

Trabajo Fin de Máster

FACIES, ESTRATIGRAFÍA Y TECTÓNICA SINSEDIMENTARIA DE LA PLATAFORMA CARBONATADA APTIENSE-ALBIENSE DE SUANCES (CANTABRIA, NORTE DE ESPAÑA)

*Facies, stratigraphy and synsedimentary tectonics in the
aptian-albian carbonate platform of Suances (Cantabria, Northern Spain)*



Autora:

Joanaitz Pérez Malo

Directores:

Pedro Ángel Fernández Mendiola

Marcos Aurell Cardona

Universidad de Zaragoza

Facultad de Ciencias – Departamento de Ciencias de la Tierra

Máster en Geología: Técnicas y Aplicaciones

Curso 2016/2017



Universidad
Zaragoza



➤ **ÍNDICE:**

Resumen/ Abstract	p. 3
1. INTRODUCCIÓN	pp. 4-7
1.1. Localización geográfica	p. 4
1.2. Marco geológico	pp. 5-7
<i>1.2.1. Contexto estructural</i>	<i>pp. 5-6</i>
<i>1.2.2. Contexto paleogeográfico</i>	<i>pp. 6-7</i>
2. PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO	pp. 8-9
2.1. Objetivos	p. 8
2.2. Metodología	pp. 8-9
3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	pp. 9-44
3.1. Secciones estratigráficas	pp. 9-13
3.2. Análisis de facies	pp. 14-43
<i>3.2.1. Fm. San Esteban</i>	<i>pp. 14-20</i>
<i>3.2.2. Fm. Rodezas</i>	<i>pp. 20-24</i>
<i>3.2.3. Fm. Reocín</i>	<i>pp. 24-29</i>
<i>3.2.4. Fm. Barcenaciones</i>	<i>pp. 30-41</i>
3.3. Estructuras tectónicas	p. 44
4. CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA Y DISCUSIÓN	p. 45-51
4.1. Fm. San Esteban	pp. 45-46
4.2. Fm. Rodezas	pp. 46-47
4.3. Fm. Reocín	pp. 47-49
4.4. Fm. Barcenaciones	pp. 50-51
5. CONCLUSIONES	p. 52-53
6. REFERENCIAS	pp. 53-56
7. ANEXOS	pp. 57-59
- <i>Anexo 1: Correlación estratigráfica</i>	
- <i>Anexo 2: Columna de Robayera</i>	
- <i>Anexo 3: Evolución tecto-sedimentaria de la Fm. Rodezas en el sector de Robayera</i>	

Resumen

Se ha llevado a cabo un análisis sedimentológico y estratigráfico en cuatro de las unidades litoestratigráficas que conforman el Complejo Urgoniano en el sector occidental de la Cuenca Vasco-Cantábrica: la Fm. San Esteban (Aptiense Inferior), la Fm. Rodezas (Aptiense Inferior), la Fm. Reocín (Aptiense Superior – Albiense Inferior) y la Fm. Barcenaciones (Albiense Superior). Para ello se han levantado y descrito cinco columnas estratigráficas de detalle en torno a las localidades cántabras de Suances, Cuchía y Miengo, a lo largo de un transecto de aproximadamente 5.5 km. El trabajo de campo y el estudio petrográfico de las muestras han permitido establecer un total de 32 facies sedimentarias, a partir de las cuales se han elaborado cinco modelos deposicionales en representación de las cuatro unidades Urgonianas en cuestión. Asimismo, se han diferenciado tres etapas de sedimentación carbonatada/mixta marina somera, las cuales llegaron a su fin debido a: 1) hundimiento brusco de la plataforma (Aptiense Inferior), 2) exposición subaérea de larga duración (Albiense Inferior), y 3) enterramiento definitivo por sedimentos siliciclásticos deltaicos del Complejo Supraurgoniano (Albiense Superior). La correlación estratigráfica, junto con la caracterización de los subambientes sedimentarios, pone de manifiesto un contexto de tectónica activa que varió a lo largo del intervalo Aptiense-Albiense. Dicho tectonismo sinsedimentario estuvo ligado a los movimientos distensivos del *rifting* que dio lugar a la apertura del Golfo de Vizcaya, dentro del proceso de formación del Atlántico Norte.

Abstract

This case study is focused on the sedimentology and stratigraphy of four urgonian lithostratigraphic units of the western Basque-Cantabrian Basin: San Esteban Fm. (Lower Aptian), Rodezas Fm. (Lower Aptian), Reocín Fm. (Upper Aptian – Lower Albian) and Barcenaciones Fm. (Upper Albian). Five stratigraphic sections were logged in detail and described across an approximately 5 km transect of the Cantabrian coast, around the localities of Suances, Cuchía and Miengo. 32 facies were recognized based on field work and complementary petrographic analysis. The palaeoenvironmental interpretation resulted in the reconstruction of five sedimentary models showing the depositional history of the Urgonian succession in the study area. Shallow marine carbonate/ mixed carbonate-siliciclastic sedimentation occurred in three major episodes, which were terminated by 1) a drowning event (Lower Aptian), 2) long-term emersion (Lower Albian), and 3) burying by deltaic siliciclastics attributed to the Supraurgonian Complex (Upper Albian). The stratigraphic correlation as well as the great variety of subenvironments evidence a tectonically active framework that varied throughout the Aptian-Albian interval. The syn-sedimentary tectonism was related to extensional movements of the Cretaceous rifting phase that led to the opening of the Bay of Biscay during the formation process of the North Atlantic Ocean.

1. INTRODUCCIÓN:

1.1. Localización geográfica:

El área de estudio abarca las localidades cántabras de Suances, Cuchía y Miengo (Fig. 1), situadas en la zona costera a unos 15-20 km al oeste de Santander y a caballo entre las comarcas de Besaya y de Santander (Norte de España). Se trata de una costa rocosa, con numerosos acantilados que ofrecen excelentes condiciones de afloramiento.

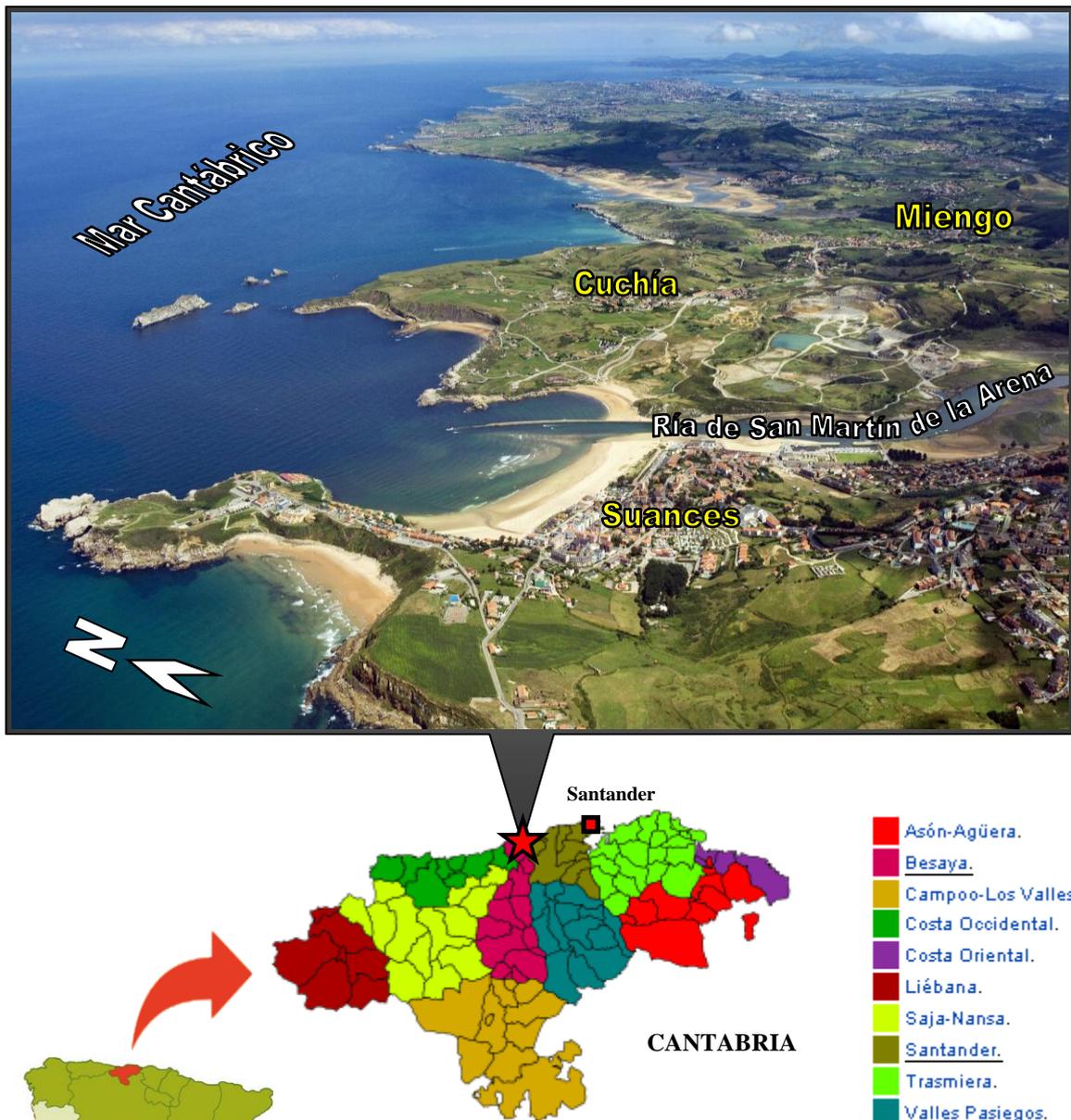


Fig. 1: Situación geográfica de la zona de estudio en el mapa comarcal de la provincia de Cantabria, junto con la vista aérea de las localidades abarcadas en el presente trabajo. La ría de San Martín de la Arena actúa como límite entre las comarcas de Besaya y de Santander.

1.2. Marco geológico:

Los materiales objeto de estudio de este trabajo datan del Aptiense-Albiense y corresponden a las Formaciones San Esteban, Rodezas, Reocín y Barcenaciones, todas ellas integradas en el Complejo Urgoniano (definido por [Rat, 1959](#)). Se trata de una sucesión de plataformas carbonatadas con gran variedad de subambientes y aportes continentales esporádicos, que comenzaron a desarrollarse de manera expansiva en la parte alta del Aptiense Inferior (ver la estratigrafía general en la Figura 3 de [García-Mondéjar et al., 2015](#)). Estas unidades litoestratigráficas forman parte del potente registro sedimentario cretácico de la Cuenca Vasco-Cantábrica, cuyo espesor ha sido estimado entre 12000 m ([Brinkmann y Lögters, 1968](#)) y 17000 m ([Lotze, 1960](#)).

1.2.1. Contexto estructural:

La evolución y la estructura de la Cuenca Vasco-Cantábrica estuvieron ligadas a la cinemática entre la Placa Ibérica y la Placa Europea ([Malod y Mauffret, 1990](#); [Olivet, 1996](#)). Tras una primera etapa de *rifting* en el Triásico, durante el Jurásico Superior – Cretácico Inferior tuvo lugar una nueva fase de extensión: el *rift* del Golfo de Vizcaya. La formación del Golfo de Vizcaya estuvo controlada por la apertura del Atlántico Norte, y se produjo como resultado de la rotación en sentido antihorario de la Placa Ibérica con respecto a la Placa Europea. Estos esfuerzos distensivos crearon fallas sinsedimentarias que dieron lugar a altos y surcos paleogeográficos, debido a una subsidencia diferencial cada vez más acusada (Fig. 5). Como consecuencia, en el intervalo Aptiense-Albiense la Cuenca Vasco-Cantábrica experimentó su etapa de mayor subsidencia, y por lo tanto, de mayor acumulación de sedimentos (numerosos autores).

Las plataformas carbonatadas urgonianas afloran ampliamente a lo largo del Arco Vasco y en la franja norte del Surco Navarro-Cántabro (Fig. 2). Este último se caracteriza por haber sufrido una fuerte subsidencia que en la mayor parte de los casos fue compensada por una elevada tasa de sedimentación, por lo que en general no llegaron a alcanzarse condiciones marinas profundas. Además, la importante actividad de la falla de Cabuérniga condujo a la individualización de un bloque en su lado norte: el Bloque Costero de Santander ([Wilmsen, 1997](#); [Barnolas y Pujalte, 2004](#); Fig. 2). En este subdominio estructural, que es precisamente donde se ubica la zona de estudio, la subsidencia fue considerablemente menor que en el resto de los sectores del Surco Navarro-Cántabro.

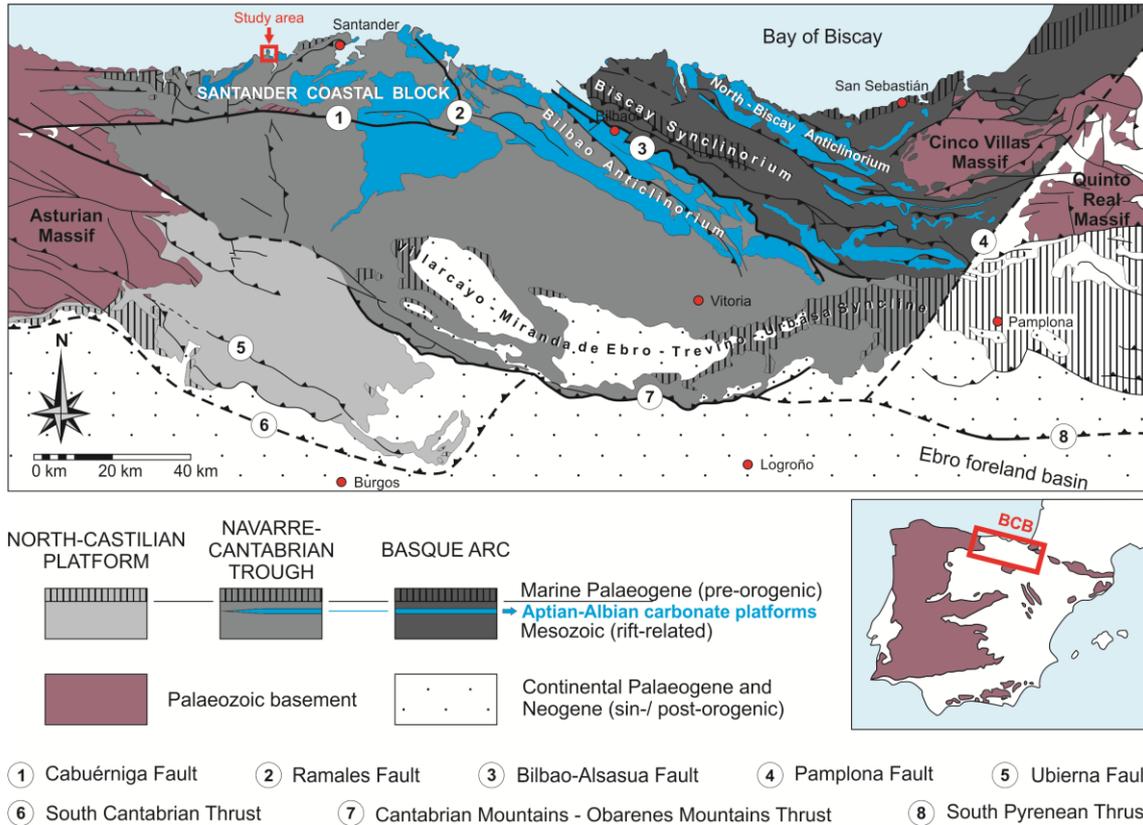


Fig. 2: Mapa geológico de la Cuenca Vasco-Cantábrica (BCB), con los dominios estructurales propuestos por Barnolas y Pujalte (2004), los depósitos urgonianos (destacados en azul) y la localización geográfica de la zona de estudio (síntesis realizada por Pérez-Malo et al., 2017). Las plataformas carbonatadas urgonianas se desarrollaron durante la etapa media y tardía de un proceso de rifting ligado a la apertura del Atlántico Norte.

1.2.2. Contexto paleogeográfico:

En un contexto de *greenhouse* y de nivel del mar alto (i.e., 100-200 metros por encima del actual – Haq *et al.*, 1987; Miller *et al.*, 2005 – y con aproximadamente el 20% de las áreas continentales inundadas – Barron *et al.*, 1980 –), en el intervalo Aptiense-Albiense las plataformas carbonatadas someras llegaron a cubrir grandes extensiones del mar del Tethys (Fig. 3).

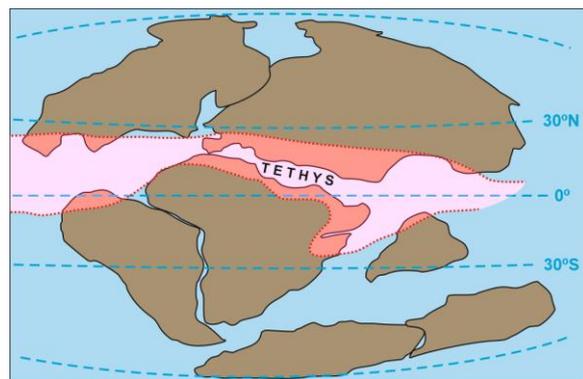


Fig. 3: Distribución de los depósitos urgonianos (modificado a partir de Masse, 1976).

Según la reconstrucción paleogeográfica de la Figura 4, durante el Cretácico Medio la Cuenca Vasco-Cantábrica se ubicó en el margen del cinturón tropical del Hemisferio

Norte, en una latitud ligeramente superior a los 30°N (Rat, 1989; Voigt, 1996); su posición latitudinal, así como su conexión con las cálidas aguas del Tethys, favorecieron el amplio desarrollo de facies arrecifales y periarrecifales dominadas por rudistas, corales y orbitolínidos. Estas plataformas carbonatadas someras se instauraron precisamente sobre los recientemente mencionados paleoaltos estructurales (Fig. 5).

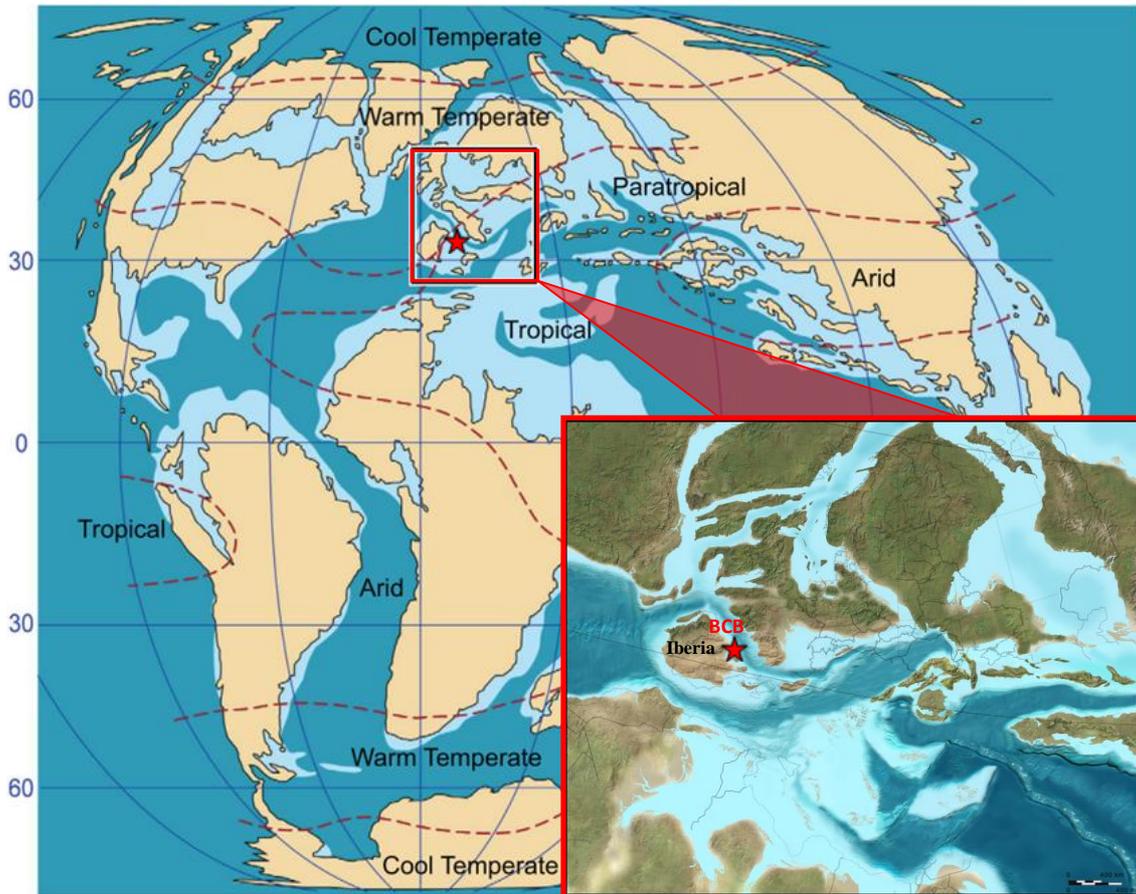


Fig. 4: Situación paleogeográfica de la Cuenca Vasco-Cantábrica (BCB, representada con la estrella roja) durante el Cretácico Medio. Modificado de Najarro et al. (2009).

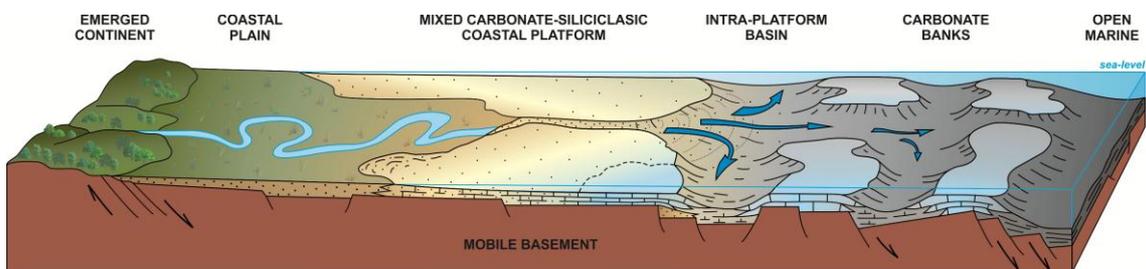


Fig. 5: Disposición de bancos carbonatados urgonianos sobre paleoaltos estructurales en la Cuenca Vasco-Cantábrica, durante el intervalo Aptiense-Albiense (modificado de Rat, 1980). Estos altos paleogeográficos, separados por surcos terrígenos intraplataforma, estuvieron delimitados y controlados por fallas sinsedimentarias.

2. PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO:

2.1. Objetivos:

La gran variabilidad de facies y de subambientes, así como la enorme complejidad estructural que caracteriza a las plataformas carbonatadas urgonianas, hacen que estas últimas continúen siendo motivo de publicaciones cada vez más específicas. El presente estudio se ha llevado a cabo como complemento y ampliación de investigaciones previas realizadas en el mismo sector geográfico (Fernández-Mendiola *et al.*, 2015a, b; Pérez-Malo *et al.*, 2017; ver Figura 7). En este caso, los objetivos son los siguientes:

- a) Efectuar un análisis de facies detenido de las unidades litoestratigráficas del Aptiense-Albiense que afloran en el área base de este trabajo.
- b) Determinar los controles tectónicos principales que influyeron en la distribución de facies y en las variaciones de espesor de las distintas secciones, y discutir sobre su actividad sinsedimentaria.
- c) Proponer modelos deposicionales y paleogeográficos, a fin de que estos se integren en el marco local-regional y contribuyan al conocimiento de la paleogeografía aptiense-albiense de la Cuenca Vasco-Cantábrica.

2.2. Metodología:

2.2.1. Trabajo de campo:

La toma de datos en afloramientos ha desempeñado un papel fundamental en este proceso. La campaña de campo ha consistido en 15 sesiones, durante las cuales se han descrito las series sedimentarias, se han tomado imágenes de los elementos más significativos y se han recogido las muestras necesarias para su posterior análisis en el laboratorio.

2.2.2. Trabajo de laboratorio:

Las notas de campo han sido complementadas con los estudios de laboratorio. Para ello, se ha contado principalmente con el Servicio de Preparación de Rocas y Materiales Duros de la Universidad de Zaragoza, donde se han realizado:

- a) 18 secciones pulidas para su subsiguiente examen bajo lupa binocular. Este proceso ha requerido el uso de equipamiento especializado (como la macrocortadora y la macropulidora de rocas) en régimen de autoservicio (Fig. 6).

- b) 29 láminas delgadas, cuya preparación ha corrido a cargo de los técnicos del laboratorio. Asimismo, el Departamento de Estratigrafía y Pelontología de la Universidad del País Vasco ha proporcionado 12 láminas adicionales. Su observación a través del microscopio petrográfico ha permitido determinar las texturas, estructuras y los componentes, ayudando de esta manera a confirmar la clasificación de litofacies realizada en el campo y a definir las facies sedimentarias principales.



Fig. 6: Técnicas y material empleado en los laboratorios del edificio de Geológicas:

A) Macro cortadora con disco de diamante de 500 mm de diámetro. B) Macropulidora de rocas; el proceso de pulido implica el acabado de las superficies de las caras con carborundo (carburo de silicio). C) Microscopía óptica.

2.2.3. Trabajo de gabinete:

Con el apoyo constante de la información bibliográfica sintetizada, los datos de campo y de laboratorio se han ordenado, contrastado, interpretado y representado de manera progresiva a lo largo del proceso de investigación, lo cual ha posibilitado la correlación y la modelización de las sucesiones estratigráficas. El material gráfico resultante (i.e., mapas, columnas estratigráficas, esquemas geológicos y bloques-diagrama, así como la actualización de ilustraciones pertenecientes a otros autores), se ha confeccionado mediante el programa de dibujo *CorelDraw X7*.

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS:

3.1. Secciones estratigráficas:

En este trabajo se han levantado un total de cinco columnas estratigráficas en detalle, de entre 17 y 260 metros de espesor, a lo largo de un transecto de aproximadamente 5.5 km (Fig. 7 y Fig. 8). Los afloramientos occidentales, que son exclusivamente costeros y proporcionan excelentes condiciones de observación, se distribuyen a lo largo de la zona

perimetral de Punta del Dichoso (entrante rocoso hacia el mar, perteneciente al municipio de Suances) y de las calas de Cuchía (que parten desde Punta de Afuera hacia el sureste). En lo que se refiere a la sección más oriental, se halla en las inmediaciones de la localidad de Miengo parcialmente cubierta por vegetación, y constituye la continuación del corte de Robayera recientemente descrito por Fernández-Mendiola *et al.* (2015b).

