

Variación lateral de facies en el Jurásico basal de la Cordillera Ibérica central: Origen diagenético temprano y tectónica sinsedimentaria

Lateral facies variation in the lowermost Jurassic of the Central Iberian chain (NE Spain): Early diagenetic origin and syndimentary tectonics

A. P. BORDONABA y M. AURELL

*Departamento de Ciencias de la Tierra, Área Estratigrafía. Universidad de Zaragoza
Pza. San Francisco s/n, 50009 Zaragoza. anapibor@posta.unizar.es*

RESUMEN

En este trabajo se realiza el análisis sedimentológico de los materiales del inicio del ciclo Jurásico (Rethiense p.p.-Sinemuriense), pertenecientes a las Fms. Cortes de Tajuña, Lécera y Cuevas Labradas (parte inferior) en un sector de la Cordillera Ibérica central, situado en la Sierra de Arcos. Las facies se han agrupado en tres grandes tipos: yesos-anhidritas con intercalación de dolomías, brechas (con clastos evaporíticos y con clastos dolomíticos) y dolomías masivas oquerosas, correspondientes a los subambientes de sebja costera y llanura intermareal, desarrollados en una plataforma interna. Las brechas de disolución tienen un origen sinsedimentario y diagenético temprano y provienen de la disolución de nódulos y niveles de evaporitas intercalados en las dolomías. Las evaporitas son muy potentes en las zonas más subsidentes y se interdigitan lateralmente con brechas de disolución, lo que muestra un cambio gradual en el ambiente de sedimentación. La presencia de facies de evaporitas o de facies de brechas es función de la existencia de áreas supramareales, con aguas sobresaturadas. La variación de potencia observada dentro de la Fm. Cortes de Tajuña es un rasgo original del depósito y está controlada por la subsidencia diferencial y no por la disolución tardía de los niveles evaporíticos.

Palabras clave: Brechas de disolución. Evaporitas. Cordillera Ibérica. Jurásico Inferior. Sistemas extensionales.

ABSTRACT

A sedimentological analysis has been carried out in the uppermost Raethian-Sinemurian, Cortes de Tajuña, Lécera and Cuevas Labradas (lower part) Fms., in the outcrops of the Sierra de Arcos (central Iberian Chain, NE Spain). Three facies have been distinguished: gypsum-anhydrite with dolomitic intercalations, breccias (with evaporitic and dolomitic clasts) and massive dolomites. These facies were deposited in inner platform areas, ranging from shallow sabkha to intertidal flat environments. Breccias were originated by dissolution during the early stages of the diagenesis. The presence of evaporites reflects the development of supratidal areas, over-saturated in salts. Thick evaporites successions change laterally to breccias, showing a gradual environmental transition. Overall thickness variation in the uppermost Raethian-Hettangian units was controlled by local basin subsidence due to normal faulting, rather than late burial dissolution of evaporitic levels.

Key words: Dissolution breccias. Evaporites. Iberian Chain. Lower Jurassic. Extensional systems. NE Spain.

EXTENDED ABSTRACT

INTRODUCTION

The results of a sedimentological analysis carried out in the lowermost Jurassic (uppermost Raethian-Sinemurian) in the central Iberian Chain are presented in this work. The studied area, located between Lecera and Ariño (Sierra de Arcos, Fig. 1), allows a precise documentation of the lateral facies relationships at the onset of the Jurassic sedimentation. Three different facies are commonly found: evaporites, breccias and massive dolomites. The origin of the uppermost Raethian-Hettangian breccias has been related either to sedimentary processes or to early and late diagenetic processes (Yébenes, 1973; Gómez, 1979; Giner, 1980; San Román and Aurell, 1992). Morillo and Meléndez (1979) proposed a diagenetic model in which the breccia is originated during the late burial, by dissolution and collapse of dolomites containing anhydrite nodules. Instead of this, the observed lateral equivalence (with no significant thickness variation) between breccias, evaporites and carbonates found in this work reveals a syndimentary or a very early diagenetic origin for the breccias.

GEOLOGICAL SETTING

During the Raethian (Late Triassic), most of the East Iberian basins were occupied by a wide carbonate platform where intertidal to shallow subtidal carbonates and dolomites were deposited. A tectonic event at the latest Raethian resulted in the break up of the platform and in a widespread discontinuity. During latest Raethian-Hettangian (Late Triassic to earliest Jurassic) times, the sedimentation took place in sabkha and lagoon environments (Cortes de Tajuña and Lécera Fms.). A more open platform developed during Sinemurian times resulted in deposition of algal laminated dolomites, oolitic grainstones and micritic limestones (Cuevas Labradas Fm.). The latest Raethian-Sinemurian interval corresponds to a sequence (second order cycle), and includes the Cortes de Tajuña, Lécera and Cuevas Labradas Fms. studied in this work (Fig. 2).

FACIES ANALYSIS

Five stratigraphical sections have been logged along a 15 km outcrop (Fig. 3). Additional information has been achieved with the study of a continuous well-log recovered from Mas del Gato borehole (Fig. 1). The correlation between these sections shows that there are significant thickness and facies variations in Cortes de Tajuña and Lécera Fms. Sharp thickness variation of these units between Mas del Gato and Ariño section has been related to the presence of a normal fault near the río Martín (Fig. 4). Furthermore, an exhaustive sedimentological and petrographical analysis was carried out. Three main facies have been recognised: gypsum-anhydrite with intercalation of dolomitic levels (facies A), evaporitic and dolomitic breccias (facies B) and massive vuggy dolomites (facies C).

1) Facies A: Gypsum-Anhydrite with intercalation of dolomitic levels. It appears only in the lower part of some logs. Thickness variation is between 55 to 300 m. In the outcrop this facies is composed mostly by massive or laminated white gypsum (Fig. 5.1). In the well-log samples, this facies appears as a white-blue anhydrite. Both have dolomitic levels intercalated, which are more than 2 m thick. This facies changes laterally into breccias and massive vuggy dolomites.

2) Facies B: Evaporitic and dolomitic breccias. Two subfacies have been differentiated:

Subfacies B1: Breccia with evaporitic clasts. In the Loma Burga outcrop is more than 75 m thick. This breccia contains angular clasts of different lithologies (dolomicrite, doloeparite, gypsum or anhydrite), few centimeters in size. Matrix is mostly dolomitic, but could be calcitic or evaporitic. It shows frequent moldic porosity originated by the dissolution of evaporitic clasts.

Subfacies B2: Breccia with dolomitic clasts. It appears always under the massive vuggy dolomites (facies C). This breccia only contains angular clasts of dolomicrite and doloeparite, 3 to 20 cm in size. Some clasts are laminated or have fenestral porosity (Fig. 5.2).

The genesis of these breccias must be related to dissolution-collapse processes. Differences between both subfacies are due to the original composition and the rate in evaporites contained in the dolomitic levels. In some areas, both subfacies are associated, showing a gradual lateral transition.

3) Facies C: Massive vuggy dolomites. This facies appears in the upper part of the sections. Thickness is between 45 to 100 m. Lithologies are dolomicrites and doloeparites. This facies shows abundant porosity (size of vugs from mm to cm, or even more) associated with recrystallization and dissolution of evaporites. The original evaporites contained in dolomites were approximately 10% (Fig. 5.3).

The above described facies were deposited in an inner platform developed in arid conditions. The different subenvironments have a gradual change between them, showing facies interdigitation (Fig. 4). The environments range from sabkha to tidal flat.

- Sabkha (supratidal): Gypsum-Anhydrite with intercalation of dolomitic levels, facies A. This facies is commonly deposited in supratidal areas with intense evaporation. Dolomitic levels were deposited when the supratidal area was flooded.

- Tidal flat (intertidal): Breccias and massive vuggy dolomites, facies B y C. These facies were deposited in a tidal flat. In arid conditions some evaporites precipitated. Deposition of dolomites indicates the presence of more open marine conditions, whereas dissolution of these evaporites take place during emersion episodes. The original evaporites were between 10-25%. Facies B had a larger original proportion of evaporites and were deposited in more proximal areas than facies C.

