



Evolución de los sistemas lacustres del margen ibérico de la Depresión del Ebro (sectores central y occidental) durante el Mioceno

A. PÉREZ, A. MUÑOZ, G. PARDO y J. VILLENA

Dpto. Ciencias de la Tierra. Area de Estratigrafía. Universidad de Zaragoza. 50009 Zaragoza

RESUMEN

Las facies lacustres identificadas en las distintas unidades tectosedimentarias del margen ibérico de la Depresión del Ebro consisten principalmente en calizas micríticas, calcarenitas y yesos. El análisis de dichas facies y sus asociaciones permite establecer cuatro tipos de sistemas lacustres; dos de ellos responden a sistemas lacustres carbonatados someros cuyas zonas marginales están caracterizadas bien por el desarrollo importante de vegetación, o bien por la existencia de depósitos con alto contenido en calcita magnesiana y por presentar calizas con pseudomorfos de yeso. El tercer tipo de sistemas consiste en lagos afectados por una fuerte dinámica de oleaje que se manifiesta por el desarrollo de ripples y estratificación cruzada hummocky en litofacies calcareníticas. Por último se reconocen complejos de playa-lake donde se originan importantes depósitos de sulfatos.

Estos sistemas lacustres se encuentran, en general, relacionados lateralmente con sistemas de abanicos aluviales, dando lugar a dispositivos retrogradantes o progradantes en relación con situaciones de actividad tectónica decreciente o creciente respectivamente.

Se pone de manifiesto una evolución en los sistemas lacustres a lo largo del Mioceno en el sentido de dominar los complejos de playa-lake con depósitos de yeso y halita en la primera unidad y sistemas de lagos carbonatados en las unidades superiores. Esta evolución se puede interpretar en función de una tendencia general del clima hacia una mayor humedad; si bien no se puede descartar que tal evolución sea debida a la creciente afluencia de aguas de procedencia pirenaica que alcanzan progresivamente los sectores meridionales de la Cuenca del Ebro.

Palabras clave: Sistemas lacustres. Unidades tectosedimentarias. Dispositivos sedimentarios. Neógeno. Cuenca del Ebro.

ABSTRACT

The four Neogene tectosedimentary units of the Iberian margin of the Ebro Basin consist of alluvial fan deposits and lacustrine facies. By means of the study of the lacustrine facies assemblages four types of lacustrine environments can be defined:

A) Carbonate lacustrine systems constituted by marginal areas, with development of typical palustrine environments (limestone facies with bioturbation and nodules, showing the existence of nearly constant vegetal cover), and inner zones characterised by massive bioclastic limestone facies with charophytes, gastropods and ostracodes, and limestone facies with root traces. These systems correspond to shallow lakes where any water table fluctuation can induce the change from inner to marginal area conditions.

B) Shallow carbonate lakes characterized by a facies assemblage, consisting of carbonatic lutites, brecciated limestones (both of them with gypsum pseudomorphs) and high magnesium laminated limestones. This facies assemblage shows the existence of high salinity waters and periodic desiccation events with evaporite pumping processes.

C) Wave-dominated lakes with wave ripples and hummocky cross stratification besides high biological activity generating large bioclastic accumulations (gastropods, ostracodes, bivalves and foraminifera).

D) High salinity lakes defined by evaporites (nodulated, selenitic and microcrystalline gypsum and halite) whose lateral transition and associations with other facies, mainly of lutites with gypsum, indicate the whole development of a playa-lake complex.

On the basis of alluvial and lacustrine facies distribution, the depositional systems developed in the four tectosedimentary units can be established. The first unit records a large development of

playa-lake-systems (type D) with the existence of a main central lake (100 km. length) surrounded by smaller marginal lakes. Only in a local manner there exist shallow carbonate lakes (type A). The alluvial systems reach areas of about 25 km. (Fig. 10). The second unit displays the existence of shallow, high salinity carbonate lakes (type B) or lakes with an important development of macrophytes in their marginal zones, with extensions up to 75 x 25 km. The dimensions of laterally related alluvial systems range between 15 and 30 km. The lacustrine systems of the third unit, with dimensions of 140 x 75 km., correspond to shallow carbonate lakes (type A) and wave-dominated lakes (type C). In the latter, wave ripples and hummocky cross stratification developed. In this unit alluvial systems are restricted to the western sector. Finally the fourth unit only shows lacustrine (oncolithic limestone facies) and alluvial fan deposits in a reduced and local areas.

So, a change in the lacustrine systems through Miocene can be stated. These systems evolve from the playa-lake complex in the first unit to carbonate lake systems in the other ones.

Keywords: Lacustrine systems. Tectosedimentary-units. Depositional systems. Neogene. Ebro Basin.

INTRODUCCIÓN

La Depresión del Ebro, delimitada por tres sistemas montañosos importantes: Pirineos, Cordillera Ibérica y Costero-catalana, se configura como una cuenca de antepaís del orógeno pirenaico que desde el Eoceno superior posee un relleno de sedimentos continentales. En el sector riojano-aragonés del margen ibérico (Fig. 1) la sucesión terciaria viene representada por materiales tanto paleógenos como neógenos. Los primeros presentan afloramientos muy reducidos localizados en los extremos oriental y occidental de la región estudiada y constituyen (Pérez *et al.*, 1985 y Muñoz *et al.*, 1986-1987) sucesiones fuertemente tectonizadas compuestas mayoritariamente por facies terrígenas.

Por el contrario, los depósitos neógenos, de amplia extensión de afloramiento, integran un conjunto prácticamente horizontal constituido por facies detríticas

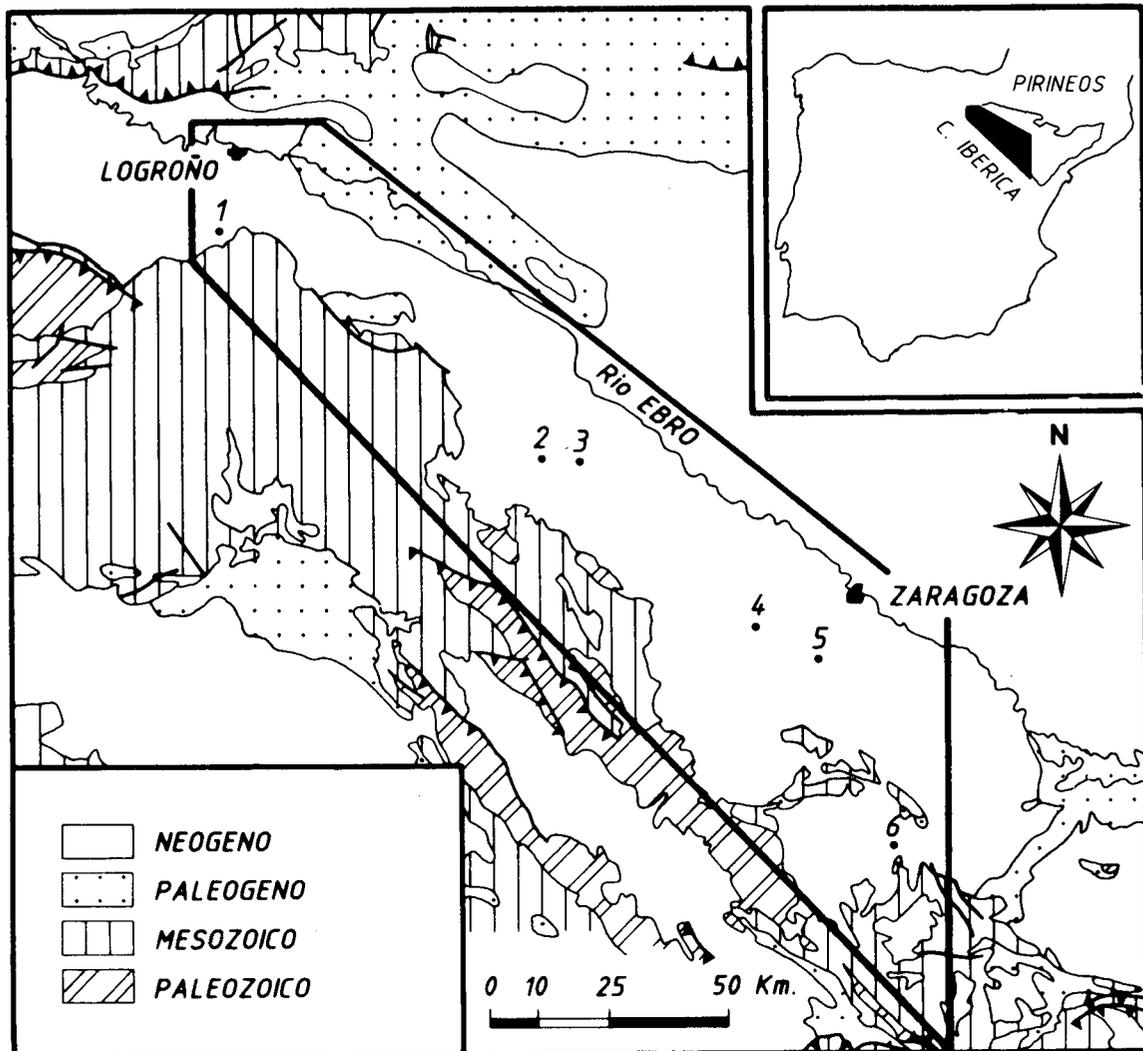


Figura 1.- Mapa de situación y localización de perfiles (1.-Sector occidental. 2.-El Buste. 3.-Borja. 4.-La Muela. 5.-La Plana. 6.-Moyuela)

