Departamento de Ciencias de la Tierra
Universidad Zaragoza

Facultad de Ciencias
Universidad Zaragoza

Arquitectura de las bioconstrucciones de esponjas y microbios del Bajociense superior en Ricla

---

Trabajo de Fin de Máster

Máster en Geología: técnicas y aplicaciones

Junio, 2016

María Duaso Pinilla

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



ÍNDICE

1. Resumen ..... p. 3
2. Planteamiento ..... p. 4
3. Objetivos ..... p. 5
4. Metodología ..... p. 5
4.1. Revisión bibliográfica ..... p. 5
4.2. Trabajo de campo ..... p. 6
4.3. Trabajo de laboratorio y gabinete ..... p. 7
4.4. Tratamiento de datos y síntesis ..... p. 7
5. Contexto geográfico y geológico ..... p. 8
5.1. Situación geográfica y geológica ..... p. 8
5.2. Contexto sedimentológico de los depósitos estudiados ..... p. 11
6. Caracterización de facies ..... p. 13
6.1. Cartografía de facies ..... p. 14
6.1.1. Geometría y densidad de los montículos en los 5 sectores ..... p. 14
6.1.2. Correlación de los sectores ..... p. 21
6.2. Estudio de microfacies ..... p. 22
6.2.1. Microfacies de los montículos ..... p. 22
6.2.2. Microfacies de las facies de intermontículo ..... p. 24
7. Interpretación ..... p. 27
7.1. Reconstrucción paleoambiental ..... p. 27
7.2. Análisis secuencial ..... p. 30
7.3. El uso de la microfacies como indicador paleobatimétrico ..... p. 31
7.4. Los afloramientos de Ricla: usa sección en *strike* ..... p. 32
8. Discusión ..... p. 33
8.1. Reconstrucción de los cuerpos progradantes en Ricla ..... p. 33
8.2. Factores condicionantes en el desarrollo de los montículos ..... p. 34
9. Conclusiones ..... p. 35
10. Bibliografía ..... p. 37
11. Anexos ..... p. 38

1. RESUMEN

Los afloramientos Jurásicos de edad Bajociense superior, que se extienden al oeste del término municipal de la localidad de Ricla, corresponden con una serie de materiales carbonatados que se depositaron en la Plataforma Carbonatada Aragonesa, desarrollada en la Cuenca Ibérica. Esta plataforma se encontraba dominada por la presencia de esponjas y microbios que conjuntamente desarrollaron bioconstrucciones de geometría y extensión variables a lo largo de la misma.

El presente trabajo se ha centrado en el análisis de estas bioconstrucciones a lo largo de 5 secciones del afloramiento con el objeto de caracterizar las distintas geometrías que desarrollan las bioconstrucciones y sus relaciones laterales y verticales, determinar si estos presentan una distribución preferente en el afloramiento que permita deducir una relación proximal-distal, establecer relaciones entre las facies de montículos y las facies de intermontículo y discutir acerca de qué factores pudieron condicionar el desarrollo de estos montículos. El proceso de obtención de datos ha consistido en la elaboración de fotomosaicos a partir de los cuales se han caracterizado las geometrías de los cuerpos sedimentarios que aparecen en los sectores del afloramiento considerados y el estudio petrográfico de láminas delgadas para la realización de estudios texturales de las microfacies.

El análisis de estos 5 sectores ha permitido diferenciar 5 asociaciones de facies que se reconocen a lo largo de todo el afloramiento. En base a sus relaciones laterales y verticales se han podido establecer relaciones de proximidad-distalidad. Además, según el patrón de superposición de las mismas en la vertical, se han diferenciado 4 secuencias de alta frecuencia, que en conjunto conforman un cortejo regresivo somerizante. El análisis de la microfacies de intermontículo ha permitido establecer una diferenciación de las mismas coherente con las asociaciones de facies de montículos con las que se relacionan lateralmente en cada caso.

En última instancia se especula sobre qué factores pudieron condicionar el desarrollo de estos montículos. Se propone que las secuencias identificadas pudieron corresponder a ciclos de excentricidad de rango corto, responsables de la fluctuación de parámetros como la tasa de sedimentación, la concentración de nutrientes o la oxigenación del medio.

2. PLANTEAMIENTO

Al Este de la localidad de Ricla (provincia de Zaragoza) se exponen amplios afloramientos Jurásicos, de dirección N-S, a lo largo de más de 10 km de extensión. El presente estudio se centra en un intervalo estratigráfico de 10 a 20 metros de espesor, de edad Bajociense superior, correspondiente a la parte inferior de la Fm. Chelva. Estudios previos en este intervalo en el sector de Ricla (Fernández López y Aurell, 1988; Bersán y Aurell, 1997) ofrecen una primera descripción de las facies presentes. En particular, se indica la existencia de montículos de esponjas silíceas y microbios, de potencia decimétrica a métrica, que pasan lateral y verticalmente a calizas bioclásticas y peloidales en la zonas de intermontículo. Bersán y Aurell (1997) realizan una interpretación del contexto sedimentario en el que se formaron, en la que se propone que su depósito tendría lugar dentro de la zona fótica de una plataforma carbonatada somera, desarrollada en la Cuenca Ibérica durante el hemiciclo regresivo de una secuencia de tercer orden de edad Bajociense superior. Facies similares, de edad Bajociense, han sido estudiadas más recientemente en afloramientos de la provincia de Teruel (Moscardón: Aurell y Bádenas, 2015), donde se han caracterizado montículos de esponjas y microbios similares a los presentes en Ricla, pero de distinta geometría y mayor dimensión (decamétrica), desarrollados en zonas de talud: en el tránsito entre la plataforma somera y la relativamente profunda.

En los afloramientos de Ricla existen aspectos geométricos relevantes y básicos por precisar. Los montículos de esponjas de dimensiones métricas se encuentran tanto aislados como amalgamados. En este sentido, resulta relevante analizar la existencia de cierta zonación o distribución vertical y lateral de los montículos en función de sus dimensiones y densidad dentro de la plataforma. A pesar de la calidad de los afloramientos, estos estudios solo habían sido abordados de manera puntual hasta el momento, en gran parte debido a la dificultad para observar la geometría y modo de apilamiento de los montículos. Los afloramientos de Ricla forman un escarpe vertical difícil de fotografiar mediante técnicas convencionales. La adquisición de fotografías, mediante una cámara acoplada a un dron ha permitido obtener visiones frontales necesarias para reconstruir con precisión estos aspectos geométricos. El análisis de la geometría de estos cuerpos sedimentarios es relevante, dado su potencial como elemento clave para la interpretación paleoambiental.

3. OBJETIVOS

El presente trabajo se centra en la cartografía de facies de ciertos sectores de los afloramientos de montículos de esponjas y facies intermontículo asociadas del Bajociense superior en Ricla, fotografiados mediante dron. Tiene por objetivo principal observar las variaciones tanto en la lateral como en la vertical de los cuerpos sedimentarios definidos por estos dos principales tipos de facies, que se complementa con el estudio preliminar de sus microfacies asociadas. Este tratará de dar respuesta a una serie de cuestiones que se desarrollan a lo largo del presente trabajo, en particular:

- Caracterizar las distintas geometrías que desarrollan los montículos, en base a la descripción del intervalo seleccionado mediante fotomosaicos y el trabajo en el campo.

- Buscar evidencias que indiquen una distribución preferente de los diferentes tipos geométricos identificados previamente, que permita establecer una relación proximal-distal a lo largo de los 6 km lineales de afloramiento estudiado.

- Entender la interrelación entre las facies de montículos e intermontículo mediante la determinación de los componentes que aparecen y la evaluación relativa de su abundancia, en base a la observación de láminas delgadas.

- Interpretar y discutir sobre la localización en la que se dio el desarrollo de montículos dentro de la plataforma y qué factores determinaron dicho desarrollo.

4. METODOLOGÍA

La metodología llevada a cabo en este estudio ha comprendido una revisión bibliográfica de carácter tanto general como específico, en relación con el tema tratado; varias jornadas de trabajo de campo y diversas sesiones de trabajo de laboratorio y gabinete. Este proceso ha permitido la recopilación y elaboración de datos y, finalmente, la interpretación y síntesis de los mismos.

4.1. Revisión bibliográfica

La recopilación de información, relevante para el estudio, se ha llevado a cabo a lo largo de todo el proceso de realización de este trabajo. Ha consistido en la consulta de información geológica general, tratando así de contextualizar el sector estudiado; de información estratigráfico-sedimentológica concreta referente a los materiales

considerados; y de información específica relevante para la caracterización de las bioconstrucciones contenidas en los mismos.

4.2. Trabajo de campo

El trabajo en el campo representó el método con el que se obtuvo la mayor parte de los datos en el presente estudio. Las jornadas de campo consistieron, en primera instancia, en la elección de los sectores de estudio, en concreto 5 sectores, y en segunda instancia, en la toma de datos.

Para la selección de los 5 sectores estudiados, adecuados para la caracterización de los materiales a lo largo del afloramiento de Ricla, se tuvieron en cuenta las condiciones de afloramiento, la accesibilidad y la equidistancia entre los sectores, con la intención de que estos fueran representativos de todo el afloramiento.

Las labores de recopilación de datos incluyeron:

- La cartografía de facies en cada uno de los sectores seleccionados, consistente en el análisis de la extensión vertical y lateral, la geometría y la densidad de los montículos y de las facies intermontículo asociadas, a partir de fotomosaicos. Debido a las condiciones escarpadas del afloramiento, la obtención de dichas imágenes se realizó mediante un dron. En concreto, se rodaron 14 videos 4K o HD en estos sectores a cargo de la empresa *Zenith Drones, S. L.* mediante una cámara *Panasonic GH4* acoplada a un hexacóptero S900. A partir de dichos vídeos se realizó, en gabinete, la captura de fotogramas para el posterior ensamblaje de imágenes y confección de los fotomosaicos de cada sector.

- La toma de fotografías de detalle de las características concretas observadas en cada sector en las facies de montículos e intermontículo.

- El levantamiento de una columna estratigráfica de referencia capa a capa en el sector central del afloramiento, que incluyó la toma de 14 muestras de mano para la posterior caracterización de las microfacies. Teniendo en cuenta la aparente homogeneidad de las microfacies en los montículos, descrita en trabajos previos, se optó por concentrar el muestreo en las facies de intermontículo.

- La correlación física de los cinco sectores seleccionados a lo largo de todo el afloramiento, mediante el seguimiento lateral de capas guía, con objeto de establecer la equivalencia lateral entre ellos.

4.3. Trabajo de laboratorio y gabinete

Parte del proceso de recogida de datos se abordó en diversas sesiones de gabinete y laboratorio, que incluyeron:

- La selección de los fotogramas seriados y la elaboración de fotomosaicos a partir de los vídeos HD rodados en campo. La duración total de los videos fue de 49' 37'', lo que implicó seleccionar los mejores fotogramas de entre un total de 2977. El ensamblaje de las fotografías para confeccionar el fotomosaico de cada sector se hizo mediante el programa informático de edición de imágenes de puntos (imágenes de píxeles o de mapa de *bits*) *Adobe Photoshop CC 2015*.

- El estudio detallado, capa a capa, de las características geométricas de los montículos y facies intermontículo asociadas, en los fotomosaicos obtenidos para cada uno de los 5 sectores seleccionados, mediante el programa informático de edición de gráficos vectoriales *Adobe Illustrator CC 2015*.

- La elaboración del perfil estratigráfico de referencia, completando la información obtenida en campo con el estudio mediante microscopio petrográfico de luz transmitida de 14 láminas delgadas, de las muestras recogidas en campo. La realización de secciones pulidas se desestimó debido a que el tono negruzco de los materiales no permite realizar una caracterización detallada de las facies. La elaboración de las láminas delgadas se llevó a cabo por el Servicio de Preparación de Rocas y Materiales Duros de la Universidad de Zaragoza. Las muestras se describieron siguiendo la clasificación textural de Dunham (1962).

- La elaboración de fotografías de las microfacies mediante una cámara acoplada al microscopio petrográfico.

4.4. Tratamiento de datos y síntesis

Consistió en la recopilación de todos los datos obtenidos en campo, laboratorio y gabinete para su posterior tratamiento y síntesis en la presente memoria. En base a la información obtenida se procedió a realizar la caracterización y clasificación de los montículos en función de su geometría para dar respuesta a las cuestiones recogidas en los objetivos del trabajo. En el caso de las facies de intermontículo, el criterio para su diferenciación fue especialmente la textura y presencia relativa de los diferentes componentes, obtenidos fundamentalmente del estudio de las láminas delgadas.

Para la síntesis de los datos presentes en esta memoria se utilizaron los programas de procesamiento de imágenes *Adobe Illustrator CC 2015* y *Adobe Photoshop CC 2015* para la elaboración de figuras y el programa informático de procesamiento de textos *Microsoft Office Word 2013* para la redacción y maquetación de la misma.

5. CONTEXTO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO

5.1. Situación geográfica y geológica

Los afloramientos de edad Bajociense estudiados en el presente trabajo se encuentran al oeste de la localidad de Ricla (comarca de Valdejalón, provincia de Zaragoza) (Fig. 1A). Ricla dista de Zaragoza 58,6 km, siguiendo la autovía A-2 hacia el suroeste, en dirección Madrid. El acceso a los diferentes sectores seleccionados requiere el uso de una serie de pistas de uso agrícola que parten, bien desde la propia localidad de Ricla, o bien desde la carretera comarcal A-121 una vez esta cruza la vía del AVE (Fig. 1B,C).