In Fig. 6, a reconstruction of the sedimentation environment in two different stages of evolution of the platform (see stages 1 y 2 in Fig. 4) is shown. Stage 1 corresponds to the lower part of Cortes de Tajuña Fm. Sedimentation during this stage was coeval with activity of the río Martín normal fault, with facies A being deposited in the most subsident areas. In stage 2, the sedimentation of facies A was scarce.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The results of this study are relevant to understand the origin of the breccias and the massive vuggy dolomites, which are the main facies in Cortes de Tajuña Fm. of the central Iberian Chain. In the studied area, the Cortes de Tajuña Fm. displays important lateral and vertical facies variations. Gypsum-anhydrite facies are laterally related with breccias, showing a coeval deposition for evaporites and dolomites (Fig. 5, 4). Dolomites with anhydrite nodules became dissolution-collapse breccias during the early burial. Meteoric waters lixiviated anhydrite from supratidal zone, resulting in the collapse of carbonates and the breccia formation. This process could be related to dissolution during the subsurface burial or during the early burial. Thickness reduction at the east in Cortes de Tajuña Fm. is related to differential subsidence induced by syndimentary fault activity.

Dissolution during the late diagenesis or meteoric dissolution results incompatible with field observations:

(1) There are important evaporite outcrops in the studied area, showing that dissolution in meteoric conditions or during late diagenesis did not exist.

(2) The overlaying Jurassic units do not show any evidence of collapse produced by late burial or meteoric dissolution of the lowermost Jurassic evaporites.

(3) In evaporitic outcrops the rate of dolomitic levels is very low, and could not account for the observed breccia volume.

(4) Outcrops and the well-logging data comparison show no significant variation in the breccias and in the massive vuggy dolomites facies, indicating a syndimentary or early diagenetic origin.

INTRODUCCIÓN

La Sierra de Arcos (Cordillera Ibérica), localizada entre las poblaciones de Lécerca (provincia de Zaragoza) y Ariño (provincia de Teruel) (Fig. 1), resulta de especial interés para documentar las relaciones laterales entre los principales tipos de facies y la evolución de los ambientes de sedimentación que se dan en la Cordillera Ibérica en el tránsito Rethiense-Hettangiense y durante el inicio del Jurásico. En este sector coexisten tres de los tipos de facies más característicos que se dan en este período y que corresponden a las Fms. Cortes de Tajuña, Lécerca y a la parte inferior de la Fm. Cuevas Labradas (Goy et al., 1976; Giner, 1980; Bordonaba y Aurell, 2001): facies de evaporitas, facies de brechas y facies de dolomías masivas oquerosas.

El origen de las facies de brechas y de dolomías oquerosas y su relación con las facies evaporíticas ha sido objeto de discusión, proponiéndose diversas hipótesis, no necesariamente excluyentes entre sí. El origen de las brechas se ha atribuido tanto a procesos diagenéticos tempranos y tardíos, como a procesos sedimentarios ligados a tectónica sinsedimentaria (Yébenes, 1973; Gómez, 1979; Giner, 1980; San Román y Aurell, 1992). En relación con el origen diagenético de estas brechas, Morillo y Meléndez (1979) proponen que la brecha sería producto de la disolución y el colapso de las dolomías con evaporitas en condiciones de enterramiento profundo o superficiales. Gómez y Goy (1998) generalizan este modelo, proponiendo un origen similar para el conjunto de las brechas de la Fm. Cortes de Tajuña en la Cordillera Ibérica.

Con el objetivo de entender los procesos sedimentarios y diagenéticos que han originado los distintos tipos de facies rethienses-sinemurienses, así como la relación entre las facies de evaporitas y sus equivalentes laterales en facies dolomíticas, se han analizado la distribución y las características sedimentológicas de estas facies en la Sierra de Arcos. Esta área es de especial interés para analizar estos aspectos, ya que en ella las condiciones de afloramiento permiten estudiar las Fms. Cortes de Tajuña, Lécerca y Cuevas Labradas (parte inferior) a lo largo de más de 15 km, y también porque se dispone de un sondeo con testigo continuo (sondeo del Mas del Gato, Confederación Hidrográfica del Ebro) que corta todas estas formaciones.

CONTEXTO GEOLÓGICO

La Sierra de Arcos se sitúa en el sector central de la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica. Su estructura corresponde a un sistema de láminas cabalgantes orientadas NW-SE que, despegadas a nivel del Keuper, cabalgan hacia el NE sobre el relleno cenozoico de la Cuenca del Ebro. Dentro de esta estructura, los afloramientos y sondeos analizados se sitúan en la lámina superior que, abarcando la mayor parte de la Sierra de Arcos, está constituida por una potente (≥ 1000 m) sucesión jurásico-cretácica.

Los materiales objeto de estudio corresponden a las Fms. Lécerca, Cortes de Tajuña y a la parte inferior de la Fm. Cuevas Labradas, que se sitúan en la base de la sucesión carbonática jurásica. Estas unidades litostratigráficas forman una secuencia de depósito limitada por discontinuidades de extensión regional, que por su duración corresponde a un ciclo de segundo orden (Secuencia I en la Fig. 2). El límite inferior, de edad Raethiense-Hettangiense, se localiza en el techo de la Fm. Imón, mientras que el límite Sinemuriense-Pliensbachiense se sitúa, probablemente, entre la parte inferior y superior de la Fm. Cuevas Labradas (Goy et al., 1976; Giner, 1980; Gómez y Goy, 1997, 1998; Comas-Rengifo, 1985; Comas-Rengifo et al., 1999).

El contexto geodinámico y paleogeográfico en que tiene lugar la sedimentación de las unidades analizadas viene marcado por una evolución regional en la que se pueden diferenciar una serie de etapas y eventos sedimentarios y tectónicos. Así, al final del Triásico (Rethiense), gran parte de las cuencas del este de Iberia (Cordillera Ibérica incluida) estaban ocupadas por una extensa plataforma somera, en la que se sedimentaron facies de calizas y dolomías en ambientes de llanura de marea y submareales someros, correspondientes a la Fm. Imón (Fig. 2). Una etapa de tectónica extensional en torno al tránsito Triásico-Jurásico, relacionada con la apertura del Tethys occidental (Salas y Casas, 1993), dio lugar a la fragmentación local de esta plataforma, produciéndose una extensa discontinuidad sedimentaria, que en diversos sectores es una discordancia angular y erosiva (Esteban y Julià, 1973; Aurell et al., 1992; San Román y Aurell, 1992; Roca et al., 1994). Por encima de esta discontinuidad, se encuentran dolomías masivas, evaporitas y brechas (Fms. Cortes de Tajuña y Lécerca), correspondientes al depósito

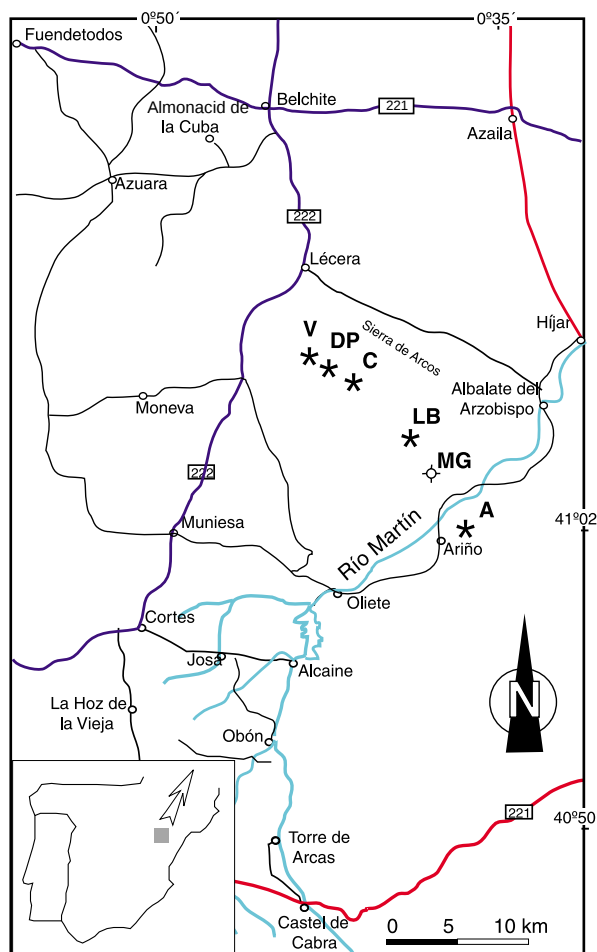


Figura 1. Situación geográfica del área de estudio. Se indica la situación de los perfiles: V, Vacas; DP, Decantadero-Parellón; C, Corbarán; LB, Loma Burga; MG, Mas del Gato; y A, Ariño.

