facies están afectadas por el oleaje de tormenta (estratificación cruzada *hummocky, ripples*, facies granosostenidas con peloides líticos) y por *tsunamis* o episodios de fuerte oleaje de tormenta (facies de conglomerados y microconglomerados, Co). La impronta de la oscilación de las mareas queda patente por la presencia de porosidad fenestral dentro de los materiales de la plataforma mareal.

La edad propuesta (en torno al tránsito Titoniense-Berriasiense) para la Fm. Pleta/Unidad de Ladruñán (Subcuenca de Morella) y la Fm. Aguilar de la Alfambra (Subcuenca de Galve), así como la similitud de los modelos sedimentarios deducidos para una y otra unidad, sugiere que el depósito de todas estas unidades fue contemporáneo.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Aurell, M. (1990): El Jurásico Superior de la Cordillera Ibérica Central (provincias de Zaragoza y Teruel). Análisis de cuenca. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 510 pp. (inédita).
- Aurell, M.; Bádenas, B.; Gasca, J.M.; Canudo, J.I.; Liesa, C.L., Soria, A.R., Moreno-Azanza, M. y Najes, L. (2016): Stratigraphy and evolution of the Galve sub-basin (Spain) in the middle Tithonian-early Barremian: Implications for the setting and age of some dinosaur fossil sites. *Cretaceous Research*, 65: 138-162.
- Aurell, M., Bádenas, B., Ipas, J. y Ramajo, J. (2010): Sedimentary Evolution of an Upper Jurassic epeiric carbonate ramp, Iberian Basin, NE Spain. *Geological Society, London, Special Publications*, 329: 89-111.
- Aurell, M., Mas, R., Meléndez, A. y Salas, R. (1994): El tránsito Jurásico-Cretácico en la Cordillera Ibérica: relación tectónica-sedimentación y evolución paleogeográfica. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 18: 369-396.
- Aurell, M., Robles, S., Bádenas, B., Rosales, I., Quesada, S., Meléndez, G., García-Ramos, J.C. (2003): Transgressive-regressive cycles and Jurassic palaeogeography of northeast Iberia. *Sedimentary Geology*, 162: 239-271.
- Bádenas, B., Aurell, M. y Gasca, J.M. (2017): Facies model of a mixed clastic-carbonated, wave-dominated open coast tidal flat (Tithonian-Berriasian, NE Spain). *Sedimentology* (en prensa). DOI: 10.1111/sed.12441.
- Bádenas, B., Salas, R., Aurell, M. (2004): Three orders of regional sea-level changes control facies and stacking patterns of shallow platform carbonates in the Maestrat Basin. *International Journal of Earth Sciences*, 93: 144-162.
- Canerot, J. (1974): Recherches Géologiques aux Confins des Chaînes Iberique et Catalane (Espagne). Tesis Doctoral, Universidad de Toulouse, 517 p.

- Canerot, J., Pignatelli, R., Fernández-Luanco, M.C. y Arana, T. (1979): Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 519 (Aguaviva) y memoria. IGME, Madrid, 38 p.
- Caracuel, J.E., Corbí, H., Pina, J.A. y Soria, J.M. (2004): Geología en la costa: técnicas de análisis de sedimentos e interpretación de ambientes sedimentarios. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 12.1: 77-82.
- Dunham, R.J. (1962): Classification of carbonate rocks according to depositional texture. En: Classification of Carbonate Rocks (W.E. Ham, ed.). Am. Assoc. Pet. Geol. Mem, 1, 108-121.
- Flügel, E. (2010): Microfacies of Carbonate Rocks. Analysis, Interpretation and Application. Springer – Verlag, Berlín, 976 p.
- Ipas, J., Aurell, M. y Bádenas, B. (2005): Las unidades del tránsito Jurásico-Cretácico del Maestrazgo septentrional (NE de Teruel). Geogaceta: 38, 7-10.
- Liesa, C.L., Soria, A.R., Casas, A., Aurell, M., Meléndez, N., Bádenas, B., Fregenal-Martínez, M., Navarrete, R., Peropadre, C. y Rodríguez, J.P. (2018): The Late Jurassic – Early Cretaceous rifting stage at the central and Eastern Iberian Basin. En: Geology of Iberia: a Geodynamic Approach (C. Quesada and J.T. Oliveira, Ed.). Springer-Verlag, Berlin, (en prensa).
- Martín-Closas, C. (1989): Els caròfits del Cretaci Inferior de les Conques Perifèriques del Bloc d l'Ebre. Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona, 581 p.
- Salas, R. (1987): El Malm I el Cretaci Inferior entre el Massís de Garraf i la Serra d'Espadà: anàlisi de conca. Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona, 345 p.
- Tucker, M.E. y Wright, V.P. (1990): Carbonate Sedimentology. Blackwell Science Ltd, Inglaterra, 481 p.