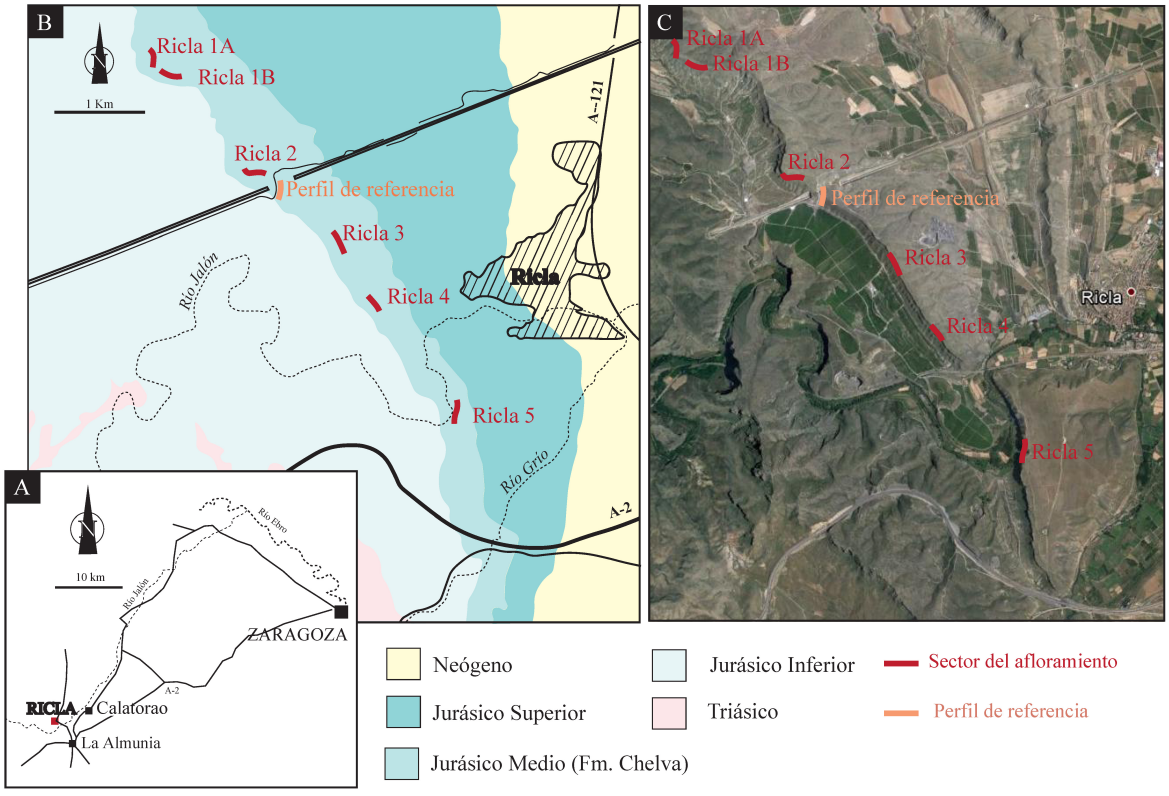


Fig. 1: A) Situación geográfica de Ricla (modificado de Bádenas *et al*., 2001) y B) situación geológica y C) geográfica (tomado de http://maps.google.es) del perfil de referencia y los 5 sectores estudiados en el Bajociense.

El término municipal de Ricla se encuadra entre dos grandes unidades geológicas: la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica y la Cuenca del Ebro. En este sector afloran materiales mesozoicos (Jurásico y Cretácico Inferior, de origen marino y continental, respectivamente), y neógenos y cuaternarios, en facies continentales. Los sedimentos neógenos fosilizan el sistema de cabalgamientos que limita la Cordillera Ibérica y la Cuenca Ebro y se disponen discordantes sobre los paleorelieves de rocas jurásicas y del Cretácico Inferior, pertenecientes al Sinclinorio de Litago-Ricla (Lendinez *et al.*, 1995). La serie jurásica en la que se enmarcan las rocas de edad Bajociense estudiadas forma parte del flanco oriental de este sinclinorio, en el que afloran todas las unidades del Jurásico, desde la Fm. Dolomías y carniolas de Cortes de Tajuña de la base del Jurásico, hasta la Fm. Calizas con corales de Torrecilla de Cameros, del Jurásico Superior (Lendinez *et al.*, 1995).

El presente estudio se enmarca en los materiales de la Fm. Carbonatada de Chelva (Jurásico Medio), definida por Gómez y Goy (1979) en el Sector Levantino de la Cordillera Ibérica, que en el sector de Ricla presentan unos 215 m de espesor (Lendinez, *et al.*, 1995). Geomorfológicamente, la Fm. Chelva es reconocible en el paisaje ya que sus materiales dan un relieve estructural en cuesta de dirección NO-SE, de unos 15º de buzamiento hacia el NE, constituyendo un afloramiento continuo de unos 10 km de extensión.

En concreto, el intervalo estratigráfico seleccionado para este estudio comprende la parte media del intervalo de edad Bajociense superior, delimitado a techo por el límite superior de la biozona *Garantiana* (Fernández-López y Aurell, 1988) y de unos 11 m de potencia (Fig. 2). Este intervalo es reconocible en el paisaje ya que se corresponde con los materiales que coronan los relieves estructurales anteriormente mencionados.

Los 5 sectores del afloramiento seleccionados se han denominado Ricla 1 a Ricla 5 (Fig. 1B, C), siendo Ricla 1 el sector más septentrional y Ricla 5 el más meridional. Equidistan entre sí de 1 a 1,5 km, de modo que la extensión total del área de estudio es de unos 6 km. En concreto se encuentran localizados en las siguientes coordenadas: 41º31’37,9’’N 1º27’23,0’’W (Ricla 1), 41º31’01,7’’N 1º26’40,7’’W (Ricla 2), 41º30’33,6’’N 1º25’54,2’’W (Ricla 3), 41º30’10,5’’N 1º25’35,6’’W (Ricla 4) y 41º29’34,2’’N 1º24’58,5’’W (Ricla 5). El perfil estratigráfico de referencia se ha levantado en una sección próxima al sector Ricla 2, en concreto en la trinchera de la

pista de acceso a la vía del AVE que corta los materiales estudiados en las coordenadas 41°30’54,3’’N 1°26’24,3’’W (Fig. 1B, C).

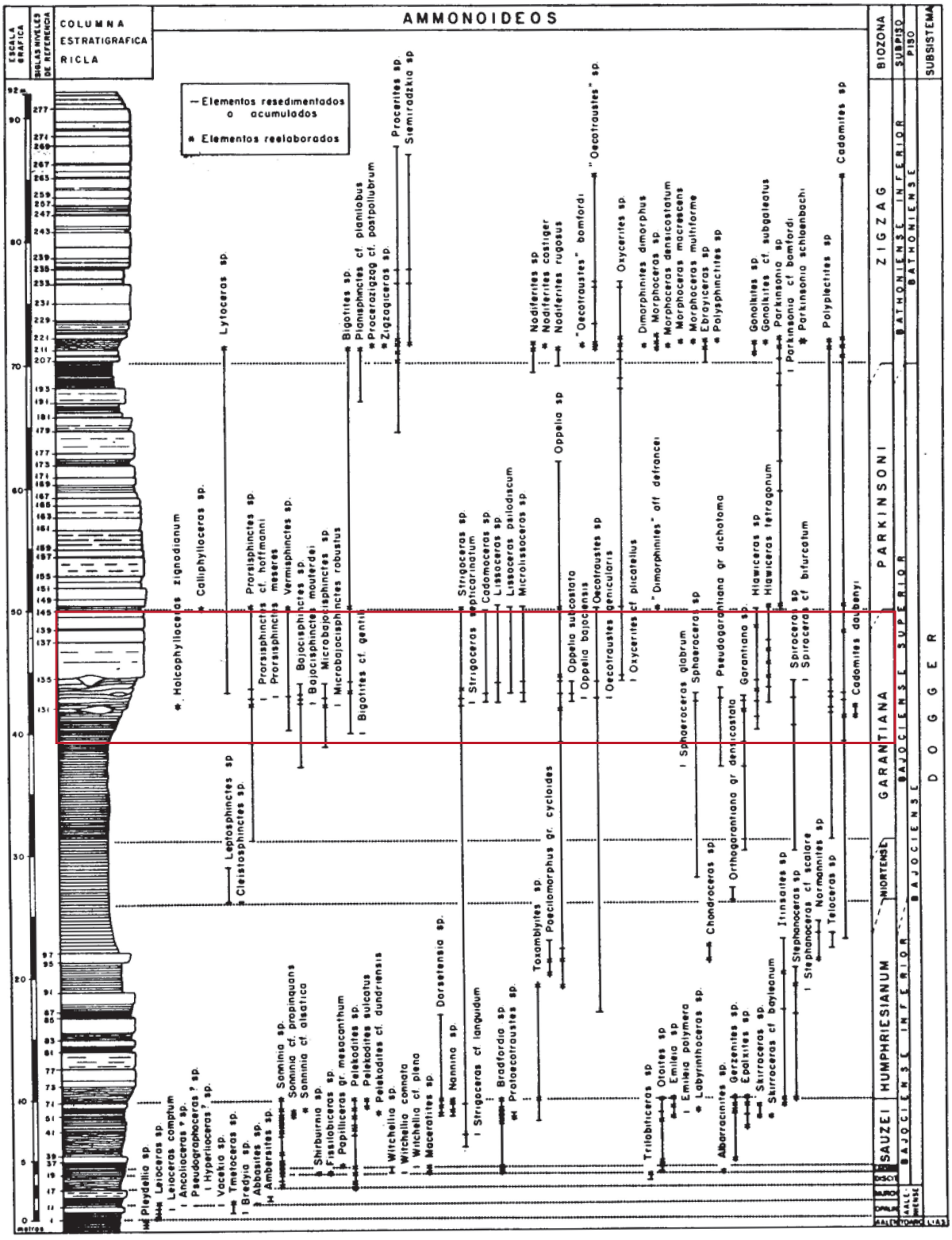


Fig. 2: Situación estratigráfica del intervalo de estudio, recuadrado en rojo, en la columna de referencia de los materiales del Bajociense y Bathoniense inferior de Ricla (tomado de Fernández López y Aurell, 1998), correspondiente al afloramiento Ricla 3 indicado en la Fig. 1.

5.2. Contexto sedimentológico de los depósitos estudiados

La sedimentación de la Fm. Chelva tuvo lugar en ambientes de plataforma carbonatada de tipo rampa. Estas plataformas se desarrollaron al Este de la Placa Ibérica, en una cuenca intracratónica denominada Cuenca Ibérica. Durante el Jurásico, esta cuenca estuvo cubierta por un mar epicontinental (zona occidental del Tethys) de escasa profundidad que, durante el Jurásico Medio se ubicaba en latitudes medias-tropicales (Fernández-López, 1985). Durante el tránsito Jurásico Inferior a Medio, un incremento de la actividad tectónica sinsedimentaria dio lugar a la fragmentación de la extensa plataforma carbonatada que cubrió todo el noreste de Iberia al final del Jurásico Inferior. Como consecuencia, la plataforma del Jurásico Medio se articuló en diferentes dominios sedimentarios que se extienden en dirección NO-SE, denominados Plataforma Aragonesa (que incluye el sector de Ricla estudiado) y Plataforma Castellana (Aurell et al., 2002; Fig. 3).

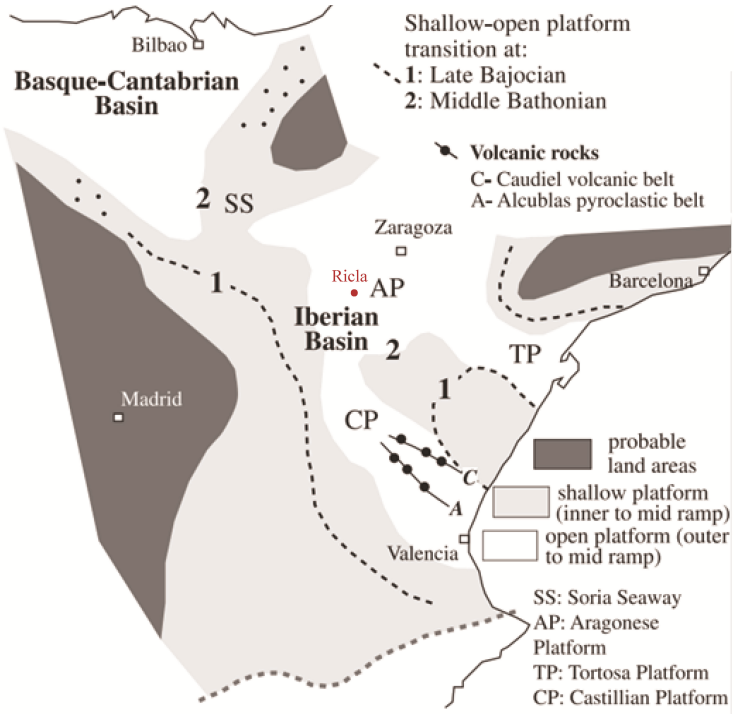


Fig. 3: Contexto paleogeográfico del noreste de Iberia durante el Jurásico Medio, donde se indica la situación de Ricla dentro de la Plataforma Aragonesa (modificado de Aurell *et al*., 2002).

En la Plataforma Aragonesa, al inicio del Bajociense superior, se produjo un evento profundizante (hemiciclo transgresivo de la secuencia de tercer orden o ciclo 2.2; Fig. 4), durante el cual se produjo el máximo desarrollo de facies de plataforma abierta del Jurásico Medio, caracterizadas por la presencia de calizas y margas con ammonites. Posteriormente, se dio una fase de estabilización del nivel del mar (hemiciclo regresivo

del ciclo 2.2) durante la que se desarrollaron facies granosostenidas y montículos de esponjas y costras microbianas de dimensiones variables (decimétricas a métricas; Bersán y Aurell, 1997).