Figure 1. Map showing the location of the studied area, with indication of the sections sites. The study area is located in the Aragonian part of the Iberian Chain, NE Spain. Letters correspond to the 5 sections and the well-log analysed. V, Vacas; DP, Decantadero-Parellón; C, Corbarán; LB, Loma Burga; MG, Mas del Gato log; and A, Ariño.

en ambientes de sebja y llanuras de mareas. En relación con la etapa de extensión del tránsito Triásico-Jurásico, al sur de la zona de estudio, en el sector de Oliete-Montalbán, se han descrito una serie de fallas normales que actuaron durante el depósito de la Fm. Cortes de Tajuña (Bordonaba et al., 1999; Bordonaba y Aurell, 2001). Tras el depósito de esta unidad, la sedimentación durante el Sinemuriense tuvo lugar en una extensa plataforma carbonatada que, en el sector estudiado, presentaba sus dominios más abiertos hacia el norte y que dio lugar a la

sedimentación de la Fm. Cuevas Labradas. El tránsito entre las Fms. Cortes de Tajuña y Cuevas Labradas es, por lo general, gradual, ya que ambas unidades se encuentran en relación de cambio lateral de facies. En torno al límite Sinemuriense-Pliensbachiense existe una discontinuidad sedimentaria ligada a un evento transgresivo, que implica el depósito de facies relativamente profundas (rampa media) en la parte septentrional de la plataforma (Gómez y Goy, 1997; Bordonaba y Aurell, 2001). Dicha discontinuidad permite separar dos términos litológicos bien diferenciados dentro de la Fm. Cuevas Labradas en el sector de estudio, que han sido denominados como parte inferior y superior en la Fig. 2.

LAS FACIES RETHIENSES-SINEMURIENSES DE LA SIERRA DE ARCOS

Siguiendo la clasificación propuesta en Bordonaba y Aurell (2001), las facies observadas se han agrupado en 3 tipos (Facies A, B y C).

Facies A: Yesos-anhidritas con intercalación de dolomías

Las facies evaporíticas habían sido descritas a partir de sondeos en la cuenca del Ebro (Anhidrita de Carcelén: Castillo-Herrador, 1974; Ortí, 1987, 1990), y en diversos afloramientos localizados en la Cordillera Ibérica central (Giner, 1980; Ríos et al., 1981; Fm. Yesos de Lécera, en Gómez y Goy, 1998) como en la Sierra de Arcos donde los yesos forman un afloramiento lenticular de algo más de 2 km de extensión.

Desde el punto de vista litoestratigráfico, esta facies corresponde a la Fm. Lécera definida por Gómez y Goy (1998) en el perfil del Decantadero (Fig. 4). Es una facies que se concentra en dos áreas, y que pasa lateralmente a las facies de brechas y dolomías masivas oquerosas (Fig. 4). Como consecuencia su potencia es muy variable: 55 m en Corbarán, 160 m en el perfil de Decantadero-Parellón y 298 m en el sondeo de Mas del Gato. El tránsito de esta facies a las de brechas y dolomías masivas oquerosas puede ser muy rápido y brusco, de tal manera que en menos de un kilómetro se puede pasar de zonas en las que las anhidritas y yesos tienen espesores de entre 100 y 200 m a zonas en que esta facies ha pasado a ser substituida completamente por las facies de brechas y dolomías masivas oquerosas. Así en los perfiles de Vacas y Loma Burga, situados a menos de 1 km de los de Decantadero-Parellón y Mas del Gato, no se han encontrado ningún nivel de yesos. En el per-

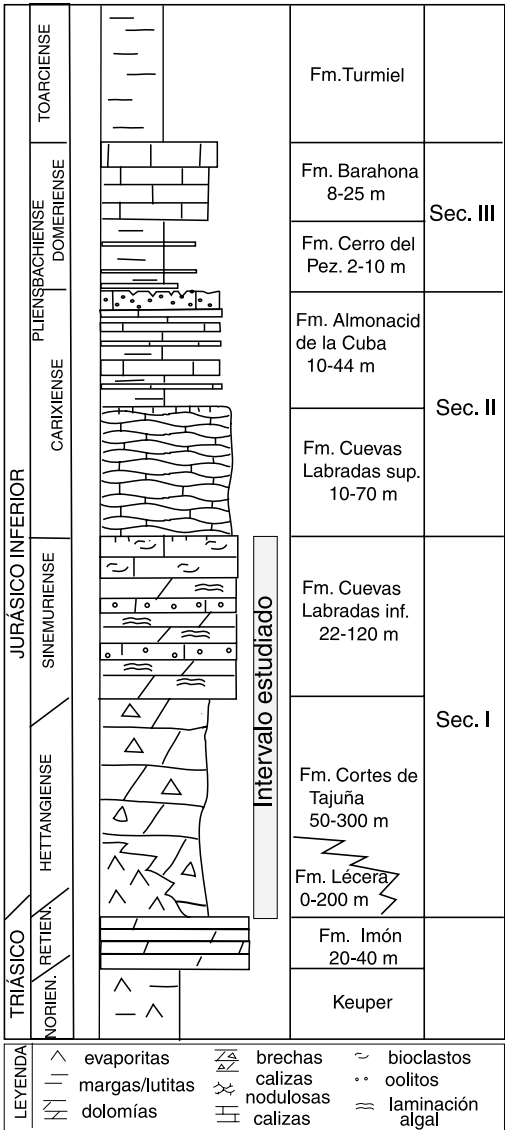


Figura 2. Columna estratigráfica sintética de las unidades del Triásico terminal y del Jurásico inferior de la Cordillera Ibérica central.

Figure 2. Stratigraphy of the uppermost Triassic and Lower Jurassic of the central Iberian Chain (NE Spain). The studied interval correspond to a second order cycle (Sequence I), which expands from latest Raethian to Sinemurian and includes Cortes de Tajuña, Lécera and Cuevas Labradas (lower part) Fms. Legend for main lithologies (from the top to the bottom) are: evaporites, shales and marls, dolomites, breccias, nodulous limestone, limestones, bioclasts, oolites, and algal lamination.

fil Corbarán, las facies de yesos se interdigitan con las facies de brechas, formando un tramo evaporítico en la parte media de la sucesión de la Fm. Cortes de Tajuña.

En afloramiento, los yesos son grises a blancos y se presentan masivos o laminados. Los *yesos masivos* están formados por yesos cristalinos gruesos, de aspecto sacaroideo y color blanco, que pasan a grises por alteración superficial. A veces se observan pequeños nódulos grises de diámetro milimétrico a centimétrico, constituidos por anhidrita de reemplazamiento diagenético. Los *yesos laminados* presentan laminación definida por alternancia de colores grises, negros y blancos, de espesor milimétrico a centimétrico (Fig. 5.1). Intercaladas entre los yesos, se diferencian otras rocas carbonatadas estratificadas, principalmente dolomías con laminación algal y calizas margosas tableadas (Gómez y Goy, 1998). Estos niveles calcáreos y dolomíticos se disponen en capas de hasta 1,5 a 2 m de espesor (Fig. 5.4).

En condiciones de enterramiento (sondeo del Mas del Gato), todo el sulfato cálcico es anhidrita (fase deshidratada del yeso) que presenta una textura muy fina y homogénea, de color blanco grisáceo a azulado. En estas anhidritas generalmente muestran estructuras de flujo, que producen una laminación paralela de escala milimétrica a centimétrica, definida por alternancia de colores grises, negros y blancos. Estas facies laminadas constituyen capas o tramos de espesores métricos, que llegan a sobrepasar los 20 m. En estos tramos más potentes se observan intercalaciones de anhidritas nodulares. Al igual que sucede en superficie, en condiciones de enterramiento, la anhidrita presenta también intercalaciones de dolomías masivas con laminación algal, dispuestas en capas de entre 10 y 30 cm. Estas capas pueden formar tramos predominantemente dolomíticos, de hasta 5 m de espesor.