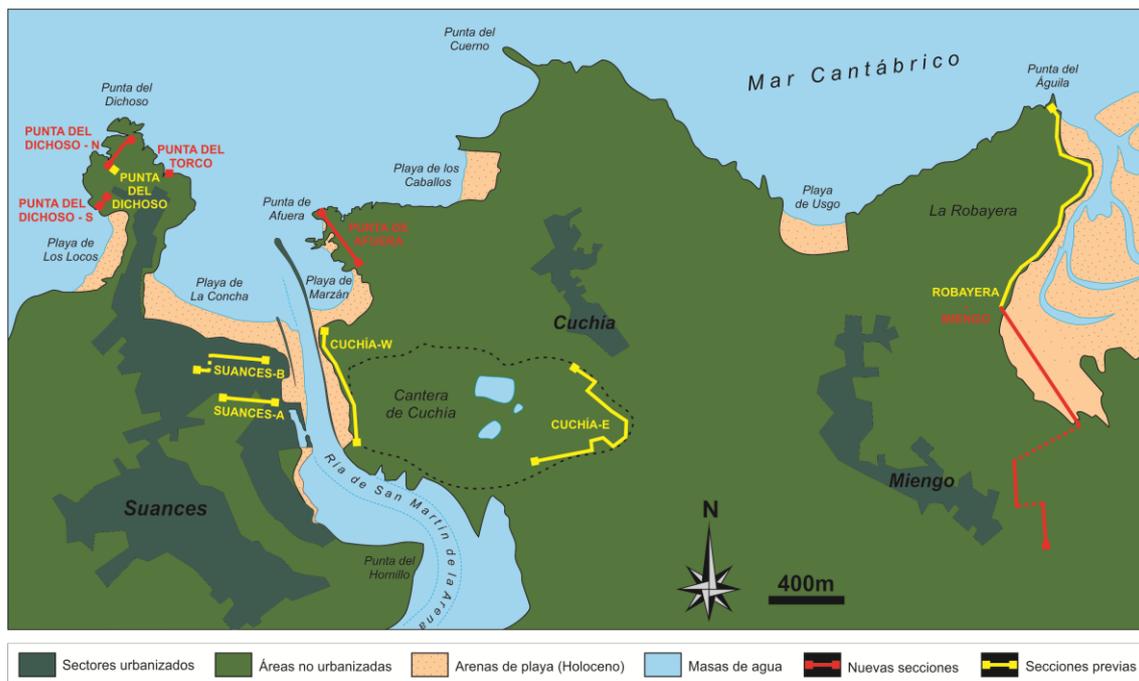
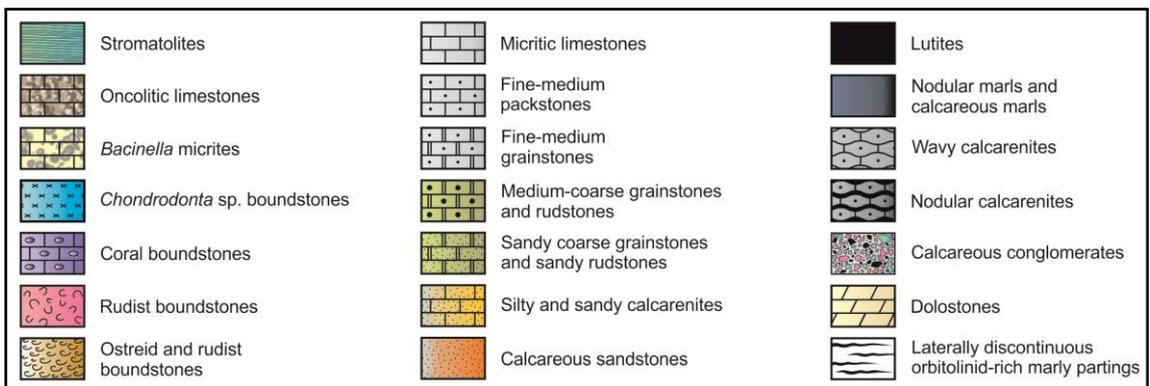
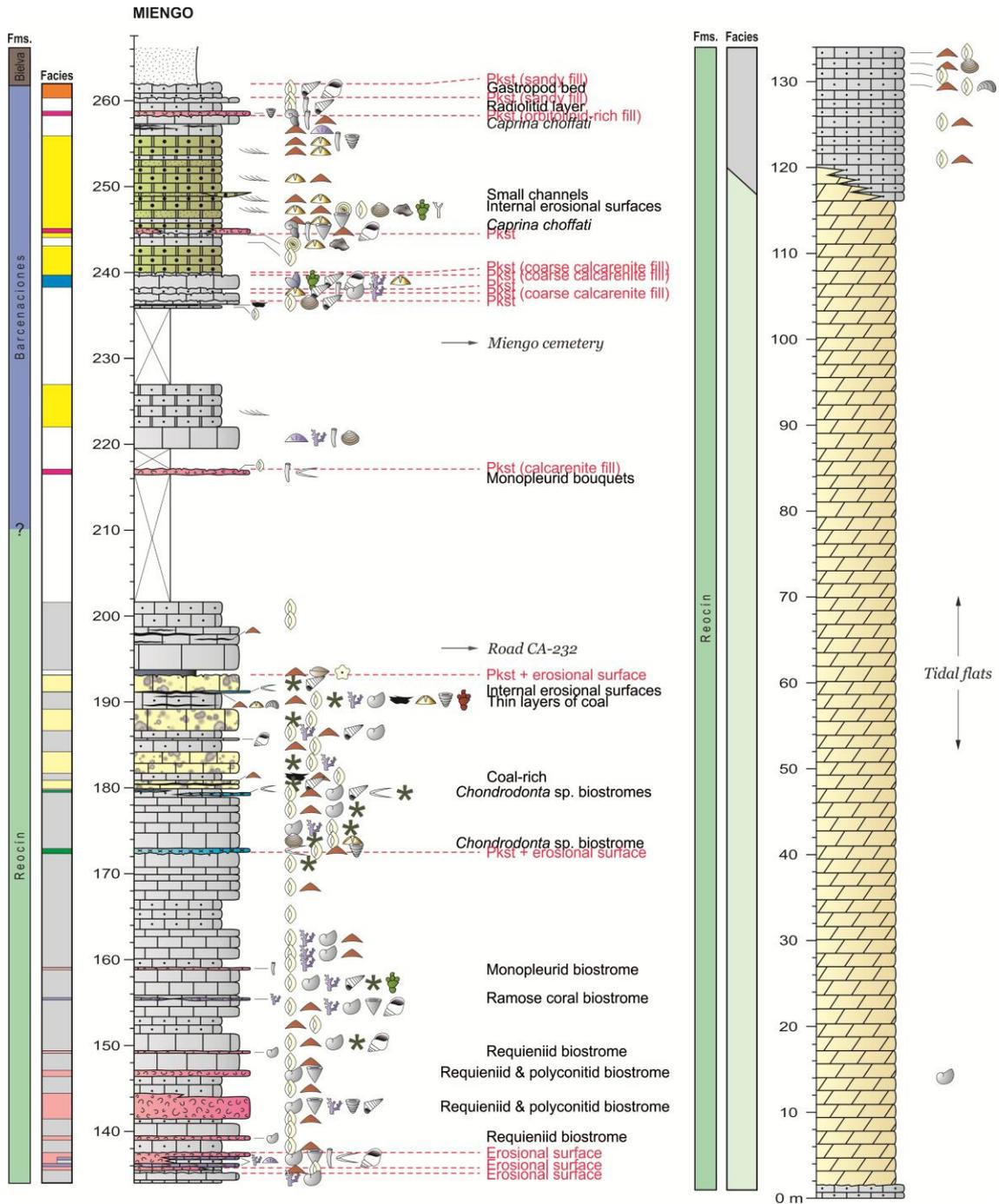
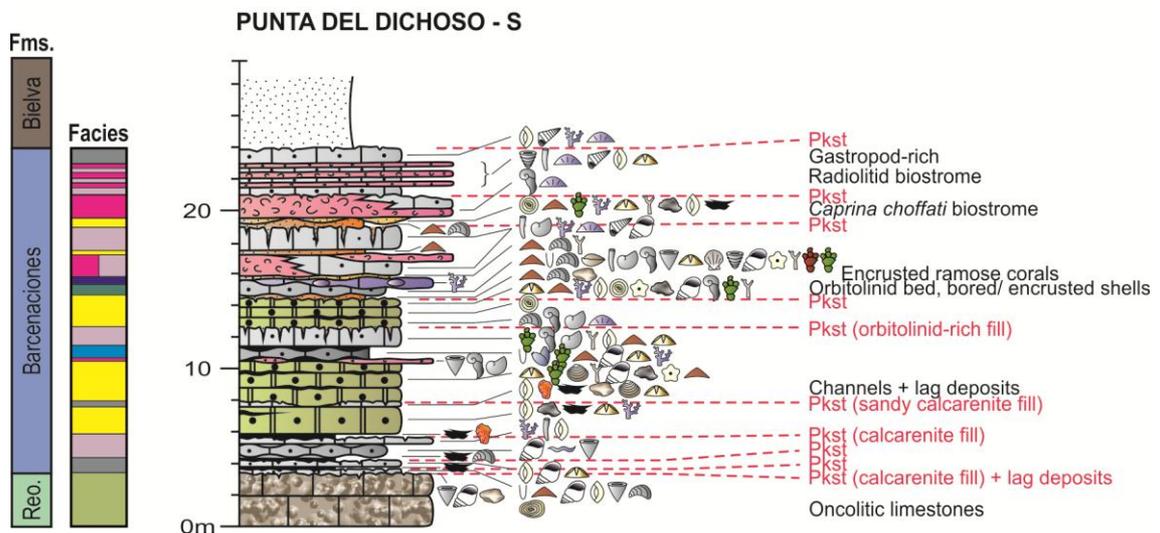
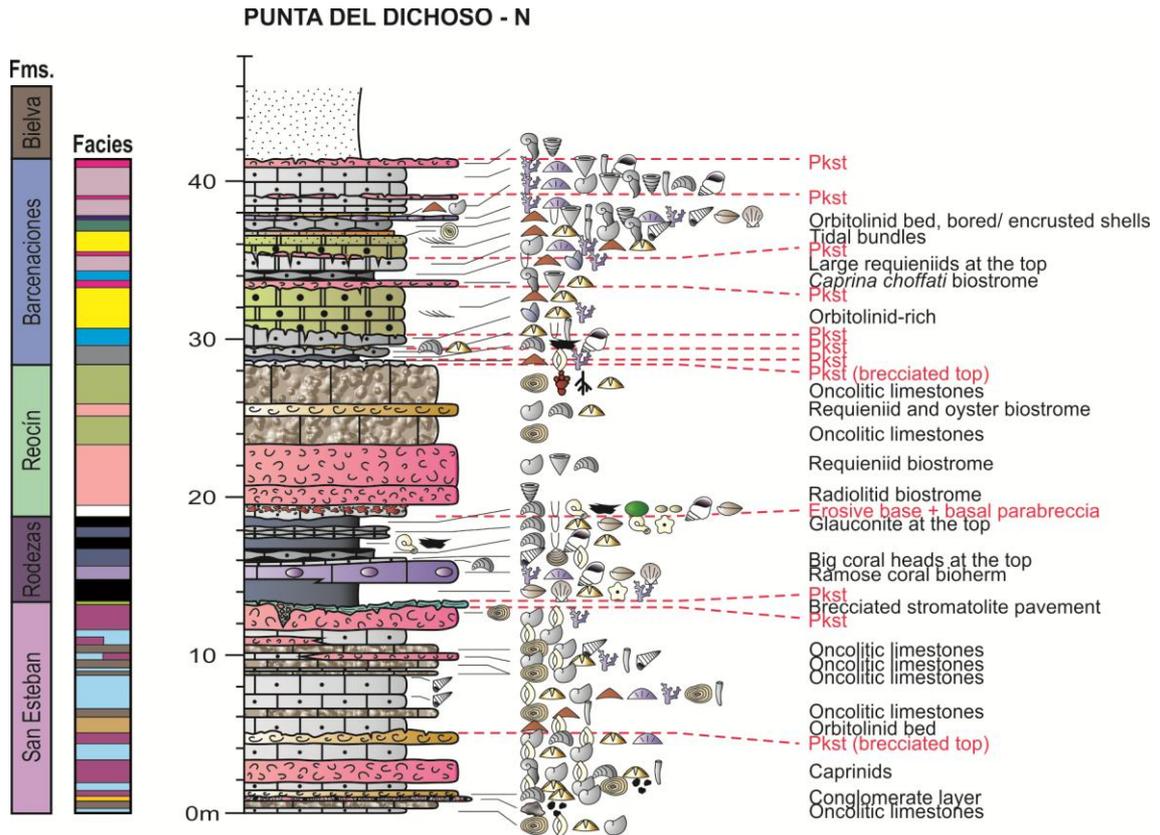


Fig. 7: Mapa geográfico del sector de estudio, con la ubicación de las secciones estratigráficas caracterizadas a lo largo de esta investigación (color rojo) y de aquellas publicadas en los últimos años (Fernández-Mendiola *et al.* 2015a, b; Pérez-Malo *et al.*, 2017; color amarillo).

Las unidades litoestratigráficas abarcadas en este trabajo son fundamentalmente la Fm. Rodezas (Aptiense Inferior), la Fm. Reocín (Aptiense Superior – Albiense Inferior) y la Fm. Barcenaciones (Albiense Superior). Igualmente, también se ha incluido en las columnas el extremo techo de la Fm. San Esteban (Aptiense Inferior), debido a que su gran interés sedimentológico aporta un buen escenario de partida. En conjunto, se trata de una alternancia a gran escala entre unidades puramente carbonatadas (Fms. San Esteban y Reocín) y unidades de carácter mixto carbonatado-terrágeno (Fms. Rodezas y Barcenaciones). Dichas unidades están separadas entre sí por importantes rupturas sedimentarias, que generalmente implican paleokarst y erosión subsiguiente. La sucesión urgoniense da paso a las areniscas y lutitas de la Fm. Bielva, la cual data del Albiense Superior – Cenomaniense Inferior y pertenece al Complejo Arenoso Supraurgoniano, por lo que no ha sido considerada en esta monografía.

Facies, estratigrafía y tectónica sinsedimentaria de la plataforma carbonatada aptiense-albiense de Suances (Cantabria, Norte de España)





Sponges	Pectinids	Ostreids	Miliolids	Ooids	Glaucinite
Massive corals	Monopleurids	Brachiopods	Burrows	Amber	Calcareous nodules
Ramoses corals	Requeniids	Echinoids	Green algae	Coal	Horizontal stratification
Planar corals	Caprinids	Crinoids	Red algae	Black pebbles	Cross-bedding
Gastropods	Polyconitids	Bryozoans	Root-related features	Clay chips	Sand ripples
<i>Nerinea/ Turritella</i>	Radiolitids	Serpulids	<i>Bacinella irregularis</i>	Limestone intraclasts	Erosional surface
Bivalves	<i>Chondrodonta</i>	Orbitolinids	Oncoids	Exotic extraclasts	Pkst Palaeokarst

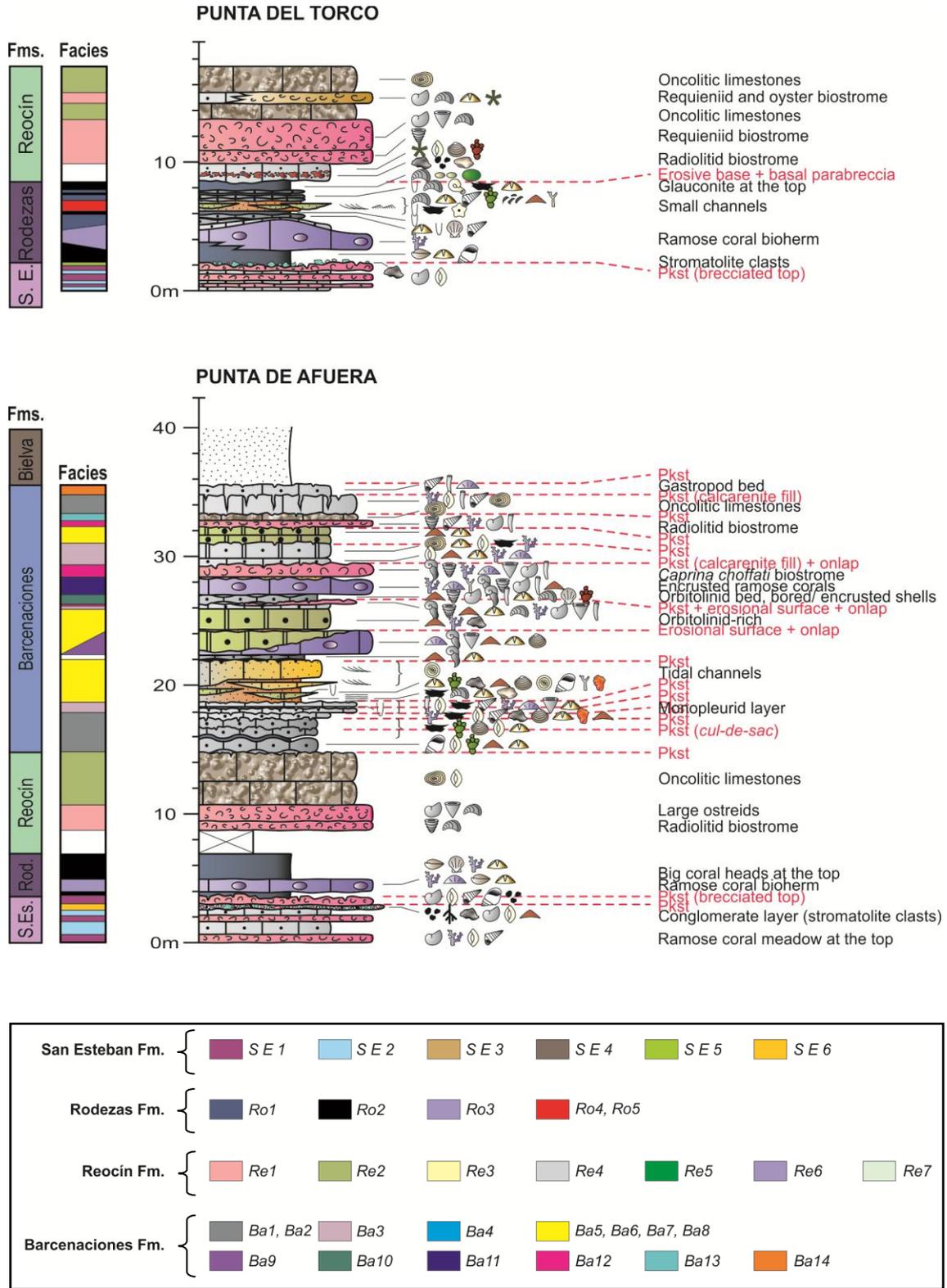


Fig. 8: Columnas estratigráficas levantadas en Suances, Cuchía y Miengo (ver Figura 7), con la sucesión de facies correspondiente representada en la parte izquierda de cada una de ellas. Se han establecido un total de 32 facies en las Fms. San Esteban, Rodezas, Reocin y Barcenaciones del Complejo Urganiano. Por encima de la Fm. Barcenaciones se dispone la Fm. Bielva, que pertenece al Complejo Areniscoso Supraurgoniano y no ha sido descrita en este trabajo. Destacar las similitudes, en lo referido a espesor y tipo de facies, entre las columnas de Punta del Dichoso-N, Punta del Dichoso-S, Punta del Torco y Punta de Afuera, en contraposición a la sección de Miengo. Esta última es la continuación de la sección de Robayera incluida en el Anexo 2.

3.2. Análisis de facies:

Se han distinguido un total de 32 facies sedimentarias en las cuatro unidades analizadas. Las facies se han descrito y clasificado siguiendo fundamentalmente los criterios propuestos por Dunham (1962) y Embry y Klovan (1971), y se han reflejado en la Figura 8 con nomenclatura y colores distintivos. Por su parte, la Tabla-I de las páginas 42 y 43 recoge los rasgos más significativos de cada una de ellas, así como la interpretación ambiental correspondiente y el lugar en el que aparecen.

3.2.1: Fm. San Esteban:

Constituye un conjunto carbonatado de gran entidad que aflora exclusivamente a lo largo de la zona de acantilados, en forma de estratos resaltantes de calizas puras con tonos claros (Fig. 14A). Ha sido datada por numerosos autores como Bedouliense Superior (parte alta del Aptiense Inferior), considerando especies como *Iraqia simplex*, *Orbitolina (Mesorbitolina) parva* y *Palorbitolina lenticularis*. A pesar de que de los ~40 m de espesor que alcanza la unidad en el área base solo los últimos 13 han sido analizados en detalle, se ha reconocido una amplia variedad de facies con cierta disposición cíclica:

- *Bafflestones de rudistas (SE1):*

Forman biostromos de 30 cm a 1 m de espesor y generalmente de escasa continuidad lateral, en los que predominan claramente los requiénidos (Fig. 9A). Las bioconstrucciones de mayor desarrollo pueden mostrar además un aumento en el grado de empaquetamiento y tamaño de los ejemplares hacia la zona central y superior de las mismas. Entre la fauna acompañante destacan los miliólidos y las radiolas de equínidos, seguidos por gasterópodos, corales ramosos y de vez en cuando, pequeños corales masivos y escasos clastos negros (*cailloux noires*). Los caprínidos (*Pachytraga paradoxa?*) y los ostreidos, si bien aparecen de manera puntual en Punta del Dichoso-N, llegan a convertirse en componentes importantes de los biostromos (Fig. 9B). Asimismo, se ha identificado una discreta pero lateralmente continua pradera de corales ramosos excepcionalmente conservada a techo de uno de los bancos de rudistas de Punta de Afuera (Fig. 9C). En otras ocasiones, las bioconstrucciones de requiénidos culminan con sutiles acumulaciones de nerineidos (Fig. 9D), o bien con niveles de brechificación relacionados con procesos de paleokarst. En cualquier caso, las calizas arrecifales *SE1* evolucionan lateralmente y en la vertical a la facies *SE2*.

- *Packstones de miliólidos con equínidos (SE2):*

Esta facies se presenta en intervalos de 50 cm a poco más de 1 m de espesor, con un contenido faunístico casi idéntico al de la facies *SE1*, al que se le suman ocasionalmente y en proporciones reducidas pequeños oncoides (< 0.5 cm), cantos oscuros de hasta 1 cm y orbitolínidos. Los fragmentos de conchas de requiénidos son relativamente comunes, distribuidos de manera dispersa y con frecuentes señales de bioerosión. Al igual que la facies *SI*, algunas de estas calcarenitas pasan hacia techo a *wackestones* con concentraciones moderadas de nerineidos.

Interpretación: Las relaciones tanto laterales como verticales entre los *packstones* de miliólidos con equínidos y los biostromos de rudistas recientemente descritos, sugieren un ambiente carbonatado marino somero con zonas arrecifales (*SI*) y pequeñas áreas interarrecifales (*S2*).

- *Packstones de orbitolínidos con miliólidos (SE3):*

Es sumamente rica en orbitolínidos. Los miliólidos también son habituales, así como las valvas de requiénidos bioerosionadas que aparecen de manera dispersa. Esta facies se halla en la parte norte de Punta del Dichoso solapando una superficie de paleokarst con paleorrelieve, de tal modo que su espesor tiende a variar lateralmente.

Interpretación: Representa un cambio repentino en las condiciones del medio, seguido por la rápida colonización masiva de orbitolínidos.

- *Calizas oncolíticas (SE4):*

Se disponen en niveles de 20 a 50 cm de espesor, con límites graduales definidos por el aumento y la disminución progresiva en la concentración de oncoides de *Lithocodium-Bacinella* (si bien es cierto que la aparición de estos últimos en el medio se produce de una manera más paulatina que su desaparición). Los oncoides muestran tamaños variados de 1 a 4 cm, con núcleos generalmente intraclásticos (*black pebbles* y cantos calizos de tonos claros de hasta 1 cm de diámetro, Fig. 10) y en menor medida bioclásticos (e.g., fragmentos de corales ramosos). Entre la fauna asociada se observan miliólidos, orbitolínidos, conchas de requiénidos bioerosionadas, pequeños nerineidos y puntualmente colonias de monopléuridos a techo.

Interpretación: Este tipo de facies indica condiciones relativamente restringidas dentro de un medio somero de rampa interna.

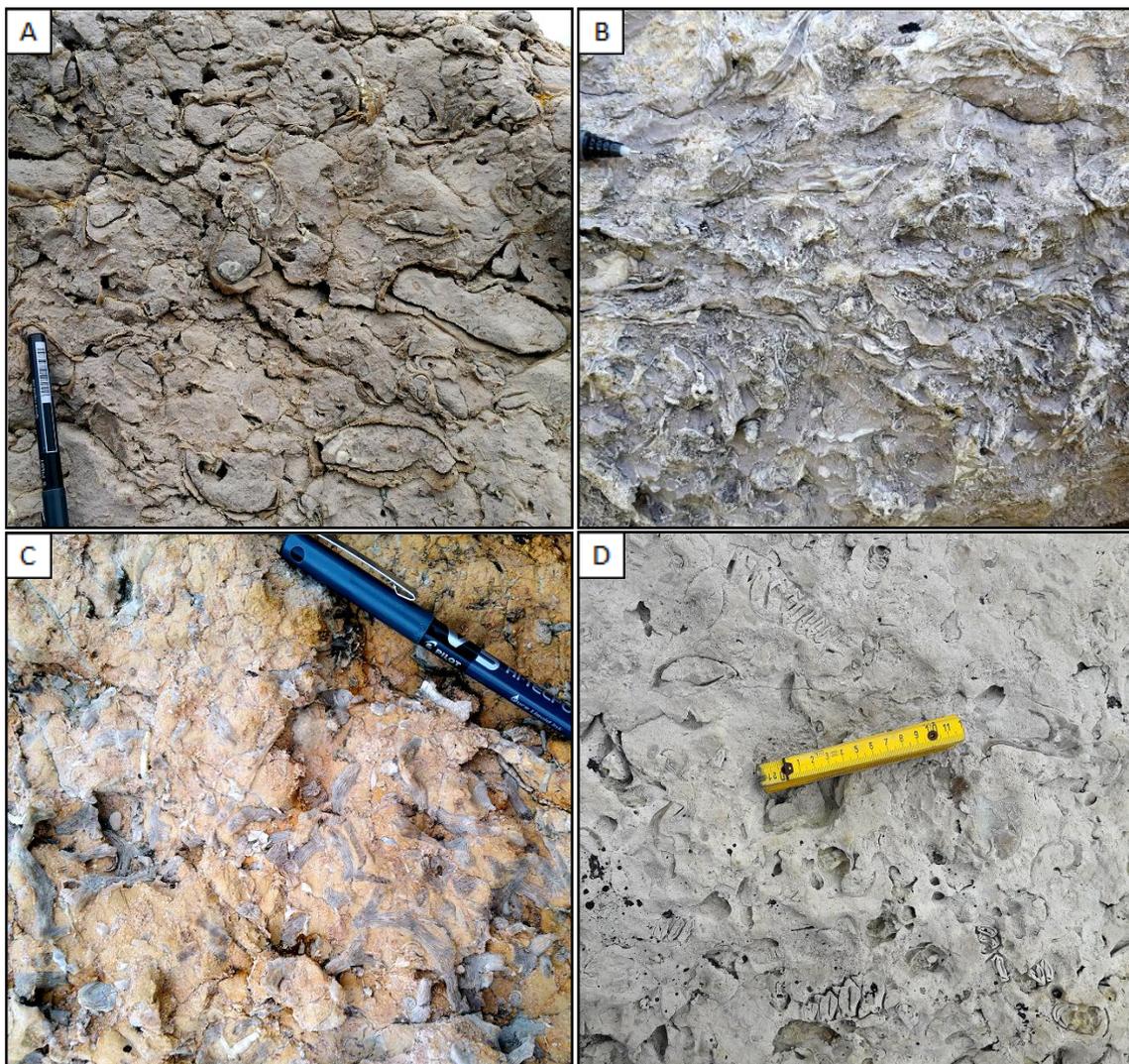


Fig. 9: Variabilidad de la facies SE1: **A)** Aspecto habitual de las bioconstrucciones de la Fm. San Esteban, compuestas básicamente por requiénidos; **B)** Biostromo mixto de rudistas y ostreoides en la sección de Punta del Dichoso-N; **C)** Desarrollo coralino incipiente en los 30 cm superiores de un banco de rudistas (este nivel, cuya superficie es de color ocre, se identifica fácilmente a lo largo de toda el área de Punta de Afuera); **D)** Aumento en la concentración de nerineidos hacia techo de la facies SE1 (sección de Punta de Afuera).