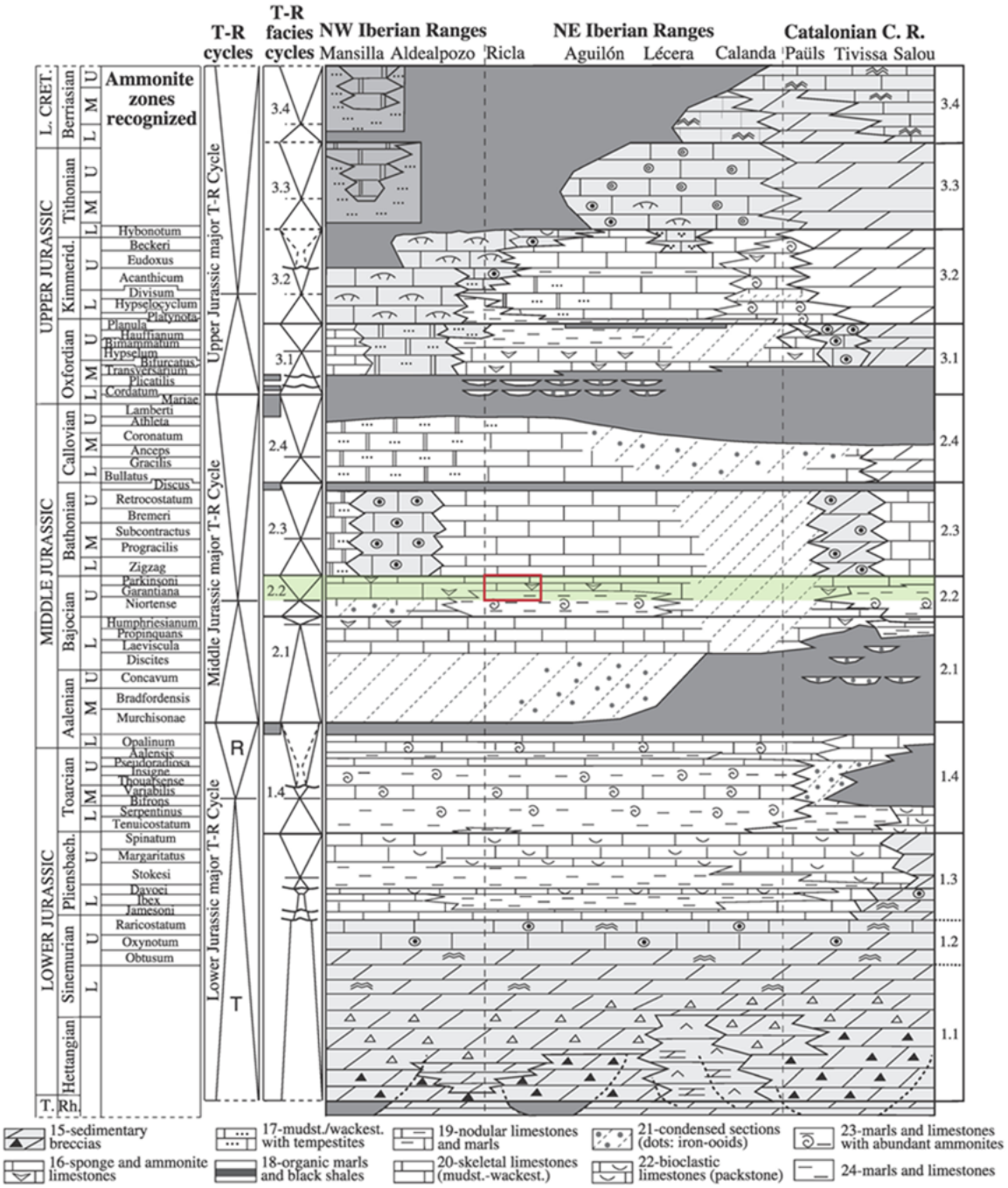


Fig. 4: Contexto sedimentológico y estratigráfico de los materiales estudiados (recuadro rojo) en el contexto Jurásico para el NE de la Península Ibérica, comprendidos en el hemiciclo regresivo del ciclo 2.2 de edad Bajociense superior (recuadro verde), (tomado de Aurell et al., 2002).

Se trata de bioconstrucciones desarrolladas debido al atrape de sedimento por una combinación del efecto pantalla de las esponjas *(bafflestone)* y atrape/cementación por microbios *(bindstone)*. Entre ellas, se desarrollan depósitos de intermontículo bioturbados, de textura *wackestone-packstone* con peloides, bioclastos y localmente, granos de cuarzo. Bersán y Aurell (1997) interpretan en base a la asociación faunística estenohalina, integrada por ammonites, belemnites y equinodermos, que el desarrollo de montículos de esponjas se dio en medios abiertos de salinidad normal. Estos montículos se localizaron en las áreas de rampa media, entre el nivel de base de oleaje de buen tiempo y el nivel de base de oleaje de tormentas. En este contexto se darían las condiciones de escasa agitación, relativa profundidad dentro de la zona fótica y baja tasa de sedimentación, propicias para el desarrollo de los mismos. También advierten del relevo progresivo de bioconstrucciones con una componente de crecimiento vertical, por bioconstrucciones con una componente de crecimiento lateral, y el predominio de esponjas con morfologías de tipo plato y disco hacia techo. En función del incremento a techo de niveles depositados por la acción de tormentas, interpretan un incremento en la energía del medio, por lo que sugieren que la evolución vertical de las geometrías de crecimiento de los montículos guarda relación con la tendencia somerizante previamente descrita.

6. CARACTERIZACIÓN DE FACIES

El intervalo Bajociense, caracterizado en este estudio, presenta en torno a 11 m de potencia. Dominan las capas de caliza tabulares de entre 0,1 a 0,8 m de espesor limitadas por superficies planas o irregulares. Las calizas son más frecuentes y potentes hacia techo, formando en conjunto una secuencia estratocreciente. Los niveles margosos se presentan como interestratos en toda la sucesión y, en la parte inferior, llegan a formar capas de en torno a un decímetro de espesor. Entre estas sucesiones se reconocen niveles de caliza lenticulares de potencia decimétrica a métrica, generalmente plano-convexos o cóncavo-convexos, que corresponden a facies de montículos de esponjas.

El trabajo ha incluido la cartografía detallada a partir de fotomosaicos de las facies de montículos e intermontículo en los 5 sectores (Ricla 1 a Ricla 5), distribuidos a lo largo de 6 km del afloramiento, cada uno de las cuales abarca ente 0,45 y 1,25 km de

extensión lateral y una potencia media en torno a 11 m. A continuación, se describe la cartografía de las facies de montículos e intermontículo en los 5 sectores, y posteriormente la caracterización de las facies en el perfil de referencia localizado próximo al sector Ricla 2.

6.1. Cartografía de facies

6.1.1. Geometría y densidad de los montículos en los 5 sectores

El estudio de los fotomosaicos en los 5 sectores ha permitido definir sucesivos paquetes o conjuntos de capas, en función de la geometría, extensión vertical y lateral y densidad de los montículos. Estos conjuntos de capas están limitados por superficies de estratificación neta. En base a las características geométricas y en particular, a la densidad y dimensión de los montículos de esponjas en cada uno de estos conjuntos de capas, se han definido 5 tipos de asociaciones de facies (A a E; Fig. 5):

- Asociación de facies A (AF-A): comprendido por facies de intermontículo de calizas y margas en capas tabulares de unos 6-8 cm de espesor, con superficies de estratificación planas, que intercalan esporádicos montículos simples aislados de 40 cm de potencia y 1 m de extensión lateral.

- Asociación de facies B (AF-B): caracterizados por facies intermontículo de calizas y margas en estratos tabulares (10-40 cm de potencia) entre las que se intercalan montículos aislados de grandes dimensiones, de entre 0,5 y 2 m de potencia y entre 2 y 3 m extensión lateral.

- Asociación de facies C (AF-C): constituidos por facies intermontículo de calizas de 10 a 20 cm de espesor entre los que intercala algún nivel margoso. Se reconocen montículos amalgamados localmente de 0,4 a 1 m de potencia y de 0,6 a 2 m de extensión lateral.

- Asociación de facies D (AF-D): caracterizado por potentes capas de caliza (60 cm) integradas por una alta densidad de montículos de 0,5 a 1 m de potencia y 1 a 2 m extensión lateral.

- Asociación de facies E (AF-E): integrado por capas tabulares de facies intermontículo de 40 cm de potencia, con superficies de estratificación irregulares y presencia de esporádicos montículos de 40 cm de potencia y hasta 1 m de extensión lateral.

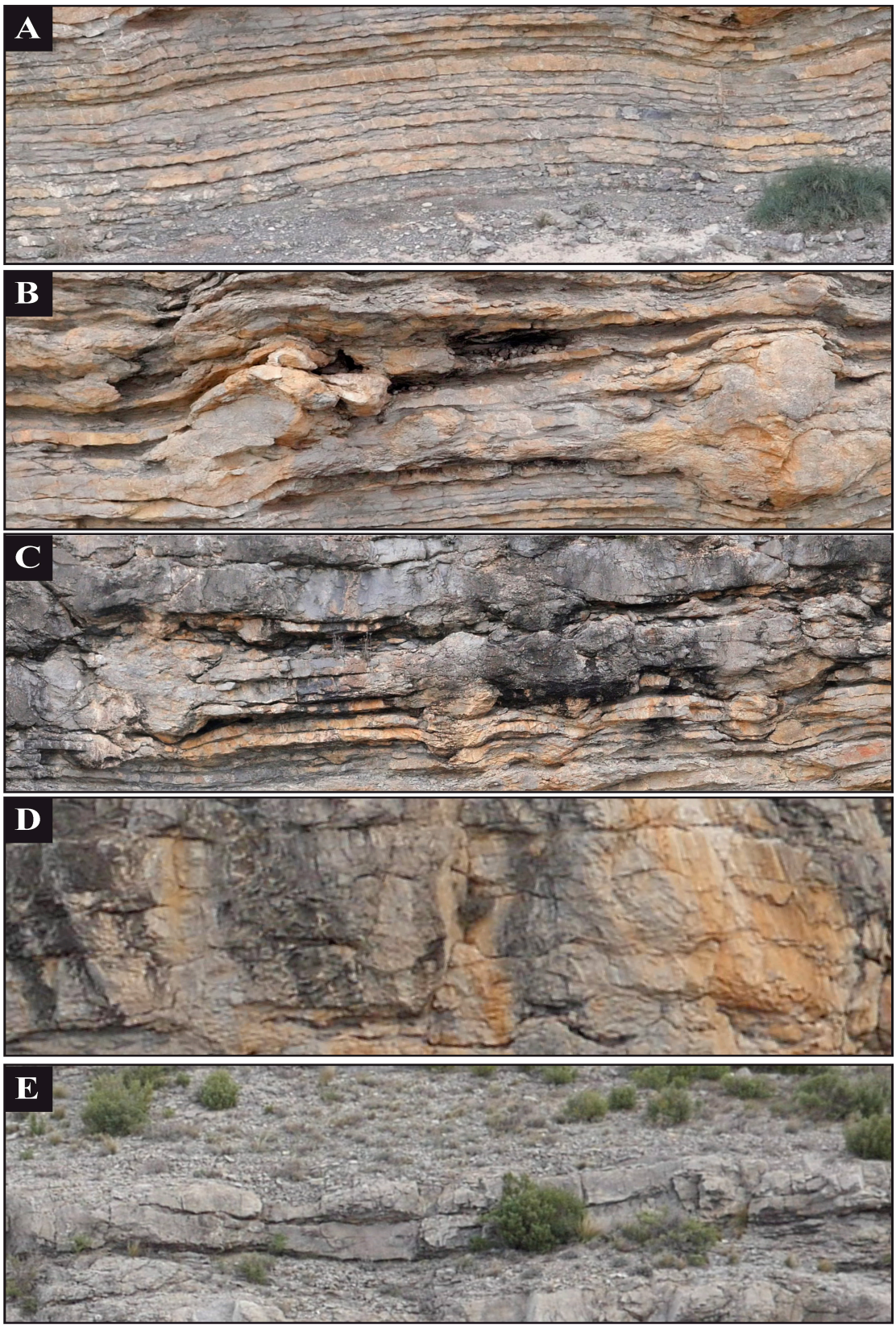


Fig. 5: Ejemplos ilustrativos de las geometrías y distribución de montículos de los 5 tipos de asociaciones de facies diferenciadas. A) AF-A, Ricla x; B) AF-B, Ricla, x, C) AF-C, Ricla x, D) AF-D, Ricla x, y E) AF-E, Ricla x. El campo visual vertical abarcado para cada imagen oscila en torno a dos metros.

La distribución en paquetes o conjuntos de capas para cada uno de los 5 sectores estudiados y su atribución a los diferentes tipos de asociaciones de facies (AF) descritas anteriormente es uno de los principales datos obtenidos en este trabajo. Su representación gráfica puede verse en los anexos de esta memoria. Para el sector Ricla 1 se han obtenido dos fotomosaicos parciales, denominados Ricla 1A y 1B. A continuación se hace una breve descripción de la sucesión vertical observada en los sectores 1 a 5:

- El sector Ricla 1A (Fig. 6), de 7 m de potencia y 45 m de extensión lateral puede subdividirse en 9 paquetes de capas limitadas por superficies de estratificación netas. Desde la base hasta el techo, el primer paquete diferenciado, de unos 0,8 m de espesor, se ha clasificado como AF-A. Sobre él, se disponen dos paquetes consecutivos clasificados como AF-B de entre 1,2 y 2,4 m de potencia. En algunos casos, los montículos de esponjas se restringen a un único paquete; en otros, integran a varios de ellos. Por encima, aparece un conjunto de otros tres paquetes, de 1,2 m de potencia, que se han clasificado como AF-A. A techo, se observa un nuevo conjunto de dos paquetes caracterizado como AF-C, de 2 a 2,5 m de potencia. Sobre ellos aparecen dos paquetes de 1,4 m de espesor caracterizados como AF-D. Coronando la sección, aparece un paquete de 0,8 m de espesor, al que se le ha asignado la AF-E.

- El sector Ricla 1B (Fig. 7), presenta 10 m de potencia y 25 m de extensión lateral. Este sector muestra 5 intervalos estratigráficos. El paquete basal se clasifica como AF-D, presentando una potencia total de 1,4 m. Sobre él se dispone un paquete de AF-E de unos 50 cm. Encima aparece un paquete de AF-D de 1,2 m y finalmente se reconocen dos paquetes comprendidos por la AF-E, de entre 1 y 1,3 m de potencia.

- El sector Ricla 2 (Fig. 8), abarca una extensión lateral de 75 m y 12 m de espesor, en el que se han diferenciado 13 paquetes de capas sucesivos. Se caracteriza por un paquete basal, clasificado como AF-A de 50 cm, en el que aparecen dos montículos simples aislados. Encima, aparecen dos paquetes que se han agrupado como AF-B de entre 1,3 y 2 m. En este caso, de nuevo aparecen bioconstrucciones que abarcan a más de un paquete. Sobre ellos, se encuentran 2 paquetes de capas a los que se les ha asignado la AF-A de 1,4 m de potencia. Superpuestos aparecen dos paquetes de 1,4 a 2 m que se caracterizan como AF-C. A techo aparecen dos paquetes de 2,6 m de AF-C. Sobre estos se dispone un paquete de 0,6 m de potencia de AF-E. Se superponen dos

paquetes de AF-D de 2,1 m de potencia y finalmente aparece un paquete de AF-E con una potencia de 1,5 m.

- El sector Ricla 3 (Fig. 9), muestra un espesor de 11,5 m y una extensión lateral de 77 m. De base a techo, muestra un primer paquete integrado por la AF-A de 0,75 m, sucedido por un paquete de AF-B de entre 1,25 y 1,8 m de potencia. Encima, aparecen dos paquetes integrados por AF-A, de 1,9 m de potencia, sobre el que se dispone un paquete clasificado como de AF-C, con un espesor de 1,25 m. Sobre estos, se superponen dos paquetes, con un espesor total de 2 a 2,5 m clasificados como AF-D. Por encima aparece un paquete de 0,75 m de espesor de AF-E, sobre el que aparecen dos paquetes de 3 m de potencia total integrados por AF-D. El intervalo termina con un paquete relativamente tabular de hasta 1 m de espesor, que se han clasificado como correspondiente a la AF-E.