Figure 1.- Location map and profiles (1.-Westernmost sector. 2.- El Buste. 3.-Borja. 4.-La Muela. 5.-La Plana. 6.-Moyuela).

y químicas (carbonatos y yesos) cuya sedimentación se realiza en sistemas de abanicos aluviales y áreas lacustres (Birnbaum, 1976; Quirantes, 1969-1978; Mandado, 1987; Pérez *et al.*, 1988a; Salvany, 1989a; Pérez, 1989).

Las facies propiamente lacustres presentan un notable desarrollo, siendo el objeto del presente trabajo la elaboración de una síntesis evolutiva paleoambiental y paleogeográfica de los diferentes sistemas lacustres reconocidos a lo largo del Mioceno y cuyas caracterís-

ticas particulares en cuanto a descripción detallada de litofacies, se recogen en los trabajos de Salvany (1989a,b), Pérez (1989) y Salvany y Muñoz (1989).

CONTEXTO ESTRATIGRÁFICO

Pérez *et al.*, (1988b) definen para el Neógeno de este sector de la Depresión del Ebro cuatro *unidades*

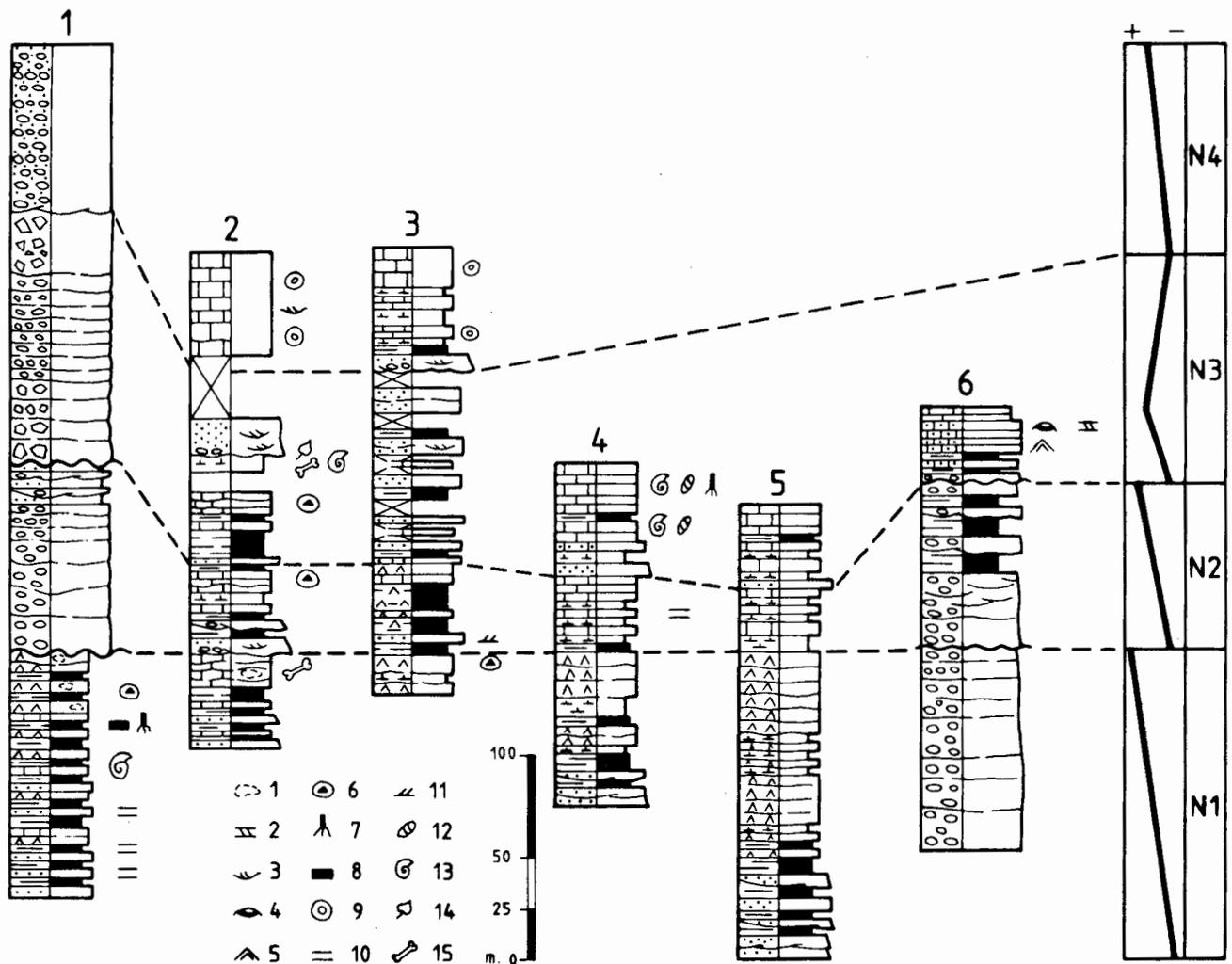


Figura 2.- Perfiles representativos de las unidades. (1.-Nodulización. 2.-Estratificación cruzada planar. 3.-Estratificación cruzada en surco. 4.-Estratificación cruzada Hummocky. 5.-Ripples de oscilación. 6.-Nódulos de sílex. 7.-Bioturbación por raíces. 8.-Niveles de carbón. 9.-Oncolitos. 10.-Laminación horizontal. 11.-Laminación cruzada. 12.-Carofitas. 13.-Gasterópodos. 14.-Restos vegetales. 15.-Restos de vertebrados).

Figure 2.- Representative profiles of units. (1.- Nodulisation. 2.-Planar cross-stratification. 3.-Trough cross-stratification. 4.-Hummocky cross-stratification. 5.-Wave ripples. 6.-Chert nodules. 7.-Root traces. 8.-Coal. 9.-Oncolites. 10.-Horizontal lamination. 11.-Cross-lamination. 12.-Charophytes. 13.-Gastropods. 14.-Vegetal remains. 15.-Vertebrate remains)

tectosedimentarias (U.T.S.) que denominan como N1, N2, N3 y N4, cuyos límites vienen dados por rupturas sedimentarias que se manifiestan como saltos bruscos o bien como cambios de signo de negativo a positivo en la evolución secuencial, correspondiendo respectivamente a rupturas de tipo 3 ó 1 de González *et al.*, (1988). Las rupturas que delimitan en base y techo a las unidades N1 y N2 se manifiestan como discordancias en el borde de la cuenca, por tanto tales unidades son UTS fundamentales en el sentido de Villena *et al.*, (in González *et al.*, op. cit.). La unidad N4 no presenta afloramientos en el margen de la cuenca, y por tanto se desconoce allí su relación estratigráfica con la unidad N3.

En la figura 2 se representan los perfiles más significativos de estas unidades y su evolución vertical. En base a estos datos ha sido elaborada la figura 3 en la que se sintetizan las características generales de las unidades matizando su edad, evolución vertical, lito-

logía, potencia, situación de yacimientos de vertebrados conocidos dentro de la región, minerales principales, contenido orgánico, estructuras sedimentarias y actividad tectónica deducida de la evolución vertical de las unidades, como veremos más adelante.

En la columna de litología se ha expresado la proporción relativa entre las diferentes litologías observadas en el sector central de este margen ibérico, puesto que en la región occidental las facies presentes en todas las unidades son casi exclusivamente conglomeráticas.

Los yacimientos de vertebrados citados han sido estudiados por Crusafont *et al.* (1966), Astibia *et al.* (1984), Pérez *et al.* (1985), Valdes *et al.* (1986), Azanza *et al.* (1988) y Pérez (1989).

La composición mineralógica es conocida gracias a los trabajos de González y Galan (1984), Villena *et al.* (1987a) y Mata *et al.* (1988, 1989).