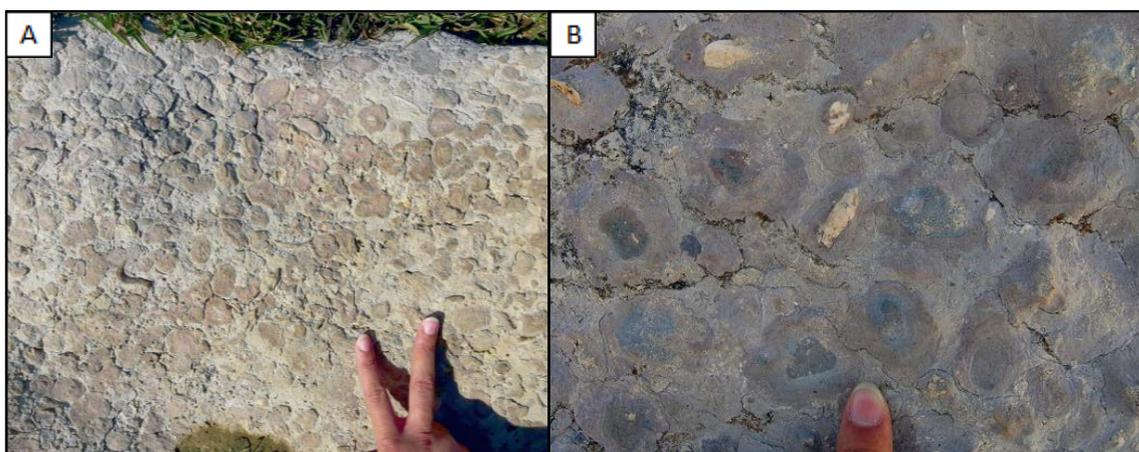


Fig. 10: Vista en planta (A) y en detalle (B) de la facies SE4. Generalmente estos niveles oncolíticos no están delimitados por superficies netas, y tampoco llegan a alcanzar grandes espesores. En la imagen B puede apreciarse la naturaleza de los núcleos, que corresponden a fragmentos de corales ramosos neomorfizados (color blanco) y cantos oscuros.

- *Estromatolitos aglutinados (SE5):*

Corresponden a un tapiz de menos de 20 cm de espesor con rasgos bien preservados, que forma afloramientos escasos y de reducidas dimensiones; de hecho, tan solo aflora de manera íntegra en la parte norte de Punta del Dichoso, donde fue documentado por primera vez por Pascal (1985). Esta facies presenta huellas de desecación poligonales, si bien lateralmente pasa a estar constituida por bloques estromatolíticos aislados y volteados que aparecen semienterrados en el techo del estrato subyacente (Fig. 11); esta última configuración se observa también en Punta del Torco (Fig. 16A), con clastos estromatolíticos ocasionales de no más de 20 cm. Al microscopio muestran una fábrica *clotted*-peloidal y fenestral laminoide, provocada por la alternancia irregular entre niveles de aspecto grumoso ligados al crecimiento microbiano, láminas con predominio de peloides de tamaño fino (sedimento atrapado) y poros alargados dispuestos paralelamente (Fig. 12).

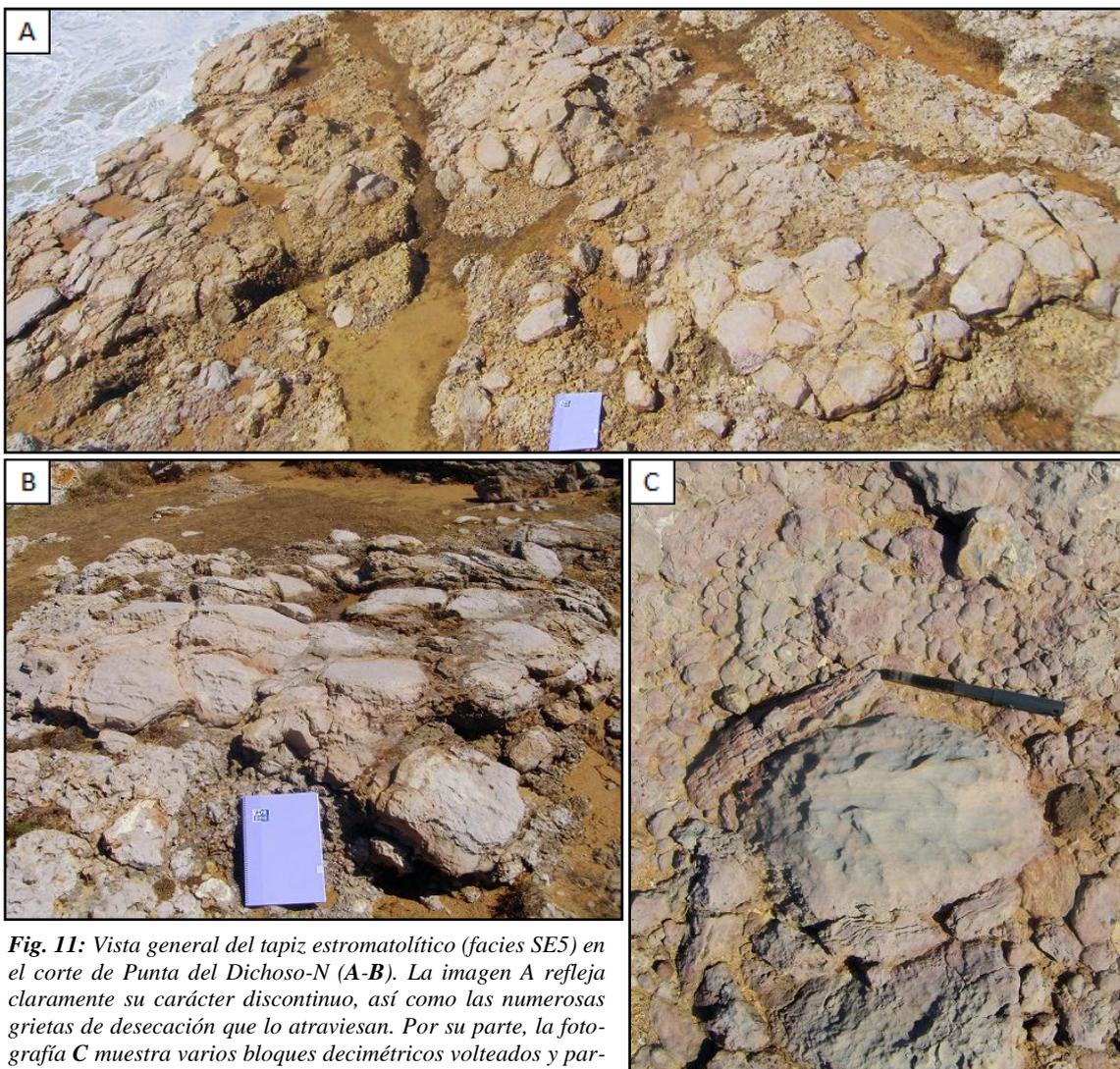


Fig. 11: Vista general del tapiz estromatolítico (facies SE5) en el corte de Punta del Dichoso-N (A-B). La imagen A refleja claramente su carácter discontinuo, así como las numerosas grietas de desecación que lo atraviesan. Por su parte, la fotografía C muestra varios bloques decimétricos volteados y parcialmente hundidos en el nivel oncolítico subyacente.

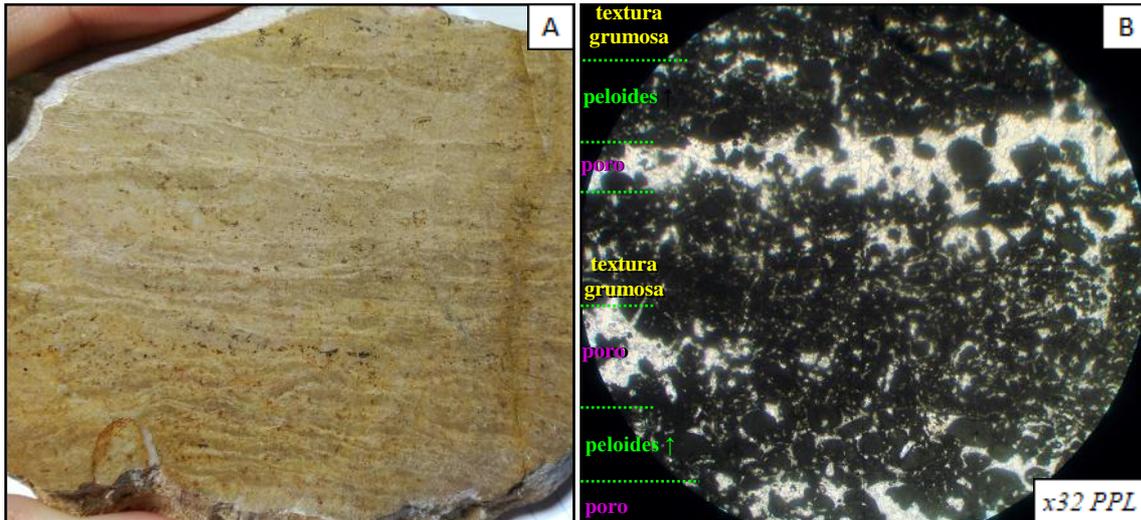


Fig. 12: Muestra de mano (A) y lámina delgada (B) de la facies SE5. Estos estromatolitos aglutinados presentan una fábrica clotted-peloidal y fenestral laminoide (la laminación es más perceptible a escala visual que a microscópica).

Interpretación: Los estromatolitos aglutinados (Riding, 1991) resultan de la captura y entrapamiento de partículas en suspensión. Este tapiz estromatolítico se atribuye a una zona intermareal ubicada probablemente en el margen de una bahía restringida, lo cual se deduce a partir de la ausencia casi total de granos esqueletales. No obstante, su desecación, cuarteamiento y posterior desmantelamiento señalan el paso definitivo a un ambiente supramareal.

- *Conglomerados calcáreos (SE6):*

Constituyen estratos de gran continuidad lateral pero con frecuentes cambios de espesor (5-30 cm), debido a que su base es erosiva (Fig. 13A). La trama está compuesta básicamente por cantos oscuros e intraclastos calizos de tonos claros (ambos subredondados y heterométricos), así como por fragmentos centimétricos de requiénidos. En general, ambos tipos de clastos son composicionalmente muy similares entre sí, con un claro predominio de peloides densamente empaquetados creados a partir de la intensa micritización de foraminíferos de distintos tipos. Dicha textura apenas difiere de la matriz envolvente, aunque esta última es ligeramente más porosa y alberga también bioclastos que no muestran un grado de deterioro tan alto (e.g., abundantes fragmentos de requiénidos, multitud de orbitolínidos, miliólidos y biseriados en corte). Por otro lado, los clastos carbonatados muestran típicamente secciones de rizolitos y estructuras alveolares (Fig. 13D-E), mientras que una minoría presenta texturas *mudstone* con estructura fenestral. Cabe destacar que el nivel conglomerático hallado en Punta de Afuera incluye además bloques centimétricos a decimétricos de la facies SE5 (Fig. 13B).

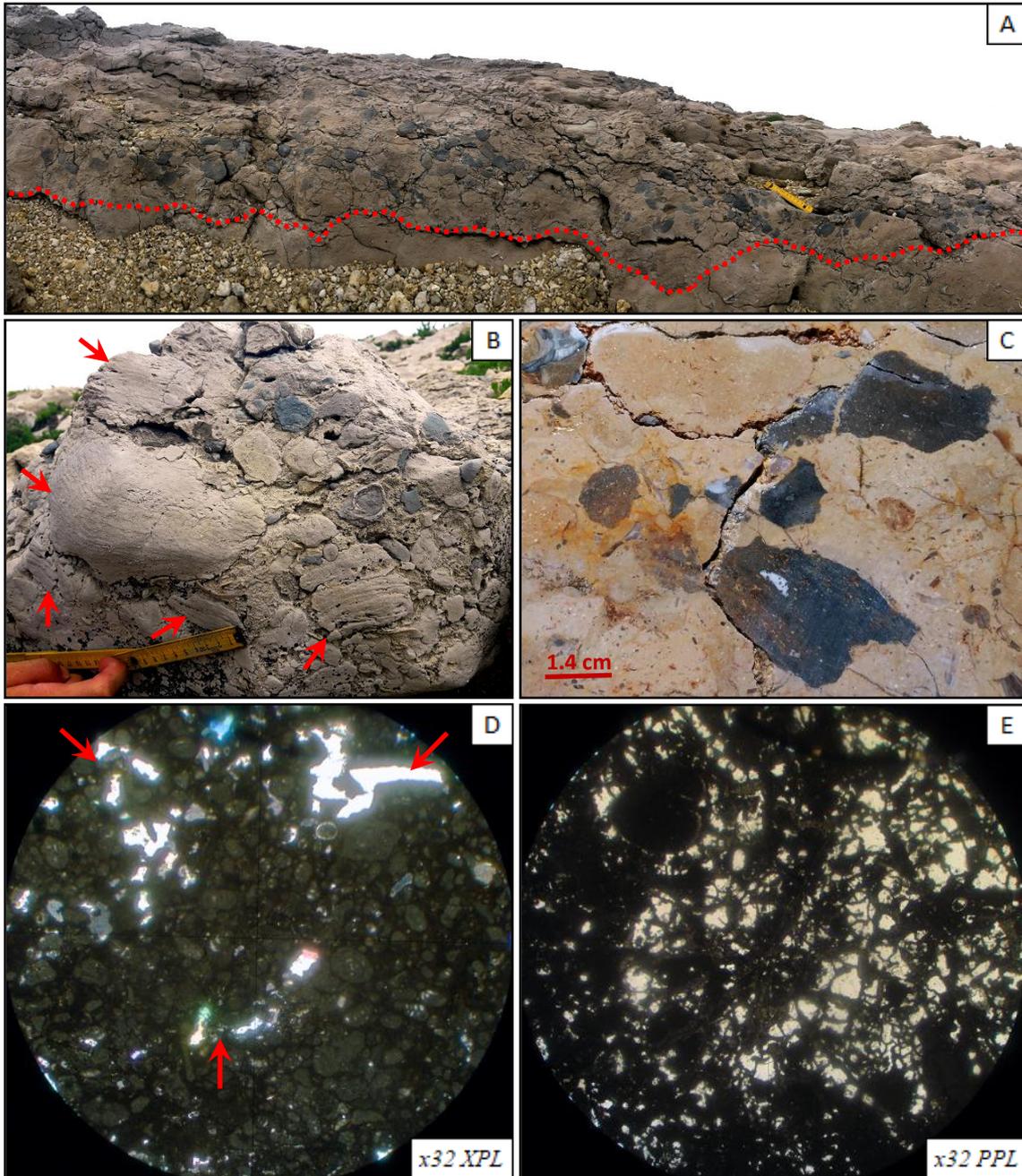


Fig. 13: Vista a diferentes escalas de la facies SE6 en el corte de Punta de Afuera. **A)** Nivel conglomerático de base irregular, cuyo espesor se reduce localmente hasta los 5-10 cm. Los cantos de color oscuro se concentran preferentemente en la base, mientras que hacia techo pueden llegar a estar ausentes. **B-C)** Los intraclastos son principalmente de dos tipos: calizas ocreas y black pebbles, ambos mostrando tamaños que varían desde <1 cm hasta 5-6 cm. Por añadidura, en Punta de Afuera aparecen también fragmentos de tapiz estromatolítico (flechas rojas), los cuales alcanzan dimensiones que rondan los 15 cm. **D)** Textura peloidal con porosidad tubular. La mayor parte de los peloides son de tipo Bahamita, en cuyo interior aún se reconocen las estructuras de los foraminíferos previos. En las secciones de rizolitos (flechas rojas) se identifican tanto los moldes de las raíces como las rizoconcreciones; estas últimas están constituidas por micrita microbial dispuesta originalmente alrededor de las raíces. **E)** Estructura alveolar, la cual resulta del entrelazado y la calcificación de pelos absorbentes radiculares.

Interpretación: La mala selección y el bajo redondeamiento de los intraclastos reflejan que éstos experimentaron un transporte relativamente corto antes de ser depositados. Por su parte, los denominados *cailloux noires* derivan de los sustratos costeros pedogé-

nicos ricos en materia orgánica (e.g. Flügel, 2010), mientras que los tapices estromatolíticos se desarrollan preferentemente en zonas intermareales. Por consiguiente, se interpreta que la facies SE6 se originó mediante la erosión de áreas intermareales a supramareales próximas al ambiente de sedimentación. Esta deducción es coherente con las dimensiones superiores que alcanzan los bloques estromatolíticos (derivados de la línea de costa) y el mayor grado de fragmentación que presentan los clastos carbonatados dominantes (procedentes de áreas ligeramente más internas). Por otro lado, la similitud entre la matriz y gran parte de la trama sugiere que los conglomerados pasaron a formar parte finalmente de un ambiente similar al de su área fuente principal.

3.2.2. Formación Rodezas:

En el sector de estudio consta básicamente de una alternancia entre margas y calizas nodulosas poco consistentes (Fig. 8), y por lo tanto, con tendencia a cubrirse por la vegetación (Fig. 14). En la sección-tipo de Robayera, se han identificado las especies *Palorbitolina lenticularis*, *Orbitolina (Mesorbitolina) lotzei*, *Orbitolina (Mesorbitolina) parva*, *Choffatella decipiens* e *Iraqia simplex* (Fernández-Mendiola *et al.*, 2015b), que indican una edad Be-douliense Superior (parte alta del Aptiense Inferior). Esta unidad aparece únicamente a lo largo de la línea de costa con un espesor que apenas llega a los 5 m, produciendo un solapamiento expansivo sobre el techo paleokarstificado de la Fm. San Esteban (Fig. 14).

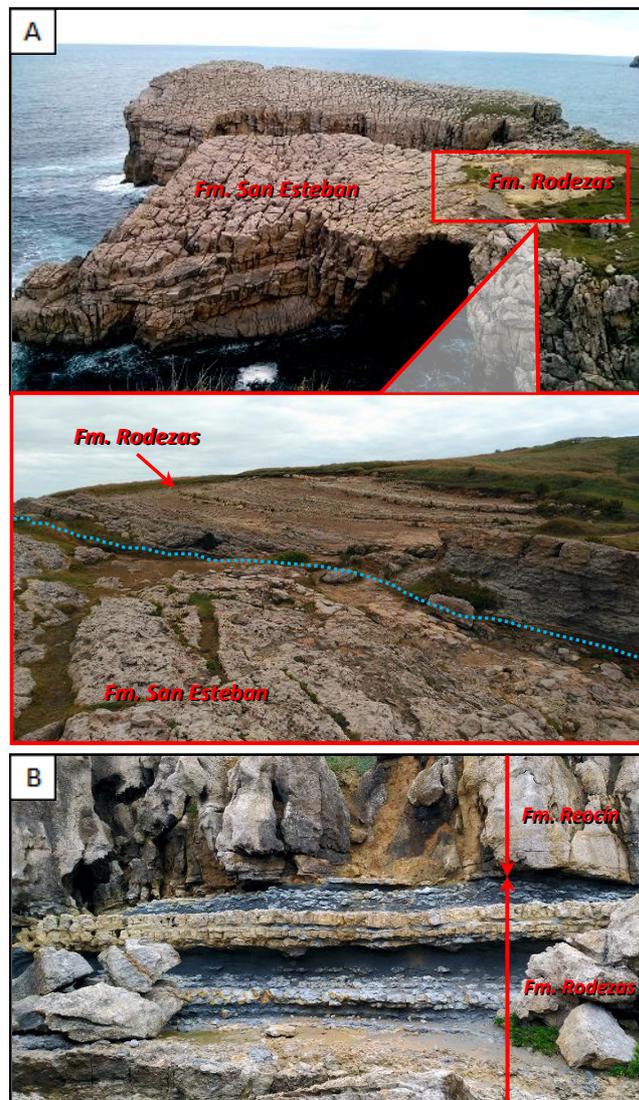


Fig. 14: Afloramientos de la Fm. Rodezas en el extremo norte de Punta del Dichoso. La unidad aflora pobremente en general (A), salvo en la zona de acantilados, donde se muestra mejor preservada y con tramos bien diferenciados (B).

- Calizas nodulosas (Ro1) y margas (Ro2) con ostreidos y serpúlidos:

Se trata de *mudstones* a *wackestones* con proporciones variables de granos de cuarzo de tamaño arcilla y bioturbación moderada en forma de grandes nódulos calcáreos (Fig. 15). Los fósiles más característicos de estas facies son los ostreidos (Fig. 15C), pectínidos, braquiópodos (terebratúlidos y rinconélidos) y las masas de serpúlidos, junto con los cuales pueden encontrarse restos de equinodermos (tanto de equínidos como de cri-noideos), gasterópodos, fragmentos de carbón y corales ramosos. Los últimos 15 cm de la Fm. Rodezas albergan abundantes granos de glauconita de hasta 0.4 mm, que confieren un tono verdoso a las margas encajantes (Fig. 15D).

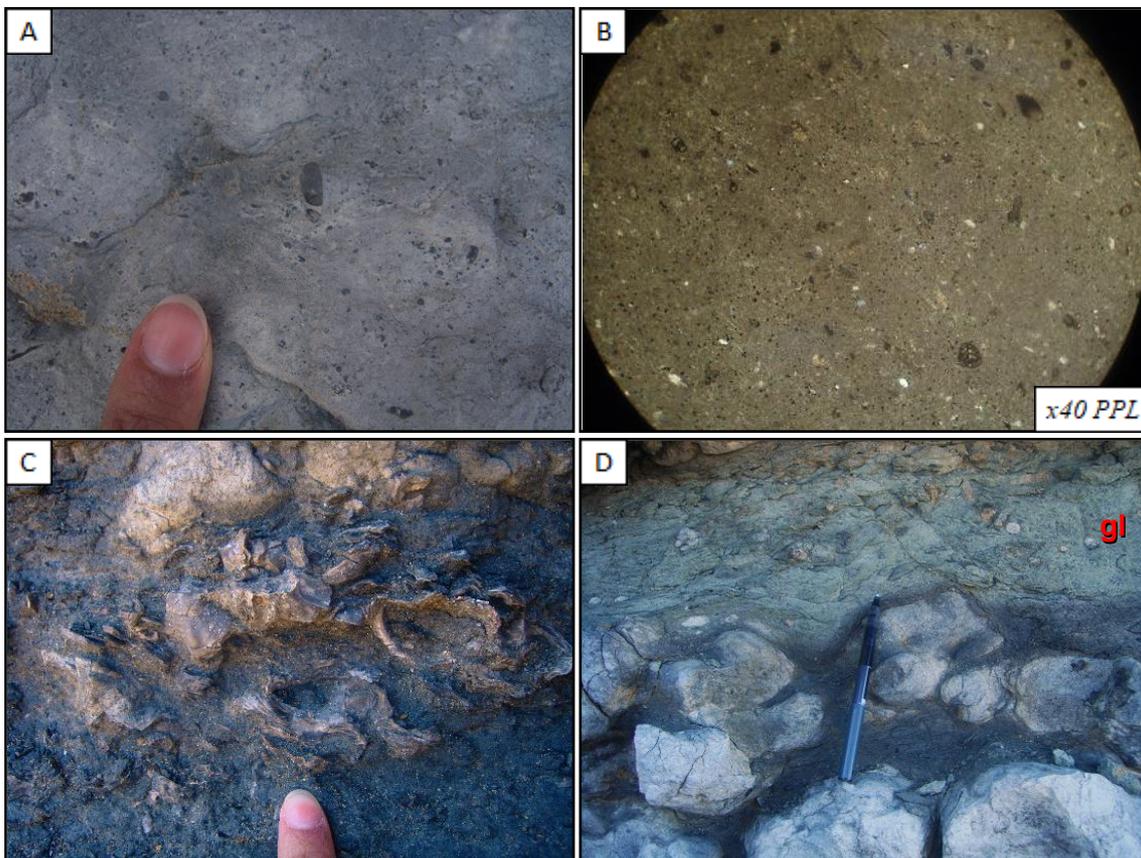


Fig. 15: Aspecto de la facies Ro1 en campo (A) y en lámina delgada (B). C) Colonia de ostreidos en posición de vida, englobada en las margas correspondientes a la facies Ro2. Los ostreidos, así como los serpúlidos, también aparecen frecuentemente encostrando los nódulos carbonatados preformados que se observan en la mitad inferior de la imagen D. El repentino cambio de color que se aprecia en la parte superior de esta última fotografía se debe a la presencia de abundante glauconita (gl: subfacies glauconítica).

Interpretación: La asociación de fósiles, así como los signos de baja tasa de sedimentación (i.e., proliferación de serpúlidos, desarrollo temprano de nódulos y presencia glauconita), señalan un medio marino abierto de baja energía ubicado bajo el nivel de base del oleaje, que se extendería desde la rampa media (Ro1) hasta la rampa externa (Ro2).

- *Framestones de corales ramosos (Ro3):*

En la parte basal de la Fm. Rodezas se observa una bioconstrucción coralina, de alrededor de 1-1.5 m de espesor y lateralmente muy continua. Los corales ramosos se disponen en parches y aparecen asociados con braquiópodos y restos de equínidos, todos ellos englobados en una matriz *wackestone*. El episodio coralino culmina con el crecimiento diseminado de cabezas de corales masivos de hasta 50 cm de diámetro (Fig. 16).

Interpretación: El contenido fosilífero se asemeja al de las facies *Ro1* y *Ro2*, por lo que se propone un medio deposicional marino abierto de similares características, tal vez algo más proximal (i.e., rampa media proximal).

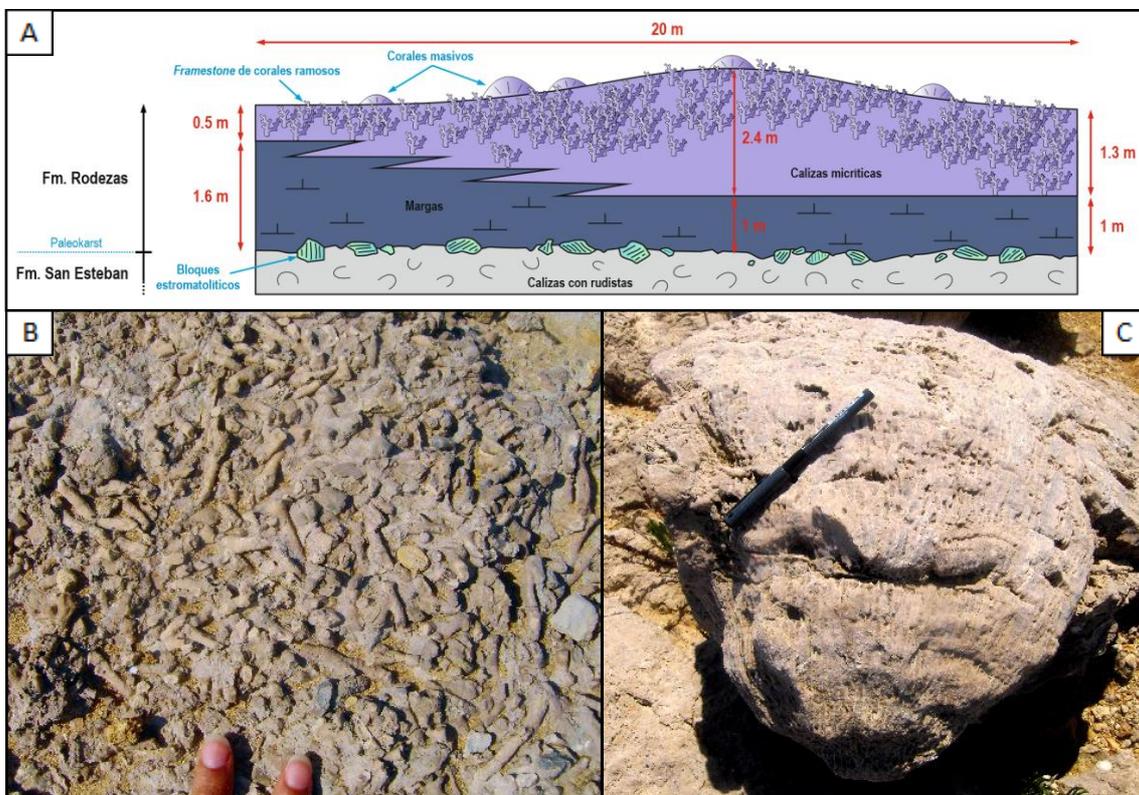


Fig. 16: Facies *Ro3*. A) Esquema del biohermo coralino en la sección de Punta del Torco, donde muestra un espesor máximo de 2.4 m. Dentro de dicho litosomo, existen zonas con corales densamente empaquetados que pasan lateralmente a calizas micríticas con corales ramosos dispersos (y viceversa). B) Detalle del framestone de corales ramosos en Punta del Dichoso. C) Ejemplar de coral masivo a techo de la bioconstrucción (sección de Punta de Afuera).