- El sector Ricla 4 (Fig. 10), presenta 12 metros de espesor y 125 metros de extensión lateral. Comienza con un paquete de capas basal de AF-A de 0,8 m de espesor. Sobre este, se disponen dos paquetes clasificados como AF-B, de 1,4 a 3 metros de potencia. Encima, aparecen tres paquetes de 2 m de potencia, al que se les ha asignado la AF-A. A techo aparece un paquete clasificado como AF-C de unos 0,8 m de potencia. Sobre ellos se disponen 2 paquetes de AF-D que en conjunto presentan 2,8 m de espesor. Encima aparece un paquete de 1 m de potencia clasificado como AF-E. Finalmente, se observan dos paquetes clasificados como AF-D de 1,6 m, sobre el que se dispone un último paquete de AF-E de 1,2 a 1,5 m.

- El sector Ricla 5 (Fig. 11), abarca una extensión lateral de 85 m y un espesor total de 15 m. Se caracteriza por un intervalo basal clasificado como AF-B de unos 4 m de espesor. Se encuentra bastante cubierto, aunque afloran bioconstrucciones complejas de grandes dimensiones. Sobre él, se dispone un paquete de AF-A, de 1,8 m de espesor, también ligeramente cubierto y con montículos simples muy esporádicos. Encima aparece un paquete de AF-C de 0,7 m. Sobre este último, se observan dos paquetes de 2 a 3 m de espesor total, clasificados como AF-D. Se superpone un paquete de AF-E de 1 m de espesor. A techo aparecen 2 paquetes de AF-D que dan en conjunto 2,6 m de espesor, y finalmente un último paquete comprendido por AF-E de en torno a 1 m de potencia.



Fig. 6: Ejemplos ilustrativos de los 5 tipos de asociaciones de facies diferenciadas en el sector Ricla 1A: AF-A (verde), AF-B (azul), AF-C (naranja), AF-D (rojo) y AF-E (morado). Las líneas de trazo más grueso representan límites de paquetes de capas.

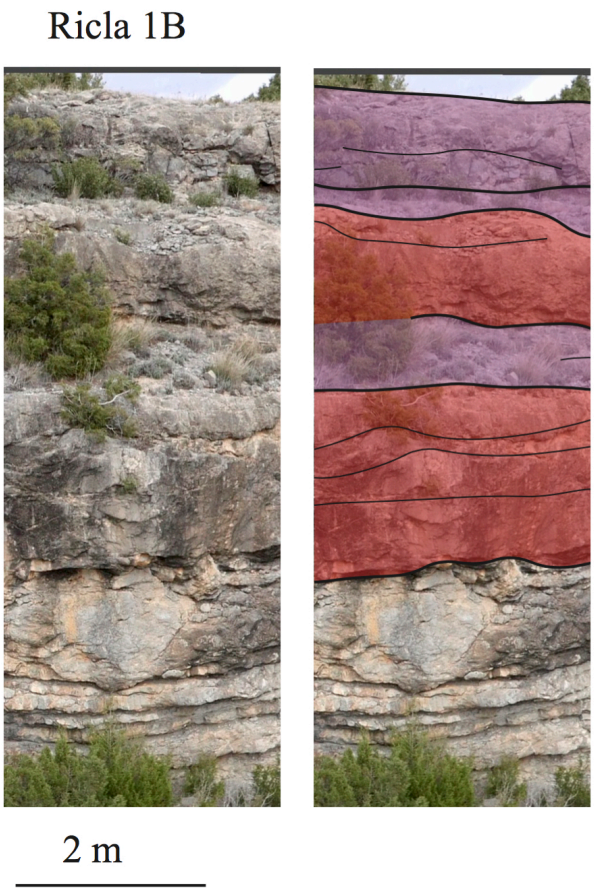


Fig. 7: Ejemplos ilustrativos de los 5 tipos de asociaciones de facies diferenciadas en el sector Ricla 1B: AF-A (verde), AF-B (azul), AF-C (naranja), AF-D (rojo) y AF-E (morado). Las líneas de trazo más grueso representan límites de paquetes de capas.

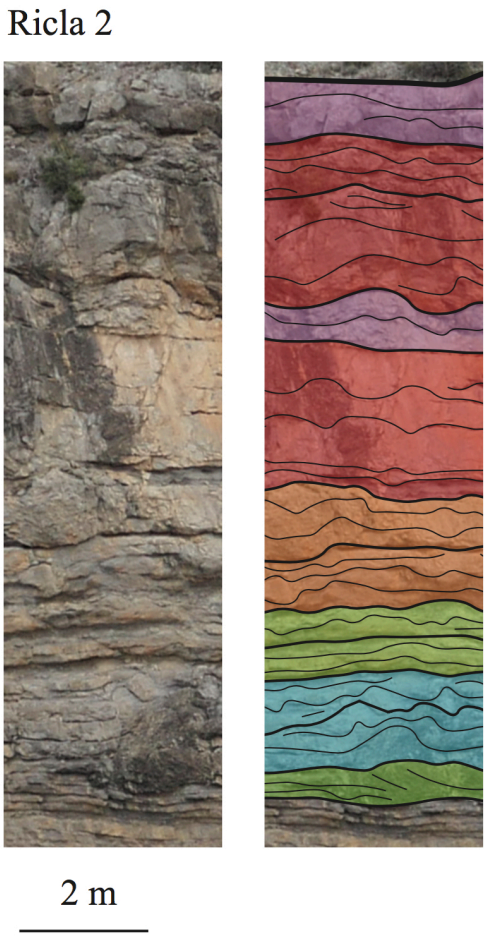


Fig. 8: Ejemplos ilustrativos de los 5 tipos de asociaciones de facies diferenciadas en el sector Ricla 2: AF-A (verde), AF-B (azul), AF-C (naranja), AF-D (rojo) y AF-E (morado). Las líneas de trazo más grueso representan límites de paquetes de capas.

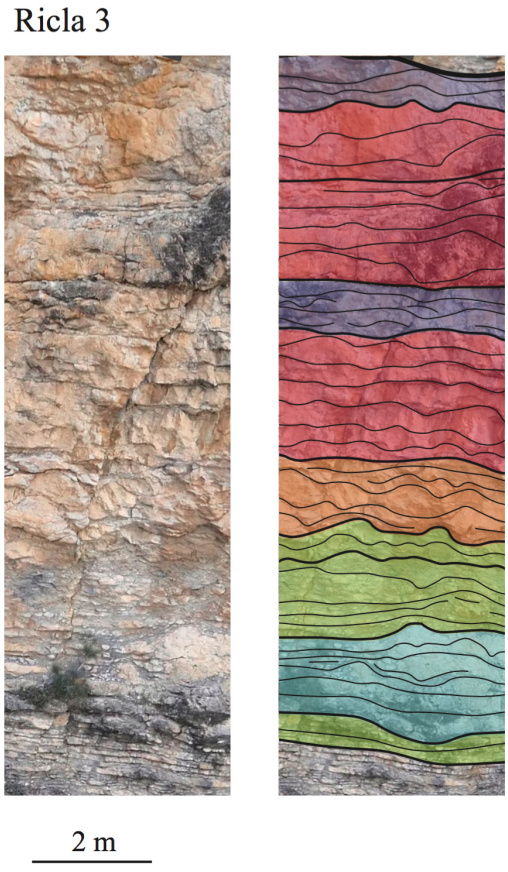


Fig. 9: Ejemplos ilustrativos de los 5 tipos de asociaciones de facies diferenciadas en el sector Ricla 3: AF-A (verde), AF-B (azul), AF-C (naranja), AF-D (rojo) y AF-E (morado). Las líneas de trazo más grueso representan límites de paquetes de capas.

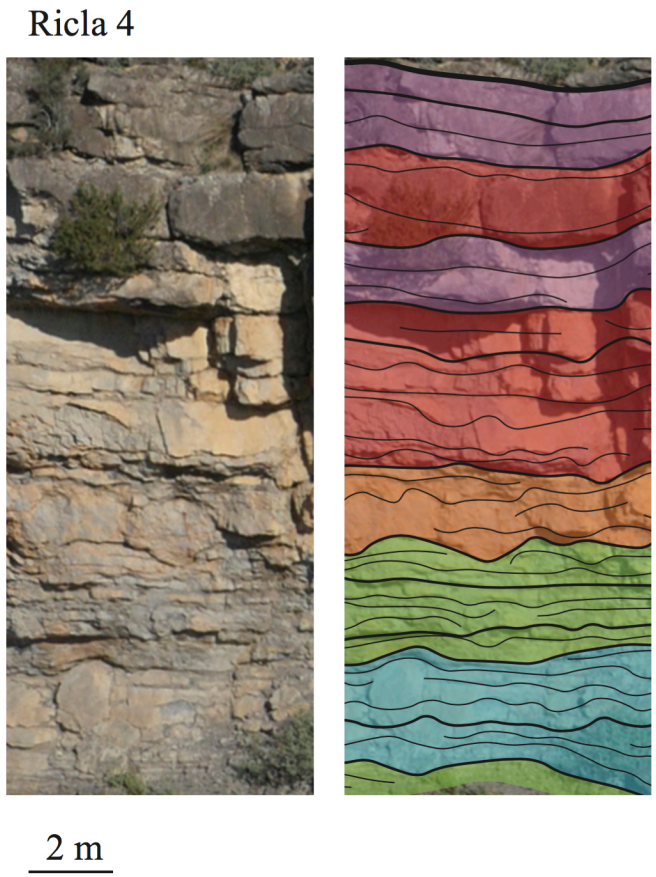


Fig. 10: Ejemplos ilustrativos de los 5 tipos de asociaciones de facies diferenciadas en el sector Ricla 4: AF-A (verde), AF-B (azul), AF-C (naranja), AF-D (rojo) y AF-E (morado). Las líneas de trazo más grueso representan límites de paquetes de capas.



Fig. 11: Ejemplos ilustrativos de los 5 tipos de asociaciones de facies diferenciadas en el sector Ricla 5: AF-A (verde), AF-B (azul), AF-C (naranja), AF-D (rojo) y AF-E (morado). Las líneas de trazo más grueso representan límites de paquetes de capas.

6.1.2. Correlación de los sectores

La identificación de paquetes de capas similares para cada uno de los sectores considerados ha permitido obtener un criterio de comparación entre sectores, y así establecer su continuidad lateral (Fig. 12). Se ha realizado una correlación física a lo largo del afloramiento continuo y se ha tenido en cuenta el espesor del intervalo estudiado, y el espesor y la distancia de estos paquetes en los sectores adyacentes.

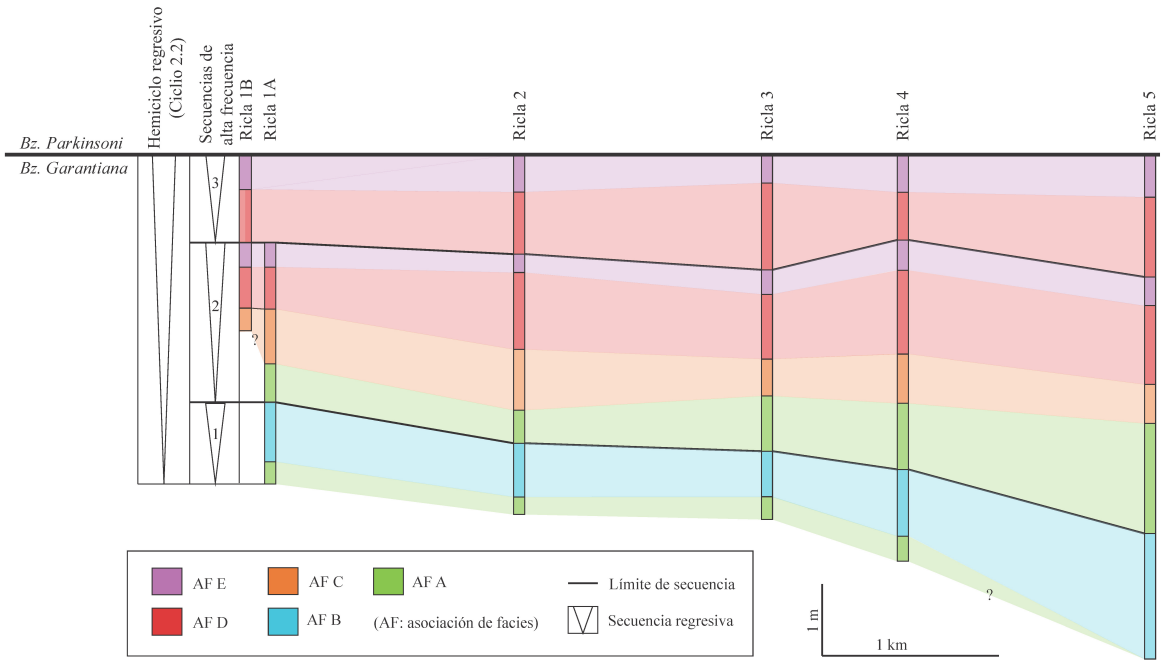


Fig. 12: Correlación de los 5 sectores estudiados, mostrando la continuidad lateral de las 5 asociaciones de facies diferenciadas. Se ha indicado la distribución de las tres secuencias regresivas o de somerización 1 a 3.

El espesor del intervalo presenta un aumento de potencia desde el sector Ricla 1 hasta el sector Ricla 5. En la parte basal, se ha observado como a lo largo de todo el afloramiento aparece un primer paquete AF-A de espesor relativamente constante que varía entre 0,5 y 0,8 m de potencia (a excepción de zonas cubiertas, caso de Ricla 5). Sobre este, se dispone un lote de paquetes AF-B, de potencia muy variable. El espesor de este lote es relativamente constante (de entre 1,2 y 1,4 m) si bien, se observa un aumento de la potencia de los montículos que incluyen, desde los sectores más meridionales a los más septentrionales.

Superpuesto, aparece un nuevo lote AF-A cuyo espesor varía entre los 1,2 m y los 3,6 m denotando un aumento progresivo del mismo desde las áreas más septentrionales hacia las más meridionales. Sobre este lote, aparece otro clasificado como AF-C,

continuo a lo largo de todo el afloramiento que presenta entre 1,25 y 2 m de espesor. Por encima, se ha identificado un lote de tipo AF-D que presenta un espesor variable entre los 1,44 m en las áreas más septentrionales y los 3 m de las áreas más meridionales. A techo se reconoce un lote, continuo a lo largo de todo el afloramiento de tipo AF-E que presenta un espesor relativamente constante de entre 0,6 y 1 m. Sobre éste se dispone un nuevo lote de tipo AF-D con espesor variable de 1,5 a 3 m de potencia. Finalmente, aparece un último lote de tipo AF-E de espesor variable entre los 1,3 y los 2 m.