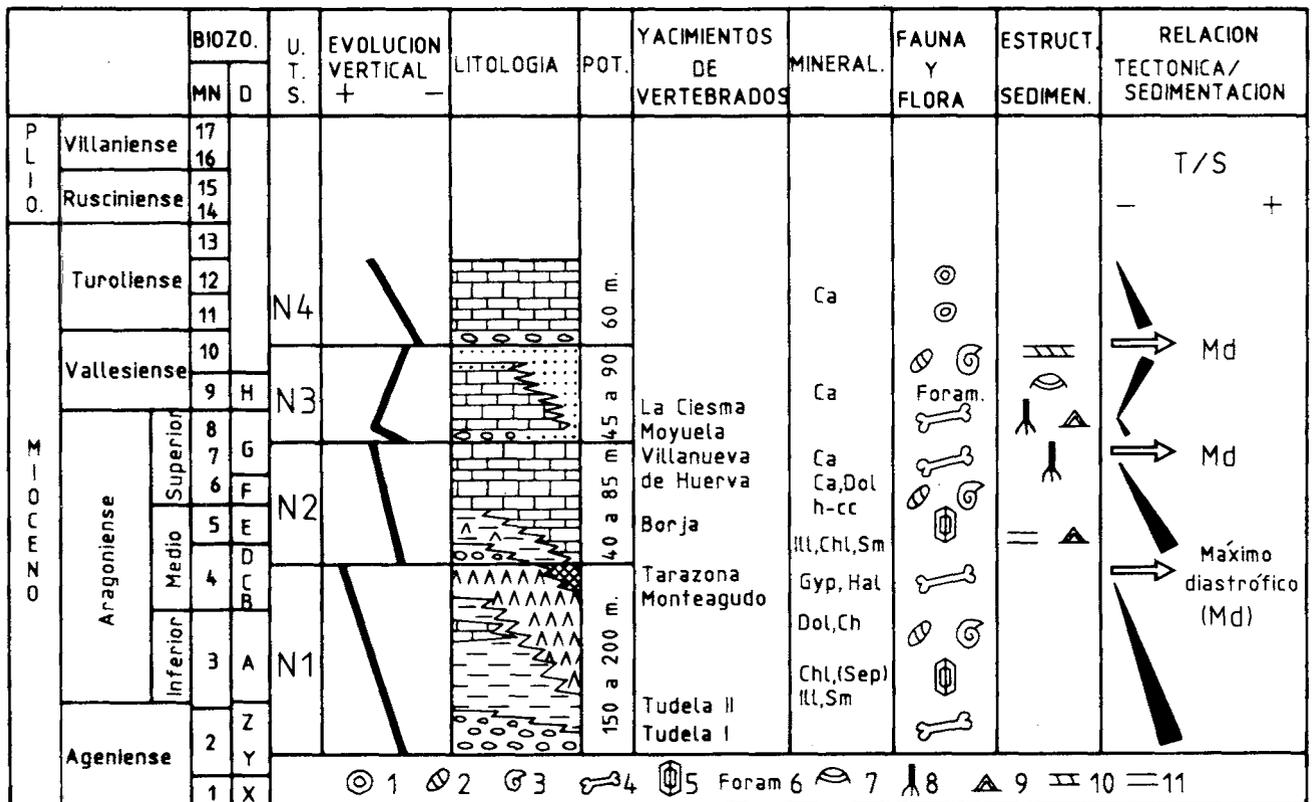


Figura 3.- Síntesis estratigráfica. (1.-Oncolitos. 2.-Charofitas. 3.-Gasterópodos. 4.-Restos de vertebrados. 5.-Ostrácodos. 6.-Foraminíferos. 7.-Estratificación cruzada hummocky. 8.-Bioturbación por raíces. 9.-Ripples simétricos. 10.- Megaripples. 11.- Laminación horizontal.

Figure 3.- Stratigraphic synthesis. (1.-Oncolites. 2.-Charophytes. 3.-Gastropods. 4.-Vertebrate remains. 5.-Ostracodes. 6.-Foraminifera. 7.-Hummocky cross stratification. 8.-Root traces. 9.-Simetrical ripples. 10.-Megaripples. 11.-Horizontal lamination.

ANÁLISIS DE LAS ASOCIACIONES DE FACIES LACUSTRES

En los perfiles representados en la figura 2 se ilustra la distribución vertical de facies, tanto detríticas como químicas, identificadas en las diferentes unidades.

Del análisis de las facies carbonáticas y evaporíticas que afloran en superficie, es posible diferenciar facies micríticas, calcareníticas y yesíferas (Fig. 4) que se agrupan según diferentes secuencias en las que pueden intervenir facies terrígenas (esencialmente lutíticas y de areniscas de grano fino).

En base a las relaciones laterales de facies observadas se establecen cuatro asociaciones que caracterizan otros tantos tipos de sistemas lacustres. Las características de cada una de ellas son las siguientes:

Asociación A:

Está formada por facies micríticas (Fig. 4) que se presentan como calizas masivas bioclásticas (Cmb), calizas bioturbadas por raíces (Cb) y calizas nodulosas (Cn, Cf y Ci) y facies de lutitas carbonatadas (Lc y Lco), pudiendo asociarse además facies terrígenas:

FACIES	CARACTERÍSTICAS
Cmb	Biomicroritas masivas. Restos de ostrácodos, charáceas y gasterópodos.
Cl	Micritas laminadas. Presencia de calcita magnesiana y oolitos calcáreos.
Co	Calizas micríticas con oncolitos (algas azules-verdes).
Cb	Calizas bioturbadas por raíces.
Cn, Cf, Ci	Calizas micríticas con nodulizaciones (Cn), porosidad fenestral (Cf) o intraclastos (Ci).
Cy	Calizas con pseudomorfo de yeso.
Lc, Lco, Lcy	Lutitas carbonatadas (Lc), con niveles carbonosos (Lco) o yeso (Lcy).
CR, CHCS CMR, CMF	Calcarenitas con ripples (CR), estratificación cruzada hummocky (CHCS), megaripples (CMR) o macroformas de foresets (CMF).
Yn, Ys, Ymc	Yesos nodulosos (Yn), con textura selenítica (Ys) o yesos microcristalinos (Ymc).

Figura 4.- Características generales de las facies lacustres.

Figure 4.- General characteristics of the lacustrine facies.

lutitas masivas de color rojo (Fm) y ocasionalmente areniscas laminadas con laminación horizontal (Sh) y laminación cruzada (Sr).

Estas facies, reconocibles ampliamente en la mitad inferior del perfil 3 (Borja) y parte superior de los perfiles 4 y 5 (La Muela y La Plana, Fig.2), se agrupan en secuencias de potencia entre 1 y 5 m. de cuyo análisis se puede abstraer una secuencia tipo (Fig. 5) que consta de cuatro términos que de base a techo hemos denominado como a, b, c y d.

El término a viene caracterizado por las facies Fm y corresponde a los depósitos con influencia aluvial, representando las facies de llanura lutítica.

El término b consiste en una sucesión de margas y lutitas carbonatadas (facies Lc) que presentan colores blanco-grisáceos y blanco verdosos y pueden presentar intercalaciones de areniscas con geometría tabular en facies Sr o Sh. Ocasionalmente el término b se inicia con facies Lco (lutitas carbonosas ricas en gasterópodos y a veces en micromamíferos) con intercalaciones limosas dando estructuras lenticulares. Este término representa el tránsito de las facies aluviales a las lacustres, correspondiendo su sedimentación a los momentos de ascenso de la lámina acuosa como consecuencia de aportes que originan el aumento del nivel de agua y el inicio de una fase de expansión lacustre. En ocasiones (casos de limos con estratificación lenticular) se dan condiciones tractivas en el fondo del lago favorecidas por la llegada de los aportes detríticos.

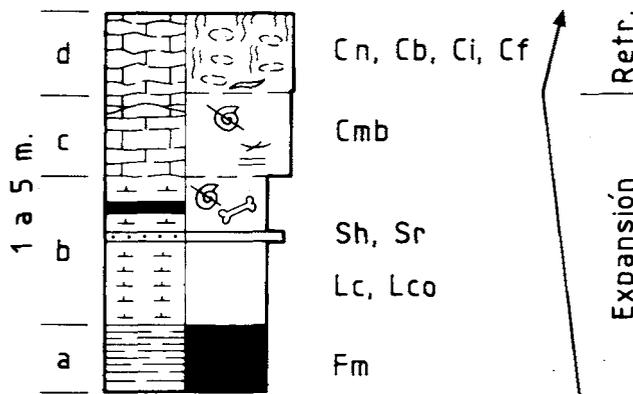


Figura 5.- Secuencia tipo establecida para la asociación A.

Figure 5.- Established type sequence for asociación A.

