

# *Unidades evaporíticas de la zona de Libros-Cascante (Mioceno, Cuenca de Teruel): Características estratigráficas y sedimentológicas*

P. ANADÓN <sup>(1)</sup>, F. ORTÍ <sup>(2)</sup> y L. ROSELL <sup>(2)</sup>

(1) Institut de Ciències de la Terra «Jaume Almera»,  
C.S.I.C.; C/ Martí i Franqués s/n, Barcelona, 08028

(2) Departament de Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica,  
Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona;  
Zona Universitària de Pedralbes, Barcelona, 08071

## RESUMEN

Las diversas unidades evaporíticas del Mioceno de la zona de Libros-Cascante (Fosa de Teruel) tienen extensión geográfica y potencia muy variables y constituyen tanto amplios cuerpos centrales (ej. Yesos de las Minas de Libros-Cascante) como pequeñas unidades de borde de cuenca, muy localizadas (ej. Yesos de Cubla). Las evaporitas consisten en diversas litofacies de yeso primario, principalmente yesos microlenticulares bioturbados y yesos laminados. Asociadas a las litofacies de yeso se presentan lutitas rojas, verdes o negruzcas y calizas formadas principalmente por acumulaciones de carófitas y gasterópodos. De un modo global, las unidades yesíferas diferenciadas dan muestras de una gradación progresiva de litofacies y de litologías asociadas, en función de la profundidad del medio deposicional, que reflejan los siguientes ambientes: 1) Zonas de encharcamiento y palustres, instaladas episódicamente sobre llanuras de lutitas. Se caracterizan por depósitos de yesos microlenticulares bioturbados. Los Yesos de El Campo (Aragoniense inferior) y los Yesos de Cubla (Turolense superior) están formados exclusivamente por estas litofacies. 2) Zonas lacustres someras, con márgenes palustres bien definidos (litofacies masivas bioturbadas) y centros someros (litofacies yesíferas laminadas y niveles de calizas de carófitas y gasterópodos); se desarrolla una ciclicidad en función de las oscilaciones de la lámina de agua por inundación-deseccación. Los ciclos pueden estar compuestos por: lutitas, yesos bioturbados o yesos laminados. Estos ambientes y litofacies están bien caracterizados en los Yesos de El Morrón (Aragoniense inferior). 3) Lagos más profundos,

dominados por las litofacies yesíferas laminadas de grano muy fino y pizarras bituminosas propias de fondos anóxicos, en las que se ha producido sulfato-reducción bacteriana. En las zonas marginales se encuentran litofacies y ciclos como los señalados en las zonas 1 y 2. Los Yesos de las Minas de Libros-Cascante son los representantes de estos ambientes y litofacies. Las características sedimentológicas de los yesos y litofacies asociadas, así como la ausencia de cloruros, sulfatos sódicos y facies anhidritizadas indican una baja concentración de las aguas de los ambientes lacustres.

**Palabras clave:** Yeso, Mioceno, Fosa de Teruel, sistemas lacustres, yeso primario, yeso bioturbado, yeso laminado.

## ABSTRACT

The Miocene evaporite units in the Teruel Graben (Libros-Cascante area) are variable both in thickness and areal extent. The evaporite units form large basinal bodies (e.g., Minas de Libros-Cascante Gypsum) or small, marginal units (e.g., Cubla Gypsum). The evaporites consist of diverse primary microlenticular gypsum lithofacies, mainly bioturbated gypsum and laminated gypsum. Sediments associated with gypsum layers are red or drab mudstones, or bioclastic limestones. The diverse units show a progressive gradation in gypsum lithofacies and associated deposits which reflect different environments and depths: 1) Palustrine and very shallow ponds in mud flats. Sedimentary components are bioturbated microlenticular gypsum and mudstones. The El Campo Gypsum (lower Aragonian) and Cubla Gypsum (upper Turolian) are exclusively formed by these lithofacies; 2) Shallow lacustrine systems with palustrine, well-defined margins (massive bioturbated lithofacies) and shallow central areas where laminated gypsum and fossiliferous carbonates were deposited. Cyclicity occurred in response to lake-level oscillations. The cycles comprise mudstones, bioturbated gypsum or laminated gypsum. El Morrón Gypsum is representative of these lithofacies and environments; 3) Deep, permanent lakes, in which accumulated laminated gypsum and oil shales under anoxic bottom conditions. Bacterial sulphate reduction also occurred in these sediments. Gypsum lithofacies and cycles similar to those formed in environments 1 and 2 occur in the marginal zones of this system (e.g., Minas de Libros-Cascante Gypsum). The sedimentary features of the gypsum and associated deposits, as well as the absence of chlorides, Na-sulphates and anhydritized facies, indicate a relatively low-concentration in the original brines or lake waters.

**Key words:** Gypsum, Miocene, Teruel Graben, lacustrine systems, primary gypsum, bioturbated gypsum, laminated gypsum.

## INTRODUCCIÓN

El relleno de la fosa neógena de Teruel está formado por un conjunto de materiales detríticos terrígenos, carbonatados y yesíferos, que poseen unas relaciones estratigráficas complejas (Gautier, Moissenet & Viallard, 1972; Anadón & Moissenet, 1996). Destaca en el relleno de la fosa, la presencia de numerosas unidades constituidas por yesos (Ortí, 1991; Anadón, Rosell & Talbot, 1992) algunas de las cuales han sido citadas frecuentemente en la literatura, aunque el conocimiento preciso de sus características y relaciones estratigráficas sea más bien escaso. El reflejo en la bibliografía de algunas de estas unidades se debe a su gran interés paleontológico o económico. Así, los Yesos de Los Aljezares, aparte de haber sido explotados económicamente, son reputados desde el siglo pasado por la presencia de niveles de yesos laminados con acumulaciones de restos de peces (*Rutilus pachecoi* (ROYO); Calderón, 1877; Royo, 1921; Gaudant, 1984) y más raramente anfibios. De unas décadas a esta parte se ha sumado el interés de la presencia de una abundante fauna de micromamíferos en lentejones de materiales detríticos terrígenos intercalados entre los niveles de yeso (Adrover, 1983-1986).

Otra unidad que ha despertado gran interés es la denominada Yesos de las Minas de Libros, a veces citada simplemente como Yesos de Libros. El interés suscitado por esta unidad es doble. Por una parte la presencia de numerosos niveles que contienen azufre nativo condujo a su explotación económica desde hace varios siglos hasta hace unas décadas (Braun, 1841; Cortázar, 1885). Por otra parte destaca la presencia de una fauna de vertebrados excepcionalmente bien preservada en los niveles de pizarras bituminosas intercaladas entre los yesos. Esta fauna incluye principalmente anfibios, reptiles, aves y mamíferos (Navas, 1922 a, b; Román, 1927).

El presente trabajo da a conocer las características estratigráficas y sedimentológicas de las unidades evaporíticas de la zona meridional de la cuenca de Teruel comprendida entre las localidades de Villel, Cubla, Libros, Minas de Libros y Riodeva (Fig. 1). En ella el registro sedimentario del Mioceno está definido por un conjunto de unidades detríticas terrígenas, fundamentalmente rojas, depositadas en ambientes aluviales y por diversas unidades carbonatadas y yesíferas depositadas en ambientes lacustres y palustres. El relleno de la fosa de Teruel en esta zona, constituido por las facies mencionadas, abarca una edad desde el Aragoniense (Mioceno inferior-medio) hasta el Mioceno superior-Plioceno (Adrover, Mein & Moissenet, 1978). Las características estratigráficas de este relleno han sido objeto de diversos trabajos: Bakx (1935), Gautier *et al.* (1972), Adrover *et al.* (1978), Brockman, (1983), Broekman *et al.* (1983), Kiefer (1988). No obstante, en el presente trabajo seguimos la división estratigráfica utilizada por Anadón & Moissenet (*in* Anadón, Moissenet & Simon, 1990), basada en Gautier *et al.* (1972) por ser la