Facies B: Brechas

En el sector de estudio, una parte muy significativa de la Fm. Cortes de Tajuña está formada por brechas de clastos dolomíticos y/o evaporíticos. Dentro de esta facies, se diferencian dos subfacies en función de la composición de sus clastos:

Subfacies B1: Brechas con clastos evaporíticos

Aparecen en la base de los perfiles de Ariño, Loma Burga, Vacas y Corbarán, donde presentan una potencia de hasta 50 m. En el perfil Decantadero-Parellón y en el sondeo de Mas del Gato se encuentran sobre la facies de yesos-anhidritas con intercalación de dolomías. Esta subfacies se desarrolla asociada en numerosas ocasiones a dolomías masivas oquerosas (facies C). Los clastos son

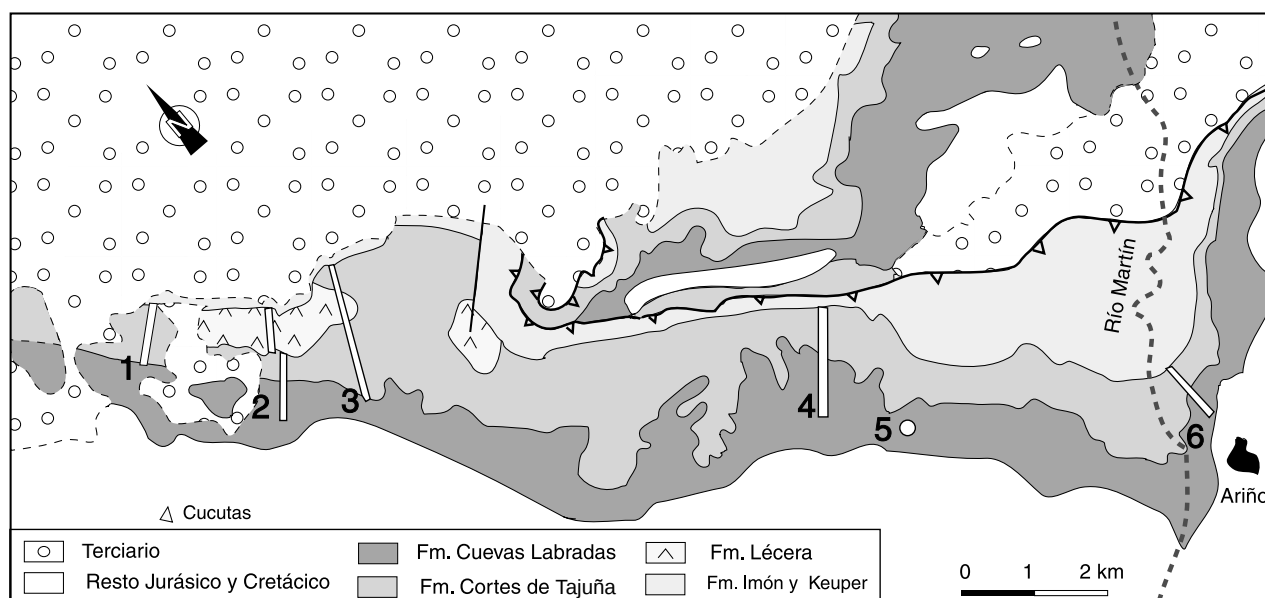


Figura 3. Cartografía geológica de la zona de estudio (basada en Ríos et al., 1981), con situación de los perfiles realizados. Coordenadas UTM de la base de los perfiles: 1) Perfil de Vacas: 30TXL937576; 2) Perfil de Decantadero-Parellón: 30TXL946564; 3) Perfil de Corbarán: 30TXL957561; 4) Perfil de Loma Burga: 30TYL001506; 5) Sondeo de Mas del Gato: 30TYL996488; 6) Perfil de Ariño: 30TYL027467.

Figure 3. Geological map of the studied area (after Ríos et al., 1981, modified). Lécera Fm. crops out only at the western and central parts, just above the Imón Fm and changes gradually to the Cortes de Tajuña Fm. Numbers indicate the location of the five sections and the borehole made along Lecera, Cortes de Tajuña and Cuevas Labradas Fms. and analysed in this study. U.T.M. coordinates for the bottom of the sections is indicated after the section or borehole name: 1) Vacas section: 30TXL937576; 2) Decantadero-Parellón section: 30TXL946564; 3) Corbarán section: 30TXL957561; 4) Loma Burga section: 30TYL001506; 5) Mas del Gato borehole: 30TYL996488; 6) Ariño section: 30TYL027467.

angulosos, de tamaños centimétricos y están formados por dolomicrita, doloesparrita y yesos o anhidritas parcial o totalmente disueltos. Presenta porosidad móldica abundante producida por la disolución de los clastos evaporíticos tras la consolidación. Además contiene numerosos pseudomorfos de evaporitas. Dentro de esta subfacies se distinguen gradaciones en el tipo de clastos y cambios en la composición de la matriz; se han encontrado brechas con matriz exclusivamente calcítica, dolomítica y otras que presentan un alto porcentaje evaporítico.

Subfacies B2: Brechas con clastos dolomíticos

Generalmente aparecen por debajo de las facies de dolomías masivas oquerosas (facies C), si bien localmente (perfiles de Ariño y Loma Burga) también lo hacen intercaladas en las brechas de clastos evaporíticos (subfacies B1). Es una unidad que está bien representada en el perfil de Loma Burga, con más de 75 m de po-

tencia, y que está formada por un conjunto caótico de brechas monogénicas con clastos angulosos de dolomicrita y a veces de doloesparrita de tamaño fino (Fig. 5.2). Los clastos están mal clasificados y son centimétricos, algunos mayores de 15 cm. La matriz, blanca a gris, es generalmente dolomítica, si bien puede ser calcítica o margosa. En el interior de los clastos se observa laminación algal y porosidad fenestral (en los clastos más grandes). Algunos clastos presentan fracturas, aparecen desplazados algunos milímetros por el flujo evaporítico y muestran una orientación preferente.

El origen de las dos subfacies de brechas es similar y estaría relacionado con procesos de disolución-colapso (brechas de disolución-colapso). El paso de brechas con clastos evaporíticos a dolomíticos podría deberse a disminución gradual del porcentaje original de evaporitas contenidas entre los niveles dolomíticos. De hecho, en ocasiones resulta difícil establecer el límite entre la facies de brechas con matriz y clastos evaporíticos, de los

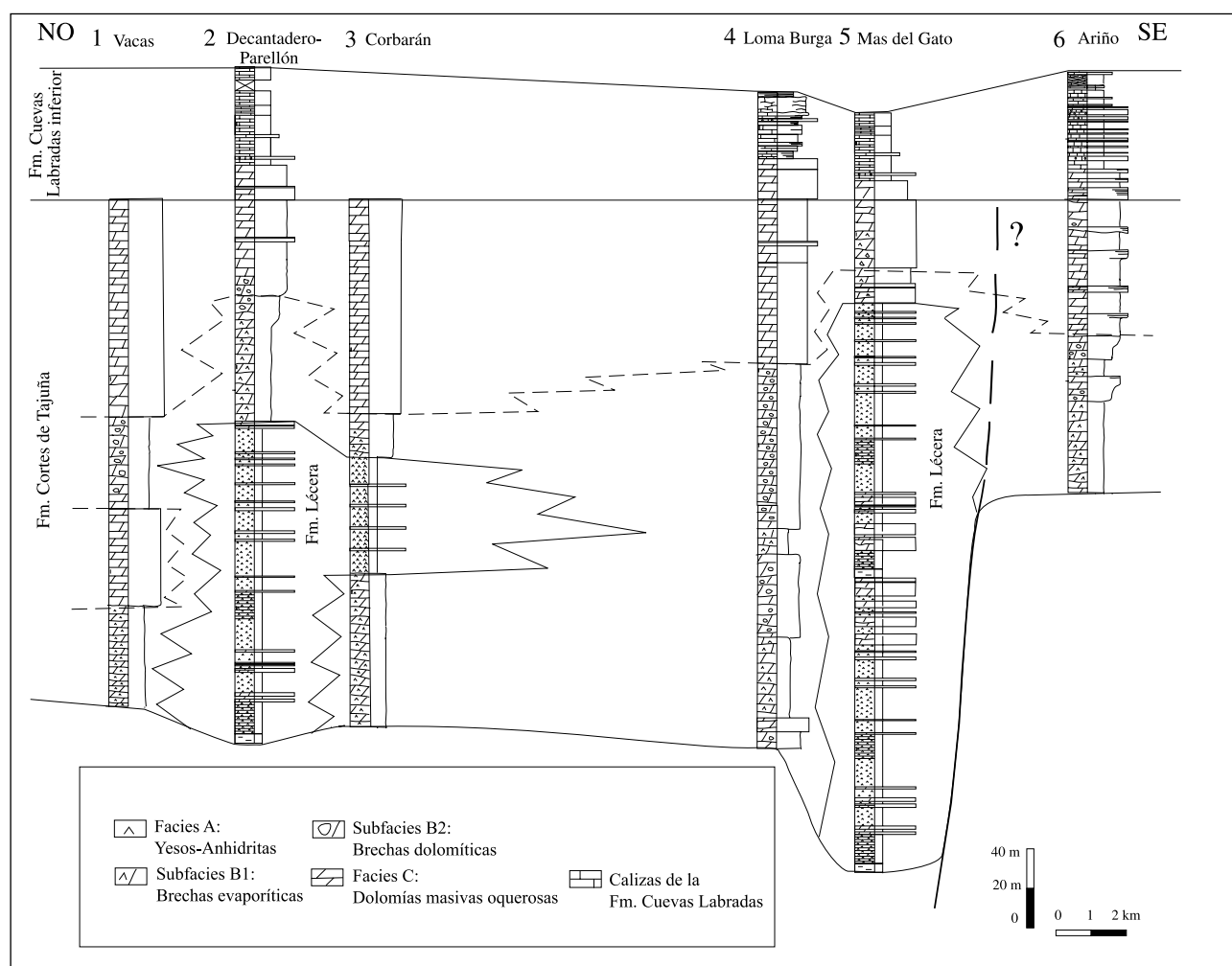


Figura 4. Panel de correlación de los perfiles y del sondeo analizados en este trabajo, en el que se muestra la distribución vertical y lateral de las facies distinguidas en las Fms. Lécera, Cortes de Tajuña y Cuevas Labradas.