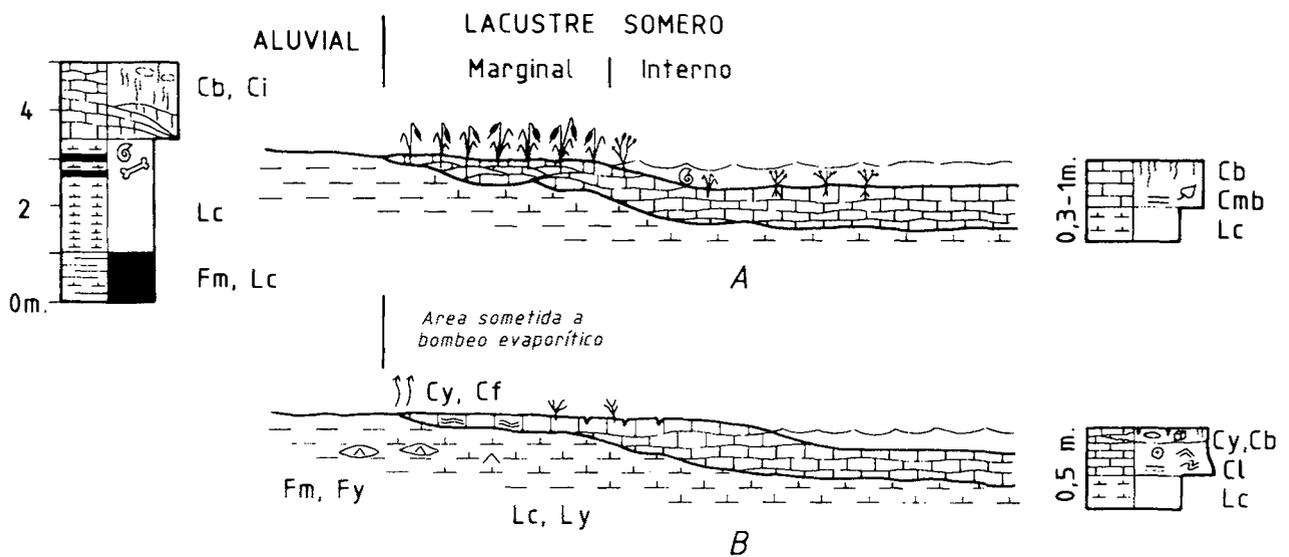


Figura 6.- Relaciones laterales de facies observadas para: A.-Asociación A y B.-Asociación B.

Figure 6.- Observed lateral facies relationships for:A.-Association A and B.-Association B.

El término *c* está constituido por facies de calizas masivas bioclásticas (Cmb), a veces algo laminadas, de colores blancos o blanco-grisáceos, en ocasiones gris oscuro, siendo los bioclastos principalmente de gasterópodos y charáceas, ocasionalmente de ostrácodos. Estas facies representan la sedimentación propiamente lacustre con una evolución enteramente subacuática y se desarrollan en zonas someras, en las que existe una elevada productividad orgánica favorecida por condiciones de luminosidad y escasa profundidad, en ausencia de aportes terrígenos significativos. Existe un tránsito gradual de las facies de lutitas carbonatadas a las facies de calizas, observándose en estas últimas una evolución textural de Packstone-Wackestone a Wackestone-Mudstone. En algunas secuencias reales puede faltar el término *c* dándose un paso directo del término *b* al *d*.

El término *d* está constituido por facies de calizas nodulosas (Cn, Cf) o calizas bioturbadas (Cb) que corresponden en general a facies alteradas por efectos de emersión y pedogénesis o bioturbación por una vegetación de carácter pantanoso. Constituyen la sedimentación propia de ambientes palustres.

La evolución vertical de esta secuencia-tipo queda reflejada en la figura 5, integrando, según lo expuesto

anteriormente, ciclos de expansión de las áreas lacustres sobre las aluviales con posterior retracción e implantación de condiciones palustres. Estas características son propias de lagos carbonatados someros relacionados directamente con llanuras lutíticas aluviales. En ellos, el bajo gradiente topográfico determina que cualquier variación de la lámina de agua puede ocasionar el paso de unas condiciones a otras. Los diferentes sectores de estos sistemas lacustres quedan caracterizados por la importancia relativa de los términos de la secuencia tipo y/o por la eventual ausencia de alguno de ellos. Así, los sectores marginales, bien representados en la región de Borja (perfil 3, Fig. 2) vienen definidos por el desarrollo generalizado (Fig. 6 A) de las facies de calizas bioturbadas y nodulosas que evidencian una colonización vegetal prácticamente constante. Los depósitos presentan geometrías en montículos, a veces de notables dimensiones, tal como se observa en la figura 7, y pruebas de emersión total (desarrollo de grietas de desecación).

En las áreas más internas, bien caracterizadas en la región de La Muela y La Plana de Zaragoza (Fig. 2), se identifican facies de calizas bioclásticas masivas en estratos tabulares más o menos irregulares, a techo de los cuales puede desarrollarse una intensa bioturba-

ción por raíces, teniendo lugar en éstos un paso generalizado de condiciones lacustres verdaderas a palustres confirmándose así el modelo de lagos carbonatados someros.

Asociación B:

Está caracterizada por un desarrollo notable de facies de calizas laminadas (Cl) asociadas a margas (Lc y Lcy), calizas con pseudomorfos de yeso (Cy), calizas bioturbadas (Cb) o calizas con textura fenestral (Cf), que se ordenan según la secuencia dada en la figura 6 B. Tal asociación de facies es posible observarla en los sectores de La Muela y La Plana (perfiles 4 y 5, Fig 2).

Las facies de calizas laminadas consisten en micritas, oomicritas e intramicritas con laminaciones paralelas y cruzadas, a veces convolucionadas. Tales facies presentan escasos restos de ostrácodos dispersos y alto contenido en calcita magnesiánica. Son interpretadas como facies de calizas lacustres verdaderas que en función de su composición (oolitos calcáreos con textura radial, existencia de calcita magnesiánica) atribuimos a

lagos someros, posiblemente con aguas de moderada salinidad, en los que se dan procesos tractivos, a veces corrientes de turbidez y se deja sentir, de forma moderada, la acción del oleaje.

Las margas grises (facies Lc) representan igualmente depósitos generados bajo lámina de agua, pero en condiciones energéticas menores que las facies de calizas laminadas, correspondiendo tal facies a la decantación de lodos carbonatados durante períodos de menor formación de carbonatos.

El techo de la secuencia viene dado por facies de calizas con pseudomorfos de yeso y de cristales tolva. Estas calizas habitualmente se presentan fuertemente brechificadas. Las facies de calizas bioturbadas son menos frecuentes, apareciendo la bioturbación como pequeños tubos de 0,5 a 1 cm. de diámetro que afectan a los últimos centímetros del estrato.

La asociación así descrita representa ciclos de expansión-retracción o profundización-somerización de sistemas lacustres carbonatados someros en los que, a diferencia de la asociación A, prácticamente no se observa bioturbación. La existencia de pseudomorfos de yeso y de cristales tolva además de la fuerte brechi-



Figura 7.- Depósito con geometría de montículo constituido por calizas nodulosas con fuerte bioturbación por raíces. Característico de zonas marginales de lagos carbonatados someros (asociación A). Depósito identificado en las proximidades de Borja dentro de la unidad N2.

Figure 7.- Mud mound deposits formed by nodulose limestones with root traces. Marginal zones of shallow carbonate lakes (association A). Deposit located in the Borja (Unit N2).

ficación que aparece a techo de las secuencias, son indicativos de haberse alcanzado situaciones de emersión.

En la figura 6 B se representan las asociaciones de facies presentes en los diferentes sectores de estos sistemas lacustres. Puede observarse como tienen lugar en las zonas marginales procesos de bombeo evaporítico (facies Ly) que se generalizan cuando desaparece la lámina de agua, sin que se implante la vegetación característica de las zonas palustres. En estos sectores marginales se desarrollan facies Cf con laminaciones onduladas criptalgales.

Asociación C:

Las facies que la constituyen consisten en calcarenitas asociadas a areniscas de grano fino con intercalaciones de lutitas carbonatadas y ocasionalmente a conglomerados con estratificación cruzada planar (Gp). Tales facies se identifican fundamentalmente en la región de Moyuela-Fuendetodos (perfil 6, Fig.2).

Las calcarenitas son de color blanco o amarillo y están constituidas por la acumulación de bioclastos de ostrácodos, gasterópodos (*Potamides*), foraminíferos (*Ammonia beccarii tepida*) y bivalvos que en muchas ocasiones forman verdaderas lumaquelas. Las lutitas son grises y negras y en ellas se han identificado restos de ciprínidos, charáceas y micro y macromamíferos.