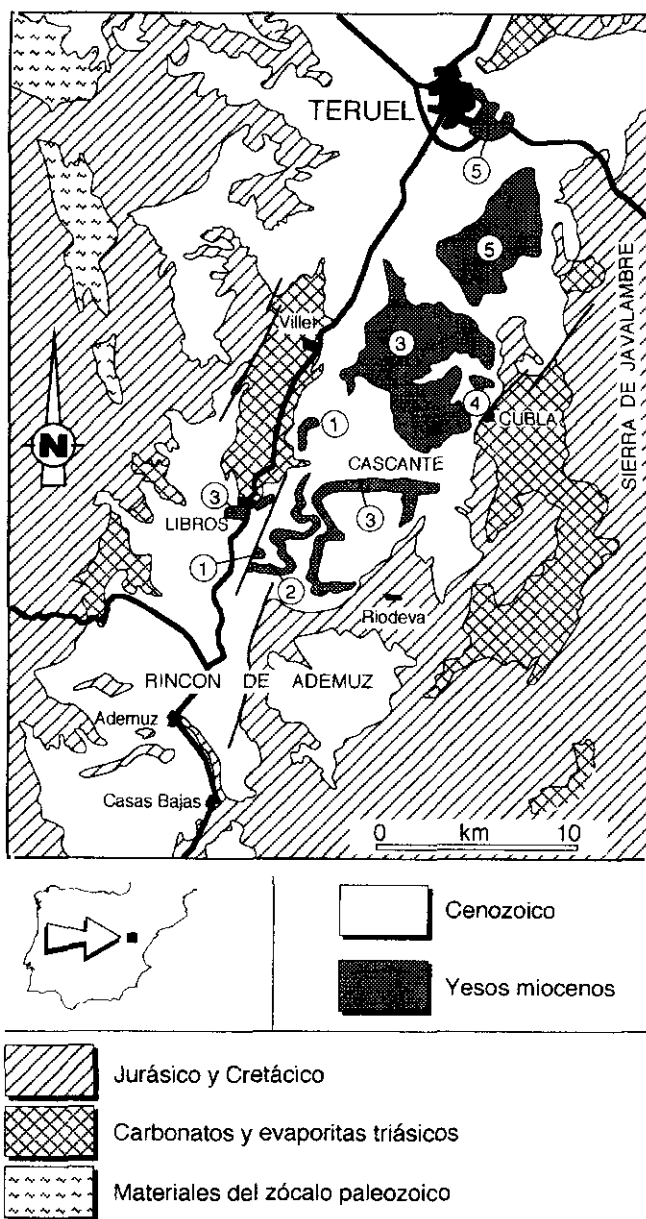


Fig. 1.—Esquema geológico de la Fosa de Teruel en el sector Teruel-Ademuz mostrando la distribución de las diferentes unidades yesíferas (1 a 5, ver Fig. 2).

Fig. 1.—Geological sketch map of the Teruel Graben (Teruel-Ademuz area) showing the distribution of the gypsum-bearing units (1 to 5, see Fig. 2).

más clara y la que mejor se adapta a la descripción de la disposición y de las relaciones de las unidades yesíferas con el resto de las unidades de relleno de la fosa de Teruel en dicha zona.

## ESTRATIGRAFIA DEL NEOGENO DE LA FOSA DE TERUEL EN EL SECTOR DE LIBROS-CASCANTE

En la zona de Libros-Cascante el registro sedimentario del Mioceno está definido por dos grandes conjuntos litoestratigráficos: uno inferior, de facies detríticas rojas (Unidad detrítica inferior, Aragoniense), y otro superior, predominantemente carbonatado y yesífero (Aragoniense-Turolense), en el que se diferencian varias unidades. Se pueden considerar dos sectores de afloramientos en función de las características estratigráficas de los materiales neógenos: uno meridional, o de Libros-Riodeva, y otro septentrional o de Villel-Cascante. El límite entre ambos sectores se sitúa aproximadamente en el Barranco del Juncal. La sucesión de unidades que se describen, tanto para el sector meridional como para el sector septentrional, es bien evidente en las partes centrales de dichos sectores. En las zonas de borde de cuenca, donde las sucesiones neógenas equivalentes se han preservado, las facies de borde constituyen una serie comprensiva de conglomerados que hacia zonas más centrales incorporan lutitas rojas y areniscas y pasan lateralmente a las sucesiones que describiremos a continuación. Raramente ha quedado registrado este paso lateral de facies; no obstante, un ejemplo del mismo puede observarse entre Villel y la zona de Cañada Honda, al W de Cascante.

### SECTOR MERIDIONAL

En el sector meridional de la zona estudiada (sector de Libros-Riodeva), se han distinguido cinco unidades principales superpuestas (Gautier *et al.*, 1972; Anadón *et al.*, 1989; Anadón & Moissenet *in* Anadón *et al.*, 1990). De acuerdo con estos trabajos, y de base a techo, se han diferenciado (Fig. 2):

—*Unidad detrítica inferior*. Esta unidad está constituida por materiales detríticos rojos, desde conglomerados a lutitas, con una potencia que puede llegar a los 150 m. Los conglomerados suelen ser más frecuentes hacia la base de la sucesión o en determinadas zonas adosadas a los bordes de cuenca. Localmente existen tramos donde predominan las arenas silíceas procedentes de la erosión de materiales cretácicos (Arenas de Utrillas). Este conjunto detrítico inferior aragoniense intercala diversos niveles de orden métrico de yesos que muestran facies microlenticulares bioturbadas y potencia individual por lo general inferior a 3 m (ej. *Yesos de El Campo*) y culmina por una unidad yesífera (*Yesos de El Morrón*) de unos 20 a 25 m de potencia, de desarrollo

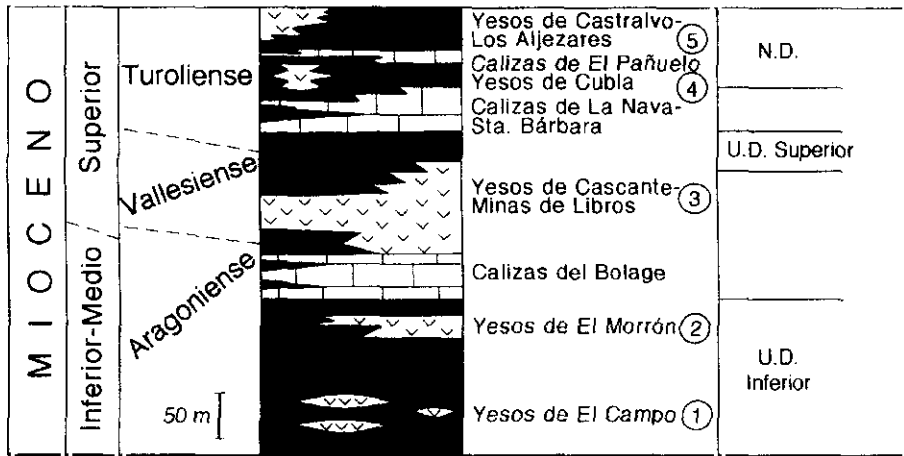


Fig. 2.—Esquema estratigráfico de las unidades miocenas de la zona de Cascante-Libros. En negro se representan las unidades constituidas por facies detríticas: Unidad detrítica (U.D.) inferior, Unidad detrítica (U.D.) superior y tramos detríticos sin denominación específica (N.D.) de la zona de El Pañuelo, localizados estratigráficamente por encima de los niveles de las Calizas de la Muela de Cascante (Calizas de La Nava-Santa Bárbara).

Fig. 2.—Stratigraphic relationships of the Miocene units in the Cascante-Libros area. Black represents detrital units (U.D. = detrital unit). N.D. = unnamed detrital intervals overlying the Muela de Cascante Limestones.

lateral limitado y que intercala algún nivel silíceo (chert) distintivo, de hasta 10 cm de potencia.

—*Calizas de El Bolage*. Esta unidad consiste en calizas con estratificación fina e intercalaciones de margas. Alcanza unos 50 m de potencia. Localmente intercala niveles de margas oscuras y de lignitos que han proporcionado faunas de mamíferos atribuibles al Aragoniense inferior (Dupuy & Fernández, 1918; Adrover *et al.*, 1978).

—*Yesos de las Minas de Libros*, de unos 80-100 m de potencia, que pasan hacia el N rápidamente a las sucesiones cíclicas de los *Yesos de Cascante*. En la zona de las Minas de Libros, donde localmente esta unidad alcanza 120 m de potencia, la parte inferior consta de una alternancia de lutitas laminadas, calizas y yesos, mientras que la mitad superior está formada fundamentalmente por yeso laminado, con escasas intercalaciones de calizas y margas. Algunos niveles de esta unidad han sido objeto de explotación en el pasado debido a la presencia de azufre nativo. Roman (1927) describió una fauna de mamíferos fósiles procedentes de materiales de esta unidad que Gautier *et al.* (1972) atribuyeron al Vallesiense.