En general, se observa una tendencia de los lotes de tipo AF-A, AF-B y AF-D a aumentar de espesor hacia los sectores más meridionales del afloramiento con respecto a los más proximales. Sin embargo, el lote de AF-C muestra un aumento de espesor hacia los sectores más septentrionales y los lotes con AF-E presentan espesores relativamente constantes a lo largo de toda la extensión que abarca el área de estudio.

6.2. Estudio de microfacies

Próximo al sector Ricla 2, se levantó una serie estratigráfica (Fig. 13) de en torno a 21 metros de espesor total, cuyos 12 metros basales corresponden al intervalo caracterizado mediante fotomosaicos. Previo al estudio de las microfacies, los sucesivos paquetes de capas de esta serie de referencia fueron asignados a una asociación de facies diferenciadas (AF-A a AF-E). El objetivo fue analizar especialmente el tipo de microfacies presentes en las facies intermontículo para cada una de las asociación de facies. Como se ha comentado anteriormente, no se ha realizado un muestreo sistemático en las facies de montículos, dado que su microfacies es bastante homogénea en todos los niveles (Bersán y Aurell, 1997).

6.2.1. Microfacies de los montículos

Los montículos corresponden a calizas con texturas *bafflestone-bindstone* formadas por las esponjas *(Hexactinellidae* y *Lithistidae)* y costras microbianas (Fig. 14). Las costras se encuentran constituidas por cianobacterias y organismos epizoarios que se desarrollan sobre ellas (foraminíferos encostrantes y serpúlidos). Son frecuentes las perforaciones biogénicas (bivalvos litófagos, mayoritariamente) sobre estas costras. La facies también contiene cantidades variables de tuberoides y "filamentos" de bivalvos pelágicos de conchas delgadas tipo *Bositra.* Estos componentes confieren a la facies una textura grumosa-peloidal (Bersán y Aurell, 1997).

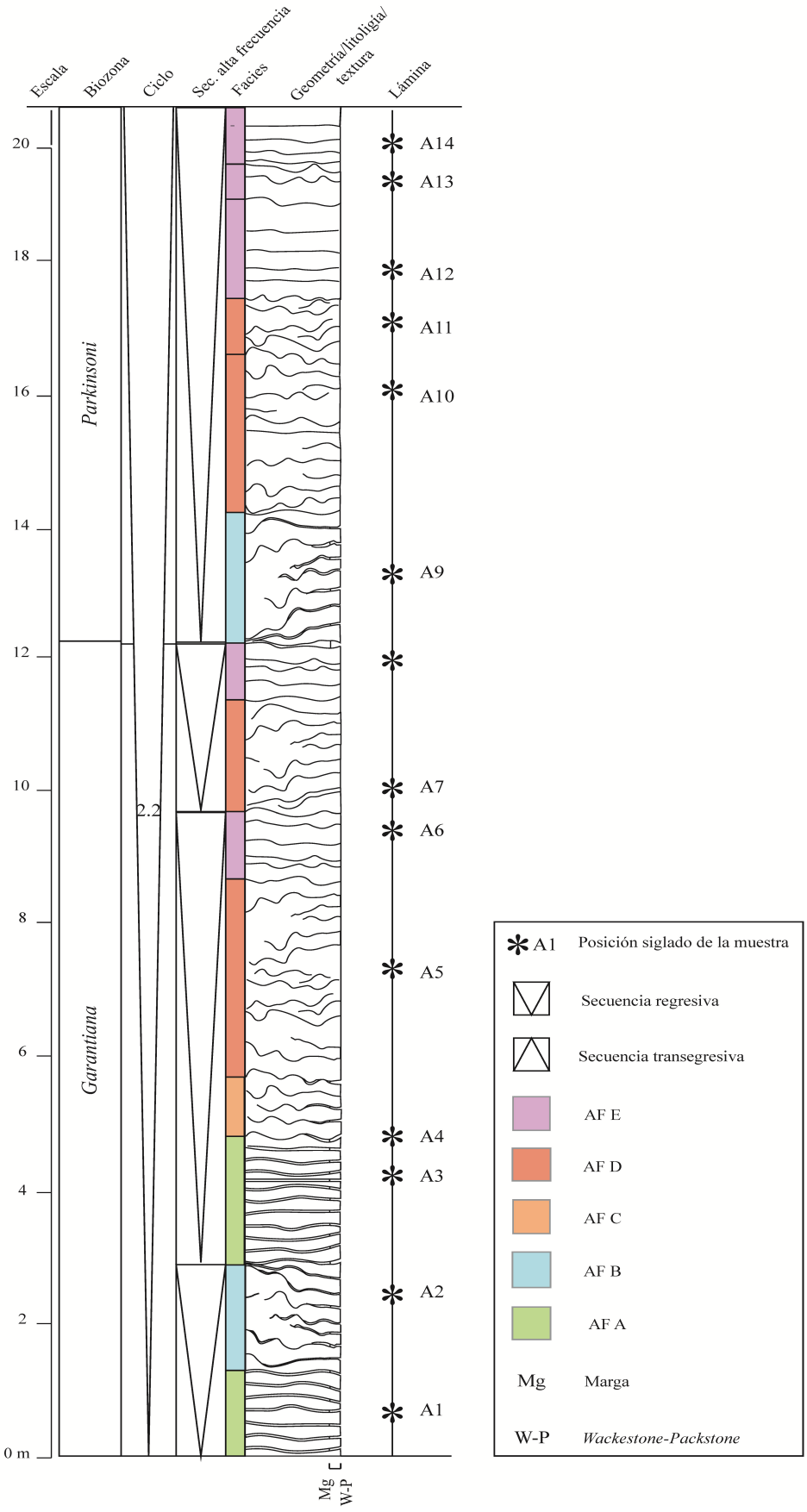
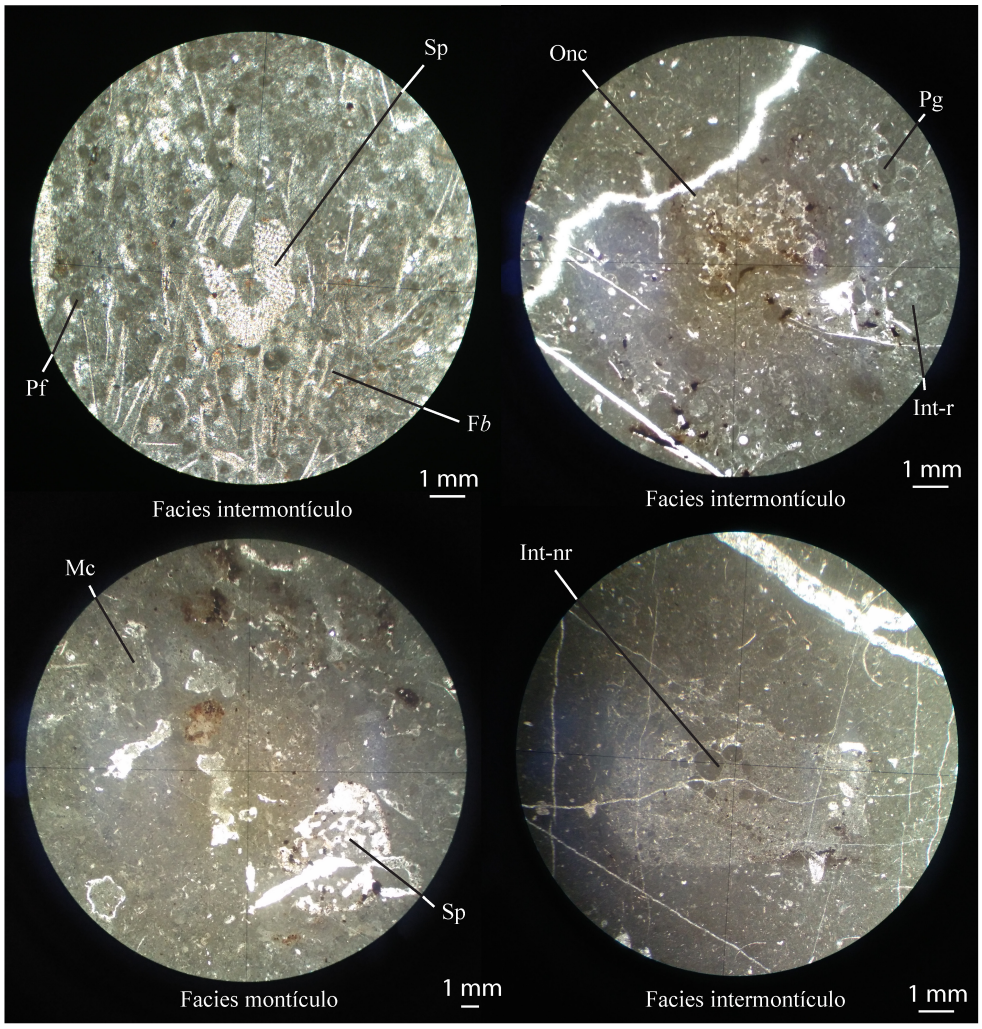


Fig. 13: Perfil estratigráfico de referencia realizado próximo al sector Ricla 2 (ver Fig. 1 para situación). Los 12 metros basales (Biozona *Garantiana*, Secuencias 1-3) corresponden al intervalo caracterizado mediante fotomosaicos.

6.2.2. Microfacies de las facies intermontículo

El muestreo para el estudio petrográfico en lámina delgada de las facies intermontículo en el perfil de referencia ha permitido constatar ciertas variaciones de las microfacies en la vertical, en relación con el tipo de asociación de facies presente. Se han estudiado un total de 14 muestras tomadas a lo largo este perfil, una de cada uno de los paquetes diferenciados, siendo la más basal la muestra A1 y la situada a techo la A14.



Sp: esponja	Int-nr: intraclasto no redondeado
Mc: corteza microbiana	Int-r: intraclasto redondeado
F*b:* filamentos de *Bositra*	Pg: peloide de grano grueso
Onc: oncoide	Pf: peloide de grano fino

Fig. 14: Imágenes de la microfacies, que muestra las componentes de las facies de montículo e intermontículo.

El perfil estratigráfico se caracteriza por facies intermontículo formadas por una alternancia de capas tabulares de caliza con superficies de estratificación irregulares entre las que se intercalan estratos margosos, de entre 0,1 y 0,8 m de espesor, que en conjunto se agrupan en 14 tramos o paquetes de capas. Las capas calcáreas se hacen más frecuentes y potentes hacia techo de la serie, formando en conjunto una secuencia estratocreciente, mientras que los interestratos margosos tienden a hacerse menos potentes hasta desaparecer. Entre ellas se reconocen niveles de caliza lenticulares de potencia decimétrica a métrica, generalmente plano-convexos o cóncavo-convexos, que corresponden a facies de montículos de esponjas.

Las facies calcáreas intermontículo muestran texturas *wackestone* a *packestone*. Se trata de rocas compuestas por una matriz micrítica entre parda y gris oscura en la que aparece gran diversidad de granos esqueletales, entre los que abundan los bivalvos pelágicos, los cuales aparecen en todas las láminas aunque en distintas proporciones, y en menor medida placas de equinodermos, gasterópodos, foraminíferos y espículas de espongiarios. También son abundantes los intraclastos micríticos y los peloides líticos y, de manera esporádica, se han reconocido oncoides (Fig. 14). Aparece bioturbación de tipo *Zoophycos* (Bersán y Aurell (1997).

El estudio textural detallado en lámina delgada ha permitido identificar 12 tipos de facies intermontículo en función de la abundancia relativa de sus componentes (fundamentalmente bivalvos pelágicos, intraclastos y peloides; Fig. 15) y establecer relaciones entre las microfacies identificadas y las asociaciones de facies (AF-1 a AF-E) a las que corresponden los 14 tramos diferenciados (Fig. 7):

- Tramo 1, AF-A (1,30 m), está integrado por 6 capas de caliza de entre 10 y 13 cm de espesor con interestratos margosos. En lámina delgada, la facies de intermontículo se caracteriza por presentar textura *packstone,* comprende una proporción de bivalvos pelágicos muy abundante y dominan los peloides de tamaño inferior a 0,5 mm.

- Tramo 2, AF-B (1,60 m), comprende 4 capas calcáreas con interestratos margosos que lateralmente pasan a facies de montículos de grandes dimensiones, abarcando estas todo el espesor del paquete. Las capas de intermontículo se disponen en *onlap* sobre la bioconstrucción. En microfacies se trata de *packstones* con una proporción de moderada de bivalvos pelágicos. Aparecen peloides de grano grueso e intraclastos redondeados aunque dominan los peloides de grano fino.

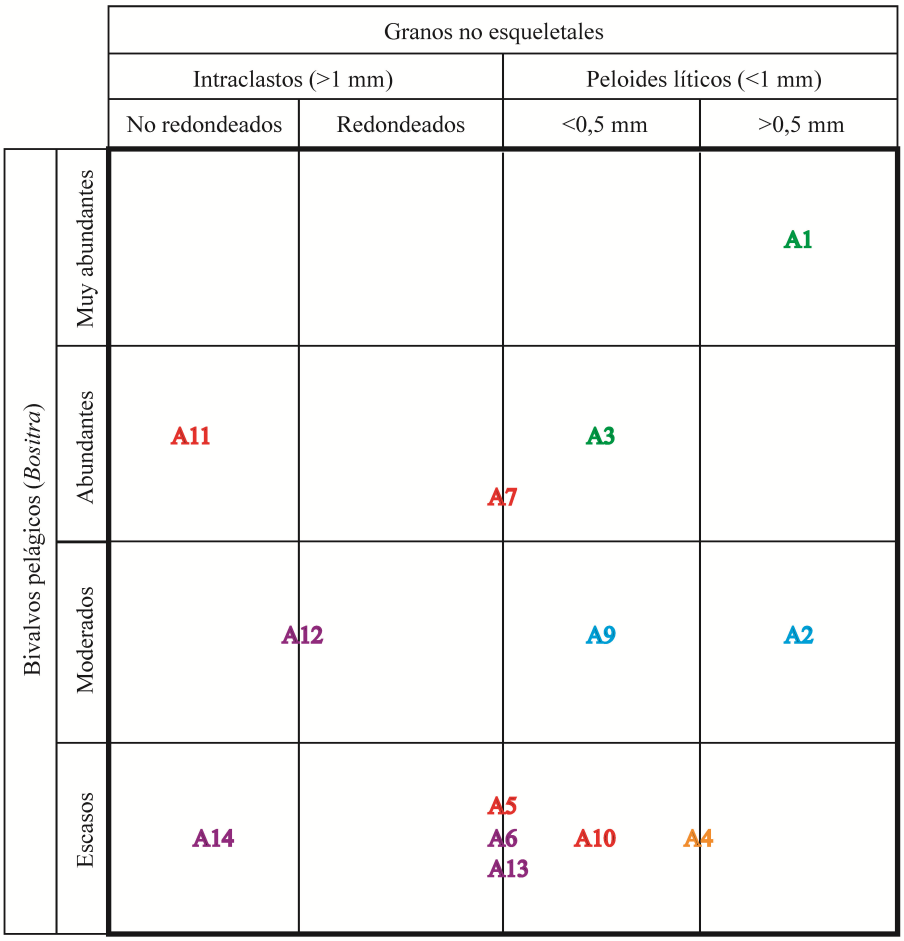


Fig. 15: Relaciones de microfacies de intermontículo en función de la proporción relativa de bivalvos pelágicos y los granos no esqueletales dominantes. Los colores de las muestras A1 a A14 corresponden con los diferentes colores utilizados para las Asociaciones de facies AF-A (azul), AF-B (verde), AF-C (naranja), AF-D (rojo) y AF-E (morado).