Figure 4. Correlation of the studied sections, showing the distribution of the main distinguished facies in the Cortes de Tajuña, Lécera and Cuevas Labradas Fms. Anhydrite and gypsum with dolomite interbeds (facies A in the text) correspond to the Lécera Fm. which change laterally and vertically into breccias (facies B in the text). Between Ariño and Mas del Gato profiles, a synsedimentary normal fault is inferred from a sudden thickness change. This fault clearly moved during the sedimentation of the lower part of the Cortes de Tajuña Fm. and became inactive before the deposition of the Cuevas Labradas Fm.

que tienen exclusivamente clastos dolomíticos, ya que el tránsito entre ambas es gradual.

Facies C: Dolomías masivas oquerosas

Las dolomías masivas oquerosas aparecen dispuestas en bancos potentes, principalmente en la parte superior de la Fm. Cortes de Tajuña y en la parte más basal de la Fm. Cuevas Labradas. Las potencias varían de casi 100

m en Corbarán y Vacas, a 80 m en Loma Burga, 70 m en Ariño, 45 m en Decantadero-Parellón y 32 m en el sondeo de Mas del Gato. La microfacies es de dolomicroesparitas y doloesparitas de colores rojizos. Es característica la presencia de una elevada porosidad, con huecos milimétricos a centimétricos, que ocasionalmente pueden ser decimétricos. La porosidad está asociada a fenómenos de recristalización y disolución de las evaporitas. El contenido original estimado de evaporitas estaría en torno al 10 % (Fig. 5.3).

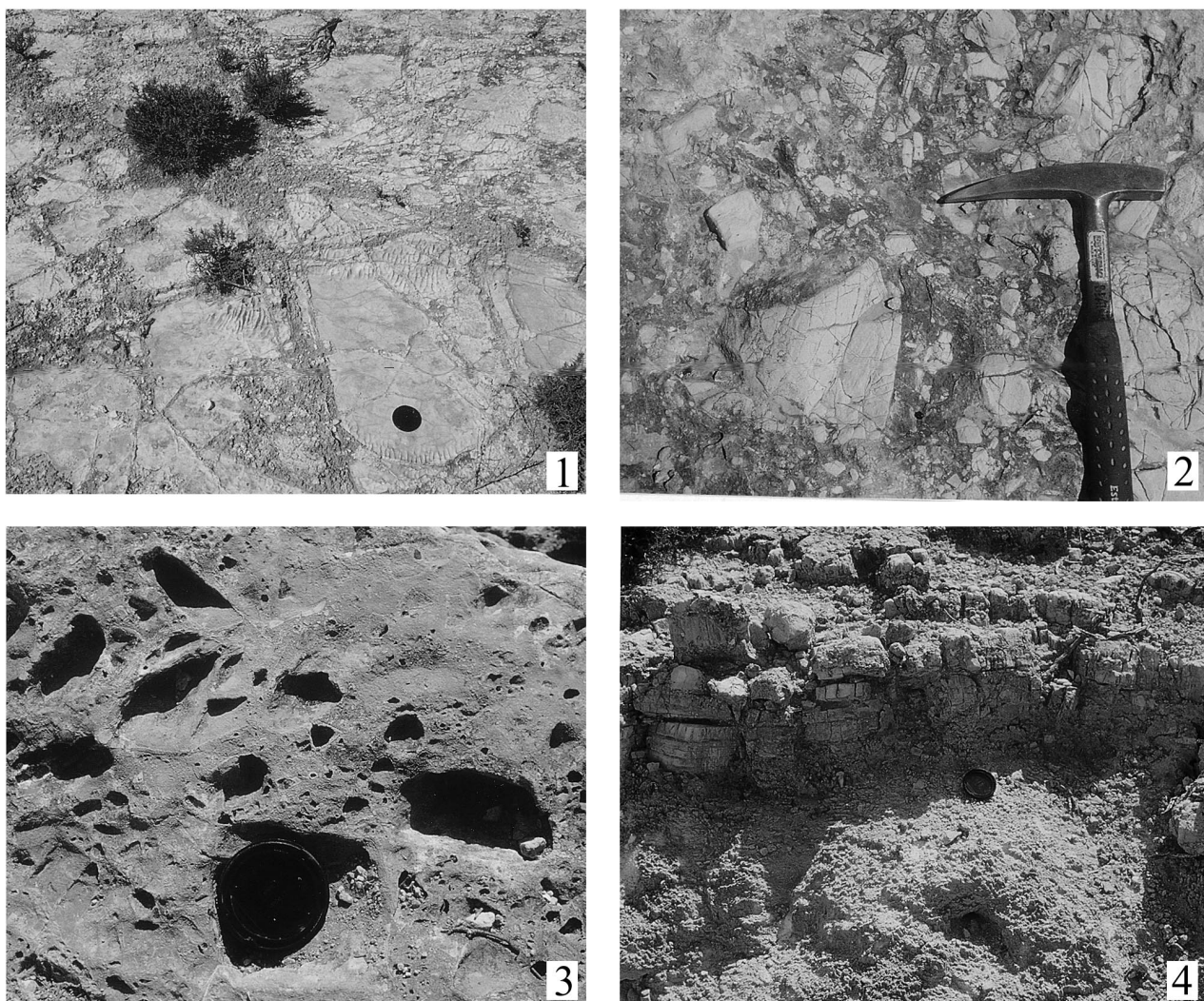


Figura 5. 1) Yesos laminados de la Fm. Lécera en el perfil de Corbarán; 2) Facies de brechas con clastos dolomíticos de la parte media del perfil de Decantadero-Parellón; 3) Facies de dolomías masivas oquerosas (con huecos entre 5 mm a mayores de 10 cm) de la parte superior del perfil de Decantadero-Parellón; 4) Facies de yesos con intercalaciones de niveles de dolomías del techo de la Fm. Lécera en la parte media del perfil de Corbarán.

Figure 5. 1) Gypsum levels from facies A (Lécer Fm), outcropping in Corbarán section; 2) Breccias facies B of the Decantadero-Parellon. All clasts are dolomitic with angular shape and very different in size; 3) Massive dolomites (facies C) with vugs (between 5 mm to more than 10 cm diameter), located in the upper part of the Decantadero-Parellon section. Porosity was originated by carbonate recrystallization and evaporite dissolution; 4) Massive gypsum alternating with dolomitic levels of the Lécer Fm. The photograph was taken at the middle part of Corbarán section, on the top of Lécer Fm.

MEDIO DE SEDIMENTACIÓN

Las facies descritas anteriormente se depositaron en dos subambientes correspondientes a una plataforma interna, desarrollada en un clima árido y que son:

1) *Sebja costera (supramareal), con influencia marina episódica*. Este medio incluye la facies de yesos-anhidritas

con intercalación de dolomías (facies A). La asociación de facies dolomíticas y evaporíticas es muy común en las llanuras supramareales áridas, sometidas a intensa evaporación y a fluctuaciones del nivel del mar. Los análisis geoquímicos y el contenido en bromo de estas evaporitas llevados a cabo en muestras de esta unidad procedentes de sondeos, confirman la influencia marina en el origen de esta facies (Ortí, 1990). Los yesos corresponderían a momen-

tos de expansión de los ambientes evaporíticos. La anhidritización es un proceso precoz (sinsedimentario) y propio de un ambiente de sebja o salina. Los niveles dolomíticos marcarían etapas de inundación de la llanura evaporítica.