—*Unidad detrítica superior*. Sobre los Yesos de las Minas de Libros yace un tramo fundamentalmente detrítico rojo constituido por lutitas con interca-

laciones de areniscas. En algunas zonas presenta intercalaciones de tramos de calizas lacustres. Localmente (corte de las Minas de Libros) en la base presenta un tramo de calizas lacustres con abundantes restos de carófitas.

—*Calizas de la Nava o de Santa Bárbara*. Esta unidad está constituida por calizas, a veces travertínicas, con intercalaciones de margas. Presentan abundantes gasterópodos de agua dulce. Esta unidad ha proporcionado faunas de mamíferos fósiles en diversas localidades atribuibles al Turolense medio (MN 12; Moissenet *in* Anadón *et al.*, 1990).

#### SECTOR SEPTENTRIONAL

En el sector septentrional (sector de Villed-Cascante) existe también la alternancia de unidades yesíferas, detríticas rojas y carbonatadas mencionada para el sector meridional. La sucesión, de base a techo consta de: Unidad detrítica inferior aragoniense, Calizas del Bolage (Aragoniense), con un espesor de unos 10 a 15 m, *Yesos de Cascante* (Vallesiense), que presentan en la base y a techo sendos tramos detríticos rojos bastante potentes, y *Calizas de la Muela de Cascante* (Turolense), equivalente a las calizas de La Nava o de Santa Bárbara. La unidad de Yesos de Cascante, de unos 35-40 m de potencia, pasa rápidamente hacia el SW y W a lutitas, margas y areniscas, primero amarillentas y luego rojas (tramos detríticos rojos de Villed). Los denominados Yesos de Cascante (Ortí, 1987) son el equivalente septentrional de los Yesos de las Minas de Libros. Al NE de Cascante la sucesión Turolense por encima de las Calizas de la Muela de Cascante consta de una alternancia de tramos de calizas y de lutitas rojas y areniscas que intercalan la unidad de *Yesos de Cubla* (Turolense). Los tramos de materiales detríticos rojos no han sido denominados de un modo específico hasta la fecha. Los Yesos de Cubla son probablemente equivalentes en edad a los denominados Yesos de Castralvo-Los Aljezares (localizados más al norte del área de estudio del presente trabajo), aunque la continuidad de ambas unidades no está clara debido a la falta de afloramientos.

#### LITOFACIES YESIFERAS Y CICLOS PRINCIPALES

Las litofacies de yeso de las unidades mencionadas anteriormente están constituidas por yeso primario. Destacan las de yesos masivos y las de yesos laminados. En menor proporción se presentan yesos lenticulares entre lutitas, a veces de tendencia elongada y tamaño milimétrico o centimétrico.

Los yesos masivos consisten en depósitos de yeso microcristalino de hábito lenticular (en ocasiones con desarrollo de mosaicos anhedrales), con abundantes estructuras de bioturbación, de secciones inferiores a 1 cm en general, producidas por organismos animales (larvas de insectos, poliquetos?, cfr. Ro-

dríguez Aranda, 1992). Se presentan en capas gruesas que a veces conservan restos difusos de laminación. En ocasiones destacan ciertas estructuras nodulosas, desde mm hasta pocos cm de diámetro, aunque en general están pobremente definidas. Esta litofacies se meteoriza en bloques poligonales bastante característicos. Litofacies similares han sido reconocidas en varias cuencas terciarias peninsulares como Calatayud (Ortí *et al.*, 1994), Tajo (Rodríguez Aranda, 1992, 1995), Depresión intermedia (Bustillo y Díaz Molina, 1980), Ebro (Ortí *et al.*, 1989; Salvany *et al.*, 1994), Fortuna-Corredor del Guadalentín (Ortí *et al.*, 1993), etc.

Los yesos laminados son también de grano fino, microlenticular y a veces anhedral, y se presentan en capas delgadas (de 1 cm a 1 m) de estructura interna desde laminada a masiva y grumosa-pseudonodular. No se aprecian estructuras de desecación. El carácter noduloso de algunas láminas parece corresponder más a una deformación mecánica que a una precipitación *in situ* (intersticial) de nódulos de yeso o de otras fases minerales. Frecuentemente las láminas tienen cantidades variables de carbonato, que está constituido por fragmentos de tallos de carófitas y gasterópodos. Localmente se aprecian texturas de yeso macrocristalino, transparente, que son producto de recristalización diagenética del yeso microcristalino.

Asociadas a todas estas litofacies de yeso se presentan lutitas rojas, verdes o negruzcas y calizas formadas principalmente por acumulaciones de carófitas y gasterópodos.

Se distinguen tres tipos principales de secuencias deposicionales características, que frecuentemente se suceden cíclicamente. Dichas secuencias o ciclos presentan los siguientes términos:

- tipo *a*: ciclos de lutita (basal)-yeso masivo bioturbado.
- tipo *b*: ciclos de lutita (basal)-yeso masivo bioturbado-yeso laminado
- tipo *c*: ciclos de yeso masivo bioturbado (basal)-yeso laminado ( $\pm$  carbonato).

El ciclo de tipo *a* presenta un término inferior de arcillas rojas, que progresivamente pasan a grises, e incluso poseen un color muy oscuro al techo. Estas últimas presentan una intensidad variable de bioturbación, cementada en general por yeso microcristalino. El término superior está constituido por yeso masivo que presenta trazas de una gran actividad bioturbadora, pudiendo incorporar cantidades variables de carbonatos bioclásticos.

En el ciclo de tipo *b* a los dos términos del ciclo anterior (*a*) se les superpone un término de yeso laminado, que puede ser muy rico en carbonatos, aunque está dominado por el yeso de grano muy fino.

El ciclo de tipo *c* suele presentar los dos términos yesíferos de los ciclos descritos anteriormente, masivo-bioturbado y laminado, así como un tramo carbonatado casi constante en la base del término superior (laminado), constituido predominantemente por tallos de carófitas. Destaca en estas sucesiones la ausencia de término lutítico.



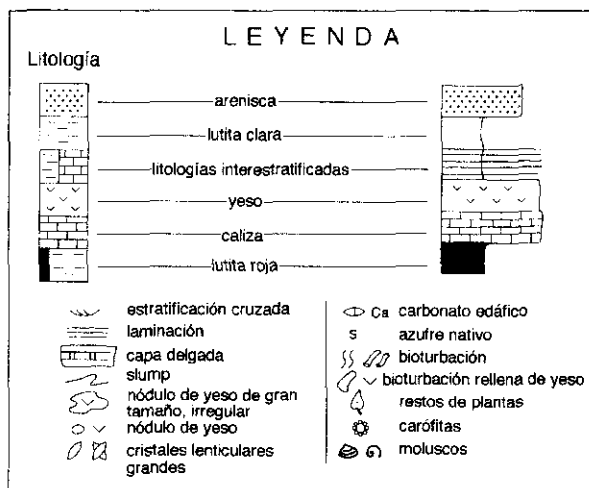
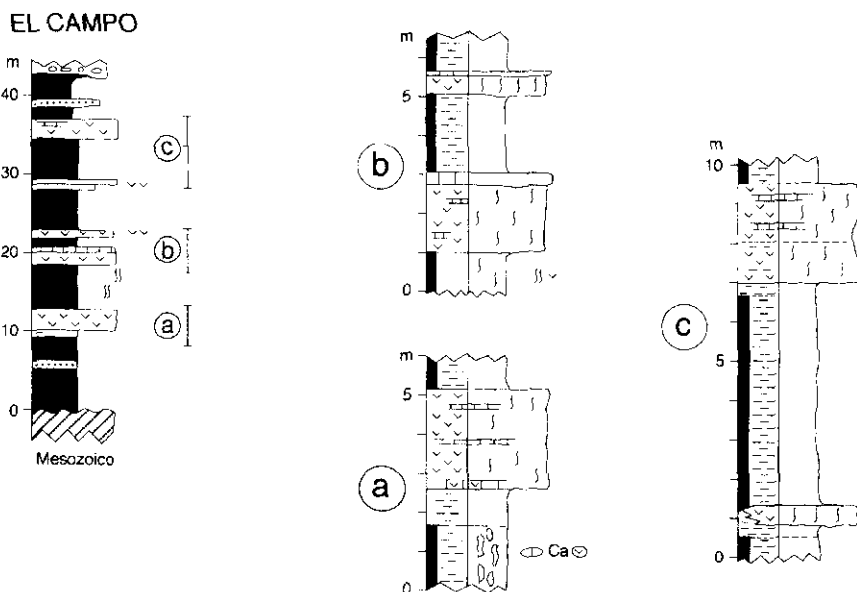


Fig. 3.—Tramos yesíferos de la parte inferior de la Unidad detrítica inferior en la zona del Caserío de El Campo. Leyenda de las columnas.