- Tramo 5, AF-D (3 m), presenta *mounds* amalgamados de esponjas y de costras microbianas. Su facies intermontículo es de textura *wackestone,* con una proporción escasa de bivalvos pelágicos y el predominio de intraclastos redondeados y peloides de grano grueso. También se reconocen intraclastos no redondeados.

- Tramo 6, AF-E (1 m), formado por 4 capas calcáreas con restos de esponjas, que se encuentran concentradas en ciertas zonas. En lámina delgada se trata de *wackestones* con escasa densidad de bivalvos pelágicos y la presencia dominante de peloides de grano grueso e intraclastos redondeados.

- Tramo 7, AF-D (1,7 m), presenta montículos amalgamados de escaso desarrollo vertical que abarcan todo el tramo. Su microfacies se caracteriza por una abundante proporción de bivalvos pelágicos y la presencia dominante de intraclastos redondeados y peloides de tamaño grueso, en texturas *packestone*.

- Tramo 8, AF-E (0,9 m), formado por cuatro capas calcáreas que en ocasiones comprenden montículos simples de escaso desarrollo. La lámina delgada en este caso está tomada de la facies de montículo. Las observaciones realizadas de la microfacies son concordantes con las de Bersán y Aurell (1997).

- Tramo 9, AF-B (2 m), con montículos de grandes dimensiones que lateralmente pasan a estratos tabulares entre los que también se reconocen montículos de menor desarrollo. En lámina delgada, la facies intermontículo presenta textura *wackestone,* con una moderada proporción de bivalvos pelágicos y la presencia dominante de peloides de grano grueso.

- Tramo 10, AF-C (2,4 m), presenta una gran densidad de montículos lenticulares amalgamados. Su facies intermontículo presenta textura *wackestone,* con una escasa proporción de bivalvos pelágicos y el predominio de peloides de tamaño fino.

- Tramo 11, AF-D (0,9 m), presenta una gran densidad de montículos lenticulares en la base, que se va reduciendo hacia techo. Su facies intermontículo caracterizada en lámina delgada muestra textura *packestone,* con una abundante proporción de bivalvos pelágicos también aparecen peloides de grano fino.

- Tramos 12, 13 y 14, AF-E (1,5, 0,55 y 1,75 m respectivamente) están integrados por capas tabulares y de superficies plano-paralelas entre las que se intercala algún montículos simple, que se disponen en secuencias estratocrecientes. Su microfacies presenta textura *wackestone,* con una escasa a moderada proporción de bivalvos pelágicos. Se observa un predominio de intraclastos.

7. INTERPRETACIÓN

7.1. Reconstrucción paleoambiental

La descripción detallada de los 5 sectores del afloramiento de Ricla y la subdivisión de los mismos en función de su geometría y su microfacies asociada, permite establecer un modelo paleoambiental en el cual se distribuyen los diferentes tipos de facies caracterizados en la plataforma (Fig. 16). De acuerdo con lo propuesto por Bersán y Aurell (1997), se observa una transición en la organización de los montículos de base a techo de la serie, ya que hacia la base se reconocen montículos de esponjas de grandes

dimensiones aislados (AF-B) que progresivamente son relevados por intervalos estratigráficos con una gran densidad de montículos amalgamados (AF-D).

De manera paralela a este progresivo cambio de empaquetamiento de los montículos, se observa que el patrón de crecimiento de los mismos presenta un cambio de tendencia: mientras que los montículos reconocibles en la AF-B muestran un desarrollo predominantemente vertical dando geometrías más redondeadas, los observados en la AF-D muestran un desarrollo predominante en la componente lateral dando geometrías lenticulares. Además, con respecto a la litología de las facies de intermontículo, se observa una disminución en la presencia y espesor de interestratos margosos desde la AF-A hasta la AF-C, que posteriormente terminan por desaparecer en las AF-D y E.

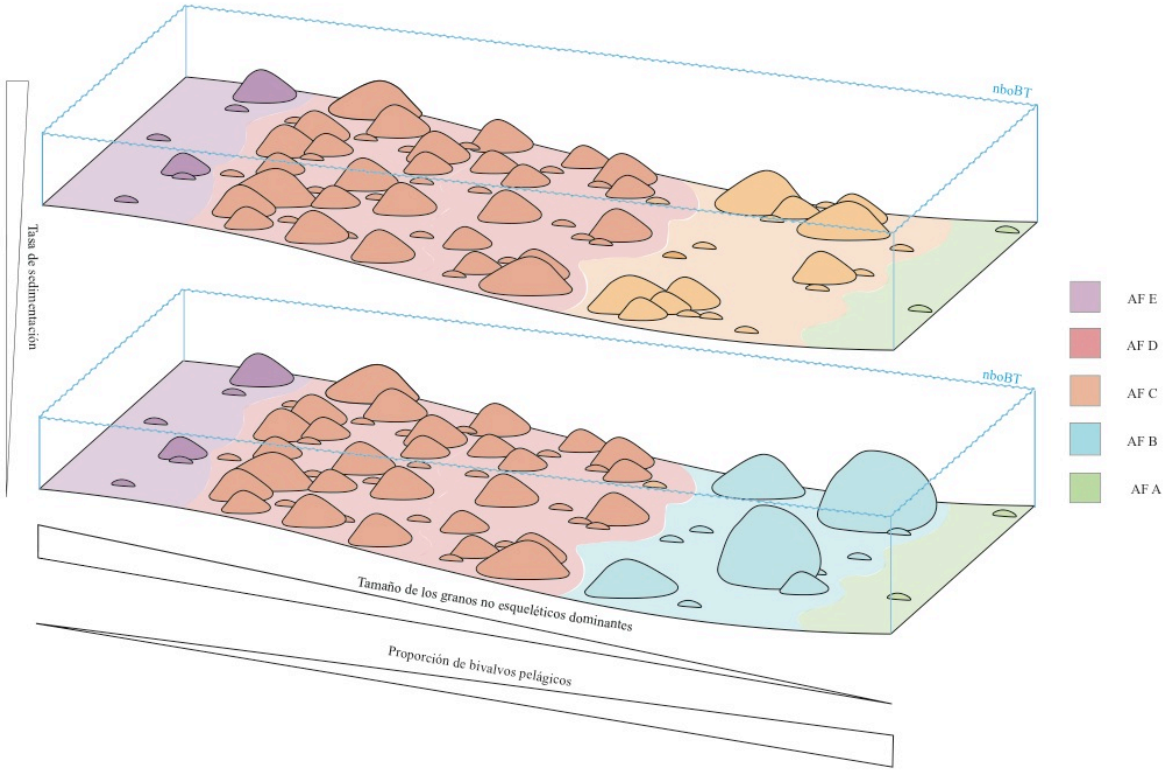


Fig. 16: Modelo sedimentario para el Bajociense superior de Ricla, en el que se indica la distribución de las asociaciones de facies diferenciadas (AF-A a AF-E) y la geometría de los montículos (sin escala) a lo largo de un sector de la rampa con cierta pendiente deposicional.

Estudios previos desarrollados en facies bioconstruidas, también de edad Bajociense superior, en el sector de la cuenca más meridional de Moscardón (Aurell y Bádenas, 2015) evidencian una evolución semejante de las geometrías, que han podido ser relacionadas con la batimetría. Los montículos de mayores dimensiones se desarrollarían en sectores más distales de la plataforma, en la parte media del talud que separaba las zonas más someras localizadas por encima del nivel de base del oleaje de las zonas de plataforma distal. En la zona superior del talud, en el tránsito hacia estos dominios someros, se encuentran montículos aislados de menor dimensión. Si se aplican estas observaciones al caso de Ricla, la mayor presencia de margas en relación con las asociaciones de facies que incluyen margas (AF-A y AF-B) y con mayor dimensión de (AF-B), indicarían posiciones más distales, respecto a las restantes asociaciones. Además, las observaciones de Bersán y Aurell (1997) de la mayor presencia de esponjas de morfología de tipo o plato o disco características de medios más energéticos a techo del intervalo estudiado (dominada por AF-D a E), serían coherentes con una posición más proximal de estas asociaciones.

Teniendo en cuenta lo previamente expuesto, se ha establecido una relación proximal-distal para las asociaciones de facies AF-A a AF-E, definidas en este trabajo (Fig. 16): la AF-A, se desarrollaría en los sectores relativamente más distales de la plataforma, en la que aparecerían pequeños montículos simples aislados. En un ambiente relativamente más proximal, las bioconstrucciones comenzarían a presentar un mayor desarrollo tanto en la lateral como en la vertical dando los montículos complejos de grandes dimensiones que caracterizan a la AF-B. Las asociaciones AF-C a AF-E, con escasa o nula presencia de margas, representarían sedimentos más proximales. La AF-C presenta unas características intermedias entre las definidas para las AF-B y D, ya que muestra zonas con concentración de montículos de pequeña dimensión amalgamados separadas por otras áreas con menor densidad. Estas, se irían sucediendo en tránsito gradual a la AF-D, en las que los montículos presentan un menor desarrollo y aumentan en número en gran medida, quedando amalgamados y definiendo así extensas superficies cubiertas por pequeñas bioconstrucciones, que representarían lo que Bersán y Aurell (1997) definen como *praderas de esponjas*. La AF-E sería la más somera de todas las reconocidas en este trabajo, caracterizada por estratos calcáreos, sin presencia de margas en la que se desarrollan de nuevo montículos simples aislados.

7.2. Análisis secuencial

En función de la evolución vertical de facies del intervalo de 11 m de espesor estudiado en los 5 sectores, se han podido identificar 3 secuencias somerizantes de alta frecuencia, limitadas por superficies netas que se interpretan como correspondientes a intervalos de detención en la sedimentación significativos (Secuencias 1, 2 y 3, ver Figs. 12 y 13), dentro de la parte superior del biocron *Garantiana* del Bajociense superior (Fernández-López y Aurell, 1988). El perfil estudiado para la caracterización de las microfacies abarca un intervalo estratigráfico mayor (en torno a 21 m), y ha permitido caracterizar una nueva, la Secuencia 4, desarrollada durante la parte inferior del biocron *Parkinsoni* (Fig. 13). En conjunto, las Secuencias 1-4, se agrupan formando una secuencia somerizante general que, de acuerdo con lo expuesto por Aurell *et al*. (2002), se desarrolló durante la parte media y superior del cortejo regresivo del ciclo 2.2., definido para el Bajociense superior.

- La Secuencia 1 se caracteriza por la evolución vertical de AF-A a AF-B. Su espesor oscila entre 2 y 4 m. El número de paquetes de capas que abarca es de 3.

- La Secuencia 2 es más completa, ya que está caracterizada por el paso gradual en la vertical de paquetes de capas con AF-A, AF-C, AF-D y AF-E. Su espesor oscila entre 5,4 y 9 m. El número de paquetes de capas que integra es de 5 a 6. Esta variabilidad se debe a que en ocasiones el lote AF-A se desdobla en dos paquetes de capas (sectores Ricla 2 y Ricla 3)

- La Secuencia 3 se caracteriza por el tránsito de AF-D a AF-E. Su espesor oscila entre 2 y 4 m aproximadamente y abarca 3 paquetes de capas en todo el área de estudio.

- La Secuencia 4 presenta un tránsito de AF-D a AF-E. Su espesor es de 7 m y está compuesta por 5 paquetes de capas.

Así pues se observa que ninguna de las 4 secuencias identificadas presenta una evolución vertical que implique a todas las asociaciones de facies, pero que en conjunto, y teniendo en cuenta la relación proximal-distal interpretada en este trabajo, son coherentes con la evolución somerizante general deducida en trabajos previos. Es decir, la evolución vertical AF-A a AF-B (Secuencia 1), AF-A a AF-E (Secuencia 2), AF-D a AF-D (Secuencia 3) y finalmente AF-D a AF-E (Secuencia 4), reflejaría dicha somerización.

7.3. El uso de la microfacies como indicador paleobatimétrico

El estudio en lámina delgada de las características de las facies de intermontículo presentes en las AF-A a AF-E, permite establecer diferencias significativas entre ellas en función de la abundancia relativa de bivalvos pelágicos y el tamaño de los granos no esqueléticos (intraclastos y peloides) que aparecen (Fig. 15).

La proporción de bivalvos pelágicos puede ser tomado *a priori* como un criterio de profundidad: estos bivalvos flotadores son más abundantes hacia los dominios pelágicos o distales (e.g., Flügel, 2004), con lo que de modo general cabría esperar una mayor proporción de los mismos en la AF-A respecto a la AF-E más proximal.

Por otra parte, los granos no esqueléticos (intraclastos y peloides líticos) se han interpretado como fragmentos de las bioconstrucciones (en particular, de las costras microbianas), erosionados y depositados en las facies de intermontículo (e.g., Aurell y Bádenas, 2015). De esta forma, de modo general, los granos más grandes y angulosos (intraclastos no redondeados) quedarían en áreas más próximas a los montículos, mientras que los granos más pequeños y redondeados (peloides líticos de tamaño inferior a los 0,5 mm), que han sufrido un procesos mayor de erosión y redondeamiento por efecto de las corrientes y oleaje, quedarían a mayor distancia de los montículos.