- *Asociación de facies terrígenas: Areniscas laminadas (Ro4) y rudstones arenosos bioclásticos (Ro5).*

La sección de Punta del Torco intercala además un paquete detrítico de 80 cm de potencia (Fig. 17A), compuesto en su mayor parte por areniscas calcáreas de grano fino con ripples y dunas (Fig. 17B). Las paleocorrientes medidas indican un transporte en sentido este (N090E). Los componentes principales de la facies *Ro4* son cuarzo y fel-

despato, con proporciones variables de carbón, moscovita y bioclastos (esencialmente pequeños fragmentos de ostreidos y artejos de crinoideos). Dicho litosomo arenoso, que se halla intensamente bioturbado hacia techo, aparece cortado por pequeños canales correspondientes a la facies Ro5 (Fig. 17A). Esta última consiste en *rudstones* arenosos levemente laminados ricos en moluscos (pequeños bivalvos y gasterópodos) y placas de equínidos, con porcentajes menores de algas verdes codiáceas, orbitolínidos y briozoos (Fig. 18). También se identifican moldes de cantos blandos.

Interpretación: Este intervalo denota condiciones puntuales de moderada a alta energía, relacionadas con la llegada de aportes deltaicos desde áreas más someras ubicadas al oeste. Por su parte, la bioturbación final refleja el abandono definitivo del medio.

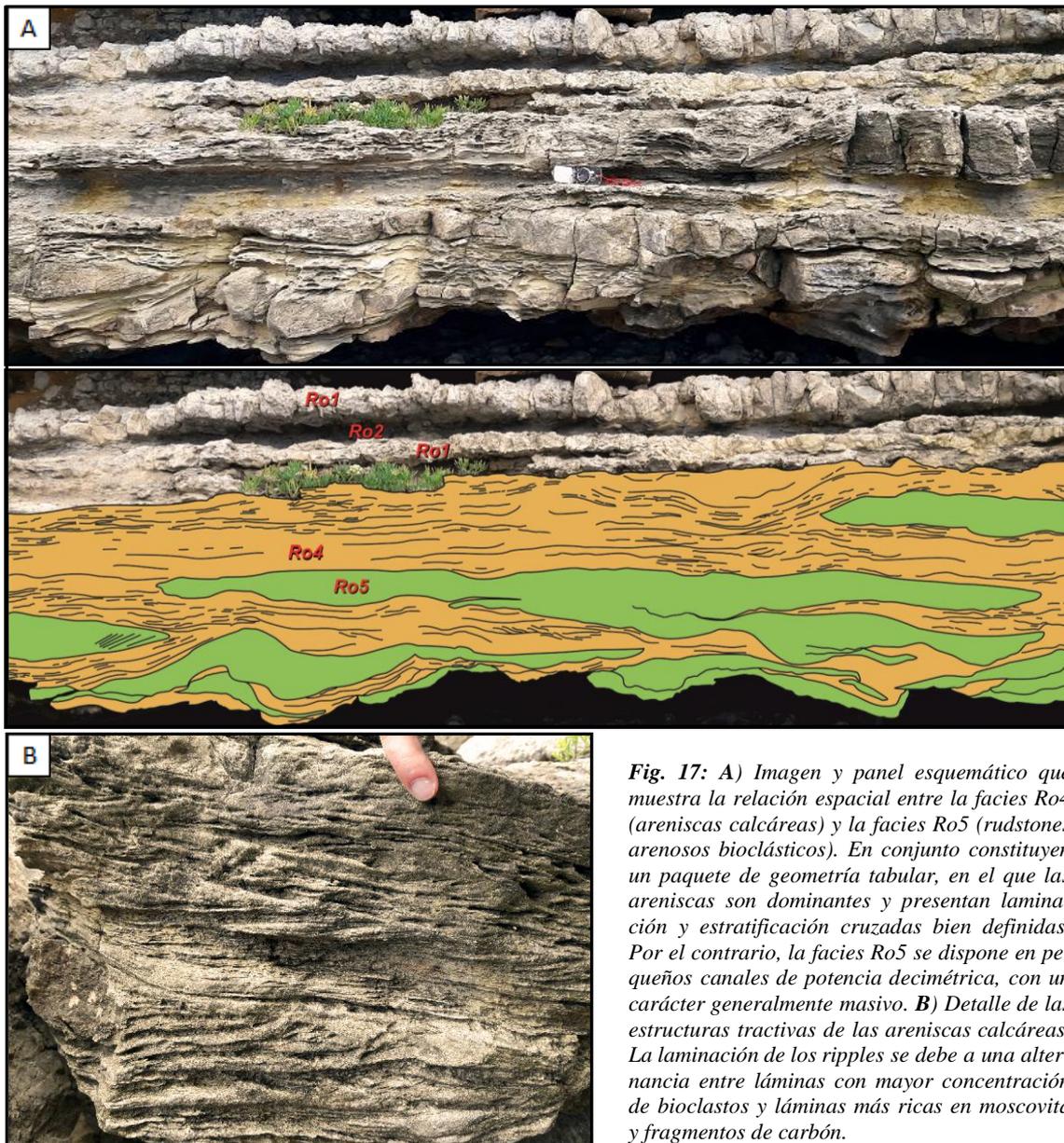


Fig. 17: A) Imagen y panel esquemático que muestra la relación espacial entre la facies Ro4 (areniscas calcáreas) y la facies Ro5 (rudstones arenosos bioclásticos). En conjunto constituyen un paquete de geometría tabular, en el que las areniscas son dominantes y presentan laminación y estratificación cruzadas bien definidas. Por el contrario, la facies Ro5 se dispone en pequeños canales de potencia decimétrica, con un carácter generalmente masivo. B) Detalle de las estructuras tractivas de las areniscas calcáreas. La laminación de los ripples se debe a una alternancia entre láminas con mayor concentración de bioclastos y láminas más ricas en moscovita y fragmentos de carbón.

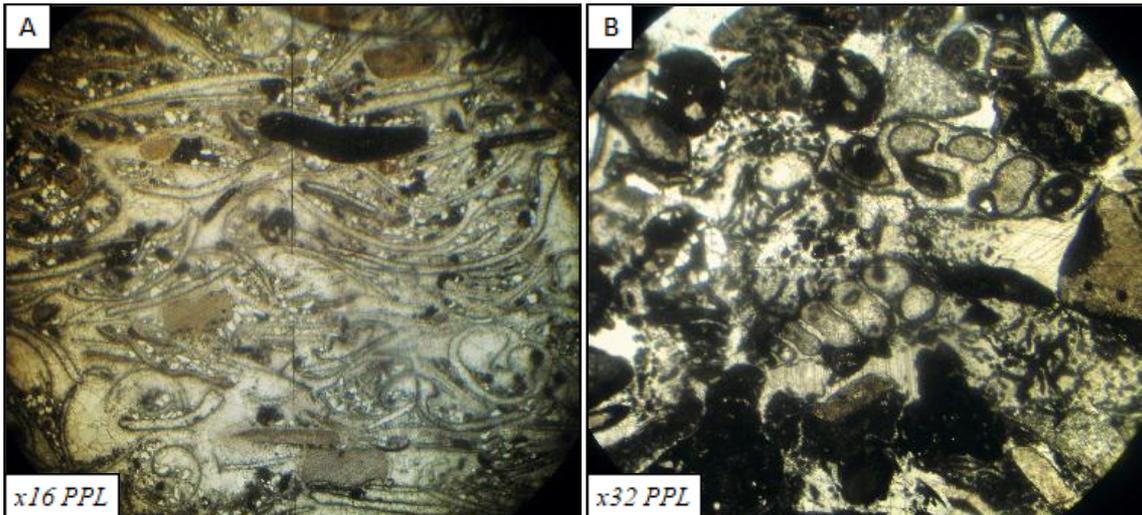


Fig. 18: Vista al microscopio de la facies Ro5, que contiene: A) pequeños bivalvos, arena de cuarzo y placas de equí-nidos, y B) gasterópodos, *Halimeda* sp. y colonias circulares de briozoos. La orientación que muestran ocasionalmente las valvas puede provocar laminaciones difusas. Ambas fotografías corresponden a la misma lámina delgada.

3.2.3. Formación Reocín:

Es la unidad carbonatada de mayor calibre dentro del sector de estudio; de hecho, en la sección de Miengo sobrepasa los 200 metros de potencia, si bien en el resto de los cortes analizados apenas suma 10 m (Fig. 8). Además de los cambios de espesor, existen también diferencias notables en el tipo de facies. En términos generales, la Fm. Reocín está formada por calizas grisáceas puras dominadas por rudistas, orbitolínidos y miliólidos, que pueden aparecer intensamente dolomitizadas. Al menos en el área de Punta del Dichoso, la base muestra un marcado carácter erosivo (Fig. 19), mientras que el techo es una importante superficie de paleokarst. La edad estimada para esta unidad es Aptiense Superior – Albiense Inferior (Pascal, 1985), en base principalmente a la asociación de orbitolínidos (*Orbitolinopsis reticulata* y *Orbitolina (Mesorbitolina) gr. texana-minuta*).



Fig. 19: Brecha basal de la Fm. Reocín en Punta del Dichoso-N.

- *Bafflestones de rudistas (Re1):*

A diferencia de la Fm. San Esteban, en la Fm. Reocín destacan los requiénidos junto con ejemplares del género *Polyconites*. En las secciones occidentales los biostromos de rudistas de gran tamaño ocupan prácticamente la mitad del registro de la unidad, con un episodio inicial de pequeños radiolítidos (Fig. 20A) y la participación activa de grandes ostreidos en el desarrollo arrecifal (Fig. 20B). Por el contrario, en el corte de Miengo las bioconstrucciones de requiénidos y polyconítidos aparecen de manera más diluida (al menos en el intervalo no dolomitizado de la serie), en asociación con monopléuridos, corales ramosos o gasterópodos.

Interpretación: La facies *Re1* se depositó en un ambiente somero de plataforma interna. Las condiciones debieron de ser más favorables para su desarrollo en las secciones occidentales, y tal vez con batimetrías ligeramente superiores en el área de Miengo.

- *Calizas oncolíticas (Re2):*

Se presentan en potentes tramos masivos, formando la mitad superior de la Fm. Reocín tanto en las tres secciones de Punta del Dichoso como en el corte de Punta de Afuera. Están compuestas casi exclusivamente por oncoides de *Lithocodium-Bacinella*, que generalmente muestran diámetros de 3-4 cm y un alto grado de empaquetamiento (Fig. 21A). De acuerdo con las clasificaciones de Flügel (2010), se trata de oncoides de *Tipo L* (*lobate growth forms*, Fig. 21B) cuya laminación es fundamentalmente de *Tipo 5* (*open meshwork*). Rara vez se distingue la naturaleza de sus núcleos. Algunos ejemplares presentan además una fase final de *Tipo 2* (que consiste en envueltas micríticas con parches esparíticos intercalados, Fig. 21D), mientras que otros albergan algas rojas encostrantes del género *Polystrata* (J.C. Braga, com. pers.). La fauna asociada se reduce a escasos restos de equínidos, fragmentos de rudistas bioerosionados y foraminíferos aporcelanados. Hacia techo, se observan intervalos peor seleccionados y más ricos en matriz, con microgrietas de desecación rellenas de esparita y pequeños rizolitos (Fig. 21C). En estos casos la matriz es peloidal, con una textura muy similar a la de la facies *SE6* (Fig. 13D).

Interpretación: Flügel (2010) relaciona este tipo de oncoides con condiciones hidrodinámicas tranquilas. Por lo tanto, se interpreta que se depositaron en un *lagoon* protegido y restringido, con episodios de profundización reflejados por el encostramiento de algas rojas. Por el contrario, los niveles pobremente seleccionados se atribuyen a subambientes más marginales con tendencia a desarrollar procesos de edafización.

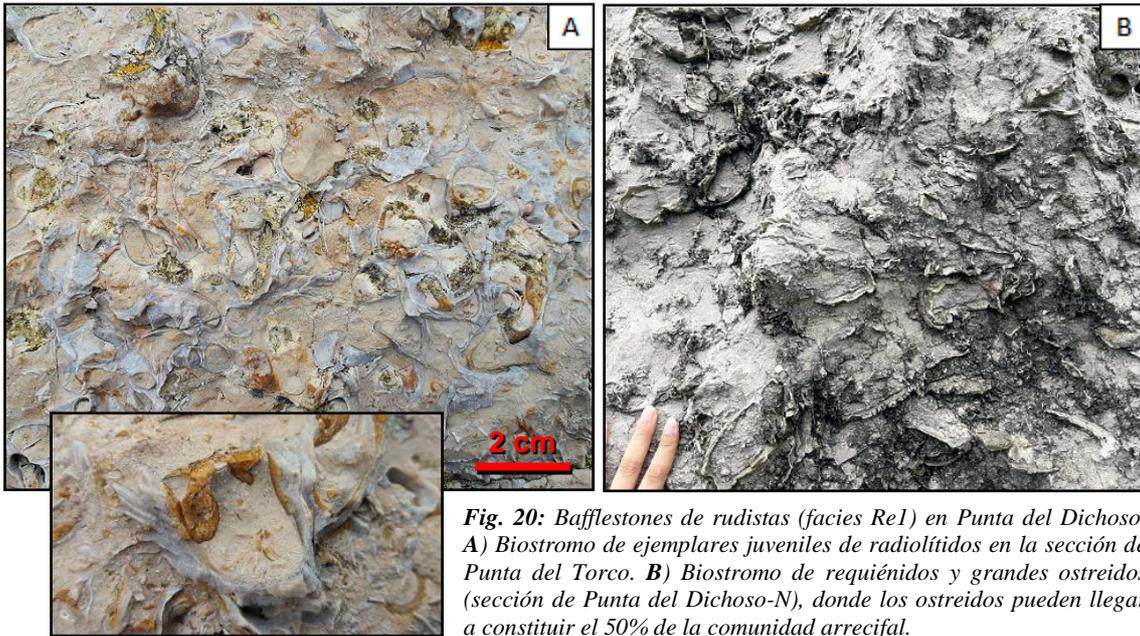


Fig. 20: Bafflestones de rudistas (facies Re1) en Punta del Dichoso. **A)** Biostromo de ejemplares juveniles de radiolítidos en la sección de Punta del Torco. **B)** Biostromo de requiñidos y grandes ostreidos (sección de Punta del Dichoso-N), donde los ostreidos pueden llegar a constituir el 50% de la comunidad arrecifal.

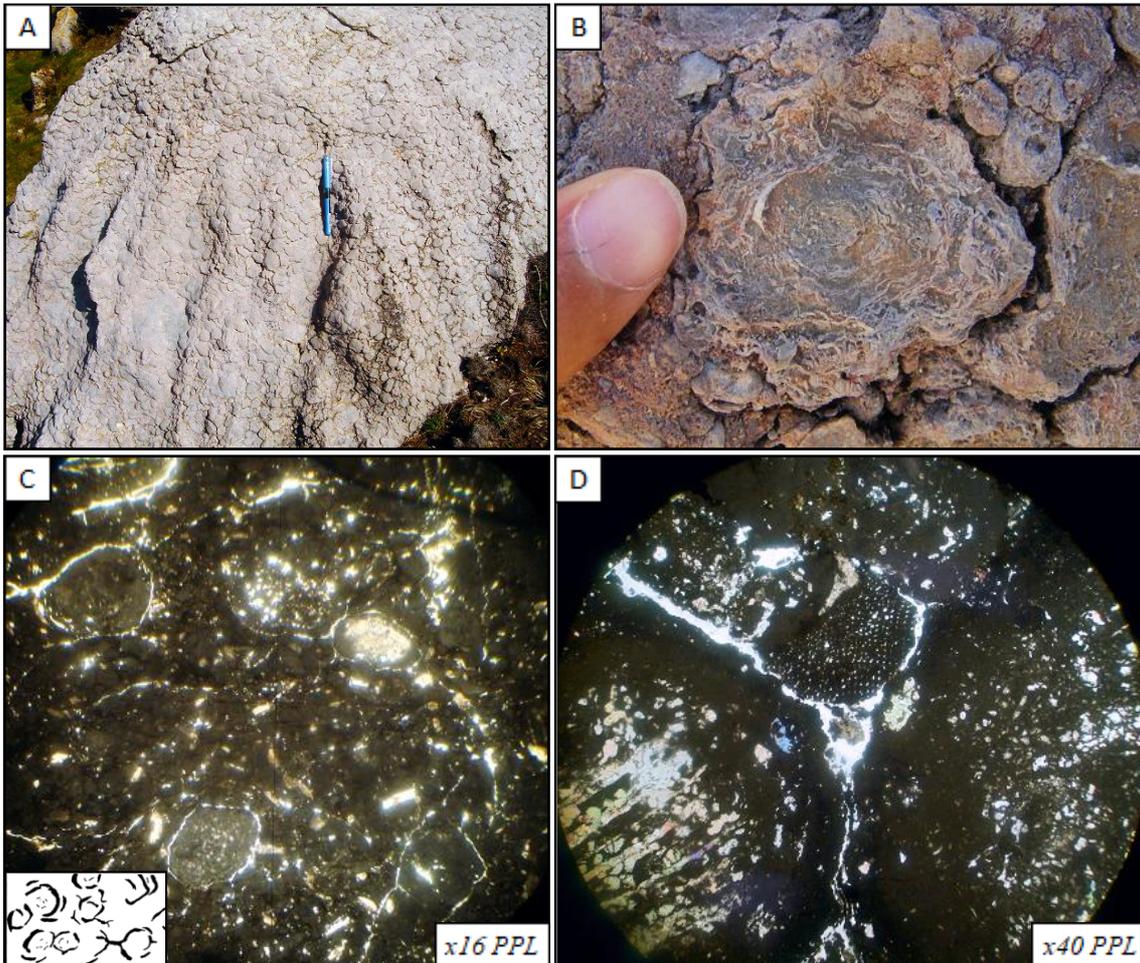


Fig. 21: **A)** Aspecto de la facies Re2 en Punta del Dichoso, con oncoides de *Lithocodium-Bacinella* densamente empaquetados. **B)** Detalle de oncoides de Tipo L, que muestra su característico crecimiento lobulado marcado por una laminación irregular y difusa (en este caso acentuada por la meteorización diferencial del espécimen). **C)** Micrograptolitas de desecación circumgranulares delimitando posibles nódulos o glauconitas incipientes. La matriz es esencialmente peloidal. **D)** Oncoides multifásicos, con laminación inicial de Tipo 5 (asociada al crecimiento conjunto entre *Lithocodium-Bacinella*) y una fase micrítica final de Tipo 2. La laminación es generalmente poco clara al microscopio.

- *Mudstones/ wackestones de Bacinella (Re3):*

Se caracterizan por estar compuestos casi exclusivamente por masas amorfas de *Bacinella irregularis*, las cuales confieren un aspecto bicolor a la roca (Fig. 22). Los relleños geopetales suelen ser comunes, mientras que la fauna asociada es más bien escasa (generalmente miliólidos y gasterópodos).

Interpretación: Esta proliferación microbiana refleja un medio restringido y de baja energía dentro del dominio interno de una plataforma carbonatada, con condiciones estresantes intolerables para la mayor parte de los organismos.

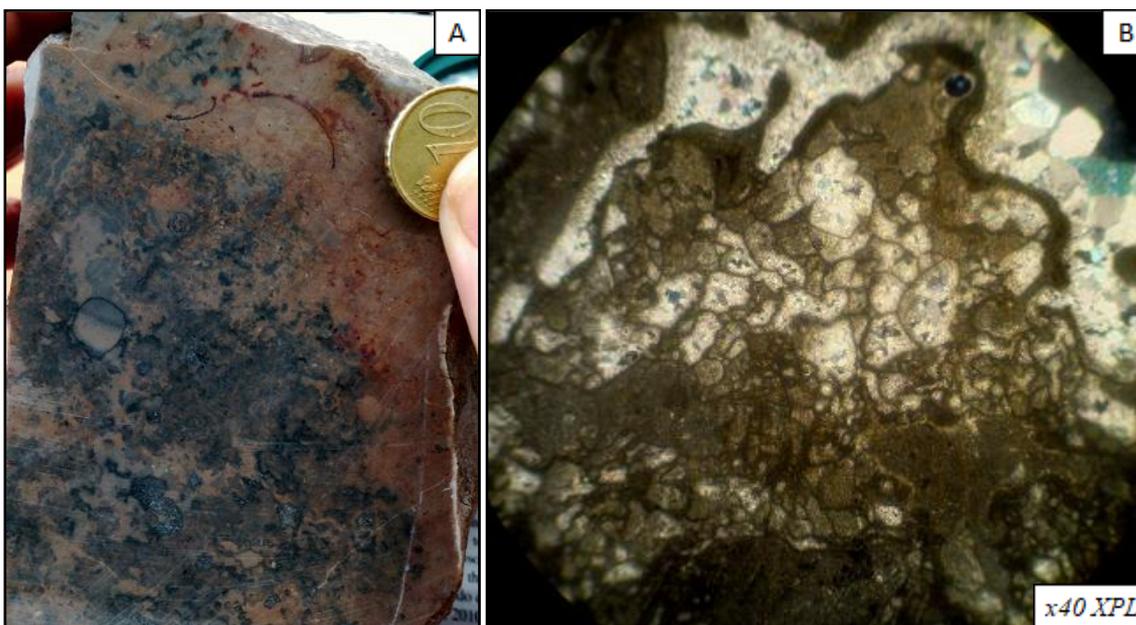


Fig. 22: Muestra de mano (A) y lámina delgada (B) de micritas de *Bacinella irregularis*. La facies Re3 se reconoce fácilmente en el campo por las masas irregulares de coloración variable y por la típica estructura “en grumos”.

- *Wackestones/ packstones de miliólidos con orbitolínidos (Re4):*

Es la facies más habitual de la Fm. Reocín en la sección de Miengo (excluyendo el tramo dolomitizado). Se presenta en forma de bancos masivos de potencia métrica, limitados frecuentemente por superficies alabeadas. Contienen principalmente miliólidos y orbitolínidos (Fig. 23), a los cuales acompañan otros foraminíferos bentónicos (sobre todo biseriados y *Cuneolina* sp.), pequeños requiénidos, corales ramosos y gasterópodos.

Interpretación: Esta facies se interpreta como depositada en un ambiente de *lagoon* más abierto que el correspondiente a las micritas de *Bacinella (Re 3)*, con una alternancia entre momentos de mayor agitación de aguas y condiciones hidrodinámicas más tranquilas. De este modo, los techos alabeados podrían deberse a interrupciones en la sedimentación, o bien tratarse de superficies de erosión internas.

Cabe destacar que hacia la parte superior de la unidad comienzan a manifestarse además masas bacineloides en distintas proporciones; esta alteración representa el cambio gradual a la facies *Re3*, y en consecuencia, un tránsito hacia condiciones más restringidas. Asimismo, hacia el techo de la unidad también se observa una capa muy contaminada por restos de carbón, que señala la primera influencia de aporte continental en la Fm. Reocín, tal vez dentro de un subambiente más próximo a la llanura mareal.

- *Boundstones de Chondrodonta sp. (Re5):*

Aparecen exclusivamente en la sección de Miengo, formando biostromillos que desaparecen lateralmente con rapidez. Se observan ejemplares de *Chondrodonta* tanto en posición de vida como tumbados (Fig. 24), estos últimos inclinándose preferentemente hacia el este y sobre todo hacia el oeste. Miliólidos, orbitolínidos y radiolítidos aparecen asociados con los *Chondrodonta*, todos ellos englobados en una matriz micrítica.

Interpretación: Teniendo en cuenta su posición en la columna estratigráfica (Fig. 8), estas bioconstrucciones parecen estar relacionadas con el comienzo de la etapa microbiana final, de modo que se les atribuye un ambiente de plataforma interna con condiciones ligeramente restringidas y de baja energía. Por su parte, las conchas imbricadas reflejan la destrucción parcial de la comunidad arrecifal tras la acción esporádica de corrientes mareales E-W de energía moderada.

- *Bafflestones de corales ramosos (Re6):*

Se trata de efímeras y poco frecuentes bioconstrucciones de corales ramosos finos, que muestran un bajo grado de empaquetamiento y ocasionalmente pequeños corales masivos y rudistas aislados.

Interpretación: Se consideran discretas comunidades arrecifales que se desarrollaron puntualmente en zonas protegidas de un *lagoon* somero.

- *Dolomías (Re7):*

Abarcan gran parte de la Fm. Reocín en la sección de Miengo (Fig. 8), constituyendo afloramientos ocres a marronáceos de aspecto ruiforme, cubiertos en su mayor parte por los sedimentos estuarinos cuaternarios de la ría de Mogro.

Interpretación: La facies *Re7* es el resultado de un proceso de dolomitización tardío y pervasivo que borró prácticamente todas las texturas y estructuras de las calizas previas (exceptuando fantasmas de rudistas que se detectan en contadas ocasiones).

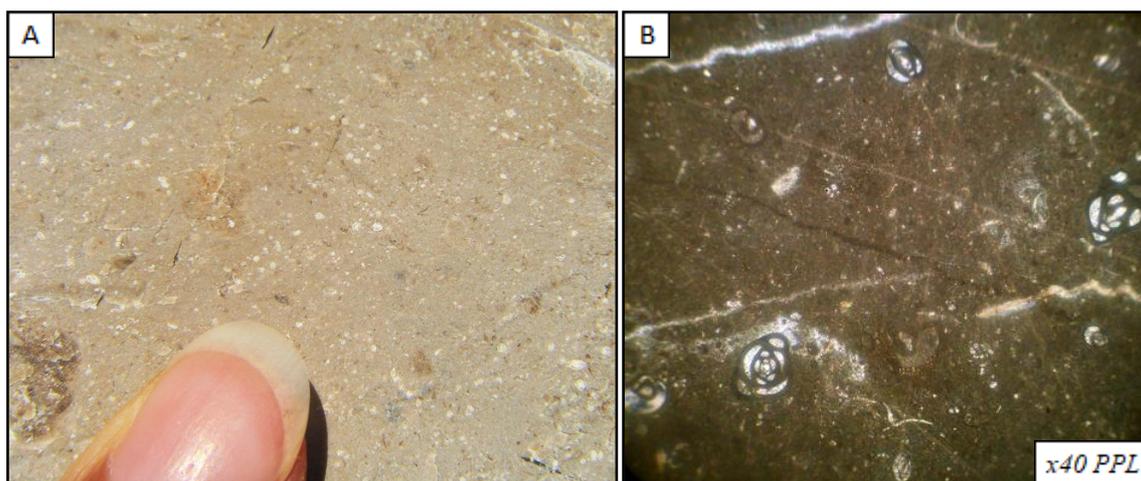


Fig. 23: Facies Re4. **A)** Detalle de packstone de miliólidos en la sección de Cuchía-E (ver Figura 7). **B)** Vista al microscopio de wackestone de miliólidos (corte de Miengo).