Fig.3.—Gypsum intervals from the lower part of the Lower detrital unit in the Caserío de El Campo area. See legend for the lithologic logs.

## CARACTERÍSTICAS ESTRATIGRAFICAS Y SEDIMENTOLÓGICAS DE LAS UNIDADES DE YESOS

### YESOS DE EL CAMPO

La Unidad detrítica inferior en la zona de Libros presenta, en su parte inferior, diversas intercalaciones de niveles poco potentes de yesos. Estos niveles están bien representados en las cercanías del caserío de El Campo, donde ya fueron señalados por Aznar *et al.* (1983), y en la zona de Las Algarroberas, atravesados por la carretera que conduce a las Minas de Libros.

—Zona de El Campo. En las cercanías de El Campo la Unidad detrítica inferior yace en discordancia sobre materiales carbonatados cretácicos. La parte inferior de la unidad está constituida principalmente por lutitas rojas con escasas intercalaciones de areniscas. En esta parte de la sucesión destaca la presencia de niveles de paleosuelos carbonatados y cuatro niveles de yeso intercalados (Fig. 3). Estos niveles presentan invariablemente litofacies de yeso masivo bioturbado con potencias individuales de 1 a 3 m, y pequeñas intercalaciones de carbonato. Constituyen secuencias de tipo *a*.

—Zona de Las Algarroberas. En esta zona se presentan varias capas de yeso y localmente de carbonato intercaladas entre las facies lutíticas rojas. Los niveles de yeso, de hasta 2 m de potencia, están constituidos por litofacies de yeso masivo bioturbado, a veces de color negruzco, y se organizan en secuencias exclusivamente de tipo *a* (Fig. 4).

Hemos agrupado todos estos niveles yesíferos de la parte inferior de la Unidad detrítica inferior en un conjunto con una sola denominación, aunque las características geológicas de los afloramientos de dicha unidad no permiten precisar la geometría exacta de dichos niveles yesíferos ni su posible correlación.

### YESOS DE EL MORRÓN

La parte superior de la Unidad detrítica inferior en la zona de Libros presenta la intercalación de un tramo yesífero, de potencia superior a los 20 m (Fig. 4). Dicho tramo se acuña hacia el N (no está presente en la zona de El Campo) y hacia el S, estando ausente al SE de las Minas de Libros. Este tramo, que aquí denominamos Yesos de El Morrón, fue diferenciado litológicamente por Gautier *et al.* (1972) y cartografiado separadamente por Moissenet (en Anadón *et al.*, 1990). Los Yesos de El Morrón están constituidos por niveles de orden métrico de yeso en cuya base se reconocen tres ciclos de lutitas rojas-yeso. Estos ciclos son de tipo intermedio entre *a* y *b*, con un término de yeso laminado sobre lutitas, a los que sigue una sucesión integrada fundamentalmente por yesos laminados sin apenas organización secuencial

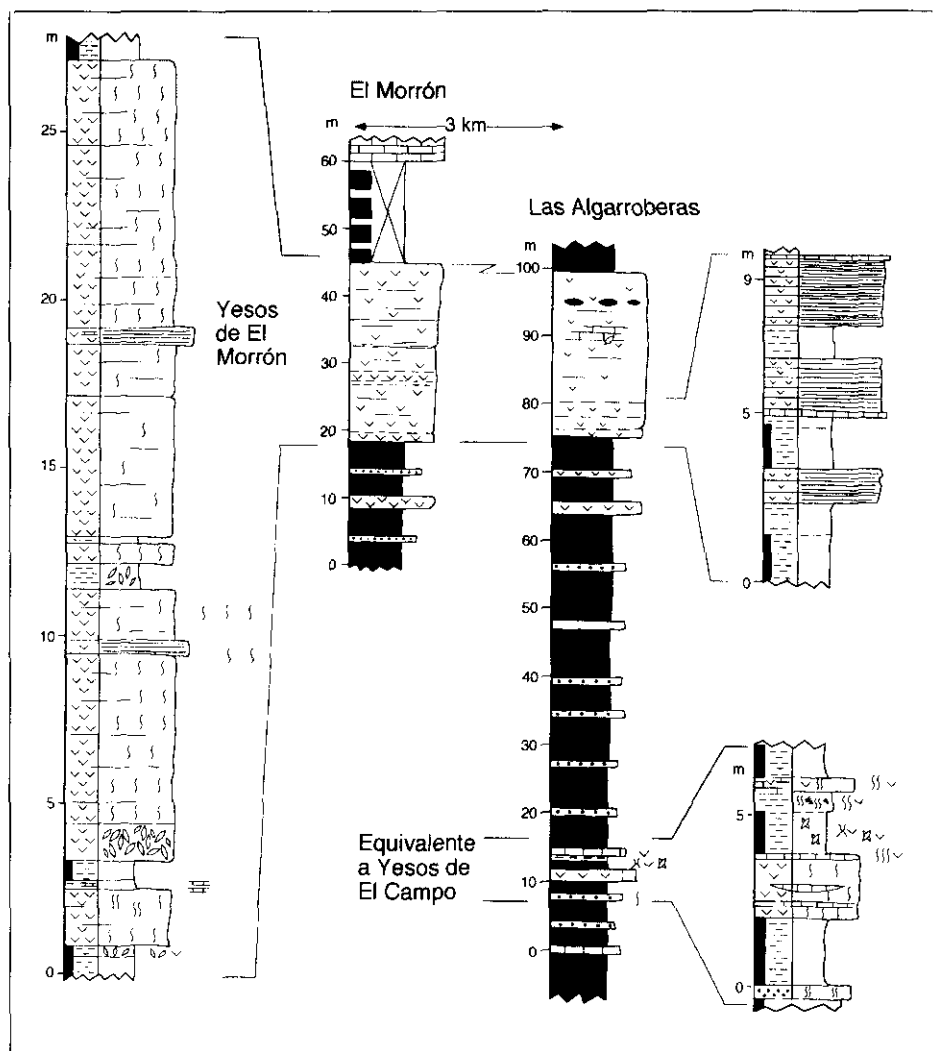


Fig. 4.—Unidades de yesos de la Unidad detrítica inferior en las zonas de El Morrón y de Las Algarroberas. Los Yesos de El Morrón están situados en la parte superior de la Unidad detrítica inferior; la columna de la izquierda presenta un detalle estos yesos en la localidad tipo. De la zona de Las Algarroberas se muestra un detalle de la parte inferior (cíclica) de los Yesos de El Morrón y de los yesos de la parte inferior de la Unidad detrítica inferior (equivalentes a los Yesos de El Campo).

Fig. 4.—Gypsum units of the Lower detrital Unit from the El Morrón and the Las Algarroberas areas. Left column: detailed log from the El Morrón Gypsum (type area). The Las Algarroberas section includes a detailed log of the cyclic lower portion of the El Morrón Gypsum, and a detail of the gypsum levels from the lower portion of the Lower detrital unit (coeval with the El Campo Gypsum).

cíclica. En la carretera de Libros a Las Minas se intercala hacia el techo de esta secuencia un nivel distintivo de sílex, de hasta 10 cm de espesor, de estructura interna laminada (residual de reemplazamiento de estos yesos). En esta misma zona es posible observar la sustitución de los yesos laminados por carbonatos diagenéticos de textura esparítica neomórfica. En el corte de El Morrón, de posición algo más marginal respecto a la distribución areal de esta unidad, la sucesión de yesos está constituida fundamentalmente por litofacies bioturbadas con escasas y delgadas intercalaciones de yeso laminado.