Teniendo en cuenta estas dos observaciones (proporción de bivalvos pelágicos vs dominio de intraclastos y peloides), se podrían establecer relaciones de proximidad-distalidad con respecto a las facies de montículo y a la línea de costa. El muestreo del presente estudio ha sido realizado de forma preliminar, para testar la posible validez de estos datos, pero en todo caso permite comprobar el potencial de estos componentes esqueléticos y no esqueléticos como indicadores paleobatimétricos.

El tamaño de los granos no esqueléticos dominantes muestra una clara zonación entre las áreas en las que se reconocen facies de intermontículo más extensas (AF-A, AF-B y AF-C) con un predominio de peloides líticos, y las áreas en las que se reconocen extensas áreas de bioconstrucciones amalgamadas de dimensiones menores, en las que predominan los intraclastos (AF-D). Se interpreta que la presencia dominante de granos no esqueléticos de mayor tamaño en las áreas proximales de la plataforma viene condicionada por la mayor densidad de montículos, en el sentido de que a mayor densidad de estos, mayor proporción de granos de mayor tamaño que se acumulan en los sedimentos intermontículo próximos a los mismos. Otro factor relevante sería la

presencia de una mayor tasa de erosión de los montículo debida al aumento en la agitación del medio por su posición más somera dentro de la plataforma.

Con respecto a la proporción de bivalvos como criterio para establecer relaciones batimétricas entre las facies, este no parece tan indicativo en primera instancia, ya que no se observa una relación clara de este parámetro que sea coherente con la distribución distal-proximal de las AF-A a E (Fig. 15; ver eje Y). Sin embargo, el análisis comparativo de la proporción relativa de bivalvos pelágicos aislando las 4 secuencias identificadas, si evidencia esta distribución: la AF-A (lámina A1) presenta una mayor proporción de bivalvos pelágicos que la AF-B (lámina A2) para la Secuencia 1, la AF-A (lamina A3) presenta mayor proporción de bivalvos pelágicos que la AF-C (lámina A4), que a su vez también presenta una mayor proporción que la AF-D y que la AF-E (láminas A5 y A6) para la Secuencia 2 y de la misma forma, la Secuencia 4 muestra que su AF-B (lamina A9) presenta una menor proporción de pelágicos que las AF-D y E (láminas A10 a A14) superpuestas. En cuanto a la Secuencia 3, no se pueden establecer estas relaciones debido a que la lámina A8 está tomada de una facies de montículo.

7.4. Los afloramientos de Ricla: una sección en *strike*

Uno de los objetivos de este trabajo era determinar si la sección en 2D que permite reconstruir los afloramientos continuos de Ricla representa un corte perpendicular a los cinturones de facies (corte en *dip*), paralelo (corte en *strike*) u oblicuo. La caracterización de las asociaciones de facies a lo largo de los diferentes sectores de la plataforma y su correlación lateral, evidencia que el afloramiento estudiado presenta una dirección muy paralela a la de la plataforma (en *strike*), ya que podemos observar cambios transicionales o bruscos en la vertical de las asociaciones de facies, pero apenas hay transiciones de estas en la lateral, presentándose de forma prácticamente continua a lo largo de todo el afloramiento (Fig. 12).

Aun así, se han evidenciado ciertas características que apuntan a la presencia de una cierta componente oblicua. Para la AF-B y D de las secuencias 1 y 2 respectivamente se observa un progresivo aumento en la dimensión de los montículos desde los sectores situados al NO hacia los situados al SE, lo que implicaría un ligero aumento de la profundidad hacia el SE. Esta observación es coherente con lo interpretado por Aurell y Bádenas (2015) para facies de similares características, para las que se describe un aumento en el tamaño de los montículos hacia el sector distal.

8. DISCUSIÓN

8.1. Reconstrucción de los cuerpos progradantes de Ricla

A pesar de que la orientación del afloramiento de Ricla sea casi paralela a la dirección de la plataforma, la comparación con la sección reconstruida en el Bajociense de Moscardón por Aurell y Bádenas (2015), permite establecer una hipótesis acerca de la posible reconstrucción en *dip* (relación proximal-distal) de las 4 secuencias de alta frecuencia definidas en este trabajo. Al contrario de los afloramientos de Ricla, en Moscardón se puede reconstruir una sección en *dip* de la plataforma. Ello permitió determinar cierta geometría "sigmoidal" en los cuerpos progradantes, que se desarrollaban contemporáneamente a los estudiados en Ricla.

Los afloramientos de Ricla podrían representarían la sedimentación en las zonas de tránsito entre la plataforma somera (AF-E) y el talud de bajo ángulo, donde tendría lugar el desarrollo de las AF-B a D con montículos, pasando progresivamente a los depósitos de talud distal o pie de talud (AF-A) (Fig. 16). Estas facies se apilan en tres secuencias somerizantes, formando tres cuerpos "sigmoidales" progradantes, en relación con una etapa de estabilización relativa del nivel del mar. La disminución del espacio disponible debido a este hecho, conllevaría la superposición de facies depositadas en dominios relativamente más proximales sobre las facies características de dominios más distales (Fig. 17).

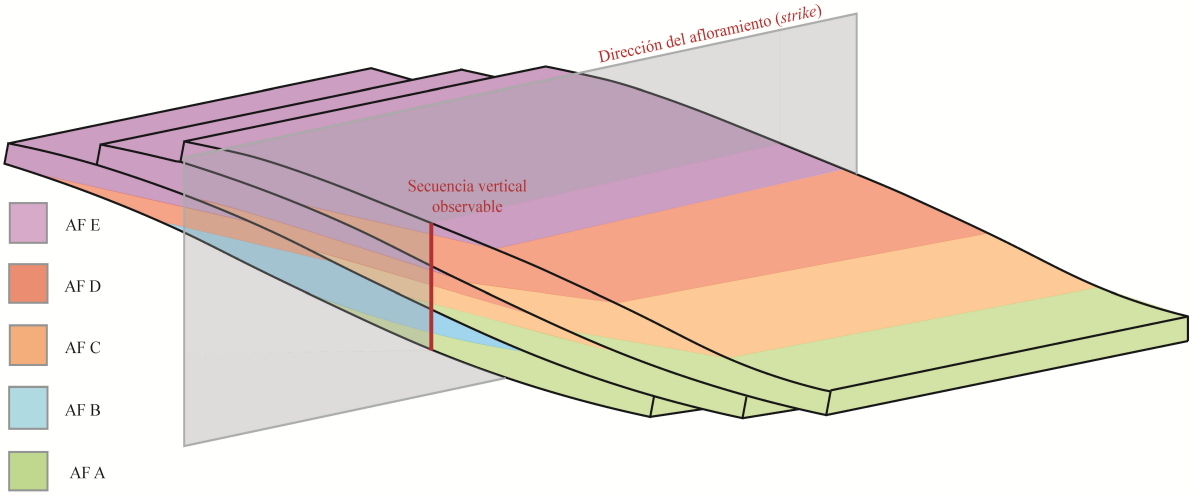


Fig. 17: Cortejo sedimentario progradante regresivo que se interpreta para los afloramientos de Ricla.

La comparación del modelo reconstruido en Moscardón (Aurell y Bádenas, 2015) y las observaciones realizadas permiten afirmar que en este talud, la distribución de los

diferentes cinturones de facies en relación con el aumento de la profundidad, se caracterizaría por un descenso progresivo en la densidad de montículos y un aumento en la complejidad y dimensión de los mismos desde los dominios más proximales hacia los más distales. Sin embargo, no se ha observado la misma evolución vertical de facies para las tres secuencias que comprenden este cortejo. El hecho de que las AF-B y C se encuentren relacionadas de forma directa con las AF-A y D pero nunca entre ellas, apunta a que pudieron darse dos tipos de zonaciones de facies en la plataforma: el primero vendría caracterizado por la zonación distal-proximal de asociaciones de facies A, B, D y E; y el segundo, vendría determinado por la zonación A, C, D y E.

8.2. Factores condicionantes en el desarrollo de los montículos

Los dos tipos de zonaciones en la distribución de facies propuestos en función de lo observado en campo (zonación A, B, D y E vs. zonación A, C, D y E), también tiene su fundamento en base a la microfacies de intermontículo. La variabilidad en la proporción de bivalvos pelágicos reconocida en estas facies, asociadas a facies de montículos de las mismas características para distintas secuencias como es el caso de las AF-A, podría tener su origen en la tasa de sedimentación de fango carbonatado. En este sentido, para intervalos de tiempo en los que esta fuera más elevada, los bivalvos pelágicos quedarían más dispersos que para intervalos de tiempo en los que fuera menor, en los que los bivalvos pelágicos se encontrarían más concentrados (e.g. secuencias 1 y 2 respectivamente).

Se interpreta, además, que las facies más profundas, caracterizadas por grandes bioconstrucciones, con una componente de crecimiento vertical, se desarrollaron en medios ligeramente más profundos y tranquilos, con menor penetración de la luz y una sedimentación más lenta e irregular, mientras que el cambio en la organización de estas bioconstrucciones hacia el sector proximal, que pasan a desarrollarse con una componente predominante lateral, indicaría un aumento en la tasa de sedimentación (Bersán y Aurell, 1997). Del mismo modo podría haber ocurrido para las AF-B y AF-C, las cuales serían facies equivalentes en función de la profundidad para intervalos de tiempo con diferentes tasas de sedimentación. En este caso, durante periodos con menor tasa, se desarrollaría la AF-B, caracterizada por biohermos aislados de desarrollo vertical y durante periodos en los que esta tasa aumentara, en su lugar, se desarrollarían áreas aisladas de montículos de menores dimensiones con una componente de crecimiento lateral. En base a este hecho, podría haberse dado un aumento de la tasa de

sedimentación de la Secuencia 1 a la Secuencia 2 y una posterior disminución de la misma desde la Secuencia 3 a la Secuencia 4, en la que se vuelve a reconocer la AF-B en la base de la misma.

Según Aurell y Bádenas (2015), la secuencia 2.2 de tercer orden corresponde a la totalidad del intervalo Bajociense superior, que abarca un tiempo de 1 millón de años. Asocian cada una de las secuencias reconocidas en el entorno de Moscardón a ciclos de excentricidad de corto rango (100 mil años) e interpretan que los posibles cambios climáticos y las fluctuaciones del nivel mar en relación con estos ciclos podrían explicar el carácter episódico del desarrollo de cortezas microbianas, durante periodos de baja tasa de sedimentación, alta concentración de nutrientes y/o fluctuaciones en la oxigenación del fondo.

Las 4 secuencias de alta frecuencia reconocidas en Ricla, desarroladas durante el hemiciclo regresivo de la secuencia 2.2, podrían corresponder también con estas oscilaciones eustáticas ligadas a ciclos orbitales de excentricidad de corto rango. Resulta también interesante notar la existencia de 3 a 6 paquetes de capas limitadas por superficies de discontinuidad dentro de cada una de estas secuencias, con gran continuidad a escala de todo el afloramiento. Estos paquetes de capas estarían dentro del rango de los ciclos de precesión (20 mil años). La existencia de estos ciclos de menor duración también ha sido postulado por Aurell y Bádenas (2015) en el Bajociense inferior de Moscardón.

9. CONCLUSIONES

La caracterización detallada de las facies de montículos de esponjas y microbios y las facies de intermontículo del Bajociense superior de Ricla, y el estudio de sus relaciones tanto en la lateral como en la vertical han permitido extraer una serie de conclusiones:

- A pesar de la orientación del afloramiento de Ricla, que tan solo permite una reconstrucción de facies casi paralela a la dirección de la plataforma, la variabilidad geométrica de los montículos caracterizados en el afloramiento ha permitido establecer una diferenciación de cinco asociaciones de facies, que se encuentran en relación de proximal (AF-E) a distal (AF-A). En base a esta diferenciación se ha observado un

patrón en la distribución de las bioconstrucciones, dándose en áreas distales de un talud de bajo ángulo el desarrollo de montículos aislados de grandes dimensiones y hacia su sector proximal, áreas con montículos amalgamados de menor dimensión.

- El estudio en lámina delgada de la microfacies de las facies de intermontículo ha permitido establecer su relación con las facies de montículos, en función de la proporción relativa en bivalvos pelágicos y el tamaño de los granos no esqueletales dominantes. De esta forma se ha podido determinar que las facies más someras contendrían intraclastos como granos no esqueletales dominantes y una menor proporción de bivalvos pelágicos con respecto a las facies más distales de una misma secuencia.

- La evolución vertical de las facies en el intervalo estratigráfico considerado ha permitido diferenciar 4 secuencias somerizantes de alta frecuencia que se engloban dentro del cortejo regresivo del ciclo 2.2., definido para el Bajociense superior. Estas 4 secuencias, por analogías con trabajos previos (Aurell y Bádenas, 2015), se han interpretado como tres cuerpos sedimentarios apilados sobre el talud, que progradaron durante esta etapa de estabilización del nivel del mar. Estas secuencias de alta frecuencia limitadas por discontinuidades que se pueden trazar a escala de afloramiento se podrían haber generado por oscilaciones eustáticas ligadas a ciclos orbitales de exentricidad de corto rango (100 mil años).

- Las evidencias en campo y lámina delgada apuntan a que pudieran haberse dado variaciones en la tasa de sedimentación durante el depósito de las distintas secuencias, por lo que podrían establecerse dos tipos de zonación de las facies en la plataforma en función de este parámetro, que condicionaría el desarrollo de montículos de grandes dimensiones en el sector distal.

10. BIBLIOGRAFÍA

Aurell, M., Robles, S., Bádenas, B., Rosales, I., Quesada, S., Meléndez, G., & Garcıa-Ramos, J. C. (2003). Transgressive–regressive cycles and Jurassic palaeogeography of northeast Iberia. *Sedimentary Geology*, *162*(3), 239-271.

Aurell, M., & Bádenas, B. (2015). Facies architecture of a microbial–siliceous sponge-dominated carbonate platform: the Bajocian of Moscardón (Middle Jurassic, Spain). *Geological Society, London, Special Publications*, *418*(1), 155-174.

Bádenas, B., y Aurell, M. (2001): Proximal–distal facies relationships and sedimentary processes in a storm dominated carbonate ramp (Kimmeridgian, northwest of the Iberian Ranges, Spain). *Sedimentary Geology*, 139 (3), 319-340.

Bersán, R. & Aurell, M. (1997). Origen y desarrollo de los montículos de esponjas y algas del Bajociense superior de Ricla (Cordillera Ibérica Septentrional). *Cuadernos de Geologia Ibérica*, *22*, 65-80.

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

Fernández López, S. R. (1985). *El Bajociense en la Cordillera Iberica*. Tesis Doctoral, Univerisdad Complutense Madrid, 850 pp.