En base a las características texturales y de estructuras sedimentarias se pueden diferenciar las siguientes facies arenosas: facies de ripples (CR), de dunas y hummocky (CHCS), de megaripples (CMR) y facies de macroformas de foresets (CMF). Una descripción exhaustiva de las mismas se recoge en los trabajos de Pérez *et al.* (1986-1987), Villena *et al.* (1987 b,1988) y Pérez (1989).

En las facies de ripples, el espesor de los niveles de arena, su estructura interna, así como la relación arena-lutita es bastante similar a los litotipos M1 y M2 de De Raaf *et al.* (1977) interpretados como estructuras generadas por la acción del oleaje. Las facies de dunas y hummocky son interpretadas como generadas por la acción del oleaje bajo condiciones de tormenta. En las facies restantes se hace patente la existencia de flujos unidireccionales, siendo interpretadas como depósitos referibles a subambientes litorales (bajíos, barras de desembocadura de distributarios) normalmente ubicados a profundidades menores que los depósitos en facies CHCS, con los que se relacionarían lateralmente (Pérez *et al.*, 1986-1987).

Estas facies se han observado asociadas constituyendo dos secuencias diferentes cuya relación vertical de facies se refleja en la figura 8. Según la interpretaciones apuntadas anteriormente representan la superposición de facies más someras sobre facies más profundas.

Con todo ello se hace patente, en esta asociación C, el desarrollo de un ambiente lacustre caracterizado por:

- Fuerte dinámica de oleaje, en un contexto de cierta inestabilidad tectónica como demuestra la existencia de fallas lístricas sinsedimentarias frecuentes en puntos próximos al margen de la cuenca.

- Profundidades relativamente mayores que las encontradas para las asociaciones A y B. En efecto, a los lagos antes descritos se les ha atribuido, en otros sectores de la Cuenca del Ebro (Cabrera 1983) profundidades de hasta 2 m., mientras que para esta asociación C, en función del tamaño de grano y dimensiones

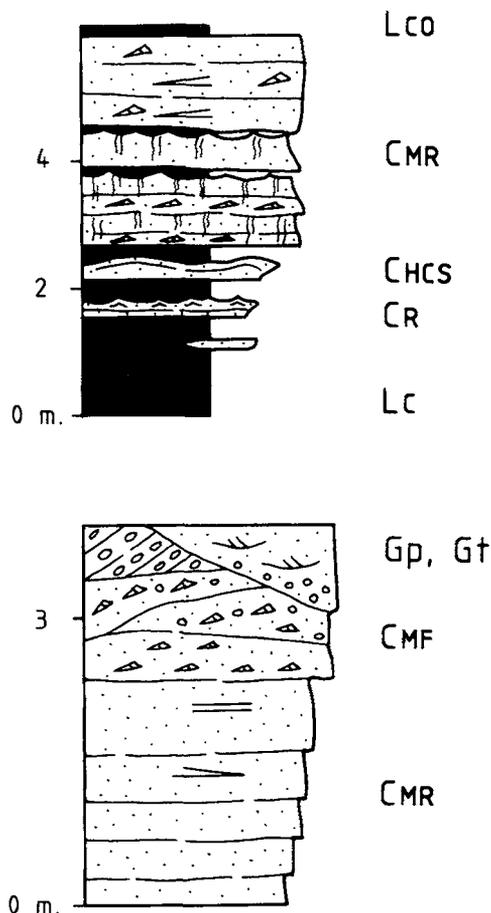


Figura 8.- Relaciones de facies observadas para la asociación C.

Figure 8- Observed facies relationships for association C.

de los ripples, pueden estimarse profundidades (Villena *et al.*, 1987b) de hasta 7 m. siguiendo los métodos de Clifton (1976) y Allen (1979).

- Alta productividad biológica que se refleja en importantes acumulaciones de bioclastos bajo unas condiciones ambientales específicas (aguas con moderada salinidad y proporciones iónicas particulares) que permiten la proliferación de poblaciones no habituales en los lagos definidos en las asociaciones anteriores (Anadón, 1989).

Asociación D:

Las facies de yesos (Yn, Ys, Ymc) conjuntamente con facies de lutitas masivas (Fm), lutitas carbonatadas (Lc, Lcy) y ocasionalmente areniscas con laminación horizontal o cruzada (Sh, Sr), constituyen la asociación que denominaremos D.

Tales facies, excepto los yesos microcristalinos (Ymc) cuyo significado veremos posteriormente, se ordenan según una secuencia que se representa en la figura 9. Esta secuencia tiene una potencia comprendida entre 1 y 5 m. de los cuales los 0,2 a 2,5 m. basales corresponden a la facies Fm que presenta color anaranjado y contiene abundantes nódulos dispersos de yeso alabastrino. Entre estas facies de lutitas aparecen intercalaciones de areniscas (facies Sh, Sr) como láminas aisladas. A la facies Fm sucede un intervalo decimétrico de margas de color gris-verdoso (facies Lc y Lcy). El resto lo constituyen las facies de yesos que aparecen bien como yesos nodulosos (Yn) formando estratos ondulados e irregulares, de 0,10 a 1 m. de potencia, separados por láminas margosas o niveles centimétricos de calizas laminadas, o bien como yesos megacrystalinos de textura selenítica (Ys) cuyo estudio petrográfico (Salvany, com. per.) pone de manifiesto que forman crecimientos desorientados, así como la frecuente presencia de inclusiones de anhidrita. Estos últimos yesos han sido reconocidos exclusivamente en la región de Rueda de Jalón.

Esta sucesión de facies se reconoce ampliamente en todo el sector oriental de la región estudiada (Fig.2 perfiles de La Muela y La Plana).

Las facies Ymc (yesos microcristalinos) han sido caracterizadas por Orti *et al.*, (1986) y Salvany (1989b) en la región de Ablitas-Monteagudo y por Salvany y Muñoz (1989) en Ribafrecha. Se trata de yesos microlenticulares que forman capas masivas de 1 a 2 m. de espesor con matriz carbonatada o arcillosa en proporciones variables. Estas capas muestran normalmente una bioturbación bien desarrollada y contiene, de forma dispersa, nódulos de chert. Tales facies se encuentran asociadas a lutitas con yeso (Lcy) y yesos nodulosos (Yn) con textura masiva-micronodular, bandeada micronodular y meganodular.

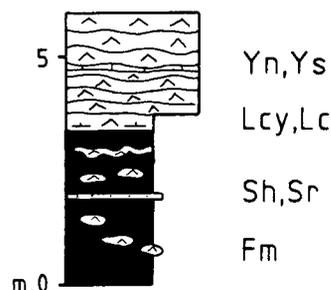


Figura 9.- Relaciones de facies observadas para la asociación D.

Figure 9.- Observed facies relationships for asociation D.

Las facies descritas en esta asociación D nos sitúan en ambientes de playa-lake, en directa relación con sectores distales de abanicos aluviales. En este contexto las lutitas son depositadas por decantación. A veces corrientes más energéticas transportan arenas finas que depositan en forma de láminas. Los yesos nodulares deben responder esencialmente a procesos de bombeo evaporítico que tienen lugar cuando cesa el aporte de detríticos y el nivel del agua se encuentra por debajo de la superficie, teniendo lugar una precipitación de sulfato intersticial por continua evaporación en la zona vadosa. Los yesos megacrystalinos con textura selenítica, dado sus características, corresponden (Salvany, com. per.) a antiguos niveles nodulares de anhidrita, formados diagenéticamente en el medio sedimentario, que han sido transformados tardíamente (exhumación del yacimiento) en yeso secundario. Por el contrario, los yesos microcristalinos han sido interpretados por los autores antes citados como generados en la interfase agua-sedimento en el fondo de un lago.

Las facies que integran la secuencia tipo descrita anteriormente quedan situadas dentro del complejo de playa-lake, en áreas equivalentes a las zonas marginal e intermedia de expansión de la salina según los esquemas propuestos por Salvany (1989a) es decir, en llanuras lutíticas salinas. En la zona estudiada del Valle del Ebro no se dan facies de zona interna (salt pan o salina), si bien unos kilómetros hacia el Norte, y en relación lateral dentro de la misma unidad tectosedimentaria, existen afloramientos de halitas (sales de Remolinos) que nos sirven para definir el complejo de playa-lake en toda su extensión.

Los yesos microcristalinos, asociados a yesos nodulosos y lutitas carbonatadas, han sido identificados exclusivamente en puntos aislados del sector occidental

de la región estudiada, según comentábamos anteriormente, donde aparecen asociados a facies aluviales ocupando áreas de interabanicos en las proximidades del margen de la cuenca. Salvany (1989a) interpreta estos depósitos yesíferos en relación con un lago evaporítico de baja salinidad situado entre facies detríticas aluviales, produciéndose la precipitación del yeso microlenticular en los momentos de mayor concentración, mientras que los yesos nodulosos se generan en la llanura lutítica marginal al lago, a partir de salmueras intersticiales concentradas por bombeo evaporítico.