#### YESOS DE LIBROS-CASCANTE

Los Yesos de Libros-Cascante constituyen, de entre las unidades estudiadas, la que presenta mayores cambios laterales tanto de espesor como de litofacies yesíferas y de asociaciones con otras facies (Fig. 5).

En la carretera de Vilel a Cascante, esta unidad presenta una potencia de unos 35 a 40 m (columna 2, Cascante C, en Fig. 5). Hacia la parte basal destacan en ella varios ciclos del tipo *b* (Fig. 6a); progresivamente se va atenuando en ellos el término lutítico basal y, en el techo de la unidad, los ciclos van evolucionando hacia el tipo *c*. A su vez, en sentido lateral (hacia Vilel) esta unidad yesífera se acuña (columna 1, Fig. 5), pasando en primer lugar a un conjunto de lutitas y yeso masivo bioturbado con escasos ciclos de tipo *a*, seguidamente a niveles de lutitas, arenitas y conglomerados amarillentos, con cemento de yeso, y finalmente a estos mismos niveles detríticos con tonos rojos y sin yesos.

En el pueblo de Libros, la unidad presenta también una potencia aproximada de 30-40 m, aunque se organiza en ciclos perfectos de tipo *c*, caracterizados por la ausencia del término lutítico basal (Fig. 6b). Este hecho ha permitido su explotación en pequeñas canteras. Esta secuencia, no obstante, presenta un brusco cambio lateral de facies al E del pueblo, al otro lado del Río Turia, donde dominan las facies carbonatadas que intercalan sólo algún nivel de yeso masivo bioturbado, con ausencia de facies yesíferas laminadas.

En la zona de El Cuerno del Pinar esta unidad está constituida por una parte inferior de lutitas, yesos y calizas y una parte superior constituida fundamentalmente por yesos (columna 3, Fig. 5). En esta parte superior predominan las litofacies laminadas (Fig. 7), de modo similar a lo que ocurre en la parte superior de la columna de las Minas de Libros (columna 4, Fig. 5, y Anadón *et al.*, 1989; 1992).

Finalmente, en la zona de las Minas de Libros esta unidad muestra características propias de ambientes lacustres más profundos, con aguas episódicamente estratificadas. Se presentan principalmente litofacies yesíferas laminadas, que se acompañan de intercalaciones de pizarras bituminosas con diatomeas (Margalef, 1947), abundantes niveles carbonatados y mineralizaciones de azufre nativo. Los niveles de pizarras bituminosas se han interpretado



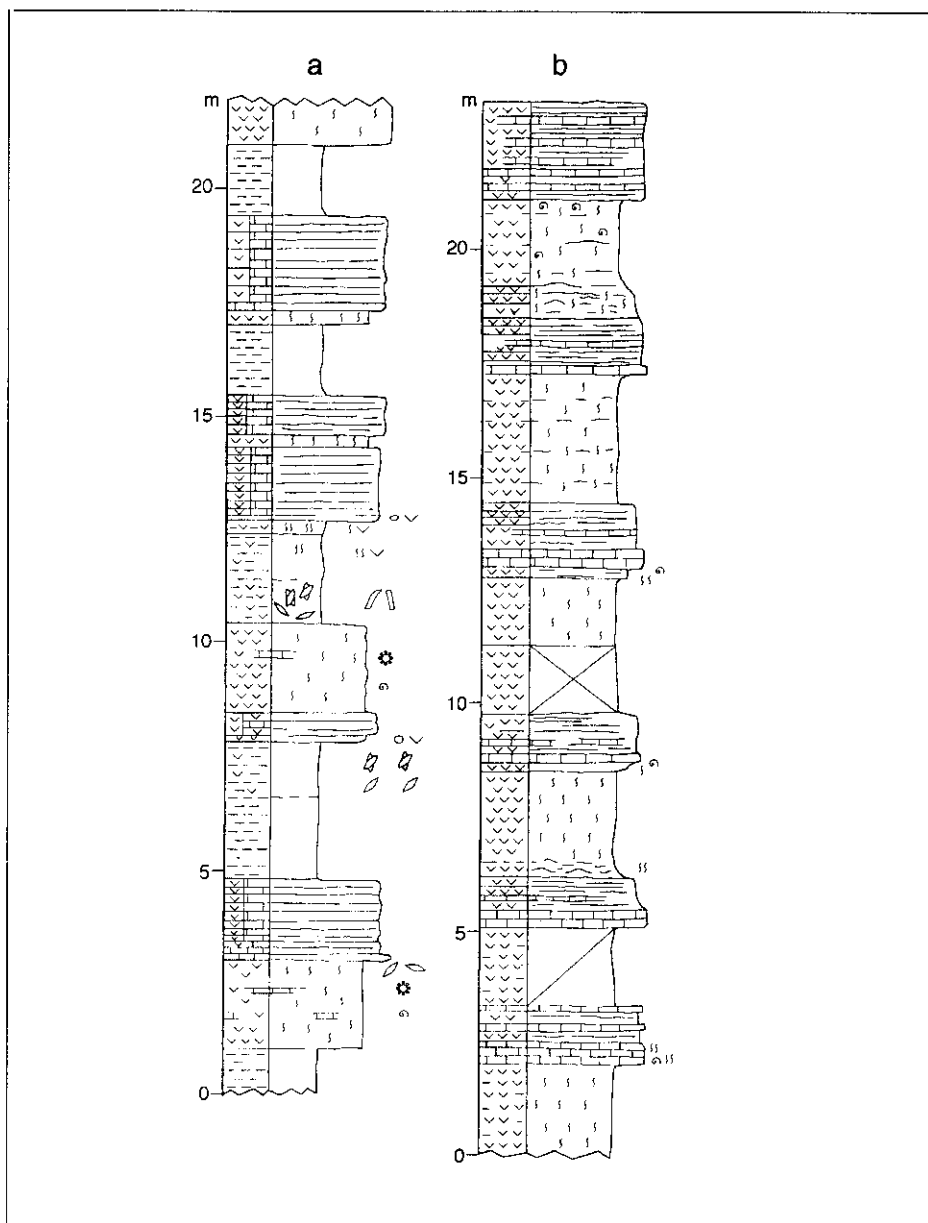


Fig. 6.—Ciclos en los Yesos de Cascante-Minas de Libros: a) Columna de la parte inferior de la unidad en Cañada Honda (Cascante), b) Columna de la zona al W del pueblo de Libros.

Fig. 6.—Cycles in the Cascante-Minas de Libros Gypsum: a) Lower part of the unit at Cañada Honda, Cascante; b) Log from the western part of the Libros village.