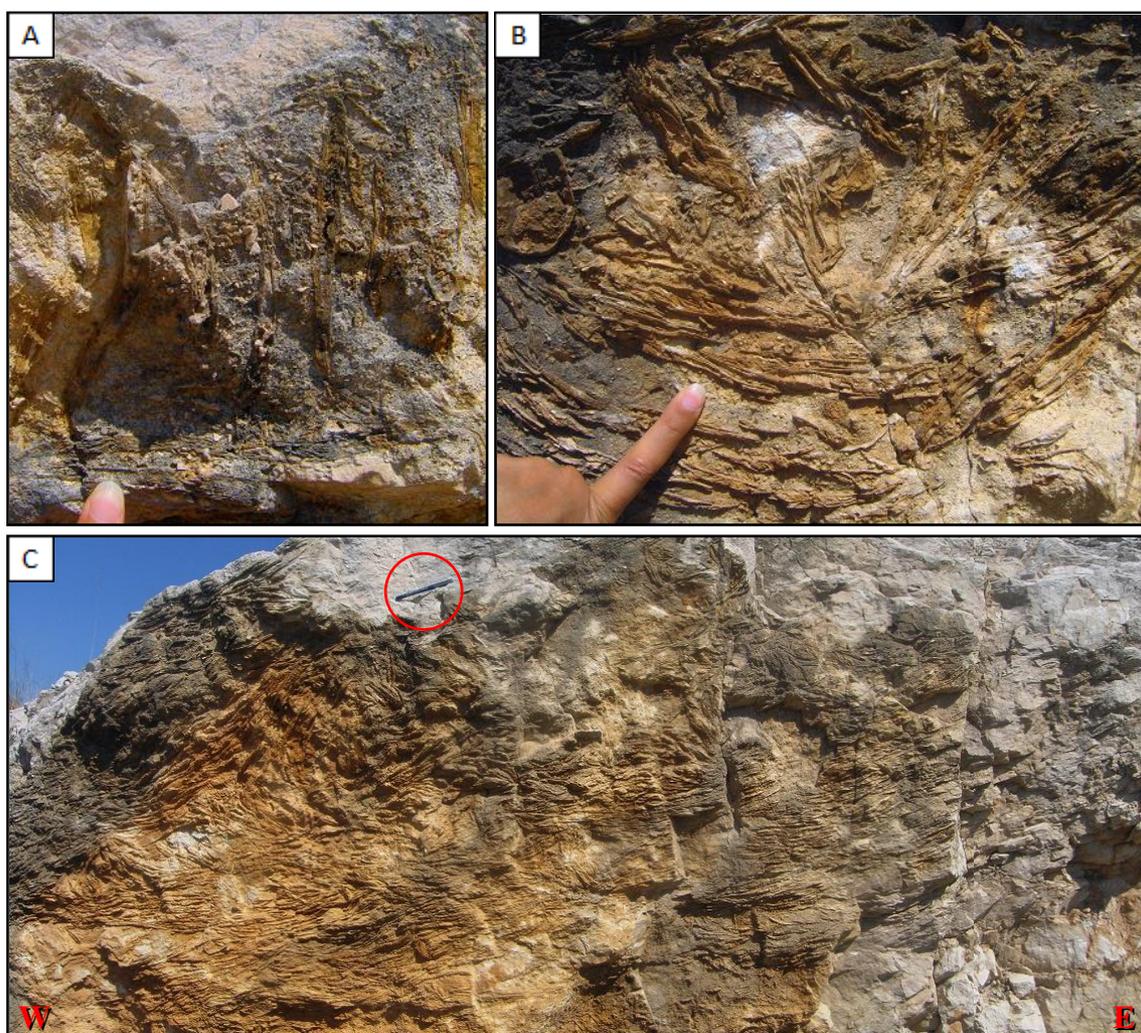


Fig. 24: Facies Re5: Boundstone de *Chondrodonta* sp. en la sección E de la cantera de Cuchía (ver Figura 7), donde muestra su mayor desarrollo. Los moluscos *Chondrodonta* (Albiense-Campaniense) fueron bivalvos relativamente afines a los ostreoides, que vivían semienterrados en el sedimento con las valvas abiertas hacia arriba (A) o bien formando haces de conchas que se abrían espectacularmente en abanico (B). No obstante, gran parte de los ejemplares que se observan en la imagen general (C) se hallan tumbados, en este caso buzando unos 20-25° hacia el oeste.

3.2.4. Formación Barcenaciones:

Al igual que la Fm. Reocín, aflora ampliamente a lo largo de la zona de estudio, con espesores que varían desde 13-20 m (Punta del Dichoso y Punta de Afuera) hasta ~50 m (corte de Miengo). Equivale a la parte alta del Albiense Superior (Vraconiense), debido a la presencia de *Neorbitolinopsis conulus* y *Orbitolina concava*, así como de rudistas de tipo *Caprina choffati* (Pascal, 1985). Está compuesta fundamentalmente por calcarenitas arenosas y calizas de rudistas y corales, con frecuentes cambios laterales y facies muy diversas. Las superficies de paleokarst son especialmente comunes en esta unidad (sobre todo en las secciones occidentales; Figs. 25 y 27), pudiendo mostrarse localmente solapadas por los estratos suprayacentes (Fig. 30).

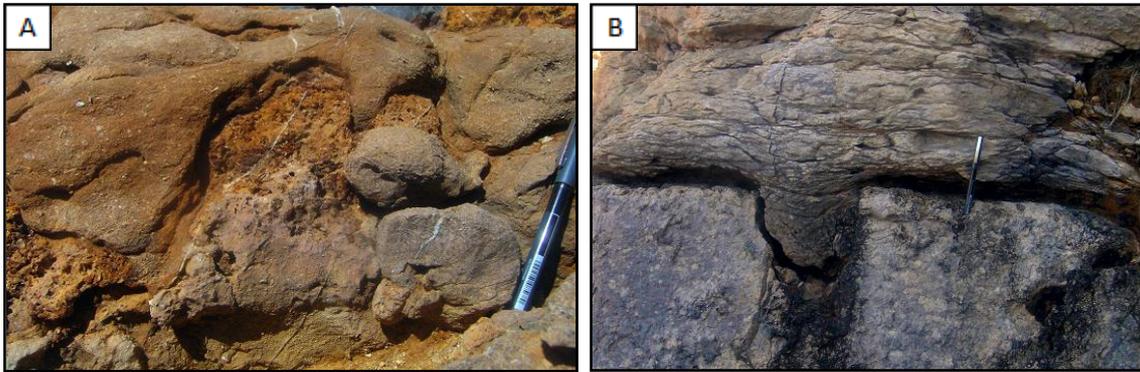


Fig. 25: Ejemplos de superficies de paleokarst en la Fm. Barcenaciones. A) Calizas con techo irregular tapizadas por areniscas calcáreas (Punta del Dichoso-S). B) Cavidad paleokárstica con relleno en “cul-de-sac” (Punta de Afuera).

- *Margas y lutitas carbonosas (Ba1):*

Forman delgados niveles en la base de la Fm. Barcenaciones, englobando gran número de restos carbonosos (Fig. 26A), ostreidos, gasterópodos y ámbar (Fig. 26B).

Interpretación: Esta facies corresponde a una llanura mareal mixta.

- *Packstones de peloides y microforaminíferos bentónicos (Ba2):*

Constituyen bancos decimétricos de calizas wavy bioturbadas con paleokarst a techo, que alternan repetidamente con la facies Ba1 y evolucionan a la facies Ba3 (Fig. 27A). Se componen en su mayoría de peloides, microforaminíferos bentónicos (entre los que dominan los aporcelanados y los biseriados en corte, Fig. 27B), gasterópodos y abundantes restos vegetales carbonizados de diversos tamaños. También pueden incluir, aunque en menor medida, placas de equínidos, algas verdes dasycladáceas, intraclastos micríticos, ámbar y cantidades ínfimas de arena fina de cuarzo. Esta facies aflora en la extrema base y a techo de la Fm. Barcenaciones (Fig. 8).

Interpretación: Debido a su asociación con la facies *Ba1*, se deduce que estas calizas pertenecieron a un ambiente submareal proximal dentro de un gran *lagoon* adosado a la llanura de mareas, bien comunicado con mar abierto y con fango pelletizándose.

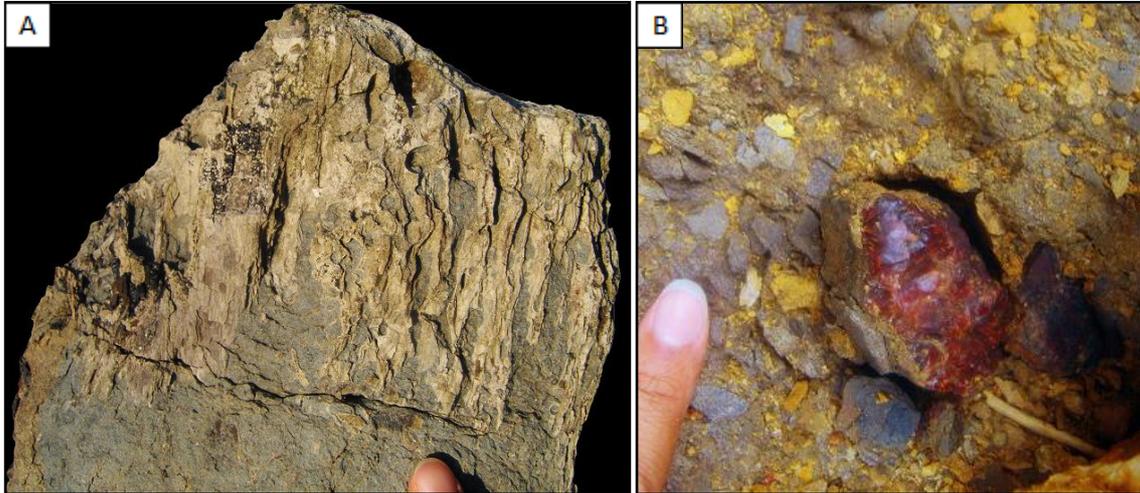


Fig. 26: Restos vegetales de la base de la Fm. Barcenaciones en la sección de Punta del Dichoso-S. **A)** Fragmento de tronco fósil con numerosos signos de bioerosión. **B)** Pieza de ámbar englobada en lutitas carbonosas (facies *Ba1*).

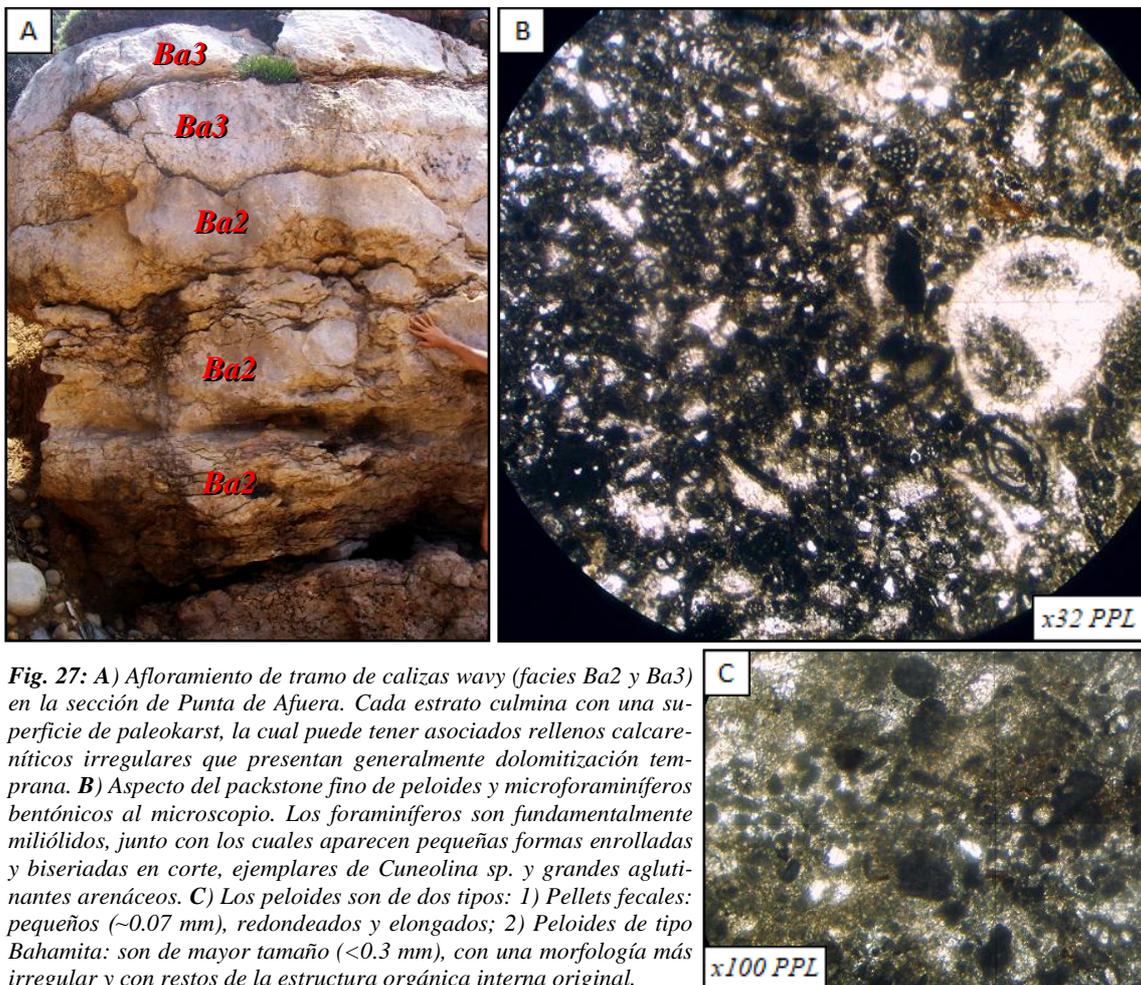


Fig. 27: **A)** Afloramiento de tramo de calizas wavy (facies *Ba2* y *Ba3*) en la sección de Punta de Afuera. Cada estrato culmina con una superficie de paleokarst, la cual puede tener asociados rellenos calcareníticos irregulares que presentan generalmente dolomitización temprana. **B)** Aspecto del packstone fino de peloides y microforaminíferos bentónicos al microscopio. Los foraminíferos son fundamentalmente miliólidos, junto con los cuales aparecen pequeñas formas enrolladas y biseriadas en corte, ejemplares de *Cuneolina* sp. y grandes aglutinantes arenáceos. **C)** Los peloides son de dos tipos: 1) Pellets fecales: pequeños (~0.07 mm), redondeados y elongados; 2) Peloides de tipo Bahamita: son de mayor tamaño (<0.3 mm), con una morfología más irregular y con restos de la estructura orgánica interna original.

- *Floatstones de rudistas y corales (Ba3):*

Se trata de calizas mal seleccionadas que engloban típicamente una macrofauna diversa y relativamente abundante (Fig. 28), la cual consiste sobre todo en fragmentos de rudistas de distintos tipos, colonias de corales ramosos y pequeños corales masivos (junto con los cuales pueden hallarse gasterópodos y briozoos ramosos). La matriz muestra una textura *wackestone* a *packstone* y está compuesta esencialmente por micrita, peloides, foraminíferos bentónicos (orbitolínidos, miliólidos y aglutinantes arenáceos con alto grado de deterioro) y restos de equínidos. A menudo, el contenido macrofósilífero y micrítico tienden a ser inversamente proporcionales. En cualquier caso, la facies *Ba3* aparece puntualmente próxima a la base de la Fm. Barcenaciones (Fig. 27A), y principalmente en la parte superior de la unidad asociada a la facies *Ba12* (Fig. 8).

Interpretación: Esta facies refleja condiciones netamente marinas, más abiertas que las correspondientes a la facies *Ba2*. De esta manera, su depósito se atribuye a un *lagoon* somero abierto, con zonas periarrecifales más agitadas por las corrientes (y por lo tanto, más clásticas y ricas en macrofauna) y áreas interarrecifales (más micríticas y pobres en biota derivada de parches arrecifales).

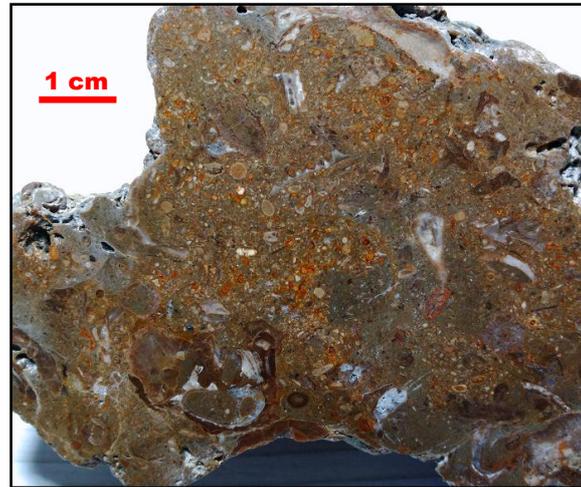


Fig. 28: Muestra de mano pulida de la facies *Ba3*.

- *Wackestones de esponjas y algas verdes (Ba4):*

Forman un intervalo noduloso intensamente bioturbado, con una potencia que varía lateralmente entre 0.5 a 1.3 m. Los componentes principales son restos de esponjas (entre los que se encuentran tanto espículas como fragmentos tubulares recristalizados de hasta 2 cm) y algas verdes dasycladáceas (esencialmente *Acicularia* sp.). También se identifican, aunque en menor cuantía, pequeños gasterópodos (< 1 cm), corales ramosos y placas de equínidos (Fig. 29).

Interpretación: La facies *Ba4* corresponde a un medio de baja energía situado por debajo del nivel de base del oleaje de buen tiempo. Por consiguiente, se deduce que esta facies se depositó en un ambiente de *lagoon* ligeramente más profundo, aunque dentro de la zona fótica, teniendo en cuenta a la presencia generalizada de algas verdes.

- *Asociación de facies terrígenas: Areniscas calcáreas (Ba5) y grainstones a rudstones oolíticos, bioclásticos-peloidales y bioclásticos (Ba6, Ba7, Ba8):*

En términos generales, esta asociación de facies se caracteriza por el predominio de conjuntos mixtos groseros y la intercalación esporádica de depósitos areniscosos (Fig. 30). La facies areniscosa *Ba5* forma estratos tabulares que se disponen preferentemente en la base de cada lote, tapizando la superficie de paleokarst subyacente (Figs. 8 y 25A). Se trata de areniscas calcáreas de grano fino con estratificación horizontal (Fig. 31), que albergan fragmentos de ostreidos, equínidos y carbón, así como orbitolínidos y cantos exóticos metamórficos ocasionales. Esta facies no está presente en el corte de Miengo.

En lo que respecta a los depósitos mixtos de grano grueso, constituyen generalmente cuerpos de geometría canaliforme a gran escala, que pueden contener piezas centimétricas de ámbar, carbón y clastos pizarrosos aislados en la base. En algunos casos se observa además una primera fase areniscosa cortada por canales de menor entidad. Las superficies de erosión internas y la estratificación cruzada son rasgos habituales (Fig. 32); en las secciones de Punta del Dichoso-N y Punta de Afuera las paleocorrientes apuntan hacia el SSE (e.g., N154E), mientras que en Miengo se detecta una marcada bidireccionalidad E-W en la que predomina el sentido oeste (N260E). El relleno de los canales, normalmente heterolítico, consta de tres facies principales, las cuales suelen culminar con intensa bioturbación, con superficies de erosión internas o bien con la acumulación de discretos niveles micríticos (Fig. 33):

- *Grainstones oolíticos de grano fino a medio (Ba6):* Están formados en su mayoría por ooides con fábrica fibroso-radial y núcleos peloidales, pudiendo incluir también pequeñas proporciones de arena terrígena. En las secciones occidentales se encuentran preferentemente ooides superficiales de *Tipo 3* (*sensu Illing – 1954 – y Strasser – 1986 –*, respectivamente) con una distribución de tamaño de grano unimodal (Fig. 34A). Por el contrario, los ooides de Miengo tienden a ser de *Tipo 4* y a presentar un carácter levemente bimodal (Fig. 34B).

- *Grainstones a rudstones bioclásticos (Ba7):* Esta facies se compone en su mayor parte de restos de equinodermos, algas verdes halimedáceas y gasterópodos turriconos (Fig. 34C-D), junto con colonias circulares de briozoos, intraclastos micríticos y fragmentos de bivalvos dispersos. Destacar la ausencia de micrita y de peloides, lo cual contribuye a una muy buena granoselección.

- *Grainstones a rudstones bioclásticos-peloidales (Ba8)*: Podrían considerarse un término intermedio entre las facies *Ba6* y *Ba7*, con proporciones variables de arena siliciclástica (< 30%) y cierto equilibrio entre partículas esqueléticas y no esqueléticas. La bimodalidad es clara en este caso (Fig. 34E-F): entre los componentes de mayor tamaño se encuentran sobre todo orbitolínidos, equínidos, algas verdes hali-medáceas e intraclastos calizos, mientras que los peloides y ooides incipientes forman la fracción fina. Esta facies también puede contener, aunque en menor cuantía, restos de bivalvos, briozoos, gasterópodos, ejemplares de *Involutina hungarica* (sensu Consorti et al., 2014), cámaras aisladas de grandes aglutinantes de granos carbonatados tamaño arena y macrofauna dispersa (e.g., rudistas, corales, nerineidos,...).

Interpretación: Esta asociación de facies refleja en conjunto la influencia de corrientes mareales de moderada a alta energía. De esta manera, las areniscas corresponderían a una fase de expansión del flujo mareal, mientras que los cuerpos predominantemente carbonatados representarían la canalización más o menos progresiva de este último (Fig. 30). Los canales mareales pueden migrar, colmatarse de sedimento rápidamente o bien permanecer “bloqueados” durante intervalos de tiempo variables. En la zona de estudio estos periodos de inactividad están evidenciados por superficies de interrupción en la sedimentación, que delimitan las distintas fases de relleno y ponen de manifiesto las condiciones cambiantes del medio (Fig. 33). Por su parte, el ámbar, el carbón y los extraclastos metamórficos hallados en la base de ciertos litosomos han sido interpretados como restos de un aporte fluvial (i.e., *lag deposits*).

- *Boundstones de corales masivos (Ba9)*:

En la sección de Punta de Afuera constituyen un litosomo de casi dos metros de espesor en el que abundan corales masivos de diversos tamaños, englobados en una matriz *wackestone* y acompañados por caprínidos y polyconítidos dispersos (Fig. 35). El techo es una superficie de erosión, que desciende hacia el oeste hasta que la bioconstrucción se acuña por completo y desaparece definitivamente (Fig. 30C). De esta manera, la facies *Ba9* pasa lateralmente a la facies calcarenítica *Ba8*, la cual en este caso incluye también pequeños corales masivos derivados de la bioconstrucción adyacente.

Interpretación: Los *boundstones* de corales masivos pertenecen a un margen arrecifal, que fue parcialmente erosionado por las mismas corrientes mareales que depositaron la facies *Ba8*.

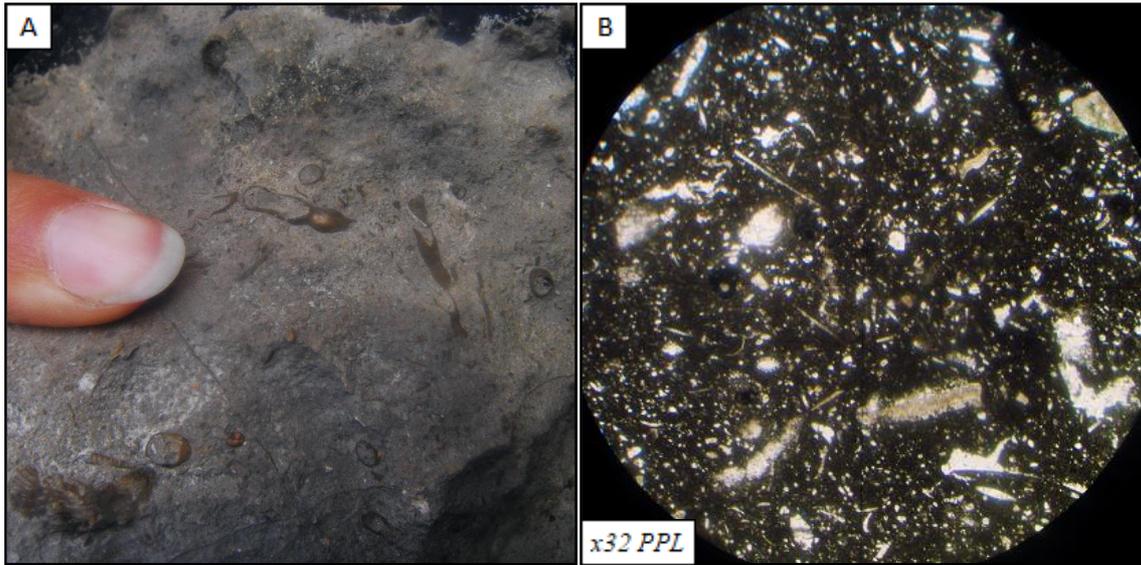
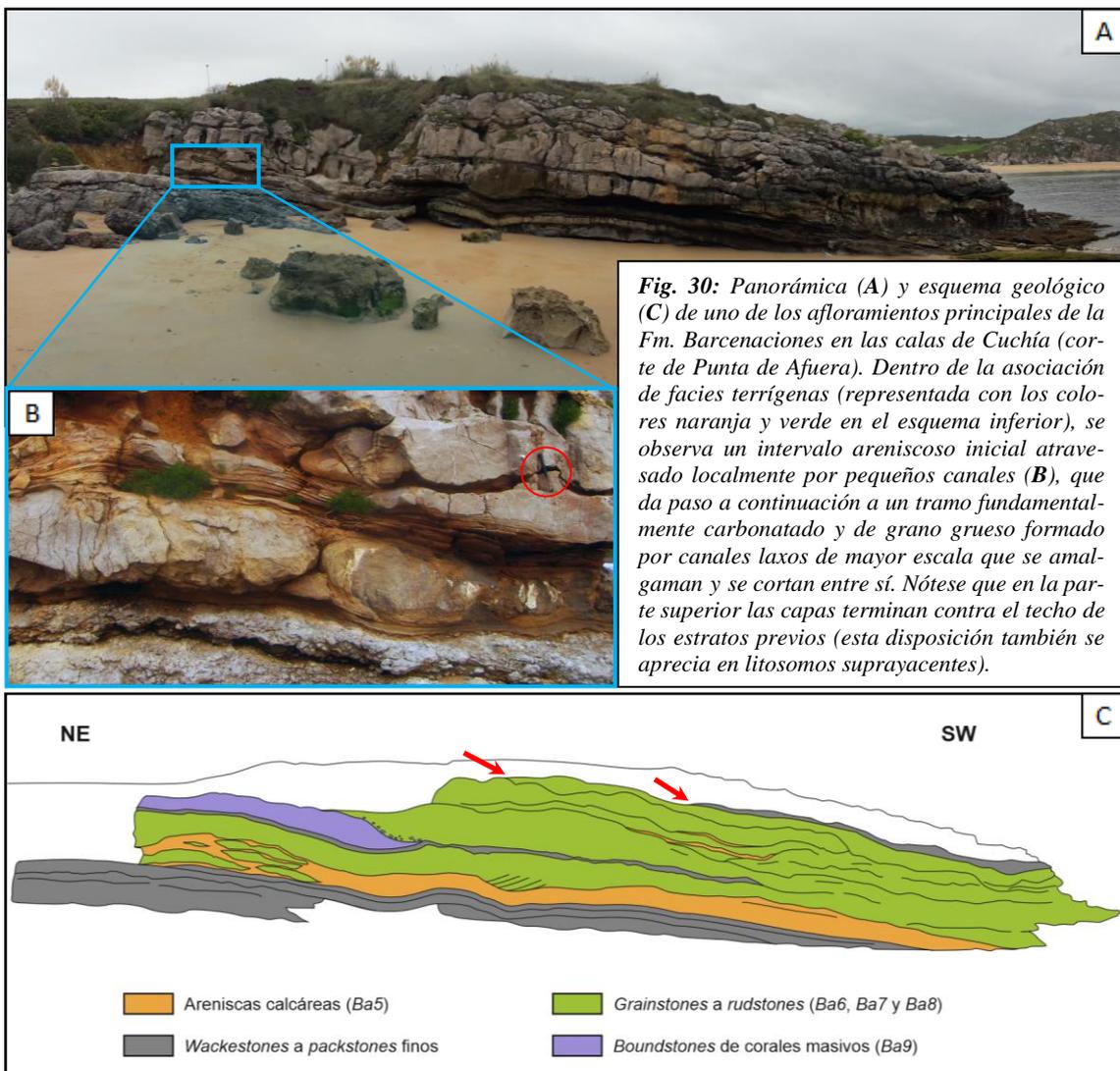


Fig. 29: A) Detalle la facies Ba4 en Punta del Dichoso-S, con fragmentos tubulares de esponjas, corales ramosos y gasterópodos diminutos. B) Aspecto de la misma en lámina delgada, compuesta en su mayoría por abundante micrita, espículas de esponjas y algas verdes dasycladáceas.