SISTEMAS LACUSTRES REGISTRADOS EN LAS UNIDADES NEÓGENAS

Las interpretaciones realizadas sobre el significado sedimentológico de las facies lacustres, junto con la cartografía de litofacies y la medida de paleocorrientes obtenidas en toda el área para cada unidad, permiten llevar a cabo una reconstrucción de los dispositivos sedimentarios a partir de los cuales podremos conocer la evolución de los sistemas lacustres a lo largo del tiempo.

Tales sistemas lacustres se encuentran, en general, relacionados lateralmente con sistemas de abanicos aluviales cuyo estudio no abarcamos en el presente trabajo. Respecto a estos sistemas aluviales haremos referencia exclusivamente a las dimensiones de los mismos y distribución espacial de las litofacies.

Unidad N1 (Ageniense-Aragoniense medio)

Está constituida por facies aluviales y lacustres (Fig. 10). Las primeras corresponden a sistemas aluviales que presentan dimensiones de más de 25 km. de longitud con notable desarrollo de los sectores distales arenosos y lutíticos. Estos abanicos proceden del S. y SW., es decir, de la actual Cordillera Ibérica; sólo en el sector occidental se reconocen aportes del NW paralelos al eje de la cuenca.

Tales sistemas aluviales se relacionan lateralmente, por intermedio de facies Lcy (lutitas con yesos), con extensos sistemas de playa-lago salino (Asociación D) y también con sistemas lacustres carbonatados someros (Asociación A) de reducidas dimensiones.

Los primeros afloran con facies Lcy, Yn e Ys a lo largo de unos 100 km. en sentido NW-SE en el sector más oriental del área estudiada, y consideramos comprenden las sucesiones evaporíticas que incluyen las halitas de Remolinos, puesto que tales depósitos, que aparecen subhorizontales, están prácticamente en continuidad

de afloramiento, siendo separados exclusivamente por el actual cauce del río Ebro. Con menor extensión y facies Yn de llanura lutítica salina existe otro afloramiento en la región suroriental (Lécera). En las regiones de Ablitas y Ribafrecha (sector occidental) se reconocen lagos salinos, de dimensiones próximas a los 10 km. de longitud, caracterizados por el desarrollo de facies Ymc, rodeados por una llanura lutítica salina. Estos lagos se sitúan en una posición marginal, desconectada del gran lago salino, próxima al borde de la cuenca, en una zona de interabanicos; concretamente en Ablitas entre los abanicos de procedencia NW, de mayor amplitud, y los de procedencia SW.

Los sistemas lacustres carbonatados se reconocen en la región de Tudela, identificándose exclusivamente facies correspondientes a los sectores marginales que presentan, según la cartografía de las mismas, al menos 15 km. de amplitud. Se emplazan en una depresión relativa, diferenciada del lago salino del centro de la cuenca, del que está separada por una llanura lutítica de carácter salino. Lateralmente se relaciona con el sistema de abanicos más noroccidental, en directa relación con los aportes del NW. Este sistema presenta una red de canales relativamente densa en los sectores distales, lo que implica importantes descargas superficiales al sistema lacustre y consiguientemente baja concentración de las aguas del mismo.

Unidad N2 (Aragoniense medio-Aragoniense superior)

Las paleocorrientes proceden mayoritariamente del SW, con variaciones locales en puntos próximos al borde Sur de la cuenca que indican aportes tanto del SE como del S. y del W. (Fig. 10). En el sector occidental se reconocen exclusivamente facies proximales de abanico adosadas al margen ibérico. Para el resto de la región estudiada este margen de la cuenca suministraba materiales a unos sistemas aluviales cuyas dimensiones radiales pueden oscilar entre 15 y 30 km, incluidas las extensas llanuras lutíticas distales. Sólo localmente se identifican pequeños aparatos de unos 2 km. Estos abanicos se relacionan lateralmente con sistemas lacustres carbonatados definidos por las asociaciones A (región de Borja) y B (región de La Muela-Belchite). Esta última, correspondiente a lagos carbonatados de relativa alta salinidad, domina arealmente, con dimensiones que superan los 75 km. x 25 km. dentro del área estudiada. Este lago ocupa el ámbito geográfico del gran lago salino central existente durante la unidad anterior, N1 pero con un notable desplazamiento hacia el margen ibérico.

En la proximidad de Borja se localiza un área lacustre independiente, de unos 15 km. de longitud, referible, como apuntábamos anteriormente, a la aso-

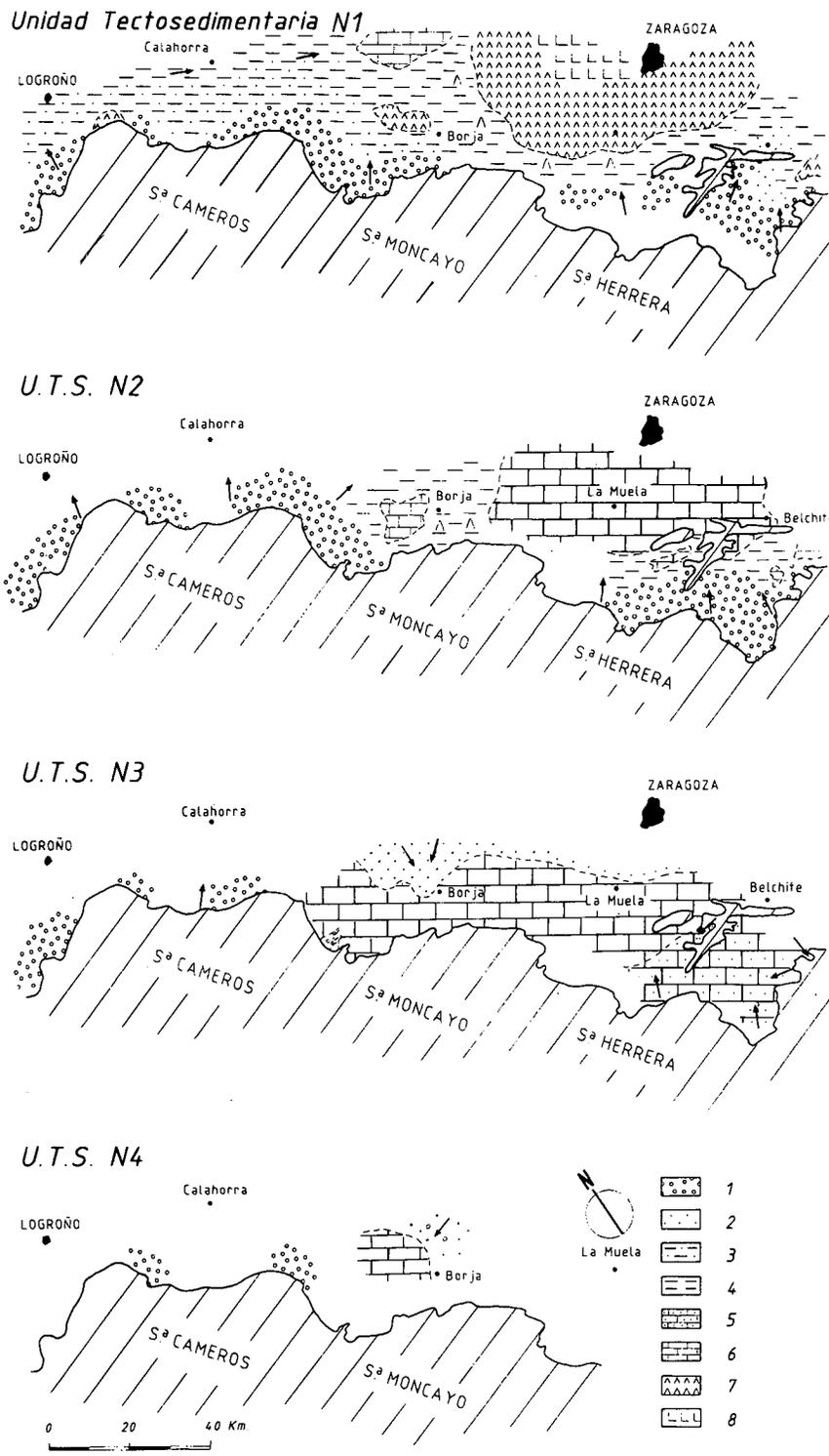


Figura 10.- Dispositivo sedimentario interpretado para las unidades tectosedimentarias (1.- Litofacies conglomerática. 2.- Litofacies arenosa. 3.- Litofacies arenoso-lutítica. 4.-Litofacies lutítica. 5.-Litofacies calcarenítica. 6.-Litofacies micrítica. 7.-Litofacies yesífera. 8.-Halita. B.- Belchite. A.- Ablitas. R.- Ribafrecha).