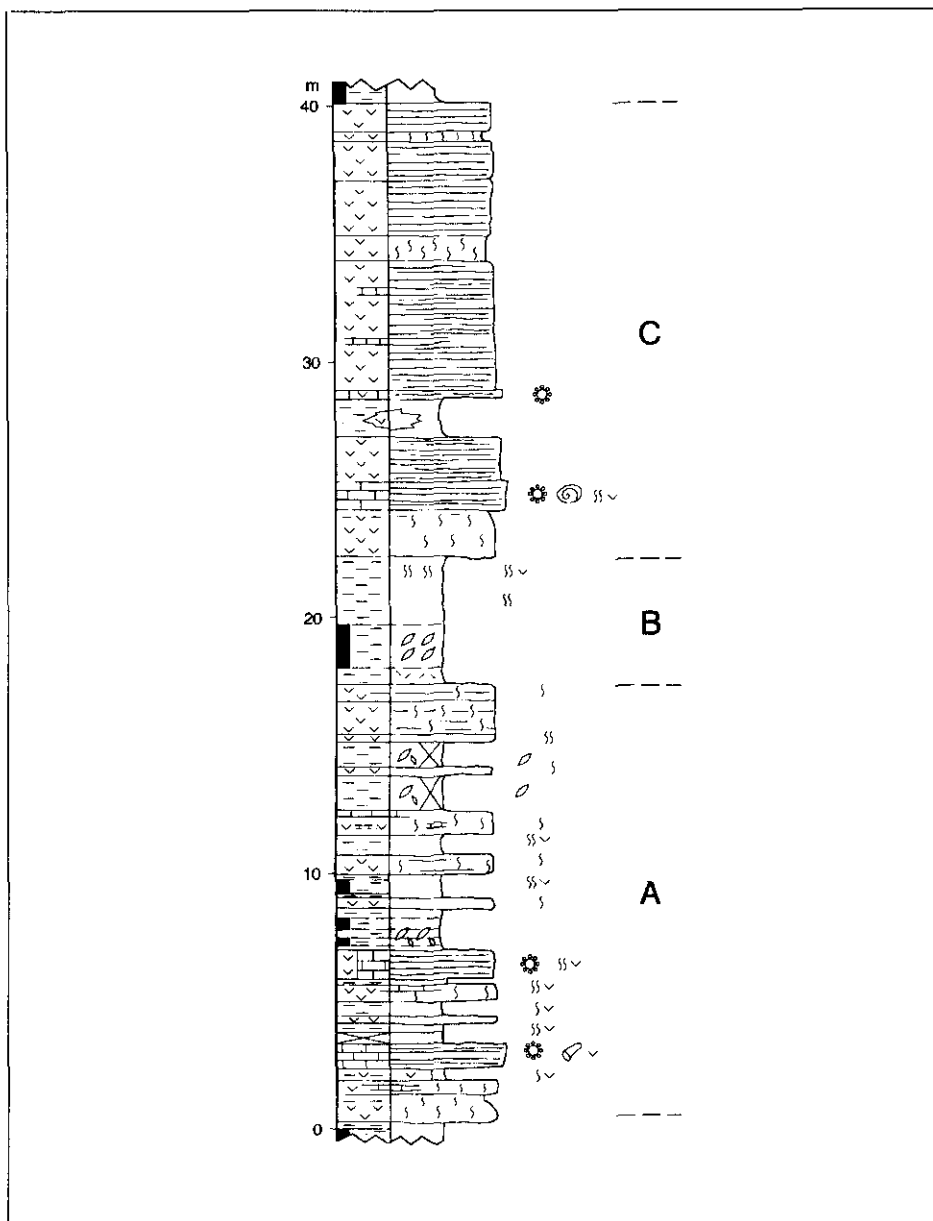


Fig. 7.—Detalle de los Yesos de Cascante-Minas de Libros (columna 3 en Fig. 5) en la zona de el Cuerno de El Pinar.

Fig. 7.—Detailed log from the Cascante-Minas de Libros Gypsum in the Cuerno de El Pinar area (log 3 in Fig. 5).

como originados en un lago relativamente profundo en etapas con fondo anóxico (Anadón, 1983; Anadón *et al.*, 1989). Son frecuentes las deformaciones de escala métrica de tipo *slumping* que denotan inestabilidad en el fondo sedimentario. También se observa la presencia de pequeñas estructuras nodulares en las láminas de yeso.

#### YESOS DE CUBLA

Al NNE de Cascante, sobre los niveles de calizas que constituyen la Muela de Cascante, al Este de la misma, se dispone una sucesión de calizas y lutitas que soportan una unidad yesífera que hemos denominado Yesos de Cubla. Esta unidad yesífera y los niveles infrayacentes hasta las calizas de la Muela de Cascante, presentan un dispositivo en discordancia progresiva (Fig. 8). Los niveles estratigráficamente más altos de este dispositivo, por encima de los Yesos de Cubla, lo constituyen las Calizas de El Pañuelo, que yacen en posición horizontal. Los datos bioestratigráficos proporcionados por Moissenet (inédito) indican que esta discordancia se originó durante el Turolense medio-superior: las Calizas de la Muela de Cascante han proporcionado (Moissenet, comunicación personal) faunas de las zonas 11 y 12 de Mein (1975), mientras que las Calizas de El Pañuelo han proporcionado faunas atribuibles al Turolense superior, zona MN 13 (Yacimiento de Cubla de Adrover *et al.*, 1978).

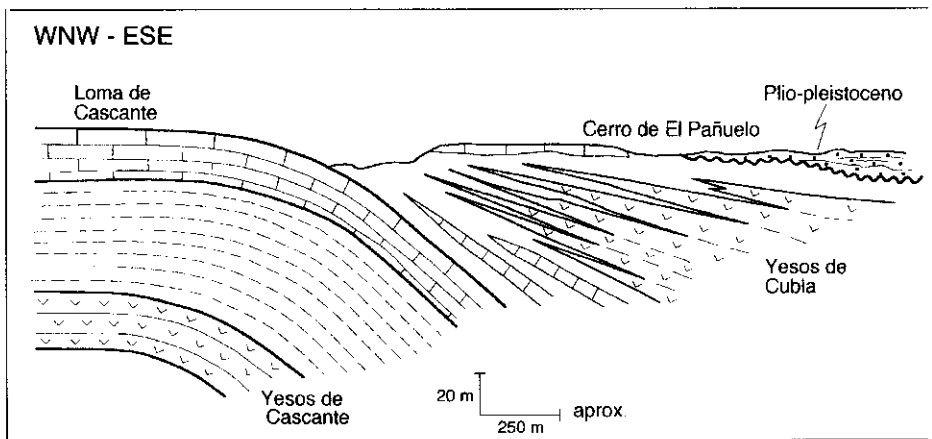


Fig. 8.—Esquema de la disposición estratigráfica de los Yesos de Cubla. El dispositivo en discordancia progresiva (cfr. Riba, 1976) se generó probablemente durante el Turolense medio al superior (ver explicación en el texto).

Fig. 8.—Stratigraphic arrangement of the Cubla Gypsum. The cumulative wedge system (progressive unconformity; see Riba, 1976) originated during the middle to late Turolian (see details in the text).



Esta unidad se compone de diversas capas de yeso con potencias individuales de hasta 10 m, intercaladas entre lutitas, que alcanzan en su conjunto hasta 40 m de potencia. No existen buenos afloramientos y se puede destacar que las litofacies presentes son de yesos masivos bioturbados, con intercalaciones más lutíticas en las que, a veces, se encuentran restos de gasterópodos.

## CARACTERÍSTICAS SEDIMENTOLÓGICAS Y PALEOAMBIENTALES

En su conjunto, las diferentes unidades yesíferas referidas dan muestras de una gradación progresiva de litofacies y de litologías asociadas, en función de la profundidad del medio deposicional, que reflejan los siguientes ambientes:

1) Zonas de encharcamiento y palustres, instaladas episódicamente sobre las llanuras de lutitas (llanuras lutíticas secas). Se caracterizan únicamente por depósitos de yesos masivos bioturbados de tipo microlenticular. Los Yesos de El Campo y los Yesos de Cubla están formados exclusivamente por estas litofacies, con ciclos de lutitas y yesos bioturbados del tipo *a*. El término lutítico puede estar más o menos bien representado dando lugar a espesores relativamente grandes de yeso bioturbado.

2) Zonas lacustres someras, con márgenes palustres bien definidos (litofacies masivas bioturbadas) y centros someros (litofacies yesíferas laminadas y niveles de calizas de carófitas y gasterópodos); se desarrolla una ciclicidad del tipo *b*, en función de las oscilaciones de la lámina de agua por inundación-desecación, marcadas respectivamente por la expansión de las facies laminadas y su posterior retracción, con dominancia de las facies bioturbadas. Estos ambientes y litofacies están bien caracterizados en los Yesos de El Morrón.

3) Lagos más profundos, dominados por las litofacies yesíferas laminadas de grano muy fino, en las que tiene lugar sulfato-reducción bacterial y procesos diagenéticos asociados (azufre nativo, calcita bio-diagenética —producto del metabolismo bacterial—, yeso diagenético, etc.). Hacia zonas marginales, por el contrario, se desarrollan progresivamente ciclos de los tipos *c*, *b* y *a*. Los Yesos de las Minas de Libros-Cascante son los representantes de este conjunto de ambientes, litofacies y ciclos. El carácter profundo de la zona más central de estos ambientes queda reflejado en la importancia de los procesos de *slumping*, con estructuras de deslizamiento de escala métrica, y la ausencia de ciclicidad bien manifiesta.