Fernández López, S. R., & Aurell, M. (1988). El Bajociense y Bathoniense de Ricla (Zaragoza). Características bioestratigráficas y sedimentológicas. *III Coloquio del Jurásico de España, Guía de Excursiones. Ciencias de la Tierra. Rev. Inst. Est. Riojanos,* 11: 251-264

Gómez, J.J., y Goy, A.G. (1979): Las unidades litoestratigráficas del Jurásico medio y superior, en facies carbonatadas del sector levantino de la Cordillera Ibérica. *Estudios Geológicos*, 35(1), 569.

Lendínez, A., Gonzalo, R., Cabra, P., Pérez, A., & San Román, J. (1995). Mapa Geológico de España. *Serie Magna. ÉPILA. Hoja*, (382).

Flügel, E. (2004). Microfacies Data: Fabrics. In Microfacies of Carbonate Rocks (pp. 177-242). Springer Berlin Heidelberg.

11. ANEXOS

ANEXO 1: Fotomosaicos de los 5 sectores del afloramiento caracterizados.

Ricla 1A 2 m



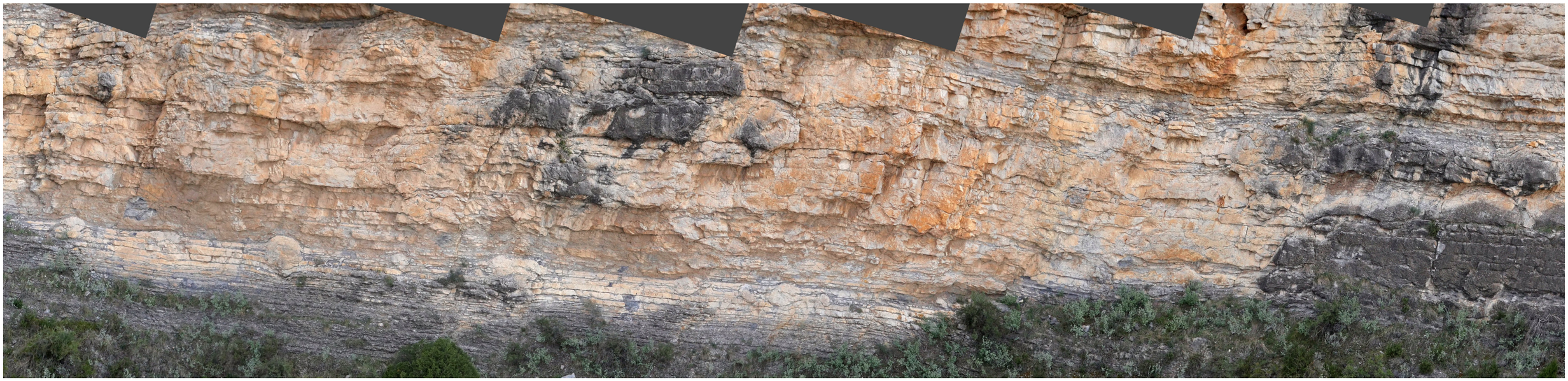
Ricla 1B 2 m



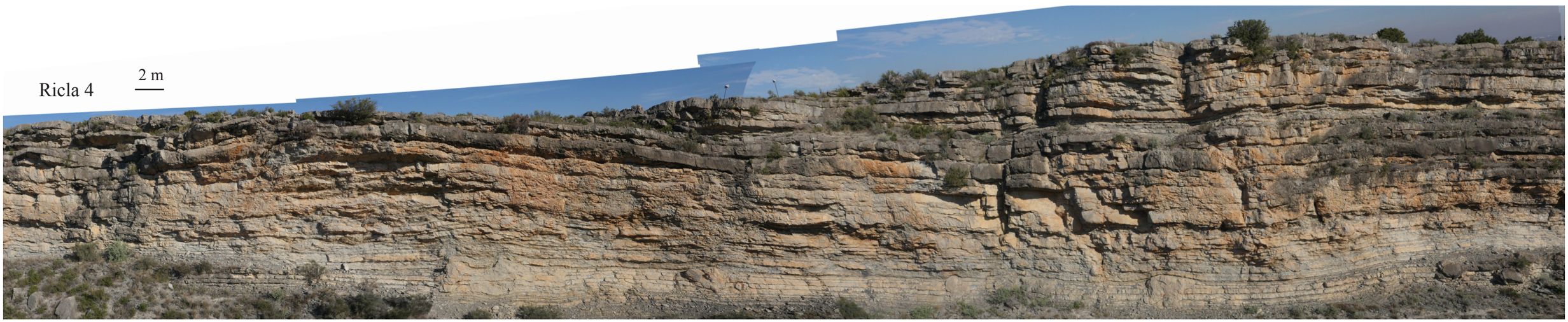
Ricla 2 2 m



Ricla 3 2 m



Ricla 4 2 m

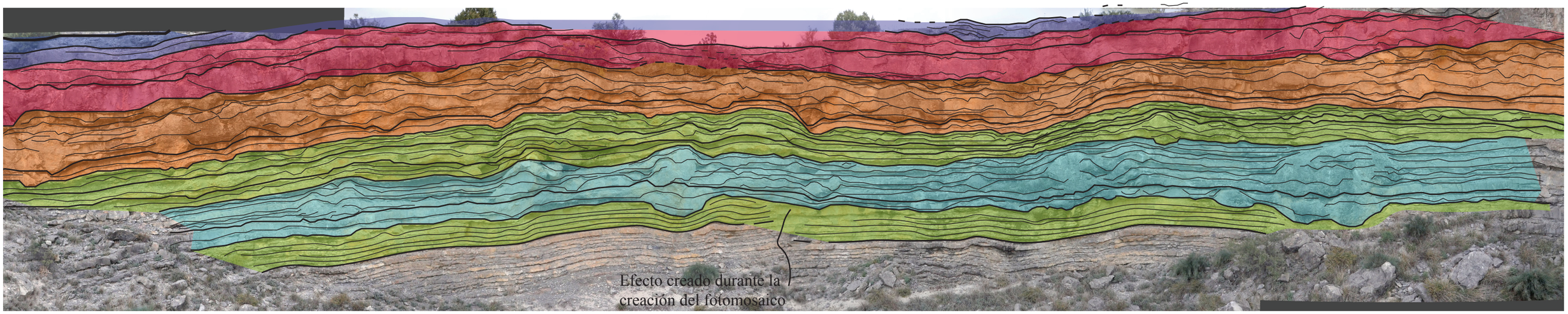


Ricla 5 2 m

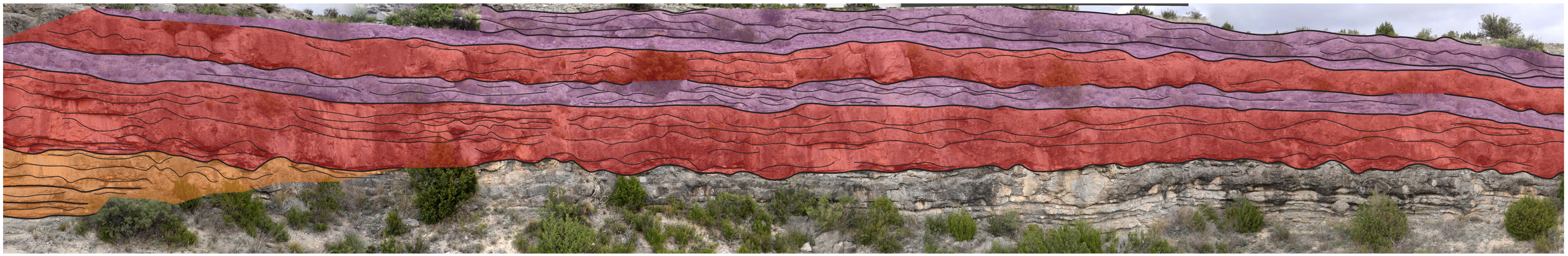


10.2. ANEXO 2: Caracterización geométrica detallada del intervalo de estudio y sus variaciones laterales y verticales.

Ricla 1A 2 m



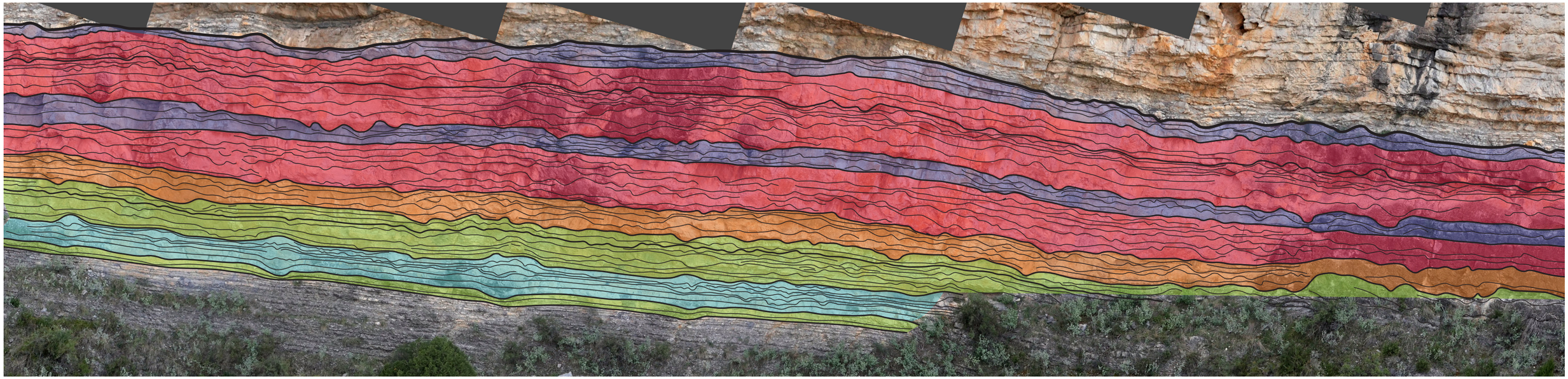
Ricla 1B 2 m



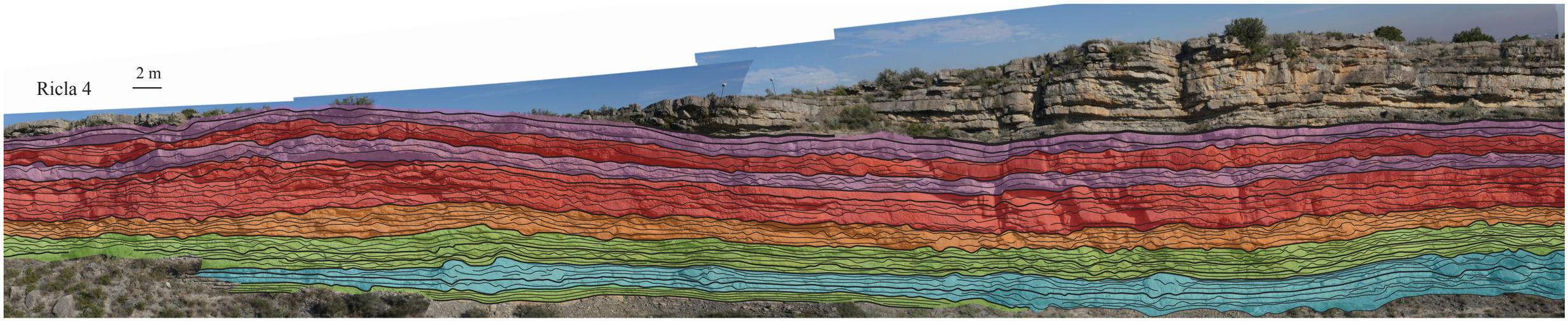
Ricla 2 2 m



Ricla 3 2 m



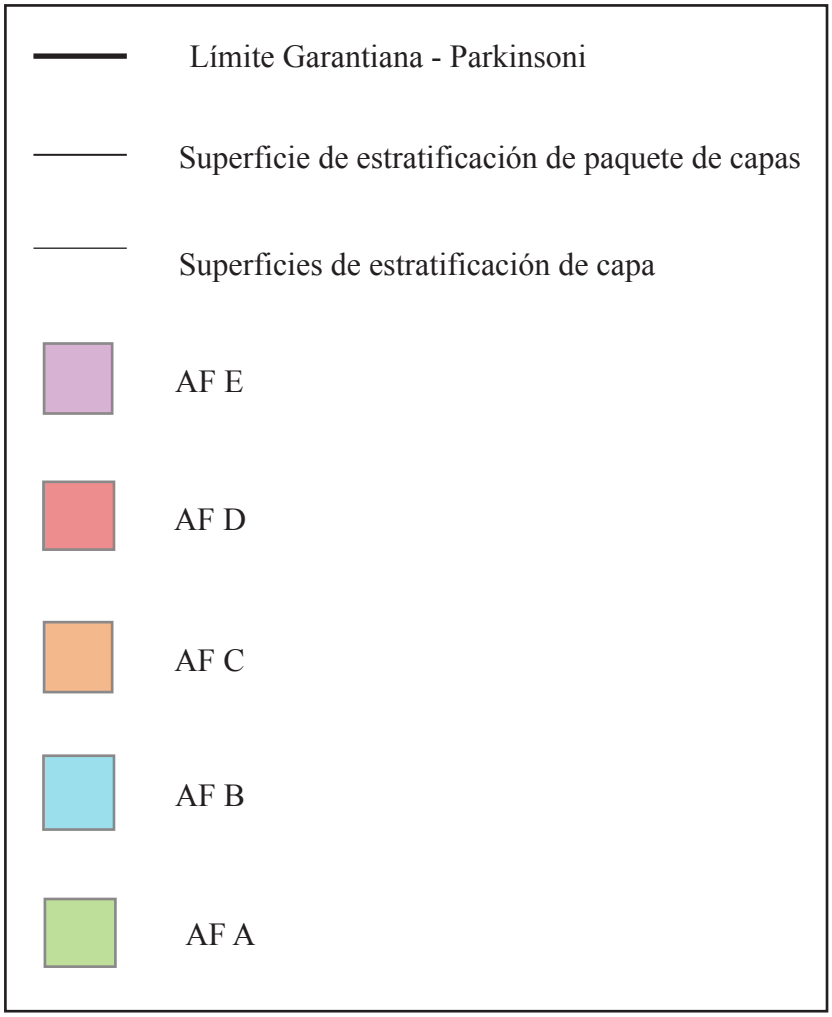
Ricla 4 2 m



Ricla 5 2 m



LEYENDA


Límite Garantiana - Parkinsoni
Superficie de estratificación de paquete de capas
Superficies de estratificación de capa
AF E
AF D
AF C
AF B
AF A