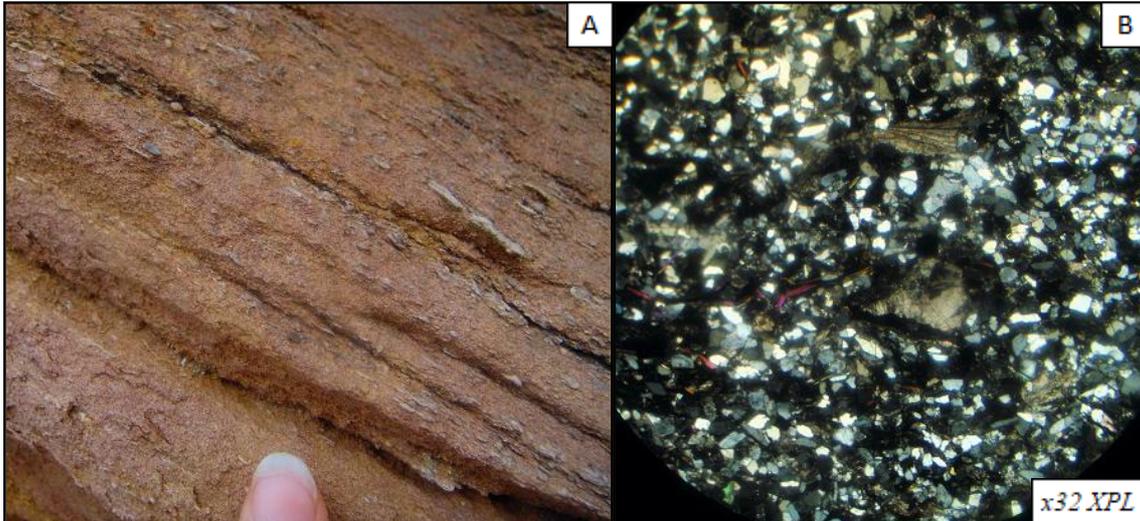


Fig. 31: A) Areniscas calcáreas laminadas en Punta de Afuera. B) Imagen con nícoles cruzados de la facies Ba5. El componente mayoritario es el cuarzo, con proporciones variables de bioclastos, moscovita y feldespato.

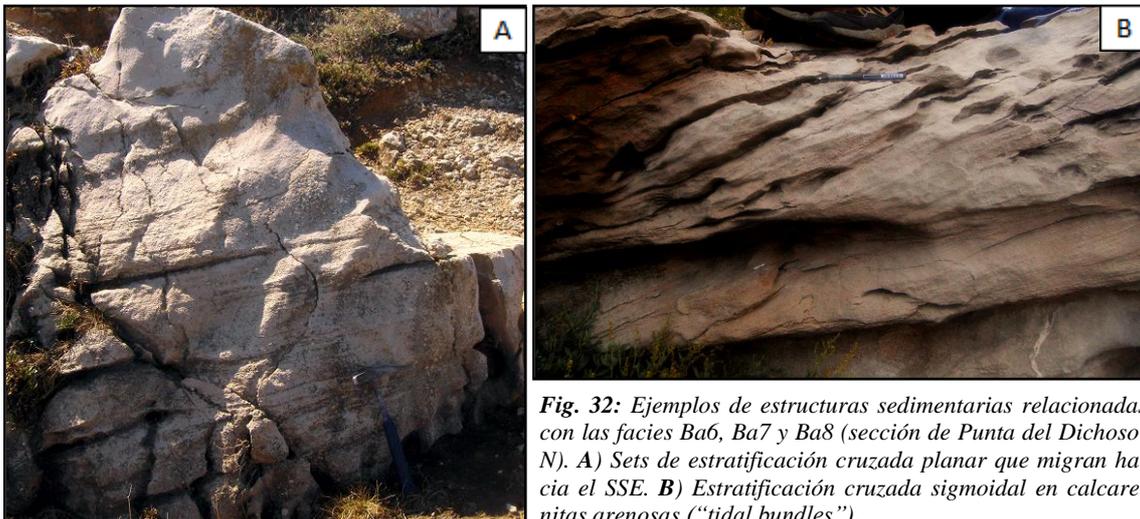


Fig. 32: Ejemplos de estructuras sedimentarias relacionadas con las facies Ba6, Ba7 y Ba8 (sección de Punta del Dichoso-N). A) Sets de estratificación cruzada planar que migran hacia el SSE. B) Estratificación cruzada sigmoidal en calcarenitas arenosas ("tidal bundles").

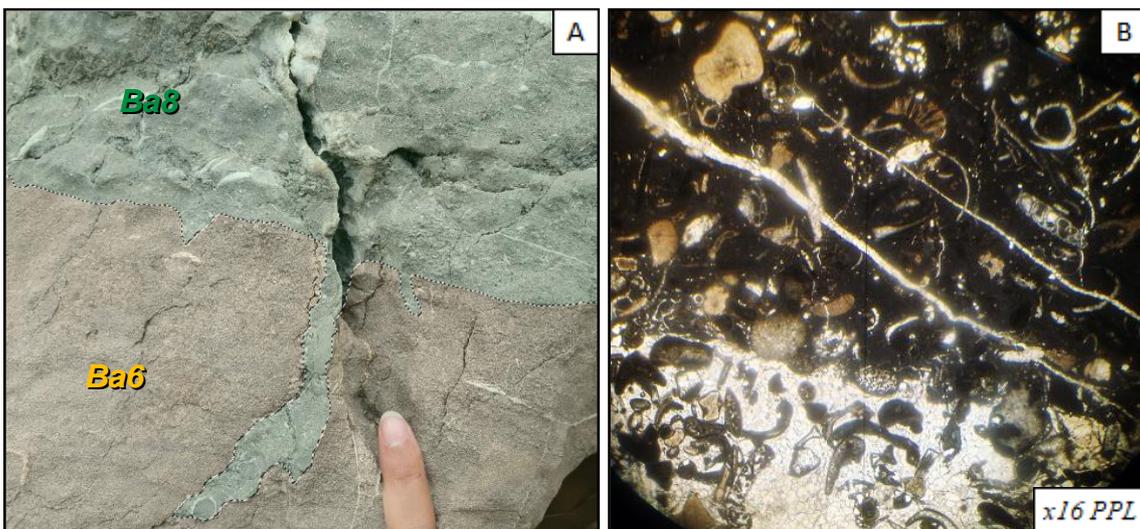


Fig. 33: Relaciones verticales entre las facies mixtas energéticas de la Fm. Barcenaciones. A) Superficie de erosión delimitando la facies oolítica Ba6 y la facies rica en orbitolínidos Ba8. Las superficies de erosión internas pueden desarrollarse sobre superficies de paleokarst o de bioturbación previas. B) Tránsito desde un grainstone oolítico hacia un nivel con textura wackestone (esta imagen corresponde a la misma lámina delgada que la Figura 34A).

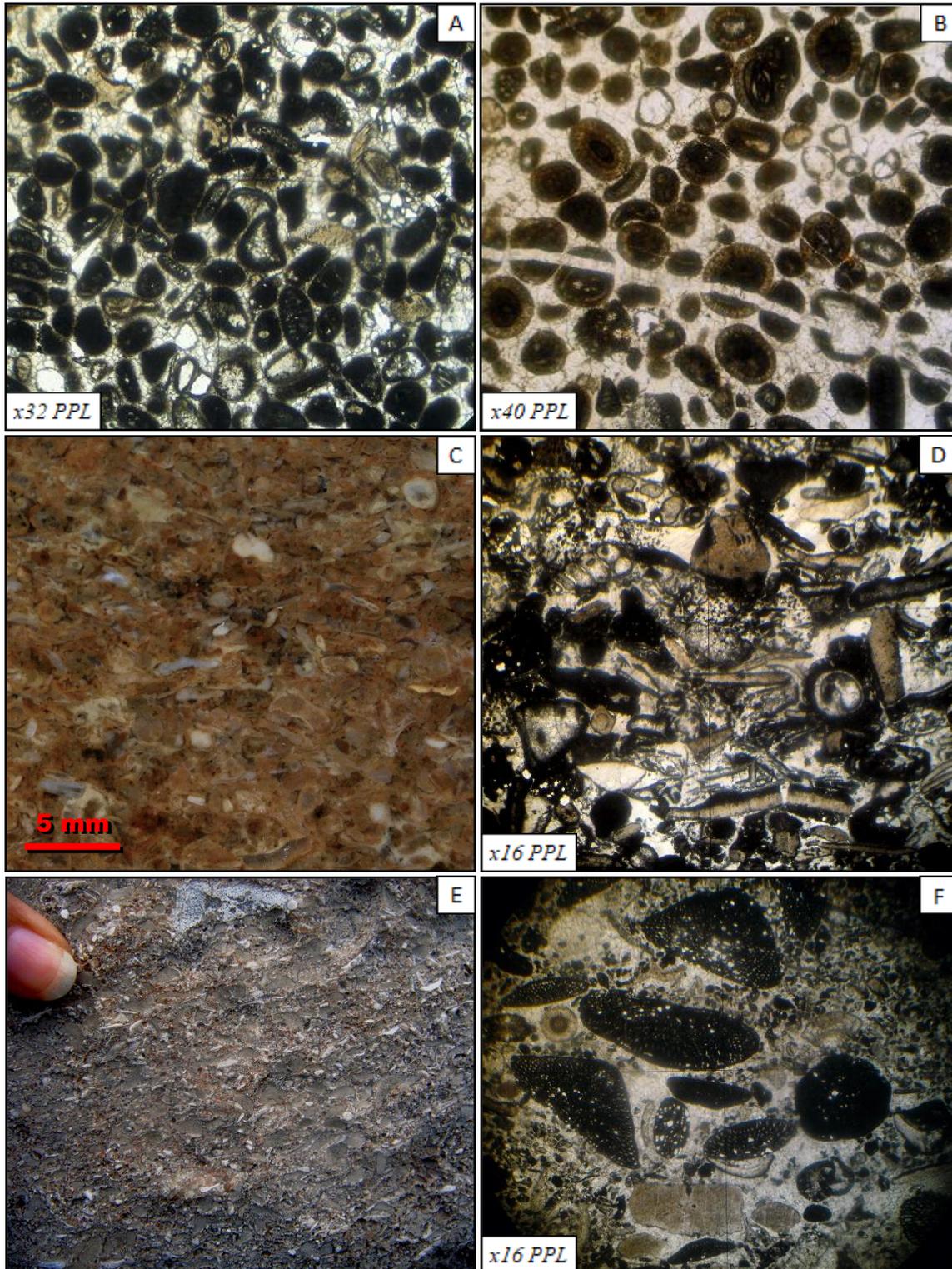


Fig. 34: **A)** Facies Ba6 en Punta de Afuera, con ooides homométricos que generalmente presentan una sola envuelta fina con cristales fibroso-radiales (Tipo 3). Estos ooides incipientes reflejan condiciones de energía moderadas y un rápido enterramiento en el propio ambiente de formación. Debió de tratarse de un medio marginal ligeramente restringido, dada la escasa variedad de los núcleos suministrados. **B)** Grainstone oolítico bimodal en Miengo, con ooides de Tipo 4 más maduros (i.e., con mayor número y grosor de láminas fibrosas). Éstos se generaron en ambientes de baja energía y fueron posteriormente transportados por corrientes energéticas. Detalle de muestra de mano (**C**) y lámina delgada (**D**) de la facies Ba7 (corte de Punta del Dichoso-S). Se trata de un grainstone/ rudstone bioclástico de algas verdes, equínidos y gasterópodos bien seleccionado, que denota un lavado continuo por parte de corrientes de alta energía. Vista en campo (**E**) y al microscopio (**F**) de la facies Ba8 bioclástica-peloidal, claramente bimodal.

- *Packstones de orbitolínidos encostrados (Ba10):*

Se caracteriza por la presencia masificada de orbitolínidos (Fig. 36), junto con los cuales se observa una macrofauna de lo más diversa: monopléuridos, radiolítidos, requiénidos, caprínidos, polyconítidos, colonias de briozoos ramosos de gran tamaño, gasterópodos, braquiópodos (terebratúlidos y rinconélidos) y ostreidos. Por su parte, la matriz incluye esencialmente placas de equínidos y de crinoideos, así como algas verdes halimedáceas y pequeñas colonias circulares de briozoos. Los orbitolínidos aparecen frecuentemente encostrados por algas rojas, mientras que las conchas de rudistas se hallan fragmentadas y con múltiples signos de bioerosión. La organización del tramo es caótica en general, con bioturbación moderada y una rápida disminución en el contenido terrígeno hacia techo.

Interpretación: La facies *Ba10* constituye un nivel ligeramente condensado, depositado en un medio inicialmente energético en el que posteriormente dominaron condiciones de baja energía y baja tasa de sedimentación (lo cual permitió actuar a los organismos encostrantes y bioerosionadores). La amplia variedad de macrofósiles pertenecientes a diferentes hábitats y su avanzado estado de deterioro sugieren un “barrido” o arrasamiento de los mismos hacia una zona de acumulación conjunta.

- *Framestones/ rudstones de corales ramosos (Ba11):*

Se trata de un tramo dominado por corales ramosos, que muestra también una disposición caótica y un contenido fósil similar al de la orbitolinita subyacente (facies *Ba10*). El espesor varía desde 0.3 m en el corte de Punta del Dichoso-N, hasta 1.2 m en Punta de Afuera. En la base los corales se congregan formando una especie de parches con colonias invertidas ocasionales (Fig. 37A), mientras que en la parte superior presentan envueltas grisáceas de 1-4 mm de grosor (Fig. 37B). El techo está coronado por pectínidos, corales masivos de 10-20 cm de diámetro y esponjas aisladas, así como por agrupaciones de pequeños radiolítidos que pueden llegar a ser relativamente abundantes.

Interpretación: La facies *Ba11* representa un intento de colonización del sustrato subsiguiente al repentino abandono del medio reflejado por la orbitolinita subyacente. Sin embargo, el fuerte oleaje de tormenta destruyó el arrecife incipiente, tras lo cual volvieron a establecerse condiciones de baja energía y baja tasa de sedimentación que dieron paso de nuevo a la acción de organismos encostrantes y bioerosionadores.



Fig. 35: Aspecto de la facies Ba9 en Punta de Afuera, con cabezas de corales masivos de hasta 40 cm de diámetro.



Fig. 36: Facies orbitolínica Ba10 en Punta del Dichoso-S, donde muestra un espesor de 0.4-0.8 m.

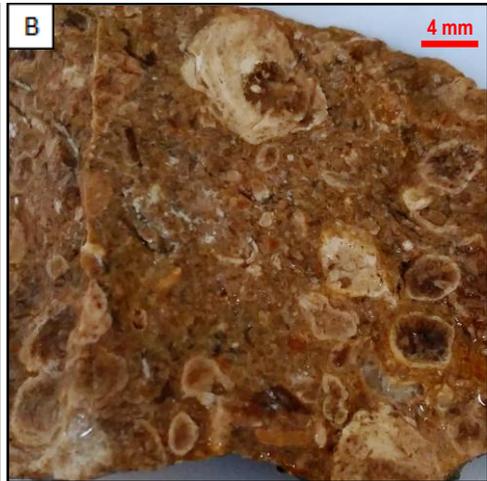


Fig. 37: Facies Ba11. **A)** Colonia de corales ramosos volteada debido a la acción del fuerte oleaje (corte de Punta de Afuera). **B)** Corales ramosos encostrados en la parte superior del tramo (sección de Punta del Dichoso-S).



Fig. 38: Bioconstrucciones de rudistas (facies Ba12) en la parte suroeste de Punta del Dichoso. **A)** Biostromo de caprínidos. **B)** Comunidades de radiolitidos; en la imagen se observan principalmente especímenes adultos, si bien normalmente predominan los ejemplares juveniles.

- *Bafflestones de rudistas (Ba12):*

Al contrario que en las unidades anteriores, en la Fm. Barcenaciones dominan los caprínidos (i.e., *Caprina choffati*), los radiolítidos y los monopléuridos. En la parte media-superior de la unidad los biostromos son de caprínidos (Fig. 38A), los cuales coexisten con todo tipo de rudistas (requiénidos, radiolítidos, monopléuridos y polyconítidos), así como con corales masivos y ramosos. La matriz es un *wackestone* de bioclastos, si bien hacia techo las bioconstrucciones pueden mostrar localmente una textura *rudstone*. En la parte final de la Fm. Barcenaciones, los biostromos son más bien discretos y están compuestos básicamente por radiolítidos (Fig. 38B), acompañados por monopléuridos, grandes nerineidos y corales muy dispersos. La facies *Ba12* pasa lateralmente y en la vertical a la facies *Ba3* (Fig. 8).

Interpretación: Estos biostromos se interpretan como arrecifes desarrollados en un ambiente de *lagoon* somero abierto y afectados puntualmente por el oleaje.

- *Calizas oncolíticas (Ba13):*

Se hallan únicamente en la parte final de la sección de Punta de Afuera (Fig. 8), constituyendo un nivel de 40 cm de espesor. Se trata de oncoides de *tipo L* densamente empaquetados (Fig. 39A), en cuyos núcleos se reconocen fundamentalmente fragmentos de corales ramosos y conchas de monopléuridos. Mencionar que la aparición y desaparición de oncoides no es repentina, sino que se produce de manera gradual (Fig. 39B).

Interpretación: La facies *Ba13* se relaciona con ambientes someros restringidos.

- *Floatstones de nerineidos (Ba14):*

Su rasgo principal es la alta concentración de gasterópodos nerineidos. La fauna acompañante se reduce a miliólidos y monopléuridos en el corte de Miengo (Fig. 40A), mientras que en Punta de Afuera aparecen también pequeños corales masivos (Fig. 40B). En la parte final de la sección de Punta del Dichoso-S también se detecta un aumento en la proporción de nerineidos (Fig. 40C), si bien en este punto no llegan a formarse grandes acumulaciones antes del paleokarst final de la Fm. Barcenaciones.

Interpretación: Las asociaciones mono-específicas se desarrollan típicamente en ambientes estresados con condiciones no aptas para la mayor parte de las especies. En este caso, las gasteropoditas se atribuyen a un ambiente marginal intermareal a submareal proximal, más abierto hacia el norte debido a la presencia de corales (Punta de Afuera).

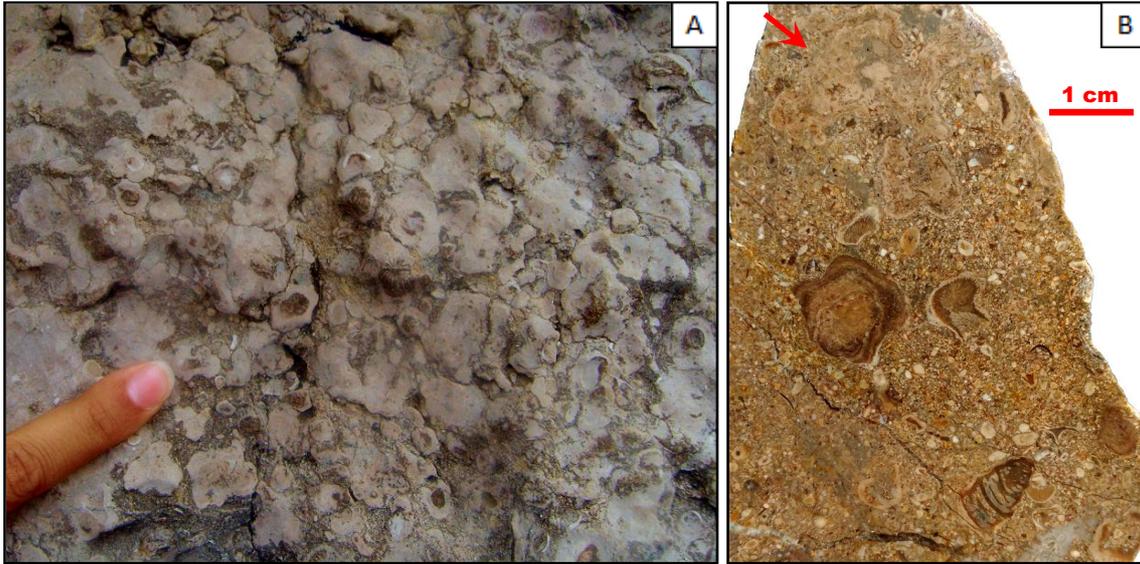


Fig. 39: A) *Oncoides lobulados* bien desarrollados en la parte final de la Fm. Barcenaciones (Punta de Afuera). B) *Encostramientos* incipientes alrededor de bioclastos en un estrato previo a (A); el grosor de las envueltas varía entre 1 y 3 mm, si bien abundan más los *encostramientos* discretos. Por otro lado, en la parte superior de la fotografía se identifica también una masa irregular con posible origen *Bacinelloide* (señalada con la flecha roja).



Fig. 40: Niveles ricos en gasterópodos a techo de la Fm. Barcenaciones en Punta de Afuera (A) y en Miengo (B). En la sección de Punta del Dichoso-S la presencia de *nerineidos* se acentúa localmente (C), aunque aparecen de manera más dispersa y no llegan a constituir un intervalo lateralmente continuo como en Punta de Afuera y Miengo.

Fm.	Código	Facies	Características			Interpretación	Sección				
			Componentes principales	Constituyentes minoritarios	Otros rasgos		Ambiente de depósito	Di-S	Di-N	Tor	Afu
SAN ESTEBAN	SE1	<i>Bafflestones</i> de rudistas	Requiénidos, miliólidos, equínidos	Ostreídos, gasterópodos, corales, capríidos	Biostromos	Arrecifal (rampa interna)	?	✓	✓	✓	✓
	SE2	<i>Packstones</i> de miliólidos con equínidos	Miliólidos, equínidos	Requiénidos, oncoïdes, cantos oscuros	Carácter masivo	Interarrecifal (rampa interna)	?	✓	✓	✓	✓
	SE3	<i>Packstones</i> de orbitolínidos con miliólidos	Orbitolínidos, miliólidos	Requiénidos	Aparición puntual	Rampa interna	?	✓	?	?	✓
	SE4	Calizas oncolíticas	Oncoïdes de <i>Lithocodium-Bacinella</i>	Miliólidos, orbitolínidos, requiénidos, nerineïdos	Carácter masivo	Interarrecifal somero y restringido (rampa interna)	?	✓	?	?	✗
	SE5	Estromatolitos aglutinados	Peloides Laminaciones microbianas	-	Huellas de desecación Fábrica <i>clotted</i> -peloidal Fáb. fenestral laminoïde	Crecimiento en zona intermareal Desmantelamiento en zona supramareal	?	✓	✓	✗	✗
	SE6	Conglomerados calcáreos	Intraclastos (calizos, oscuros, estromatolíticos), fragmentos de requiénidos, peloides	Orbitolínidos, miliólidos, rizolitos	Fábrica fenestral tubular Estructuras alveolares	Depósito en zona submareal somera Pedogénesis incipiente en zona supramareal	?	✓	✓	✓	✗
RODEZAS	Ro1	Calizas nodulosas	Ostreïdos, serpulidos, pectínidos, braquiópodos	Equínidos, crinoïdeos, carbón, corales ramosos	Bioturbación Nódulos	Rampa media distal	?	✓	✓	✗	✗
	Ro2	Margas Subf. glauconítica				Glauconita	-	-	Rampa externa	?	✓
	Ro3	<i>Framestones</i> de corales ramosos	Corales ramosos	Braquiópodos, equínidos, grandes corales masivos	Biostromo/ biohermo	Rampa media proximal (arrecifal)	?	✓	✓	✓	✓
	Ro4	Areniscas laminadas	Cuarzo Feldespato	Moscovita, carbón, bioclastos (ostreïdos y crinoïdeos)	Geometría tabular Ripples y dunas Bioturbación a techo	Rampa media con llegada de aportes deltaïcos	?	✗	✓	✗	✓
	Ro5	<i>Rudstones</i> arenosos bioclasticos	Bivalvos, gasterópodos, equínidos, cantos blandos	Algas verdes codiáceas, orbitolínidos, briozoos	Geometría canaliforme Laminación difusa		?	✗	✓	✗	✓
REOCÍN	Re1	<i>Bafflestones</i> de rudistas	Requiénidos, polyconitidos	Monopléuridos, corales ramosos, gasterópodos	Biostromos efímeros y discontinuos	Arrecifal, <i>lagoon</i> somero abierto	✗	✗	✗	✗	✓
			Requiénidos, ostreïdos	Polyconitidos, equínidos	Biostromos persistentes y lateralmente continuos		✓	✓	✓	✓	✗
			Ejemplares juveniles de radiolítidos				?	✓	✓	✓	✗
	Re2	Calizas oncolíticas	Oncoïdes de <i>Lithocodium-Bacinella</i>	Algas rojas, equínidos, rudistas, foram. aporcelanados	Carácter masivo Microgrietas de desecac. Rizolitos	Depósito en <i>lagoon</i> protegido y restringido Pedogénesis incipiente en zona supramareal	✓	✓	✓	✓	✗
	Re3	Micritas de <i>Bacinella</i>	Masas irregulares de <i>Bacinella</i>	Gasterópodos, miliólidos	Rellenos geopetales	<i>Lagoon</i> restringido	✗	✗	✗	✗	✓
Re4	<i>Wackestones/packstones</i> de miliólidos con orbit.	Miliólidos, orbitolínidos	Requiénidos, corales ramosos, gasterópodos, otros microforaminíferos bentónicos (± <i>Bacinella</i>)	Carácter masivo	<i>Lagoon</i> somero abierto	✗	✗	✗	✗	✓	

REOCÍN	Re5	Boundstones de <i>Chondrodonta</i> sp.	<i>Chondrodonta</i> sp.	Miliólidos, orbitolinidos, radiolítidos.	Conchas imbricadas	Parche arrecifal en <i>lagoon</i> protegido y restringido con agitación esporádica	✗	✗	✗	✗	✓
	Re6	Bafflestones de corales ramosos	Corales ramosos	Corales masivos, rudistas	-	Arrecifal, <i>lagoon</i> somero abierto	✗	✗	✗	✗	✓
	Re7	Dolomías	Dolomita	Fantasmas de rudistas	Aspecto ruiforme	Diagenético tardío	✗	✗	✗	✗	✓
BARCENACIONES	Ba1	Margas y lutitas carbonosas	Carbón, gasterópodos	Ostreidos, ámbar	Niveles delgados	Llanura mareal fangosa	✓	✓	?	✓	✓
	Ba2	Packstones de peloides y foraminif.	Peloides, microforaminíferos bentónicos de distintos tipos	Gasterópodos, carbón, ámbar Algas verdes, equinidos	Carácter masivo	Ambiente marginal de <i>lagoon</i>	✓	✓	?	✓	?
	Ba3	Floatstones de rudistas y corales	Rudistas de distintos tipos, corales ramosos y masivos	Gasterópodos, briozoos Peloides, foraminíferos, equinidos (en la matriz)	Calizas mal seleccionadas	<i>Lagoon</i> somero abierto	✓	✓	?	✓	✓
	Ba4	Wackestones de esponjas y algas	Esponjas, algas verdes dasycladáceas	Corales ramosos, gasterópodos, equinidos	Nodulización Bioturbación	<i>Lagoon</i> relativamente profundo	✓	✓	?	?	✓
	Ba5	Areniscas calcáreas	Cuarzo, feldespato, ostreidos	Carbón, equinidos, orbitolinidos	Geometría tabular Estratificación horizontal	Submareal somero	✓	✓	?	✓	✗
	Ba6	Grainstones oolíticos	Ooides con núcleos peloidales	Arena terrígena	Estratificación cruzada (planar, sigmoidal, en surco) bidireccional Superficies de erosión internas Bioturbación	Canales mareales laxos con relleno heterolítico	✓	✓	?	✓	✓
	Ba7	Grainstones/ rudstones bioclásticos	Equinidos, algas verdes halimedáceas, gasterópodos	Briozoos, intraclastos micríticos, bivalvos			✓	?	?	?	?
	Ba8	Grainstones/ rudstones bioclásticos-peloidales	Orbitolinidos, equinidos, algas verdes halimedáceas, intraclastos	Peloides, ooides			✓	✓	?	✓	✓
	Ba9	Boundstones de corales masivos	Corales masivos	Caprinidos, polyconitidos	-	Margen arrecifal	✗	✗	?	✓	✗
	Ba10	Packstones de orbitolinidos encostrados	Orbitolinidos encostrados	Rudistas de diversos tipos, briozoos ramosos, ostreidos, gasterópodos, braquiópodos, pectinidos, corales masivos, esponjas, equinidos, crinoideos, algas verdes,...	Organización caótica Bioturbación Macrofauna deteriorada	Ambiente de baja energía y baja tasa de sedimentación tras episodios de tormentas.	✓	✓	?	✓	✗
	Ba11	Framestones/ rudstones de corales ramosos	Corales ramosos (encostrados hacia techo)		Disposición caótica Colonias invertidas Macrofauna deteriorada		✓	✓	?	✓	✗
	Ba12	Bafflestones de rudistas	Caprinidos Radiolítidos	Requiéridos, monopléuridos, polyconitidos, corales (masivos y ramosos), nerineidos	Biostromos	Arrecifal, <i>lagoon</i> somero abierto	✓	✓	?	✓	✓
	Ba13	Calizas oncolíticas	Oncoides	-	-	<i>Lagoon</i> somero restringido	✗	✗	?	✓	✗
	Ba14	Floatstones de nerineidos	Nerineidos	Miliólidos, monopléuridos, corales masivos	-	Ambiente intermareal a submareal marginal	✗	✗	?	✓	✓

Tabla-I: Tabla-resumen de las facies reconocidas en el área base de este trabajo. Para establecer una mejor comparativa en las Fms. San Esteban y Rodezas, se han tenido en cuenta también los datos de la columna de Robayera (Fernández-Mendiola *et al.*, 2015b; Anexo 2). La presencia o ausencia de una facies determinada se ha reflejado mediante “ticks” (✓) y aspás (✗), respectivamente; por su parte, los signos de interrogación (?) indican que no se ha identificado la facies (porque no aflora, debido a su difícil acceso, o bien por falta de datos). Di-S: Punta del Dichoso Sur; Di-N: Punta del Dichoso Norte; Tor: Punta del Torco; Afu: Punta de Afuera; Ro-Mi: Robayera-Miengo.