Los ciclos del tipo *c* (término basal de yeso masivo bioturbado seguido de término de yesos laminados), que reflejan una mínima contaminación de detríticos, se sitúan en posición intermedia entre el centro estable y profundo del lago y la zona más marginal con ciclos de tipo *b* (con término lutítico basal). El carácter de facies de «baja salinidad» atribuible a estas facies biotur-

badas fue puesto de manifiesto por Ortí (1987, 1988) para diversas unidades de «gipsilitas y gipsarenitas masivas microlenticulares» presentes en numerosas cuencas terciarias (Teruel, Ebro, Tajo, etc). En general, en todas ellas es patente la ausencia de cloruros asociados. Recientemente, Rodríguez Aranda (1995) y Rodríguez Aranda y Calvo (1995) consideran que las salmueras donde se formaron los yesos bioturbados eran de moderada salinidad (probablemente menor de 150 g/l).

Las diversas unidades evaporíticas tienen extensión geográfica y potencia muy variables y ocupan posiciones tanto centrales (amplios cuerpos centrales, ej. Yesos de Libros-Cascante) como marginales (pequeñas unidades de borde de cuenca, muy localizadas, ej. Yesos de Cubla). Su desarrollo parece estar determinado por el sistema de fracturas de zócalo que controla la subsidencia en cada sector de la cuenca. Igualmente su desarrollo puede estar condicionado por la disponibilidad en los márgenes de la fosa (áreas fuente próximas) de materiales evaporíticos triásicos aptos para ser reciclados.

De acuerdo con los datos isotópicos de que se dispone hasta el momento (Utrilla, 1989; Utrilla *et al.*, 1992), para los diversos horizontes estratigráficos yesíferos que entre el Oligoceno y el Mioceno inferior se desarrollan en la fosa de Teruel a lo largo de más de 60 km entre las zonas de Orrios, al N, y de Libros, al S, parece demostrado que las soluciones sulfatadas son aportadas fundamentalmente por los materiales evaporíticos del Triásico (y quizás de la base del Lías) aflorantes a ambos lados de la fosa, y que también constituyen parte de su basamento. De acuerdo con todo lo anterior, puede concluirse que tres pueden haber sido los factores determinantes, en el tiempo y en el espacio, de la sedimentación evaporítica en esta fosa:

- 1) Un contexto climático favorable a lo largo de todo el Mioceno, en términos generales, a la precipitación de evaporitas.
- 2) Una subsidencia diferencial para cada sector de la fosa, que va marcando la evolución de los depocentros.
- 3) El suministro de sulfatos a partir de evaporitas triásicas recicladas.

Aparentemente, la sedimentación evaporítica requirió de la conjunción de estos factores y, en ausencia de alguno de los mismos, la sedimentación de carbonatos lacustre/palustres o de amplias llanuras lutíticas pudo ocupar el espacio de las evaporitas.

A su vez, la aparente falta de cloruros en las diferentes unidades evaporíticas de la fosa de Teruel podría tener relación con alguno de estos tres factores principales: 1) falta de aridez suficiente, debido a condiciones climáticas locales. 2) Ausencia de cuerpos salinos (halíticos) importantes en las evaporitas mesozoicas del entorno de la fosa; sin embargo este factor parece improbable, dadas las características litoestratigráficas del Triásico evaporítico regional (Ortí, 1991). 3) Existencia de un drenaje subterráneo de soluciones densas hacia afuera de la fosa. Este último factor, que comienza a ser considerado como decisivo en los cálculos de balance hídricos de las cuencas eva-

poríticas desde los trabajos de Wood y Sanford (1990) y Sanford y Wood (1991), puede también ser contemplado aquí dado el carácter de graben complejo longitudinal e intensamente fracturado de la cuenca de Teruel. Todos estos factores ayudarían también a explicar la dominancia de yeso primario en todas las unidades evaporíticas de la cuenca y la ausencia de litofacies nodulares que impliquen una diagénesis anhidrítica, ya que las salmueras no llegarían a adquirir el grado de concentración necesario.

## CONCLUSIONES

El relleno sedimentario neógeno de la fosa de Teruel en la zona de Libros-Cascante presenta diversas unidades de yesos cuyas edades se sitúan entre el Aragoniense inferior y el Turolense superior: Yesos de El Campo y de El Morrón (Aragoniense inferior), Yesos de Libros-Cascante (Vallesiense) y Yesos de Cubla (Turolense).

La distribución e importancia volumétrica de estas unidades es diversa, desde pequeños cuerpos lenticulares de pocos centenares de metros de longitud y pocos metros de espesor (Yesos de El Campo) a unidades que se presentan en casi toda el área mencionada (Yesos de Libros-Cascante). Algunas corresponden a cuerpos evaporíticos marginales, mientras que otras corresponden a cuerpos centrales.

Las litofacies yesíferas consisten en yesos primarios, generalmente de grano fino, microlenticulares, y más raramente anhedrales, presentando texturas masivo-bioturbadas o laminadas. Se han diferenciado tres tipos de secuencias cíclicas en las que intervienen términos de lutita, yeso masivo bioturbado y yeso laminado, pudiendo faltar en alguna de estas secuencias algún término.

Las diferentes unidades muestran diversas distribuciones de litofacies y secuencias que reflejan diversos ambientes, entre los que se han diferenciado: 1) Zonas de encharcamiento palustre, instaladas sobre llanuras de lutitas. Los depósitos que se originaban en estas zonas eran de yesos masivos bioturbados. 2) Zonas lacustres someras con márgenes palustres bien definidos donde se depositaban yesos masivos bioturbados y zonas centrales someras, donde se depositaban yesos laminados y calizas con carófitas y gasterópodos. 3) Lagos más profundos, con predominio de sedimentación de yesos laminados y de pizarras bituminosas. En relación con estas facies se generaron depósitos de azufre nativo. Hacia zonas marginales del sistema lacustre se desarrollaron litofacies y ciclos típicos de zonas lacustres someras o de zonas de encharcamiento.

La sedimentación evaporítica en el tiempo y en el espacio en la fosa de Teruel obedece a la conjunción de factores climáticos favorables, subsidencia diferencial para cada sector de la fosa, que va marcando la evolución de los depocentros y reciclaje de evaporitas triásicas.

La aparente falta de cloruros en las diferentes unidades evaporíticas de la fosa de Teruel podría tener relación con una aridez insuficiente o la existencia de un drenaje subterráneo de soluciones densas hacia afuera de la fosa. Este hecho ayudaría también a explicar la concentración relativamente baja de las soluciones originales que se manifiesta por la dominancia de yeso primario y ausencia de anhidritización.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado en el marco de los proyectos DGICYT PB90-0080 y PB90-0485. Queremos rendir desde aquí un homenaje póstumo a Etienne Moissenet, por su dedicación y empeño en descifrar la estratigrafía y evolución geomorfológica de la fosa de Teruel. Hemos de destacar la contribución prestada por Etienne a este trabajo mediante la discusión en su día con uno de los autores (P.A.) de la bioestratigrafía y de la cartografía de las unidades neógenas y la aportación de datos inéditos sobre las mismas. Queremos manifestar también nuestro agradecimiento a J. Mandado y a J. M.<sup>a</sup> Salvany por la revisión crítica del manuscrito.

## REFERENCIAS

- ADROVER, R. (1983, 1986): *Nuevas faunas de roedores en el Mio-plioceno continental de la región de Teruel (España). Interés biostratigráfico y paleoecológico*, Tesis Univ. Lyon I (1983), Publ. Inst. Estudios Turolenses, Teruel, 1986, 433 pp.
- MEIN, P. y MOISSENET, E. (1978): «Nuevos datos sobre la edad de las formaciones continentales neógenas de los alrededores de Teruel», *Estudios Geol.*, 34: 205-214.
- ANADÓN, P. (1983): «Características generales de diversas cuencas lacustres terciarias con pizarras bituminosas del NE de la Península Ibérica», *Com. X Congr. Nacional de Sedimentología*, Menorca, 1, 9-12.
- CABRERA, L., JULIÀ, R., ROCA, E. y ROSELL, L. (1989): «Lacustrine oil-shale basins in Tertiary Grabens from NE Spain (Western European Rift System)», *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecology*, 70: 7-28.
- y MOISSENET, E. (1996): «Neogene basins in the Eastern Iberian Range», en P. F. Friend y C. J. Dabrio (eds.). *Tertiary Basins of Spain*. Cambridge Univ. Press., 68-76.
- MOISSENET, E. y SIMÓN, J. L. (1990): «The Neogene Grabens of the Eastern Iberian Chain (Eastern Spain)», en J. Agustí y J. Martinell (eds.) *Iberian Neogene Basins. Field Guidebook. Paleont i Evol. mem. Especial*, 2: 97-130.
- ROSELL, L. y TALBOT, M. (1992): «Carbonate replacement of lacustrine gypsum deposits in two Neogene continental basins, eastern Spain», *Sedimentary Geology*, 78: 201-216.
- AZNAR, J. M., OLIVÉ, A., MOISSENET, E., HERNÁNDEZ, A. y PORTERO, J. M. (1983): *Mapa Geológico de España, E. 1:50.000. MAGNA, Hoja n.º 589 (Terriente)*, Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria y Energía, Madrid, 80 pp.