2) *Llanura de mareas (zona intermareal)*. Este medio incluye las facies de brechas y de dolomías masivas oque-rosas (facies B y C). El depósito de estas facies tuvo lugar en llanuras de marea de clima árido, con alternancia de episodios de sedimentación en condiciones supramarea-les, en las cuales tendría lugar el depósito de evaporitas intercaladas entre un fango carbonatado, y episodios que conllevaron su posterior disolución por aguas meteóricas. Se estima que el contenido inicial de evaporitas oscilaba entre el 10 al 25%. La facies B contendría más evaporitas y se depositaría en un ambiente más proximal, mientras que la facies C se depositaría en zonas más marinas. El origen de la porosidad, característica de la facies C, se produciría por el lavado de estos componentes más solubles bajo ambientes de depósito o diagenéticos tempranos, en combinación con los procesos de dolomitización. Esta dolomitización tendría lugar en ambientes supramareales debido a la acción de fluidos dolomitizantes primarios, tal y como se observa en diversas llanuras de mareas en la actualidad (Purser, 1973; Tucker y Wright, 1990).

Ambos subambientes se encuentran lateralmente relacionados, tal y como indica la existencia de facies interdigitadas (Fig. 4) y el cambio gradual de un tipo de facies a otro. En la Fig. 6 se ha reconstruido el medio de sedimentación en dos estadios de evolución de la plataforma en la que se depositaron los sedimentos de las Fms. Cortes de Tajuña y Lécer. El estadio 1 corresponde a la parte inferior de las Fms. Cortes de Tajuña y Lécer y refleja el predominio durante las primeras fases evolutivas de esta plataforma, de unas condiciones de clima árido con una lámina de agua baja, que facilitaron la sedimentación de evaporitas (yesos y anhidritas). En esta plataforma, el contenido original de carbonatos disminuía gradualmente desde las facies intermareales más profundas (dolomías masivas), donde era sensiblemente mayor, hacia las zonas supramareales, en las que predominaban las evaporitas (facies de yesos-anhidritas con intercalación de dolomías). En el estadio 2, correspondiente a la parte alta de la unidad estratigráfica formada por las Fms. Cortes de Tajuña-Lécer, muestra una disminución en el porcentaje de las evaporitas que refleja un paulatino incremento de la lámina de agua y una disminución de la aridez que favorecen la sedimentación de fangos carbonatados.

En lo que se refiere a la parte inferior de la Fm. Cuevas Labradas, el depósito tuvo lugar en una plata-

forma homoclinal, que evoluciona desde ambientes de llanura intermareal a ambientes submareales someros de energía variable e intermareales (Giner, 1980; Gómez, 1991; Comas-Rengifo et al., 1999). Este cambio a medios ligeramente más externos, estuvo ligado al ascenso del nivel del mar que se produjo durante el Sine-muriense. En este contexto ambiental, la sedimentación carbonatada se organizó fundamentalmente en secuencias de somerización de espesor métrico de tipo fango-so y calcarenítico.

DISTRIBUCIÓN DE FACIES RETHIENSES-SINE-MURIENSES EN LA SIERRA DE ARCOS

El análisis de la distribución de facies de las Fms. Cortes de Tajuña, Lécer y de la parte inferior de la Fm. Cuevas Labradas en la Sierra de Arcos se ha realizado a lo largo de 5 perfiles estratigráficos y del testigo continuo obtenido en el sondeo del Mas del Gato. De noroeste a sudeste (Fig. 3), las secciones analizadas son: Vacas, Decantadero-Parellón, Corbarán, Loma Burga, Mas del Gato (sondeo) y Ariño.

En el panel de correlación de perfiles de la Fig. 4 se ha considerado toda la Secuencia Rethiense superior-Sinemuriense, que incluye las Fms. Cortes de Tajuña, Lécer y la parte inferior de la Fm. Cuevas Labradas. De modo general, por debajo de la Fm. Cuevas Labradas, las Fms. Cortes de Tajuña y Lécer presentan variaciones laterales de facies importantes y cambios de espesor significativos. En especial, este conjunto de formaciones presenta un espesor de 145 m en el perfil de Ariño, frente a los 250-330 m de los restantes perfiles. Teniendo en cuenta la distribución de espesores regionales de las Fms. Cortes de Tajuña y Lécer, se ha interpretado la existencia de una falla normal con bloque hundido hacia el noroeste, que se encontraría en torno al lecho del río Martín (Fig. 3). Dicha falla, con un salto vertical cercano a los 200 m, sería activa durante el depósito de las Fms. Cortes de Tajuña y Lécer (Fig. 4). El movimiento de la falla del río Martín explicaría los cambios de potencia observados y sería la responsable de la acumulación de una mayor potencia de evaporitas en el bloque superior de esta falla durante la sedimentación de las partes bajas y medias de esta unidad estratigráfica constituida por ambas formaciones (Fig. 6).

Encima de estos materiales sintectónicos, la parte inferior de la Fm. Cuevas Labradas muestra un espesor más homogéneo (45-65 m). Este hecho indica que, durante su depósito, no hay una subsidencia diferencial a

lo largo del sector estudiado y, en concreto, que ha cesado la actividad tectónica de falla del río Martín.

DISCUSIÓN

Los depósitos de carbonatos y evaporitas están comúnmente ligados en ambientes restringidos de plataforma y en llanuras de marea de tipo árido. Carbonatos y evaporitas pueden estar relacionados, tanto lateral como verticalmente, debido a cambios del nivel del mar o en función del grado de conexión con el mar abierto. Los estudios de las relaciones sedimentarias y diagenéticas entre carbonatos y evaporitas son escasos (Rouchy et al., 2001). Este trabajo aporta nuevos datos acerca de las relaciones espaciales entre los carbonatos y las evaporitas depositadas en la parte septentrional de la Cordillera Ibérica al final de Triásico y en el inicio del Jurásico. En particular, tales relaciones han sido deducidas a partir del estudio de un afloramiento continuo, que expone de forma clara las relaciones geométricas entre los distintos cuerpos sedimentarios.

Como se ha puesto de manifiesto, en el sector estudiado, la base del ciclo jurásico presenta notables variaciones laterales y verticales de facies. En el sector noroccidental y en el margen occidental del río Martín (Mas del Gato), predominan los yesos y anhidritas de la Fm. Lécera en la base de los perfiles. Lateralmente la potencia de esta facies se reduce y las evaporitas se interdigitan con brechas de disolución. Ello indica que, contemporáneamente al depósito de los yesos, se produjo el depósito de dolomías masivas con nódulos evaporíticos. Estas dolomías, en las primeras fases de su enterramiento, dieron lugar a brechas de disolución. Los yesos se depositaron en las zonas más restringidas y las dolomías en zonas mejor comunicadas. En el margen oriental del río Martín (Ariño) no existen evaporitas y las brechas se localizan en la base de la Fm. Cortes de Tajuña. Este hecho ha sido relacionado con su posición en la zona de bloque levantado de una falla normal, que daría lugar a unas tasas de sedimentación mucho más bajas, nulas o negativas (erosión) durante el depósito de algunos términos de las Fms. Cortes de Tajuña y Lécera. La parte superior de la unidad formada por estas dos formaciones concluye con el depósito generalizado de dolomías masivas oquerosas. Ello es indicativo de la existencia de un evento de profundización en la plataforma.

Existen otras localidades próximas donde se observan relaciones de facies similares. Al sur de Belchite, a

unos 15 km al norte del sector de estudio, se reconocen en la base de la Fm. Cortes de Tajuña yesos masivos o estratificados en niveles de espesores centimétricos, intercalados entre las facies de dolomías masivas oquerosas y de brechas. También hacia el norte, las evaporitas son comunes en la parte central de la Cuenca del Ebro, donde han sido cortadas en diferentes sondeos, presentando espesores comprendidos entre 200-400 m (Castillo-Herrador, 1974; Jurado, 1990). En dirección contraria, hacia el sur, también se han encontrado niveles de yesos y lutitas, formando sucesiones de hasta 30 m de espesor en la base de la Fm. Cortes de Tajuña en Alcaine y Oliete, a unos 15-20 km del sector estudiado (Bordonaba, 1999; Bordonaba y Aurell, 2001).