Figure 10.- Established depositional system for tectosedimentary units (1.-Conglomeratic lithofacies. 2.- Sandy lithofacies. 3.-Sandy-lutitic lithofacies. 4.-Lutitic lithofacies. 5.-Calcarenitic.lithofacies. 6.-Micritic limestone.lithofacies. 7.-Gypsum.lithofacies. 8.-Halite. B.- Belchite. A.- Ablitas. R.- Ribafrecha).

ciación A con dominio de las condiciones palustres. Este sistema se encuentra separado del anterior por una llanura lutítica (sector de Fuendejalón) sometida a procesos de bombeo evaporítico.

En el sector más suroriental se identifica igualmente un área lacustre carbonatada (Asociación A) en una posición marginal y en relación con los abanicos de menor amplitud.

Unidad N3 (Aragoniense superior-Vallesiense)

Dentro de la región estudiada esta unidad aflora ampliamente en el sector oriental, reconociéndose afloramientos reducidos en el occidental (Fig.10).

Los depósitos presentes responden mayoritariamente a litofacies carbonatadas. Sólo en el sector occidental se reconocen de forma aislada litofacies detríticas groseras correspondientes a facies proximales de abanicos. Las litofacies carbonatadas están constituidas por facies de calizas micríticas y facies calcareníticas que definen respectivamente las asociaciones A y C.

La asociación de facies A se extiende ampliamente por el sector nororiental del área de investigación, desarrollándose facies predominantemente palustres hacia el W. y facies lacustres más internas hacia el N. y E. La asociación C se reconoce únicamente en el sector suroriental. El límite entre ambas asociaciones viene dado, en una importante extensión, por paleorrelieves de materiales jurásicos. Las dimensiones del complejo lacustre formado por ambas asociaciones supera los 140 km. en sentido longitudinal y tiene una anchura mínima de 75 km. en el área de estudio, encontrándose prácticamente adosado al actual borde septentrional de la Cordillera Ibérica.

Los aportes de estos sistemas lacustres procedentes del margen ibérico son muy locales y se reducen, en general, a pequeños sistemas de canales que aparecen entre las facies calcáreas. En la región de Borja se reconocen, además, aportes terrígenos del N y NE que dan lugar a depósitos de arenas silíceas con macroformas de foreset y canales asociados que se relacionan directamente con las facies carbonatadas lacustres, por lo que los interpretamos como lóbulos deltaicos.

Los abanicos del sector occidental proceden del S., pero debido a sus condiciones de afloramiento no es posible establecer sus relaciones con los sistemas lacustres más orientales.

Unidad N4 (Vallesiense-Turolense)

Únicamente aflora (Fig. 10) en el sector más occidental del área estudiada de la cuenca del Ebro y en la Muela de Borja, ocupando en ambos una reducida extensión.

En el primer sector las facies presentes corresponden a facies proximales de abanicos con procedencia S.

En la Muela de Borja se identifican facies de calizas oncolíticas a veces con geometrías canaliformes, que atribuimos a depósitos lacustres en los que no encontramos pruebas de emersión y consideramos representan los sectores más internos de la asociación A (sistemas lacustres carbonatados someros). Estos lagos pueden estar alimentados por aportes del N., pues los conglomerados que marcan la base de la unidad en este lugar proceden de tal dirección.

EVOLUCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS SEDIMENTARIOS Y RELACIONES TECTÓNICA SEDIMENTACIÓN

La evolución vertical del conjunto de las unidades, representada en la figura 3 refleja la superposición de megasecuencias de potencia decamétrica a hectométrica. Estas megasecuencias resultan de la superposición de diferentes sectores de abanicos aluviales y áreas lacustres, y por tanto su origen obedece a causas alocíclicas. Tales causas pueden ser tectónicas o climáticas, desechándose una influencia del eustatismo por el carácter endorréico de la cuenca.

Sin olvidar la posible influencia de variaciones climáticas a lo largo del tiempo de sedimentación, las causas tectónicas parecen ser las de mayor importancia en el control de la evolución de la UTS, ya que sus límites (a excepción del límite N3/N4) vienen dados por rupturas sedimentarias que en los márgenes activos de la cuenca se manifiestan como discordancias, y esto solo se puede originar por una causa tectónica.

En conclusión, la evolución de los dispositivos sedimentarios se considera una respuesta a la actividad diastrófica que se produce en los márgenes y en el interior de la cuenca. Así, la evolución vertical de signo positivo establecida para las unidades N1, N2 y N4, viene dada en los puntos proximales al borde de la cuenca por la superposición de facies medias de abanico sobre facies proximales. En áreas más alejadas la evolución vertical representa la instalación de facies lacustres sobre facies distales de abanico. Todo ello es reflejo de la retrogradación de los sistemas aluviales y paralela expansión relativa de los lacustres en una etapa de actividad diastrófica decreciente o nula.

La evolución vertical de la unidad N3, cíclica positiva-negativa, fuertemente asimétrica con un hemiclo inferior poco desarrollado, representa una retrogradación seguida de una progradación generalizada a lo largo del tiempo de sedimentación de la unidad, dentro de un marco de actividad tectónica creciente.

La unidad N1 se encuentra, en el sector oriental del área estudiada, ligeramente afectada por frentes de cabalgamiento; su límite con la unidad paleógena infrayacente es una ruptura de tipo 1, que se manifiesta como un salto acompañado de un cambio de signo de negativo a positivo en la evolución vertical correlativo con una discordancia angular en el sector más oriental del área estudiada. Por tanto la evolución de esta unidad N1 representa una fase de actividad tectónica decelerada a partir del máximo diastrófico que tuvo lugar al inicio de la misma.

Los límites entre las unidades N1-N2 y N2-N3 son rupturas de tipo 3, es decir, saltos en la evolución vertical que separan secuencias granodecrecientes, correlativos con sendas discordancias angulares en el sector occidental del área estudiada (Fig.2, perfil 1). Representan un mínimo diastrófico seguido de una aceleración instantánea (a escala de tiempo geológico) de la actividad diastrófica hasta un máximo; no existiendo registro sedimentario correlativo del instante de aceleración. Este tipo de límite puede responder a una actividad tectónica esencialmente distensiva que tendría lugar, según la edad de las unidades, durante el Aragoniense medio y superior. En este sentido, esto está conforme con Simón (1984) el cual sitúa el paso de la compresión a la distensión en el sector centro-oriental de la Cordillera Ibérica durante el Mioceno inferior-medio.

La relación existente entre las unidades N3 y N4 (ruptura de tipo 1) es similar a la observada entre las unidades paleógenas definidas en diferentes puntos del borde meridional de la Cuenca del Ebro y cubetas marginales ibéricas (Pérez *et al.*, 1983, Gonzalez *et al.*, 1984, Muñoz *et al.*, 1986-87) desarrolladas dentro de un marco compresivo. Además, la unidad N3 aparece cabalgada en el sector riojano de la depresión (cabalgamiento de Cameros) por tanto se puede pensar en la vuelta a una actividad compresiva cuyo máximo diastrófico se pudo desarrollar en el Vallesiense superior.

Las paleocorrientes medidas indican aportes procedentes del S. y SW. para las unidades N1 y N2 manifestando un área fuente con dirección general NW-SE. Para las unidades N3 y N4 siguen existiendo aportes procedentes de esa dirección, pero las paleocorrientes dominantes proceden del N. y NE., indicando la influencia de un margen activo septentrional cuyo levantamiento provoca el desplazamiento de las facies lacustres hacia el S. hasta alcanzar el actual margen N. de la cordillera Ibérica.

Por último y una vez conocidos los dispositivos sedimentarios de cada unidad, se puede constatar que existe una evolución en los sistemas lacustres a la largo del Mioceno en el sentido de dominar lagos de composición predominantemente sulfatada y clorurada en la unidad N1, lagos carbonatados con evidencias de

procesos de bombeo evaporítico (presencia de pseudomorfo de yeso y cristales tolva) en sus sectores marginales para la unidad N2, y lagos carbonatados con extensas áreas palustres con importante colonización vegetal, o bien con áreas afectadas por una fuerte dinámica de oleaje, para la unidad N3. Esta evolución podría indicar, a falta de otros datos, una tendencia general del clima hacia una mayor humedad; si bien no se puede descartar que esta evolución sea debida a la creciente afluencia de aguas de procedencia pirenaica que alcanzan progresivamente los sectores meridionales de la cuenca, tal como se pone de manifiesto con los aportes fluviales del N. para las unidades N3 y N4.