3.3. Estructuras tectónicas:

En la zona de estudio existe todo un entramado de pequeñas fallas normales subverticales. Estas estructuras secundarias, observables directamente en el relieve, mantienen un salto normal de hasta una decena de metros (Fig. 41). Por el contrario, los accidentes tectónicos de mayor entidad muestran actualmente un juego alpino, y su presencia es generalmente inferida a través de los cambios de facies y/o de espesor que se deducen a partir de la correlación estratigráfica. Las principales estructuras del entorno son la falla N-S de la ría de San Martín de la Arena (Fernández-Mendiola *et al.*, 2015a), la falla N-S de Usgo (Fernández-Mendiola *et al.*, 2015b) y la falla E-W de Marzán (Pérez-Malo *et al.*, 2017). La primera delimita el Bloque de Cuchía (E) y el Bloque de Suances (W), mientras que la última separa el Bloque de Suances del Bloque de Punta del Dichoso ubicado al norte (Pérez-Malo *et al.*, 2017). De esta manera, Punta del Dichoso y Punta de Afuera formarían parte del Bloque de Punta del Dichoso, las secciones de Miengo y de la cantera de Cuchía se incluirían en el Bloque de Cuchía, y las columnas Suances-A y Suances-B pertenecerían al Bloque de Suances (ver Figura 7).



Fig. 41: Ejemplo de una falla normal de mediana escala con el plano de falla bien desarrollado en Punta del Dichoso-N. Sin embargo, este tipo de estructuras no provocan cambios significativos en el registro sedimentario.

4. CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA Y DISCUSIÓN:

Se ha realizado una correlación estratigráfica conjunta considerando también las columnas levantadas en trabajos previos recientes (Fig. 7 y Anexo 1), a fin de proporcionar una visión más amplia del Aptiense-Albiense del sector de estudio. A simple vista, se aprecian grandes diferencias tanto de espesores como de facies. Las secciones de Punta del Dichoso-N, Punta del Dichoso-S, Punta del Torco y Punta de Afuera son muy similares entre sí, y por lo tanto, se correlacionan con mayor facilidad; presentan espesores muy reducidos, a pesar de que llegan a integrar todas las unidades litoestratigráficas analizadas en este trabajo (Fig. 41). Por el contrario, la columna de Miengo se asemeja más al resto de secciones (especialmente a Cuchía-E), caracterizadas por mostrar grandes espesores e incluir como mucho las Fms. Reocín y Barcenaciones. A continuación se analizarán detenidamente estas variaciones espaciales de unidad en unidad:

4.1. Fm. San Esteban:

A grandes rasgos, la Fm. San Esteban está compuesta por una alternancia irregular entre bancos arrecifales de rudistas requiénidos (facies *SE1*) y *packstones* de miliólidos con equínidos de ambiente interarrecifal (*SE2*). Dicha alternancia permanece invariable en la sección de Robayera, donde la unidad llega a superar los 100 m de espesor (Anexo 2). En cambio, en Punta del Dichoso la diversidad de facies es mayor, incluso en un intervalo de pocos metros. La intercalación de niveles oncolíticos (*SE4*) y conglomeráticos (*SE6*) reflejan momentos de nivel del mar bajo, durante los cuales la erosión litoral se incrementaba y favorecía la llegada de cantos oscuros al medio (Fig. 42). Los *wackestones* con nerineidos que se observan a ocasionalmente techo de las facies *SE1* y *SE2* (Fig. 9D) también se depositaron como resultado de pequeños ciclos de somerización. Estos pulsos regresivos llegaron a provocar en más de una ocasión la exposición subaérea de la rampa. Por su parte, los *packstones* orbitolíticos *SE3* (también presentes en la sección de Robayera) representan transgresiones rápidas, por ejemplo, tras episodios de emersión. La Fm. San Esteban culmina en Punta del Dichoso con el nivel estromatolítico *SE5*, que es la facies más somera de la serie y señala la posición exacta de la línea de costa de aquel entonces. El posterior descenso relativo del nivel del mar hizo que los estromatolitos se desecaran y quedaran expuestos definitivamente en una zona supramareal, tal y como ocurre actualmente en los márgenes del lago Thetis (Australia).

El desmantelamiento y erosión subsiguiente de dicho tapiz dio lugar precisamente a la capa conglomerática hallada en Punta de Afuera (Figs. 13B y 42).

Por esta razón, así como por el hecho de que en el corte de Robayera no existen indicios de ambientes intermareales a supramareales, se deduce que la rampa de San Esteban tenía una polaridad Este, con mayores espesores en el corte de Robayera debido a la actuación sinsedimentaria de la falla de Usgo (Fernández-Mendiola *et al.*, 2015b).

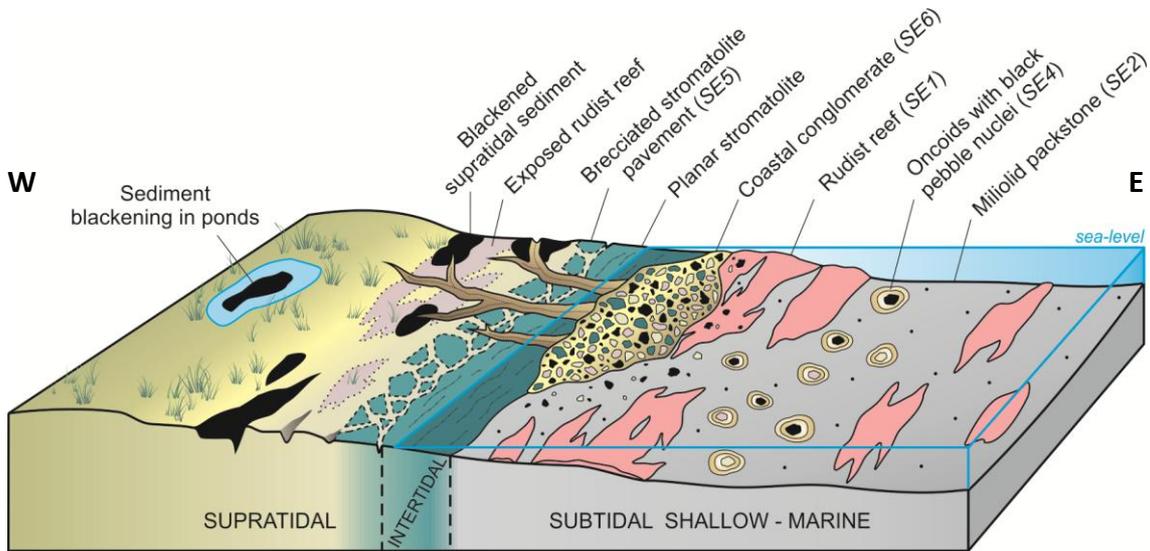


Fig. 42: Modelo sedimentario de la rampa carbonatada de San Esteban (parte alta del Alptiense Inferior) en el Bloque de Punta del Dichoso, con ambientes desde marino-someros hasta supramareales. Para la elaboración de este bloque-diagrama se ha tenido en cuenta en parte la disposición de facies del modelo sintetizado por Leinfelder (1987) para el Jurásico Superior de Portugal.

4.2. Fm. Rodezas:

La Fm. Rodezas evidencia un cambio total en el estilo de sedimentación, como resultado una importante transgresión que provocó el hundimiento (*drowning*) de la rampa carbonatada de San Esteban tras un intervalo prolongado de exposición subaérea (Anexo 3 y Fig. 43). Cabe mencionar las diferencias significativas existentes entre los 5 m de registro en el área de Punta del Dichoso y los 119 m de espesor que alcanza la Formación en la sección de Robayera (Anexo 2). En la zona de estudio, donde el mejor nivel guía es el arrecife de corales ramosos *Ro3* (Anexo 1), las condiciones de sedimentación permanecieron prácticamente invariables en el tiempo. Por el contrario, en el corte de Robayera se han distinguido un total de cinco unidades que corresponden a cinco etapas evolutivas, relacionadas con la actividad sinsedimentaria de la falla de Usgo y la llegada de aportes siliciclásticos deltaicos al medio (Fernández-Mendiola *et al.*, 2015b; Anexo

3). La Unidad 1, que es muy coralina, se correlacionaría con la pradera de corales ramosos *Ro3*, mientras que las Unidades 3 y 5 estarían representadas indistintamente por las facies *Ro1* y *Ro2* de Punta del Dichoso (i.e., calizas y margas nodulosas). Destacar que la única columna que registra la entrada de terrígenos es la de Punta del Torco (facies *Ro4* y *Ro5*). Por consiguiente, se interpreta que en este punto pudo existir un surco menor, tal vez delimitado por pequeñas fallas sinsedimentarias, por el que se canalizaron los sedimentos deltaicos equivalentes a la Unidad 4 del corte de Robayera.

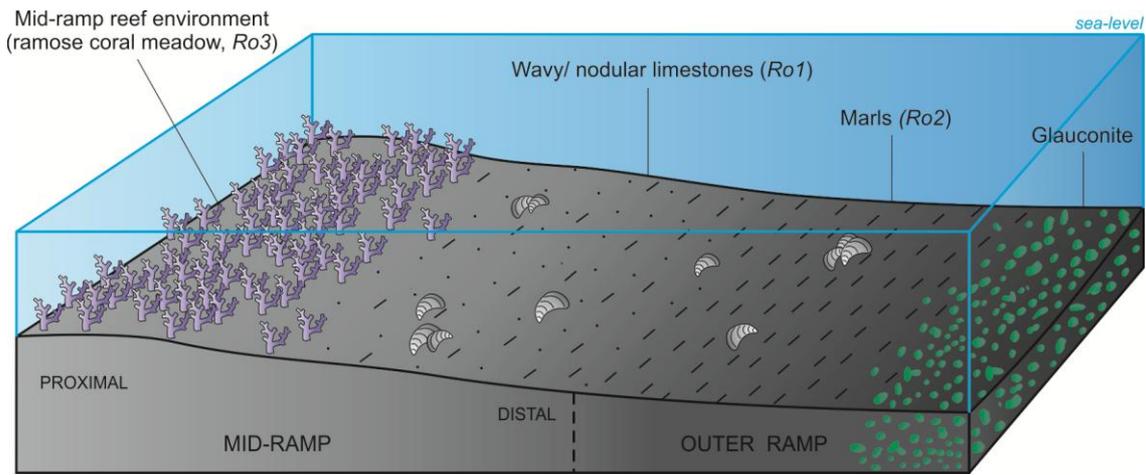


Fig. 43: Bloque-diagrama de la rampa mixta de la Fm. Rodezas (parte alta del Aptiense Inferior) propuesto para el área de Punta del Dichoso y Punta de Afuera. Se han diferenciado ambientes de rampa media a externa, con un contenido decreciente en carbonato hacia medios más distales donde finalmente se formaba glauconita.

4.3. Fm. Reocín:

En el Bloque de Punta del Dichoso la potencia máxima de la Fm. Reocín es de tan solo 10 m, y consta fundamentalmente de arrecifes de rudistas (facies *Re1*) y de calizas oncolíticas (facies *Re2*) que mantienen su espesor prácticamente constante y se correlacionan fácilmente y (Anexo 1). Por otro lado, en el Bloque de Cuchía el registro vertical de esta unidad puede llegar a sumar 200 m, estando constituido esencialmente por calizas micríticas y calcarenitas (facies *Re3* y *Re4*) con la intercalación esporádica de biostromos discretos (*Re1*, *Re5* y *Re6*). En este caso, la correlación es difícil más allá de las líneas preestablecidas por Fernández-Mendiola *et al.* (2015a), pues en Miengo la mitad inferior de la unidad está dolomitizada y hacia techo hay un intervalo cubierto. No obstante, de manera tentativa podría dibujarse una línea de correlación desde el metro 83 de Cuchía-E hasta el metro 180 de Miengo (es decir, entre las bases de los tramos de abundante *Bacinella*) y otra más entre las intercalaciones margosas suprayacentes (Anexo 1).

Las variaciones de facies y de espesor que se detectan entre los bloques de Punta del Dichoso y de Cuchía ponen de manifiesto una acusada subsidencia diferencial, provocada en este caso por la falla E-W de Marzán. [García-Mondéjar et al. \(1985\)](#) explicaron los cambios de espesor de la Fm. Reocín mediante ondulaciones en el fondo marino debidas a diapirismo y fracturación, e incluyeron el área base de este trabajo en lo que denominaron “Paleoalto de Miengo”. Además, las diferencias batimétricas entre ambos sectores también pudieron llegar a ser relativamente significativas. Esta afirmación se basa principalmente en la gran continuidad espacial y persistencia en el tiempo que muestran los biostromos de rudistas en el paleoalto del Bloque de Punta del Dichoso (Anexo 1), en contraposición a los parches arrecifales efímeros y de escasa extensión lateral que se hallan típicamente del Bloque de Cuchía. Debido a que no existen afloramientos más septentrionales, actualmente no se dispone de datos suficientes para determinar si las bioconstrucciones del paleoalto de Punta del Dichoso formaron parte de una especie de margen arrecifal hacia una zona de surco relativo, o si por el contrario cubrieron ampliamente la superficie de un bloque de falla de techo plano.

Por otro lado, [Fernández-Mendiola et al. \(2015a\)](#) interpretan el Bloque de Cuchía como una plataforma abierta hacia el oeste con un margen arrecifal de corales masivos en tránsito al paleosurco mareal representado por el Bloque de Suances ([Pérez-Malo et al., 2017](#)); dicha transición puede apreciarse en la columna de Cuchía-W (Anexo 1). Por consiguiente, y teniendo en cuenta que el Bloque de Punta del Dichoso se extendía de manera uniforme al menos hasta Punta de Afuera, se deduce que la falla de Marzán debió de tener una apertura en tijera (Fig. 44). En cualquier caso, el paleoalto del Bloque de Punta del Dichoso permamaneció aislado en todo momento de las corrientes mareales que atravesaban el paleosurco de la ría de San Martín de la Arena, ya que no alberga depósitos mixtos de grano grueso. Esta característica también apoya la idea de la existencia de diferencias topográficas notables entre paleoalto y paleosurco.

Por último, cabe mencionar que la Fm. Reocín registra al menos dos importantes episodios microbianos, representados por las calizas oncolíticas del Bloque de Punta del Dichoso y las micritas con *Bacinella* del Bloque de Cuchía (Anexo 1). La proliferación de *Lithocodium-Bacinella* refleja la alteración de factores climáticos y ambientales; el factor más influyente son los cambios relativos del nivel del mar, ya que causan la apertura o el cierre de las áreas de *lagoon*, modificando a su vez parámetros como la profun-

didad, energía, tasa de sedimentación, condiciones tróficas, salinidad y temperatura. De esta manera, las facies de *Lithocodium-Bacinella* alcanzaron su máximo desarrollo durante momentos de nivel del mar alto, mientras que las plataformas dominadas por rudistas corresponderían a periodos de nivel del mar más bajo (e.g., Huck, 2011; Fig. 44). Asimismo, los “blooms” de dichos microorganismos encostrantes han sido referidos por numerosos autores como asociados a Eventos Oceánicos Anóxicos. La posible relación entre las facies Re2, Re3 y Re5 con el OAE1b (el cual consta de tres fases, Fig. 46) está aún por investigar.

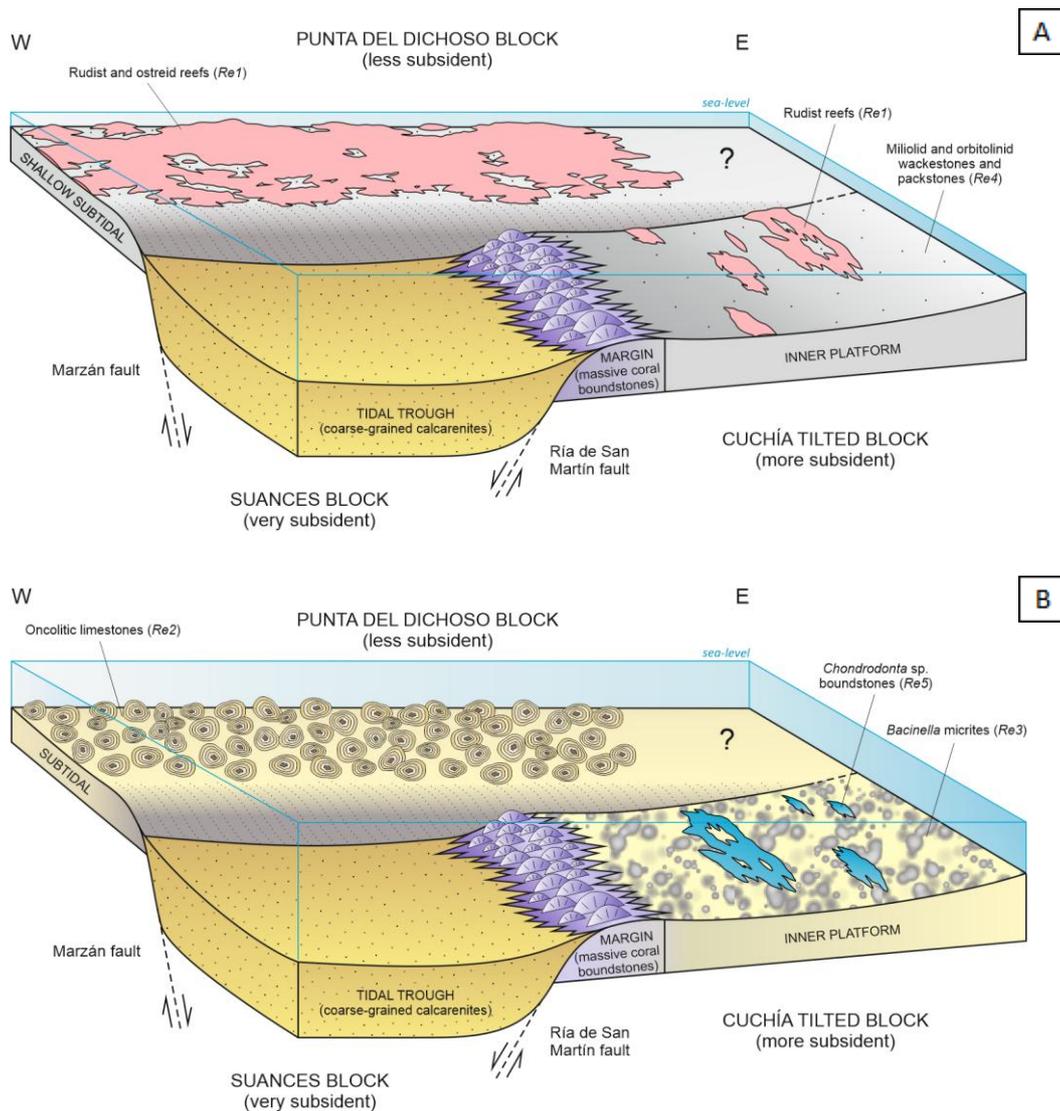


Fig. 44: Bloques-diagrama que tratan de englobar todas las secciones de la Fm. Reocín (Aptiense Superior–Albiense Inferior) del Anexo I. Durante ciertas fases transgresivas, las plataformas de rudistas (A) fueron reemplazadas gradualmente por ambientes dominados por microbios (B). Asimismo, las bioconstrucciones de *Chondrodonta* también parecen estar asociadas a los episodios de proliferación de *Lithocodium-Bacinella*. Nótese las diferencias entre las facies registradas en el Bloque de Punta del Dichoso y en el Bloque de Cuchía, incluso dentro de una misma etapa (A, B). Destacar igualmente la apertura en tijera de la falla de Marzán y el basculamiento hacia el oeste (i.e., hacia la falla de la ría de San Martín) del Bloque de Cuchía.

4.4. Fm. Barcenaciones:

El panel de correlación del Anexo 1 sugiere un progresivo decrecimiento en la subsidencia diferencial, que se produjo de manera generalizada en el área de estudio (lo cual se deduce a partir de líneas de correlación cada vez más horizontalizadas). No obstante, las variaciones de espesor entre los distintos bloques de falla siguen siendo notables. En este caso, las secciones Suances-A y Suances-B del Bloque de Suances registran el mayor acúmulo de materiales, y han sido recientemente interpretadas como la continuación hacia el oeste del paleosurco mareal de la ría de San Martín (Pérez-Malo *et al.*, 2017).

Por lo tanto, en el sector de estudio la Fm. Barcenaciones se depositó, a grandes rasgos, en una gran zona de *lagoon* atravesada por surcos mareales que bordeaban áreas más elevadas con sedimentación más tranquila (Fig. 45). Najarro *et al.* (2009) mencionan un banco carbonatado de más de 50 m de extensión (ya representado en la síntesis paleogeográfica de García-Mondéjar, 1990), formado como resultado de la transgresión del Albiense Superior. En el Bloque de Punta del Dichoso se percibe una profundización rápida hasta más o menos el primer tercio de la unidad (donde se encuentran precisamente los *wackestones* de esponjas y algas verdes Ba4, Fig. 8). A partir de entonces, las facies de *lagoon* son progresivamente más someras, dando paso finalmente a las gasteropoditas de ambientes restringidos intermareales a submareales proximales (facies Ba14). Este ciclo transgresivo-regresivo culminó con la emersión definitiva de la plataforma mixta de Barcenaciones, la cual quedó soterrada debido a la progradación subsiguiente de los sistemas costeros deltaicos (Fm. Bielva).

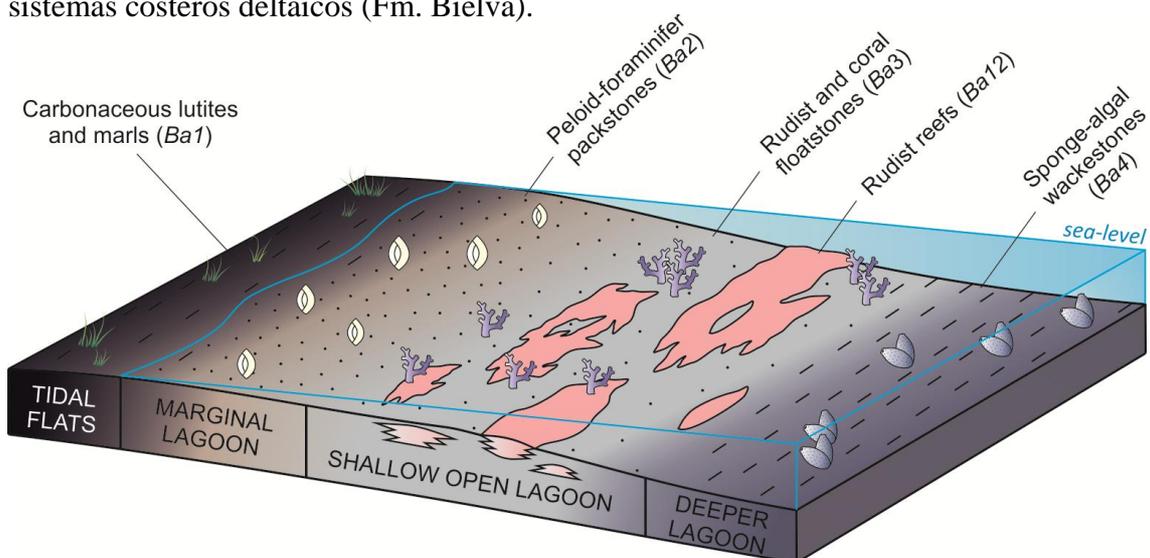


Fig. 45: Bloque-diagrama con las facies principales de la Fm. Barcenaciones (parte alta del Albiense Superior) en el Bloque de Punta del Dichoso, representadas en relación a la profundidad.