El estudio sobre las relaciones diagenéticas entre las evaporitas y los carbonatos resulta complejo. El origen de las brechas presentes en la Fm. Cortes de Tajuña ha sido mayoritariamente atribuido a procesos de disolución-colapso (Yébenes, 1973; Morillo y Meléndez, 1979; Giner, 1980; San Román y Aurell, 1992). De acuerdo con los datos expuestos en este trabajo, se interpreta que la formación de las brechas es congruente con las hipótesis que abogan por un origen por disolución y colapso, donde las brechas serían el resultado de la subsidencia y fragmentación de las capas dolomíticas que contuvieron nódulos evaporíticos y que habrían sido disueltos. En esta interpretación, el agua meteórica al percolar, lixiviaría la anhidrita acumulada en la zona supratidal de la plataforma, generando la brecha por colapso de los estratos carbonatados suprayacentes. Las condiciones en las que se produciría esta disolución, y que explican de forma más satisfactoria las características de esta facies, son las de enterramiento superficial o diagenética temprana. El proceso invocado por algunos autores (Morillo y Meléndez, 1979) de disolución de niveles evaporíticos en condiciones diagenéticas profundas, y por lo tanto tardías, es incompatible con las siguientes observaciones:

(1) La existencia de afloramientos con potentes depósitos de evaporitas de la Fm. Lécera intercaladas en la Fm. Cortes de Tajuña en el sector de estudio (perfiles de Decantadero-Parellón y de Corbarán) y en localidades próximas, que indica que éstos no habrían sido disueltos durante la diagénesis tardía o en condiciones superficiales.

(2) Los niveles de las unidades calcáreas suprayacentes (Fm. Cuevas Labradas y resto de las unidades jurásicas) no muestran signos de deformación por colapso, tal y como cabría esperar tras la disolución tardía de estas potentes sucesiones evaporíticas.

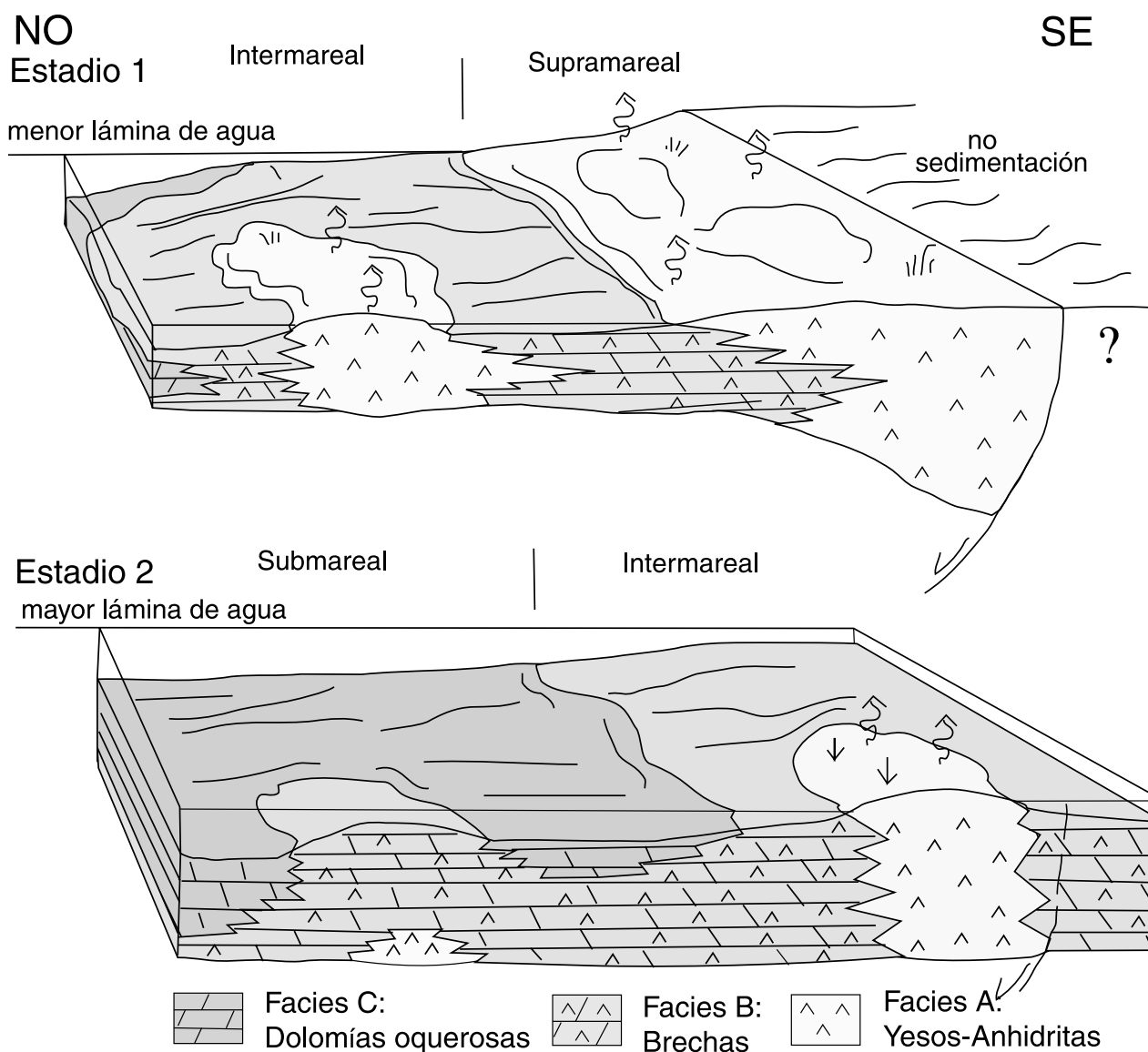


Figura 6. Reconstrucción paleoambiental que muestra la evolución del ambiente de sedimentación durante el Rethiense terminal-Hettangiense. El estadio 1 refleja la situación paleoambiental durante la sedimentación de los términos inferiores de las Fms. Cortes de Tajuña y Léce-ra, mostrando condiciones de sedimentación muy somera con predominio de sebjas (plataforma supramareal), donde se depositaron facies evaporíticas. El estadio 2 muestra la situación paleoambiental durante la sedimentación de la parte media-alta de la Fm. Cortes de Tajuña. En esta última reconstrucción se observa que en la plataforma aumenta la lámina de agua lo que condiciona la aparición de facies más marinas. La actuación de fallas extensivas, principalmente la del río Martín, condiciona la subsidencia y controla los espesores depositados principalmente al final del Rethiense e inicio del Hettangiense.

Figure 6. Palaeoenvironmental reconstruction showing sedimentary evolution during the deposition of the Cortes de Tajuña and Léce-ra Fms. (latest Raethian-Hettangian). Stage 1 shows the palaeoenvironmental situation during the deposition of the lower part of the Léce-ra and Cortes de Tajuña Fms. It denotes the predominance of a shallow platform with large supramareal areas in which evaporites were deposited. Stage 2 represents the palaeoenvironmental reconstruction during the sedimentation of the middle-upper parts of the Cortes de Tajuña Fm. It shows a progressive deepening of the platform with a widespread development of shallow subtidal environments. Normal fault activity, mainly in the inferred río Martín fault, generate differential subsidence rates in the area during the sedimentation of latest Raethian-Hettangian successions, and resulted in the development, close to the río Martín normal fault, of a highly subsident trough in which a thick evaporitic succession was deposited.

(3) En los afloramientos predominantemente evaporíticos, la proporción de niveles dolomíticos frente a las evaporitas es muy baja. Tal proporción no puede explicar en ningún caso el origen diagenético tardío de las brechas dolomíticas a las que equivalen lateralmente, que tienen un espesor similar y una composición predominantemente carbonatada.

(4) La comparación entre los datos de los afloramientos de la Sierra de Arcos y los del sondeo de Mas del Gato, indica que no existen variaciones significativas en las características de las facies de brechas y de dolomías masivas oquerosas. Ello refuerza la idea de un origen sinsedimentario o diagenético temprano. La única diferencia destacable entre ambas situaciones se encuentra en la Fm. Lécera, donde se observa una sustitución total o parcial del yeso por anhidrita en el sondeo, si bien el espesor y tipo de facies de las intercalaciones de dolomías es similar en los perfiles de Decantadero-Parellón y en el sondeo de Mas del Gato.

Por lo que se refiere a la reducción de potencia del conjunto formado por las Fm. Cortes de Tajuña y Lécera en el extremo SE de la Sierra de Arcos (perfil de Ariño), con respecto a afloramientos situados más al noroeste, ésta se relaciona con la subsidencia diferencial inducida por el movimiento de fallas normales sinsedimentarias. En este contexto sintectónico extensivo, es interesante destacar que el depósito de la mayor potencia de evaporitas tuvo lugar en las zonas más subsidentes de la cuenca, tal y como ha sido observado en otras cuencas sedimentarias hettangienses localizadas en zonas próximas (Megelink-Assenat, 1983; San Román y Aurell, 1992).