- BAKX, L. A. J. (1935): «La Géologie de Cascante del Rio et de Valacloche (Espagne)», *Leidse Geol. Medel.*, 7: 157-220.
- BRAUN, M. (1841): «Note sur le gisement de soufre et sur le terrain que le renferme dans la province de Teruel», *Bull. Soc. Géol. France*, 12: 169.
- BROEKMAN, J. A. (1983): «Environments of deposition, sequences and history of Tertiary continental sedimentation in the Basin of Teruel-Ademuz (Spain)», *Kon. Ned. Akad. Wetensch. Proc.*, ser. B 86: 25-37.
- BESEMS, R. E., VAN DAALLEN, P. y STEENSMA, K. (1983): «Lithostratigraphy of Tertiary continental deposits in the Basin of Teruel-Ademuz (Spain)», *Kon. Ned. Akad. Wetensch. Proc.*, ser. B 86: 1-16.
- BUSTILLO, M. A. y DÍAZ MOLINA, M. (1980): «Silex "tobáceos" en el Mioceno inferior continental (provincia de Cuenca). Un ejemplo de silicificaciones de paleosuelos en ambiente de lago-playa», *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Geol.)*, 78: 227-241.
- CALDERÓN, S. (1877): «Adición al catálogo de los vertebrados fósiles de España», *Act. Soc. Esp. Hist. Nat.*, 5: 27-32.
- CORTÁZAR R, D. (1885): «Bosquejo físico-geológico y minero de la Provincia de Teruel», *Bol. Com. Mapa Geol. España*, 12: 262-607.
- DUPUY DE LOME, E. y FERNÁNDEZ DE CALEYA, C. (1918): «Nota acerca de un yacimiento de mamíferos fósiles en el Rincón de Ademuz (Valencia)», *Bol. Inst. Geol. Min. España*, 19: 299-348.
- GAUDANT, J. (1984): «Sur les poissons fossiles (Teleosteens, Cyprinidae) des gypses turoliens du Fossé de Teruel: Essai d'approche paléocologique», *Estudios Geol.*, 40: 463-472.
- GAUTIER, F., MOISSENET, E. y VIALARD, P. (1972): «Contribution à l'étude stratigraphique et tectonique du fossé néogène de Teruel (Chaînes ibériques, Espagne)», *Bull. Mus. Ntn. Hist. Nat. Paris*, 77: 179-207.
- KIEFER, E. (1988): «Facies development of a lacustrine tecto-sedimentary cycle in the Neogene Teruel-Ademuz Graben (NE Spain)», *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.*, 1988 (6): 327-360.
- MARGALEF, R. (1947): «Observaciones micropaleontológicas sobre los yacimientos lacustres miocénicos de Libros (Teruel)», *Estudios Geol.*, 5: 171-177.
- MEIN, P. (1975): «Résultats du groupe de travail des vertébrés: Biozonation du Neogène méditerranéen a partir des mammifères» en: J. Senes (ed.). *Report on activity of the RCMNS working groups (1971-1975)*, Bratislava, 78-81.
- NAVAS, L. (1922 a): «Algunos fósiles de Libros (Teruel)», *Bol. Soc. Iber. Ciencias Nat.*, 21: 52-61.
- (1922 b): «Algunos fósiles de Libros (Teruel)», Adiciones y correcciones, *Bol. Soc. Iber. Ciencias Nat.*, 21: 172-175.
- ORTÍ, F. (1987): «La zona de Villed-Cascante-Javalambre. Introducción a las formaciones evaporíticas y al volcanismo jurásico» en M. Gutiérrez Elorza y A. Meléndez (eds.), *XXI Curso de Geología Práctica de Teruel*: 56-95.
- (1988): «Sedimentación evaporítica continental durante el Terciario en la Península Ibérica: aspectos generales», *II Congr. Geol. España*, Granada, 1988. Simposios: 509-518.
- (1991): «Las formaciones yesíferas en la provincia de Teruel» en M. Gutiérrez y A. Meléndez (eds.), *Introducción a la Geología de la Provincia de Teruel*. Inst. Estudios Turolenses, 137-146.

- GARCÍA VEIGAS, J., ROSELL, L., ROUCHY, J. M., INGLÉS, M., GIMENO, D. y KASPRZYK, A. (1993): «Correlación litoestratigráfica de las evaporitas messinienses en las cuencas de Lorca y Fortuna (Murcia)», *Geogaceta*, 14: 98-101.
- ROSELL, L., FALLICK, A. y UTRILLA, R. (1994): «Yesos de Calatayud: aplicación del estudio de facies y geoquímica de sulfatos al conocimiento de un sistema evaporítico», *Geogaceta*, 15: 74-78.
- SALVANY, J. M., ROSELL, L. e INGLÉS, M. (1989): «Sistemas lacustres evaporíticos del Terciario de la Cuenca del Ebro», *Geogaceta*, 6: 103-104.
- RIBA, O. (1976): «Syntectonic unconformities of the Alto Cardener, Spanish Pyrenees: a genetic interpretation», *Sediment. Geol.*, 15: 213-233.
- RODRÍGUEZ ARANDA, J. P. (1992): «Significado de bioturbaciones en un medio evaporítico continental (Mioceno de la Cuenca de Madrid)», *Geogaceta*, 12: 113-115.
- (1995): *Sedimentología de los sistemas de llanura lutítica-lago salino del Mioceno en la zona oriental de la Cuenca de Madrid (Tarancón-Auñón)*, Tesis doctoral inédita. Univ. Complutense de Madrid, 474 pp.
- y CALVO, J. P. (1995): «Yesos bioturbados en sucesiones continentales: facies indicativas de ambientes evaporíticos de moderada salinidad», *Comunicaciones XIII Congr. Esp. Sedimentología*, Teruel, 161-162.
- ROMAN, F. (1927): «Sur quelques restes de mammifères découverts par le R. P. Longinos Navas dans les argiles pontiques de Libros (Teruel)». *Bull. Soc. Geol. France*, 27: 379-385.
- ROYO GÓMEZ, J. (1921): «Los peces fósiles de Los Aljezares de Teruel», *R. Soc. Esp. Hist. Nat.*, tomo 50 *aniv.*, 19-23.
- SALVANY, J. M., MUÑOZ, A., y PÉREZ, A. (1994): «Nonmarine evaporitic sedimentation and associated diagenetic processes of the southwestern margin of the Ebro Basin (Lower Miocene)», España, *Jour. Sed. Research*, A64: 190-203.
- SANFORD, W. E. y WOOD, W. W. (1991): «Brine evolution and mineral deposition in hydrologically open evaporite basins», *Amer. Jour. Science*, 291: 687-710.
- UTRILLA, R. (1989): *Les composicions isotòpiques ( $\delta^{18}O$ ,  $\delta^{34}S$ ) del sulfat, com a indicadors de l'origen de les evaporites del Mesozoic i del Cenozoic de la Península Ibèrica i les illes Balears*, Tesis doctoral. Universitat de Barcelona, 276 pp.
- PIERRE, C., ORTÍ, F. y PUEYO, J. J. (1992): «Oxygen and sulphur isotope compositions as indicators of the origin of Mesozoic and Cenozoic evaporites from Spain», *Chemical Geology (Isotope Geosc. Sect.)*, 102: 229-244.
- WOOD, W. W. y SANFORD, W. E. (1990): «Ground-water control of evaporite deposition», *Economic Geology*, 85: 1226-1235.

*Manuscrito recibido: 29 de junio 1995*

*Manuscrito aceptado: 21 enero 1996*