Sin embargo, es importante destacar que el Bloque de Punta del Dichoso fue invadido, al menos en tres ocasiones, por depósitos mareales de grano grueso. Ésto se debió a la acción combinada del nivel del mar en ascenso y de una subsidencia diferencial atenuada; de hecho, esta última contribuyó a la minimización de las diferencias topográficas entre paleoaltos y paleosurcos estructurales, provocando así una tendencia a la homogeneización de ambientes sedimentarios. La sección de Cuchía-E también registra una incursión de corrientes mareales en el metro 130, mientras que el entorno de Miengo perteneció a un surco mareal E-W más o menos persistente en el tiempo. Otro claro ejemplo es la presencia de la facies *Ba9* (i.e., *boundstones* de corales masivos, muy similares a los de Cuchía-W) en el Bloque de Punta del Dichoso, lo cual indica que en el Albiense Superior apenas había diferencias batimétricas entre este último y el Bloque de Cuchía. Por otro lado, considerando el gran número de superficies de paleokarst que afectan a la Fm. Barcenaciones, se concluye que durante su sedimentación se mantuvo una tendencia constante a la colmatación del espacio de acomodación.

En lo que se refiere a las facies encostradas *Ba10* y *Ba11*, y a las calizas oncolíticas *Ba13*, cabe decir que reflejan perturbaciones puntuales en el medio. De hecho, las facies *Ba10* y *Ba11* se correlacionan con las calizas *mottled* de la columna Suances-B (Anexo 1), que fueron interpretadas por Pérez-Malo *et al.* (2017) como depositadas en un medio de aguas turbias tras la interrupción repentina del régimen mareal de alta energía previo. Bover-Arnal *et al.* (2011) reportan en la Cuenca del Maestrazgo un horizonte coralino (“*coral rubble deposits*”), azotado por fuertes tormentas y posteriormente encostrado por *Lithocodium*, coetáneo del *OAE1a*. Sería interesante poder determinar si las facies *Ba10*, *Ba11* y *Ba13* de la zona de estudio guardan alguna relación con la respuesta al *OAE1c* y al *OAE1d* (respectivamente) en áreas de plataforma.

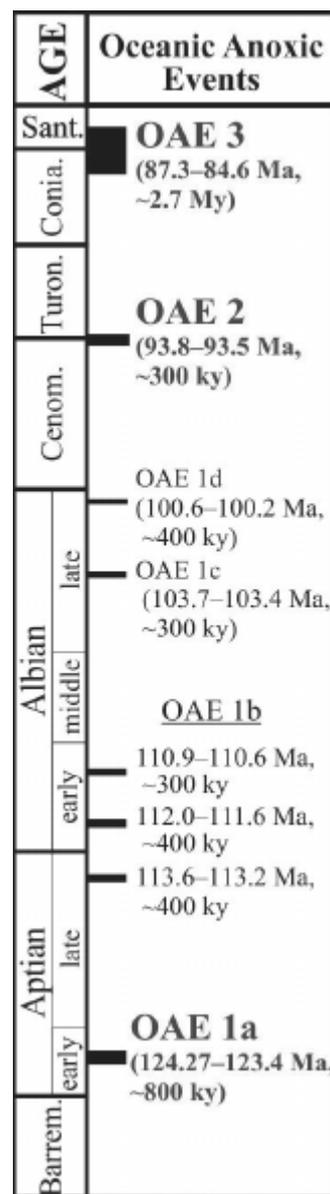


Fig. 46: Eventos Anóxicos Oceánicos del Cretácico (tomado de Núñez-Useche *et al.*, 2014).

5. CONCLUSIONES:

El análisis sedimentológico y estratigráfico de las unidades del Aptiense-Albiense del área de estudio (Fms. San Esteban, Rodezas, Reocín y Barcenaciones) ha permitido: 1) Diferenciar múltiples subambientes sedimentarios, así como caracterizar la evolución de los mismos a lo largo del tiempo. 2) Conocer la dinámica y los efectos de las fallas sinsedimentarias principales del entorno. Los trabajos previos realizados en el área base han sido claves para obtener una visión global y continuar avanzando en la investigación.

En primer lugar, se han observado las características de las Fms. San Esteban y Rodezas en una zona de paleoalto relativo. Ambas unidades se depositaron en rampas que profundizaban hacia el este, concretamente hacia la falla sinsedimentaria de Usgo. En el sector de estudio la Fm. San Esteban registra una mayor diversidad de facies que en Robayera, como resultado de sucesivos ciclos de somerización de pequeña escala prácticamente imperceptibles en áreas más distales de la rampa interna. De esta manera, en Punta del Dichoso-N se ha podido determinar la posición exacta de la línea de costa en el extremo techo de la unidad. Por el contrario, la Fm. Rodezas se muestra más uniforme que en la zona de surco relativo de Robayera, probablemente debido a haber permanecido sobre un sustrato más elevado e inaccesible para las avenidas de aportes terrígenos.

Durante el intervalo Aptiense Superior – Albiense Inferior, la tectónica contemporánea condujo a la individualización de tres bloques de falla principales con basculamientos variables: Punta del Dichoso, Suances y Cuchía. Mediante el presente estudio se ha podido averiguar que el Bloque de Punta del Dichoso continuaba hacia el este, extendiéndose al menos hasta Punta de Afuera. El funcionamiento de dichos bloques, en combinación con el eustatismo, influyó directamente en la distribución de facies de las Fms. Reocín y Barcenaciones. La subsidencia diferencial fue máxima en el Albiense Inferior, es decir, durante la sedimentación de la Fm. Reocín; por el contrario, durante el Albiense Superior se produjo una desaceleración progresiva del diastrofismo, que dio lugar a repetidos desbordamientos del surco mareal del Bloque de Suances, hasta provocar el relleno definitivo del mismo debido a la colmatación del espacio de acomodación.

Al parecer, la disposición E-W de paleoaltos estructurales y paleosurcos mareales siguió una tendencia regional. [Wiese \(1995\)](#) cita la presencia de un importante paleoalto emergido de orientación E-W (*Lienres High*), situado varios kilómetros hacia el norte e

interpretado como la cresta del ya mencionado Bloque Costero de Santander (Fig. 2). Por lo tanto, el área base de este trabajo habría formado parte de la denominada Cuenca Norcantábrica (Wiese y Wilmsen, 1999), una gran bahía elongada en dirección E-W y con pendiente hacia el este, ubicada al sur de dicha cresta emergida. Esta pequeña sub-cuenca se creó como resultado de movimientos distensivos que tuvieron lugar durante el Valanginiense, y estuvo compartimentada en numerosos bloques de falla que funcionaron a modo de “teclas de piano” a lo largo del Cretácico Inferior y Medio.

Por último, destacar la singularidad de ciertas facies que reflejan etapas sujetas a perturbaciones ambientales, las cuales parecen coincidir en el tiempo con los Eventos Oceánicos Anóxicos representados en la Figura 46. Se han detectado al menos dos episodios de aparición masiva y generalizada de *Lithocodium-Bacinella* dentro de la Fm. Reocín, un intervalo caótico rico en orbitolínidos y corales ramosos con encostramientos y bioerosión en la parte media de la Fm. Barcenaciones, y un nivel oncolítico en la parte final de la misma. Pocos estudios han abordado hasta el momento la respuesta de los ecosistemas neríticos a Eventos Oceánicos Anóxicos. Comprobar que el sector de estudio, localizado en una zona de paleoalto relativo, registra efectivamente la expresión de los eventos *OAE1b*, *OAE1c* y *OAE1d* sería un objetivo interesante a alcanzar en un futuro próximo.

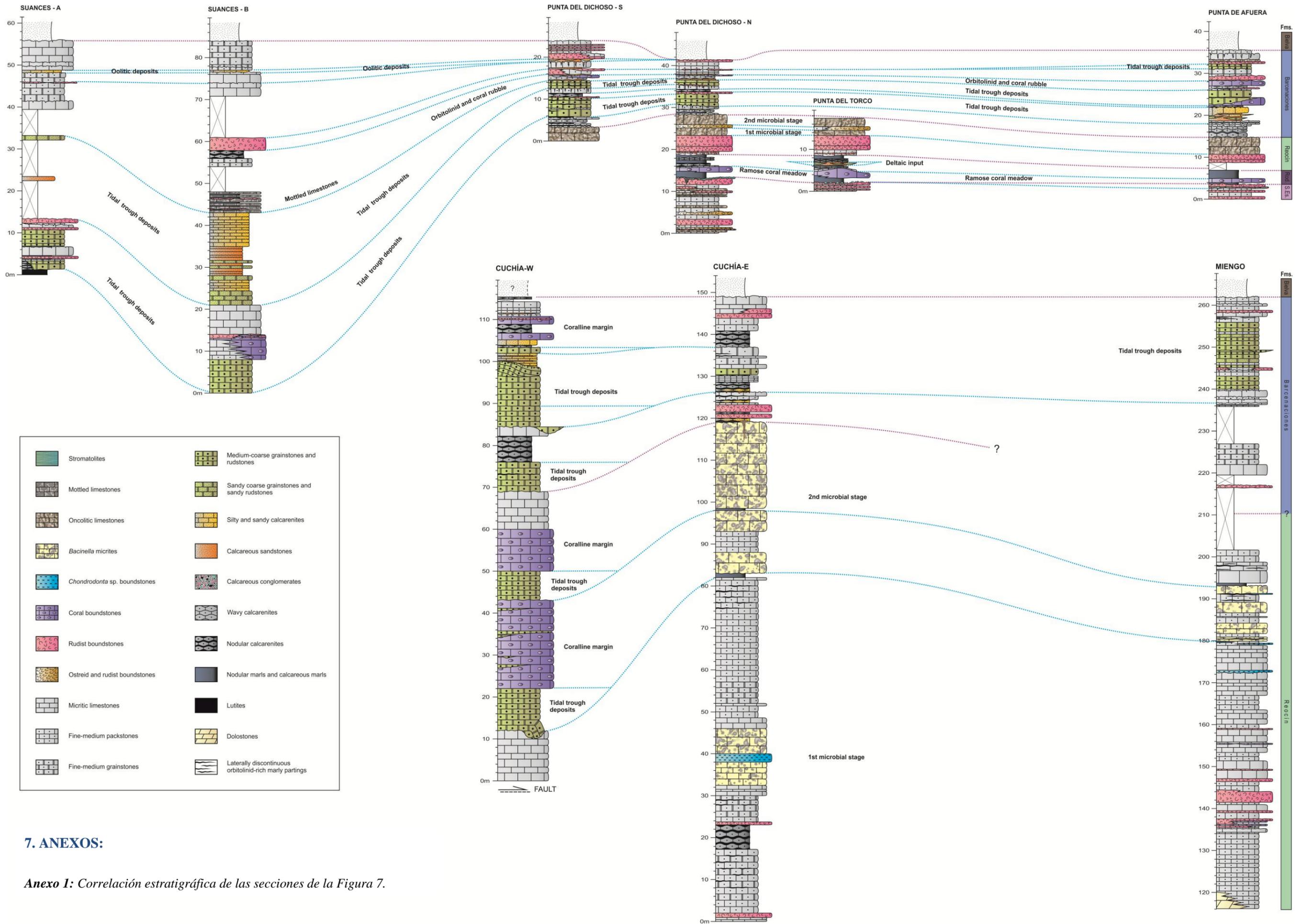
6. REFERENCIAS:

- Barnolas, A. y Pujalte, V. (2004): La Cordillera Pirenaica. En: *Geología de España* (J.A. Vera, Ed.), SGE-IGME, Madrid, 231-344.
- Barron, E.J., Sloan, J.L. and Harrison, C.G.A. (1980): Potential significance of land-sea distribution and surface albedo variations as a climatic forcing factor; 180 M.Y. to the present. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 30: 17-40.
- Brinkmann, R. y Lögters, H. (1968): Diapirs in Western Pyrenees and Foreland, Spain. En: *Diapirism and Diapirs* (J. Braunstein y G.D. O’Brein, Eds.). American Association of Petroleum Geologists, Memoir 8: 275-292.
- Bover-Arnal, T., Salas, R., Martín-Closas, C., Schlagintweit, F. y Moreno-Bedmar, J.A. (2011): Expresión of an OAE in a neritic setting: Lower Aptian coral rubble deposits from the western Maestrat Basin (Iberian Chain, Spain). *Palaios*, 26: 18-32.

- Consorti, L., Calonge, A., Yazdi-Moghadam, M. and Caus, E. (2014): *Involutina hungarica* (Sido, 1952) from the Albian Tethys: Architecture, palaeoenvironment and palaeobiogeography. *Cretaceous Research*, 51: 266-273.
- Dunham, R.J. (1962): Classification of carbonate rocks according to their depositional texture. En: *Classification of Carbonate Rocks – A Symposium* (W. E. Ham, Ed.). American Association of Petroleum Geologists, Memoir 1: 108-121.
- Embry, A.F. y Klovan, J.E. (1971): A Late Devonian reef tract on northeastern Banks Island, N.W.T. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 19: 730-781.
- Fernández-Mendiola, P.A., Pérez-Malo, J. and García-Mondéjar, J. (2015a): Facies analysis and correlation in an Albian carbonate platform (Cuchía quarry, Cantabria, Spain). *Geogaceta*, 57: 99-102.
- Fernández-Mendiola, P.A., Pérez-Malo, J. and García-Mondéjar, J. (2015b): Stratigraphy and facies of the Early Aptian Robayera section (Cantabria, Northern Spain). *Geogaceta*, 58: 3-6.
- Flügel, E. (2010): *Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application* (2nd edition). Springer-Verlag, Berlin, 984p.
- García-Mondéjar, J. (1990): The Aptian-Albian carbonate episode of the Basque-Cantabrian Basin (northern Spain): general characteristics, controls and evolution. En: *Carbonate Platforms: Facies, Sequences and Evolution* (M.E. Tucker, J.L. Wilson, P.D. Crevello, J.F. Sarg y J.F. Read, Eds.). International Association of Sedimentologists, Special Publication, 9: 257-290.
- García-Mondéjar, J., Hines, F.M., Pujalte, V. y Reading, H.G. (1985): Sedimentation and tectonics in the western Basque-Cantabrian area (Northern Spain) during Cretaceous and Tertiary times. En: *Excursion Guidebook: 6th European Regional Meeting of International Association of Sedimentologists* (M.D. Milá y J. Rosell, Eds.), Lleida, 307-392.
- García-Mondéjar, J., Owen, H.G y Fernández-Mendiola, P.A. (2015): Early Aptian sedimentary record and OAE1a in Cuchía (northern Spain): new data on facies and ammonite dating. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie – Abhandlungen*, 276: 1-26.

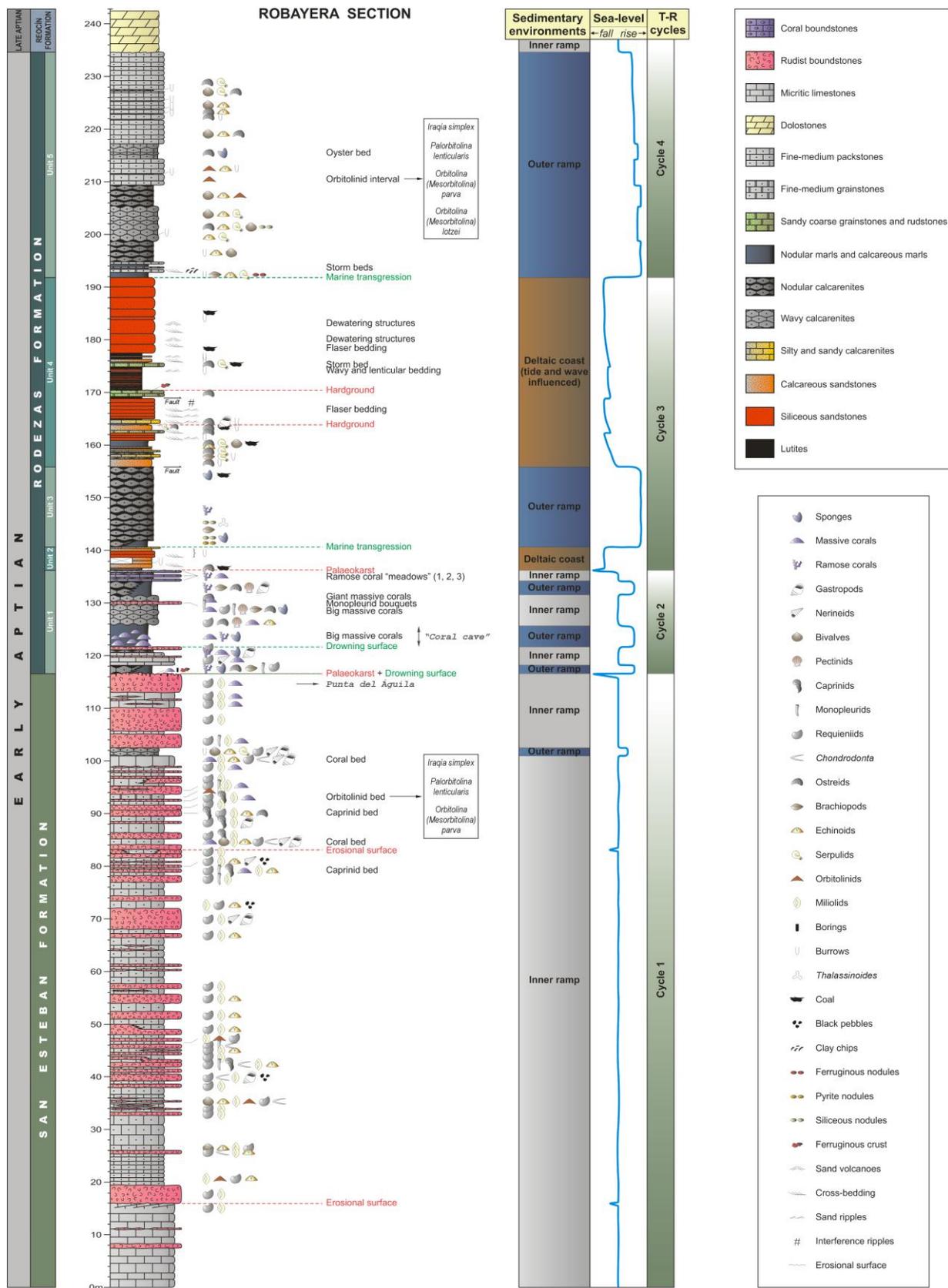
- García-Mondéjar, J. y Pujalte, V. (1982): Región Vasco-Cantábrica y Pirineo Navarro. En: *El Cretácico de España*, Universidad Complutense de Madrid, 49-160.
- Haq, B.U., Hardenbol, J. y Vail, P.R. (1987): Chronology of fluctuating sea-levels since the Triassic. *Science*, 235: 1156-1167.
- Huck, S. (2011): *Understanding the driving factors of the Oceanic Anoxic Event 1a (Early Aptian) - The neritic perspective*. Tesis Ruhr-Universität Bochum, 167p.
- Illing, L.V. (1954): Bahamian calcareous sands. *AAPG Bulletin*, 38: 1-95.
- Leinfelder, R. (1987): Formation and significance of black pebbles from the Ota limestone (Upper Jurassic, Portugal). *Facies*, 17: 159-170.
- Lotze (1960): Zur Gliederung der Oberkreide in der Baskischen Depression (Nordspanien). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen*, 3: 132-144.
- Malod, J.A. y Mauffret, A. (1990): Iberian plate motions during the Mesozoic. *Tectonophysics*, 184: 261-278.
- Masse, J.P. (1976): *Les calcaires urgoniens de Provence (Valanginien – Aptien inférieur)*. *Stratigraphie, paléontologie, les paléoenvironnements et leurs évolution*. Thèse de doctorat d'Etat, Univ. Aix-Marseille, 455p.
- Miller, K.G., Kominz, M.A., Browning, J.V., Wright, J.D., Mountain, G.S., Katz, M.E., Sugarman, P.J., Cramer, B.S., Christie-Blick, N. y Pekar, S.F. (2005): The Phanerozoic record of global sea-level change. *Science*, 310: 1293-1298.
- Najarro, M., Peñalver, E., Rosales, I., Pérez De La Fuente, R., Daviero-Gómez, V., Gómez, B. y Delclòs, X. (2009): Unusual concentration of Early Albian arthropod-bearing amber in the Basque-Cantabrian Basin (El Soplao, Cantabria, Northern Spain): Palaeoenvironmental and palaeobiological implications. *Geologica Acta*, Vol. 7 (3): 363-387.
- Núñez-Useche, F. , Barragán, R., Moreno-Bedmar, J.A. y Canet, C. (2014): Mexican archives for the major Cretaceous Oceanic Anoxic Events. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 66: 491-505.
- Olivet, J.M. (1996): La cinématique de la plaque ibérique. *Bulletin des centres de Recherches Exploration-Production Elf-Aquitaine*, 20: 131-195.

- Pascal, A. (1985). *Les systèmes biosédimentaires urgoniens (Aptien-Albien) sur la marge Nord Ibérique*. Mémoires géologiques de l'Université de Dijon 10, 569p.
- Pérez-Malo, J., Fernández-Mendiola, P.A. y García-Mondéjar, J. (2017): Facies analysis and stratigraphy of the Suances Upper Albian carbonate platform (Northern Spain). *Geogaceta*, 61: 147-150.
- Rat, P. (1959). *Les pays crétacés basco-cantabriques (Espagne)*. Thèse Publ. Univ. Dijon 18, 525p.
- Rat, P. (1980): Les Systèmes Urgoniens et les Paysages du Guipúzcoa (Pays-Basque). *Munibe*, 3-4: 179-193.
- Rat, P. (1989): The Iberian Cretaceous: climatic implications. En: *Cretaceous of the Western Tethys* (J. Wiedmann, Ed.). Proceedings of the Third International Cretaceous Symposium, Tübingen, 1987. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 17-25.
- Riding, R. (1991): *Classification of Microbial Carbonates*. En: *Calcareous Algae and Stromatolites* (R. Riding, Ed.). Berlin, Springer Verlag, 21-51.
- Strasser, A. (1986): Ooids in Purbeck limestones (lowermost Cretaceous) of the Swiss and French Jura. *Sedimentology*, 33: 711-727.
- Voigt, S. (1996): Paläobiogeographie oberkretazischer Inoceramen und Rudisten - Ozeanographische und klimatologische Konsequenzen einer neuen Paläogeographie. *Münchner Geowissenschaftliche Abhandlungen*, A 31: 1-102.
- Wiese, F. (1995): Das mittelturone Romaniceras kallesi-Event im Raum Santander (Nordspanien): Lithologie, Stratigraphie, laterale Veränderung der Ammonitenassoziationen und Paläobiogeographie. *Berliner Geowiss. Abh.*, E 16: 61-77.
- Wiese, F. y Wilmsen, M. (1999): Sequence stratigraphy in the Cenomanian to Campanian of the North Cantabrian Basin (Northern Spain). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie – Abhandlungen*, 212: 131-173.
- Wilmsen, M. (1997): Das Oberalb und Cenoman im Nordkantabrischen Becken (Provinz Kantabrien, Nordspanien): Faziesentwicklung, Bio- und Sequenzstratigraphie. *Berliner Geowissenschaftliche Abhandlungen*, E 23: 1-167.



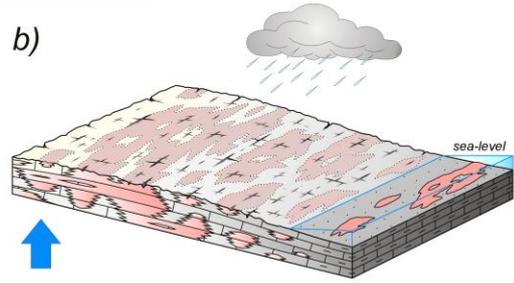
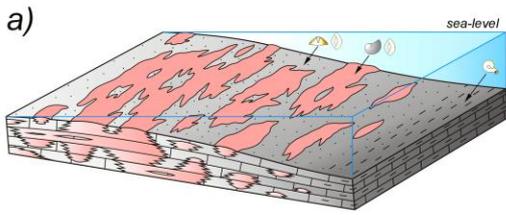
7. ANEXOS:

Anexo 1: Correlación estratigráfica de las secciones de la Figura 7.

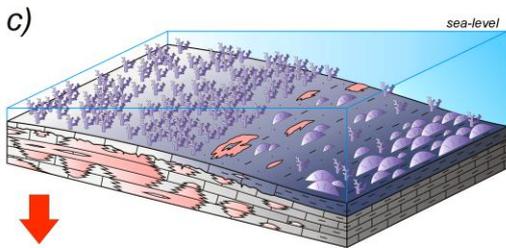


Anexo 2: Columna de Robayera (tomado de Fernández-Mendiola et al., 2015b).

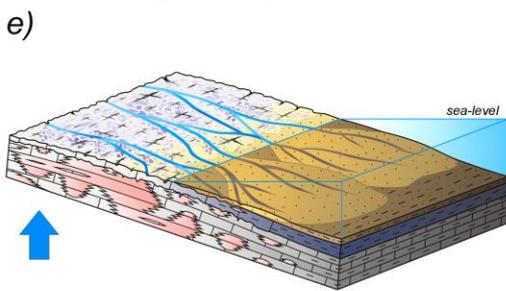
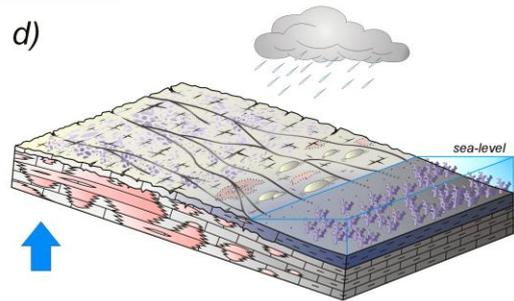
SAN ESTEBAN FORMATION



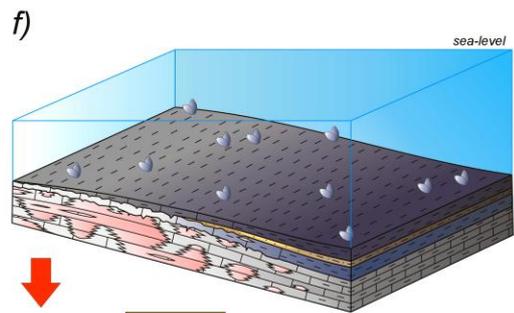
RODEZAS FORMATION



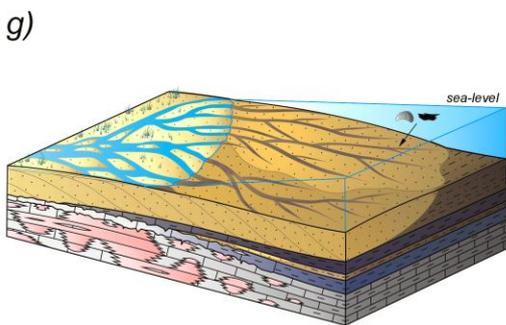
Unit 1



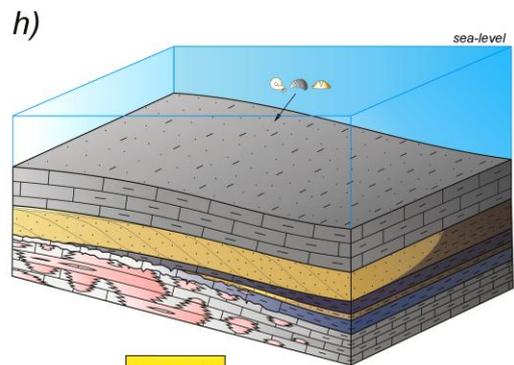
Unit 2



Unit 3



Unit 4



Unit 5

	Tectonic uplift		Tectonic drowning		Sponges		Requeniids		Serpulids
					Massive corals		Ostreids		Miliolids
					Ramoso corals		Echinoids		Coal

Anexo 3: Evolución tecto-sedimentaria de la Fm. Rodezas en el sector de Robayera (inédito).