CONCLUSIÓN

En la Sierra de Arcos (Cordillera Ibérica central), los materiales del inicio del ciclo Jurásico (Raethiense p.p.-Hettangiense), correspondientes a las Fms. Cortes de Tajuña, Lécera y parte inferior de la Fm. Cuevas Labradas, presentan tres tipos de facies bien diferenciados: yesos-anhidritas con intercalación de dolomías, brechas y dolomías masivas oquerosas. Estas facies se originaron en las zonas supramareal (sebja) e intermareal (llanura de mareas) de una plataforma interna desarrollada en condiciones áridas. Estos dos subambientes se encuentran lateralmente relacionados, tal como queda reflejado por la interdigitación de las facies que los representan. En esta plataforma, el contenido original de carbonatos disminuía gradualmente desde las facies intermareales más profundas (dolomías masivas), donde era sensiblemente

mayor, hacia las zonas supramareales en las que las evaporitas predominaban (facies de yesos-anhidritas con intercalación de dolomías). Entre estas zonas extremas, las facies de brechas, con un contenido en evaporitas intermedio entre ambas facies, se originaron a partir del colapso de las capas dolomíticas que contuvieron nódulos evaporíticos y que habrían sido disueltos por el agua meteórica.

Los resultados obtenidos en este trabajo son relevantes para precisar el origen de las brechas y dolomías masivas oquerosas que constituyen las principales litofacies de la Fm. Cortes de Tajuña en amplios sectores de la Cordillera Ibérica. En especial, sugerimos que el proceso que explica de forma más satisfactoria las características de la brecha es el de disolución en condiciones de enterramiento superficial o diagenéticas tempranas, más que durante la diagénesis tardía o meteorización superficial. Consiguientemente, las variaciones de espesor en la Fm. Cortes de Tajuña observadas en todo el ámbito de la Cordillera Ibérica, serían el reflejo de una subsidencia diferencial inducida por la tectónica extensiva del inicio del Jurásico, y no de la disolución tardía de los niveles evaporíticos, tal y como ha sido sugerido en trabajos previos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es una contribución al Proyecto PB/98-1260-CO2-O2 (DGES). Agradecemos a Víctor Arqued (Confederación Hidrográfica del Ebro, Zaragoza) su disposición al mostrarnos la existencia del sondeo de Mas del Gato y otros datos regionales sobre las unidades del inicio del Jurásico. Las sugerencias realizadas por Ramón Salas, Federico Ortí, Lluís Cabrera y Eduard Roca han permitido mejorar el manuscrito original.

BIBLIOGRAFÍA

- Aurell, A., Meléndez, A., San Román, J., Guimerà, J., Roca, E., Salas, R., Alonso, A., Mas, R., 1992. Tectónica sinsedimentaria distensiva en el límite Triásico-Jurásico en la Cordillera Ibérica. III Congreso Geológico de España, Salamanca, Actas, T. I, 50-54.
- Bordonaba, A.P., 1999. El Jurásico inferior (Hettangiense-Sinemuriense) del sector Oliete-Torre de las Arcas: Evolución sedimentaria y control estructural. Tesis de licenciatura. Universidad de Zaragoza. 132 pp.
- Bordonaba, A.P., Aurell, M., Casas, A., 1999. Control tectónico y distribución de las facies en el tránsito Triásico-Jurásico

- en el sector de Oliete (Teruel). *Geogaceta*, 25, 43-46.
- Bordonaba, A.P., Aurell, M., 2001. El Hettangiense-Sinemuriense (Jurásico inferior) en el sector de Montalbán-Oliete (Teruel): Análisis de facies y evolución tectosedimentaria. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 14(1-2), 135-146.
- Castillo-Herrador, F., 1974. Le Trias évaporitique des Bassins de la Vallée de l'Ebre et de Cuenca. *Bulletin Société Géologique de France*, 7(XVI), 666-676.
- Comas-Rengifo, M.J., 1985. El Pliensbachiense de la Cordillera Ibérica. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. 594 pp.
- Comas-Rengifo, M.J., Gómez, J.J., Goy, A., Herrero, C., Perilli, N., Rodrigo, A., 1999. El Jurásico Inferior en la sección de Almonacid de la Cuba (Sector central de la Cordillera Ibérica, Zaragoza). *Cuadernos de Geología Ibérica*, 25, 27-57.
- Esteban, M., Julià, R., 1973. Discordancias erosivas intrajurásicas en los Catalánides. *Acta Geologica Hispanica*, 8, 153-157.
- Giner, J., 1980. Estudio sedimentológico y diagenético de las facies carbonatadas del Jurásico de las Catalánides, Maestrazgo y Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona. 315 pp.
- Gómez, J.J., 1979. El Jurásico en facies carbonatadas del sector levantino de la Cordillera Ibérica. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. *Seminarios de Estratigrafía (Serie Monografías)*, 4, 686 pp.
- Gómez, J.J., 1991. Memoria del Mapa Geológico de España. Escala 1: 200.000, nº 40, Daroca. I. T. G. E. Primera edición. Madrid. Serv. Public. Ministerio de Industria. 239 pp.
- Gómez, J.J., Goy, A., 1997. El Jurásico de la Cordillera Ibérica: Estratigrafía Secuencial y Paleogeografía. In: *Comunicaciones IV Congreso de Jurásico de España*, Alcañiz, 15-17.
- Gómez, J.J., Goy, A., 1998. Las unidades litoestratigráficas del tránsito Triásico-Jurásico en la región de Lécer. *Geogaceta*, 23, 63-66.
- Goy, A., Gómez, J.J., Yébenes, A., 1976. El Jurásico de la Rama Castellana de la Cordillera Ibérica (Mitad norte) I. Unidades litoestratigráficas. *Estudios Geológicos*, 32, 391-423.
- Jurado, M.J., 1990. El Triásico y el Liásico basal evaporíticos del subsuelo de la cuenca del Ebro. In F. Ortí y J. Salvany (ed.). *Formaciones evaporíticas de la Cuenca del Ebro y cadenas periféricas y de la Zona de Levante*, ENRESA-Universidad de Barcelona, 21-28.
- Megelink-Assenat, S., 1983. Le Lias inférieur de la Bordure Aquitaine du Massif Central Français. *Bulletin de Centre Recherche Exploration-Production Elf-Aquitaine*, 7(1), 45-67.
- Morillo, M.J., Meléndez, F., 1979. El Jurásico de La Alcarria-La Mancha. *Cuadernos de Geología de Universidad de Granada*, 10, 149-166.
- Ortí, F., 1987. Aspectos sedimentológicos de las evaporitas del Triásico y Liásico inferior en el Este de la Península Ibérica. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 11, 837-858.
- Ortí, F., 1990. Introducción al Triásico evaporítico del sector central valenciano. In F. Ortí y J. Salvany (ed.). *Formaciones evaporíticas de la Cuenca del Ebro y cadenas periféricas y de la Zona de Levante*, ENRESA-Universidad de Barcelona, 205-211.
- Purser, B.H., 1973. The Persian Gulf: Holocene carbonate sedimentation and diagenesis in a shallow epicontinental sea. Heidelberg, Springer-Verlag.
- Ríos, L.M., Beltrán, F.J., Lanaja, J.M., 1981. Mapa Geológico de España. Escala 1: 50.000, nº 467, Muniesa. I.G.M.E. Segunda serie, primera edición. Madrid. Serv. Public. Ministerio de Industria. 25 pp.
- Roca, E., Guimerà, J., Salas, R., 1994. Mesozoic extensional tectonics in the southeast Iberian Chain. *Geological Magazine*, 131(2), 155-168.
- Rouchy, J.M., Taberner, C., Peryt, T. M., 2001. Sedimentary and diagenetic transitions between carbonates and evaporites. *Sedimentary Geology*, 140, 1-8.
- Salas, R., Casas, A., 1993. Mesozoic extensional tectonics, stratigraphy and crustal evolution during the Alpine cycle of the eastern Iberian basin. *Tectonophysics*, 228, 33-55.
- San Román, J., Aurell, M., 1992. Palaeogeographical significance of the Triassic-Jurassic unconformity in the north Iberian basin (Sierra del Moncayo, Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 99, 101-117.
- Tucker, M., Wright, P., 1990. *Carbonate Sedimentology*. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 482 pp.
- Yébenes, A., 1973. Estudio petrogenético de las carniolas de la Cordillera Ibérica. Tesis de Licenciatura. Universidad Complutense de Madrid. 118 pp.