CONCLUSIONES

Las UTS neógenas del margen ibérico de la Depresión del Ebro presentan depósitos que obedecen a los procesos que tienen lugar en sistemas de abanicos aluviales y áreas lacustres.

El estudio de las facies lacustres y sus asociaciones permite establecer cuatro tipos de sistemas lacustres cuyas características resumimos a continuación:

A.- Sistemas lacustres carbonatados en los que se puede diferenciar una zona marginal con desarrollo generalizado de condiciones propiamente palustres (facies de calizas bioturbadas y nodulizadas que evidencian una colonización vegetal prácticamente constante) y áreas más internas en las que se identifican facies de calizas bioclásticas masivas con gasterópodos, charáceas y ostrácodos, y calizas bioturbadas por raíces. Son lagos someros en los que cualquier variación de la lámina de agua puede provocar el paso de condiciones de área interna a situación marginal. Estos sistemas se encuentran preferentemente en la unidad N3 y menos frecuentemente en las unidades N2 y N1.

B.- Una segunda asociación caracteriza igualmente lagos carbonatados someros, pero las facies presentes: lutitas carbonatadas y calizas brechificadas, ambas con pseudomorfo de yeso, y calizas laminadas con alto contenido en calcita magnesiana, evidencian aguas de alta salinidad y desecaciones periódicas con procesos evaporíticos, que se generalizan cuando desaparece la lámina de agua sin que se implante la vegetación característica de las zonas palustres. Se reconoce exclusivamente en la unidad N2.

C.- Lagos afectados por una fuerte dinámica de oleaje que genera ripples de oscilación y estratificación cruzada hummocky y en los que existe una alta productividad biológica que se refleja en importantes acumulaciones de bioclastos, tales como gasterópodos (*Potámides*), foraminíferos, ostrácodos y pelecípodos. Se desarrolla exclusivamente en la unidad N3.

D.- Las facies que lo constituyen son: yesos nodulosos, yesos con textura selenítica y yesos microcristalinos. Sus relaciones laterales y su asociación con otras facies, principalmente de lutitas con yeso, nos define un modelo de lagos sulfatados. Constituyen la casi totalidad de los sistemas lacustres de la unidad N1 y con reducidas dimensiones aparecen en la unidad N2.

Cada uno de estos sistemas no es exclusivo de una UTS sino que pueden coexistir varios sistemas diferentes dentro de una unidad. Así, según los dispositivos sedimentarios establecidos para cada unidad (Fig. 10) podemos concluir que:

Para la unidad N1 se desarrollan predominantemente sistemas de lagos fuertemente salinos, en los que tiene lugar la precipitación de yesos y halita, conectados con amplias llanuras lutíticas. Se pone de manifiesto la existencia de un gran lago central y pequeños lagos salinos marginales, estos últimos en una situación de interabancos. Todos ellos son alimentados por flujos de procedencia meridional. En el sector occidental se desarrolla un lago carbonatado somero (asociación A) influenciado por sistemas de canales que discurren paralelos al eje de la cuenca.

Durante la unidad N2 se desarrollan lagos carbonatados someros. Son lagos con aguas de relativa alta salinidad (asociación B) o bien lagos en los que se desarrolla una importante vegetación macrófita. Los primeros ocupan el ámbito geográfico del lago fuertemente salino existente en la unidad anterior (N1), pero con un notable desplazamiento hacia el margen ibérico, del que proceden los aportes. Los segundos se identifican de manera aislada en la región de Borja.

Con el inicio de la unidad N3 se detecta un cambio paleogeográfico importante, identificándose por primera vez aportes de procedencia Norte y Noreste en este sector meridional de la Depresión del Ebro que introducen cantidades importantes de arenas. Los sistemas lacustres responden a lagos carbonatados someros (asociación A) y lagos afectados por una dinámica de oleaje (asociación C) que aparecen prácticamente adosados al actual margen septentrional de la Cordillera Ibérica. Los aportes de procedencia Sur son muy escasos, reduciéndose a pequeños canales conglomeráticos, sólo en la región occidental se identifican sistemas de abancos de procedencia meridional.

Por último, en la unidad superior (N4) las reducidas condiciones de afloramiento no permiten establecer las características de los sistemas lacustres, salvo la existencia de lagos carbonatados con desarrollo de facies de calizas oncolíticas.

La evolución vertical de las diferentes unidades responde a sucesivas retrogradaciones de los sistemas

aluviales y expansiones de las áreas lacustres o bien retrogradaciones-progradaciones dentro de un marco de actividad tectónica decreciente o creciente respectivamente.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado dentro del proyecto nº 0826/84 de la C.A.I.C.Y.T. Agradecemos a P. Anadón y J.M. Salvany la revisión crítica del manuscrito.

BIBLIOGRAFÍA

- ALLEN, J.R.L., 1979: A model from the interpretation of wave ripple marks using their wavelength, textural composition, and shape. *J. Geol. Soc. London*, 136:673-682.
- ANADÓN, P., 1989: Los lagos salinos interiores (atalásicos) con faunas de afinidad marina del Cenozoico de la Península Ibérica. *Acta Geol. Hispánica*, 24 (2): 83-102.
- ASTIBIA, H., MAZO, A., MORALES, J., SESE, C., SORIA, D. y VALDES, G., 1984: Mamíferos del Mioceno medio de Tarazona de Aragón (Zaragoza). *I. Congr. Español de Geología* I: 383-390.
- AZANZA, B., CANUDO, I. y CUENCA, G., 1988: Nuevos datos bioestratigráficos del Terciario continental de la cuenca del Ebro (sector centro-occidental). *II. Congreso Geológico de España*. Com.1.: 261-264. Granada.
- BIRNBAUM, S.J., 1976: *Non-marine evaporite and carbonate deposition, Ebro Basin, Spain*. Diss. Doc. Phil. Univ. Cambridge. 146 pp. (Inédita).
- CABRERA, L., 1983: *Estratigrafía y sedimentología de las formaciones lacustres del tránsito Oligoceno-Mioceno del SE de la cuenca del Ebro*. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona. 443 pp. (Inédita).
- CLIFTON, H.E., 1976: Wave-form sedimentary structures a conceptual model. In: R.A. Davis and R.L. Ethington eds. *Beach and Nearshore sedimentation Spc. Publ. Soc. Econ. Paleont. Miner.* 24:126-148.
- CRUSAFONT, M., TRUYOLS, J. y RIBA, O., 1966: Contribución al estudio de la estratigrafía del Terciario continental de Navarra y Rioja. *Notas y Com. del IGME*. 90: 53-76.
- De RAAF, J.R., BOERSMA, J.R. y GELDER, A., 1977: Wave-generated structures and sequences from a shallow marine succession, Lower Carboniferous, County Cork, Ireland. *Sedimentology*, 24: 441-483.
- GONZÁLEZ, I. y GALAN, E., 1984: Mineralogía de los materiales terciarios del área de Tarazona-Borja-Ablitas (Depresión del Ebro). *Estudios Geol.*, 40: 115-128.
- GONZÁLEZ, A., PARDO, G., VILLENA, J. y PÉREZ, A., 1984: Estratigrafía y sedimentología del Terciario de la cubeta de Alzoa (Prov. Teruel). *Boletín Geológico y Minero*, 95 (5): 407-428.
- GONZÁLEZ, A., PARDO, G. y VILLENA, J., 1988: El análisis tectosedimentario como instrumento de correlación entre cuencas. *II Congreso Geológico de España*. Simposios: 175-184. Granada.
- MANDADO, J., 1987: *Litofacies yesíferas del sector aragonés de la cuenca terciaria del Ebro*. Petrogénesis y Geoquímica. Tesis

- Doctorado Universidad de Zaragoza.: 443 pp (Inédita).
- MATA, P., PÉREZ, A. y LÓPEZ-AGUAYO, F., 1988: Mineralogía del perfil de La Muela; Terciario del sector central de la depresión de Ebro (Prov. Zaragoza). *Estudios Geol.* 44: 135-143.
- MATA, P., PÉREZ, A. y LÓPEZ-AGUAYO, F., 1989: Mineralogía de los depósitos lacustres del Terciario de Borja-La Muela (Borde Sur de la Depresión del Ebro. Zaragoza). *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 12: 213-220.
- MUÑOZ, A.; PARDO, G y VILLENA, J., 1986-1987: Análisis tectosedimentario del Terciario de la Depresión de Arnedo (Cuenca del Ebro, prov. de La Rioja). In: P. Anadón, L. Cabrera y J. de Porta (eds.) *Com. XI Congr. Español de Sedim., Acta Geol. Hispánica*. 21-22:427-435.
- ORTÍ, F., SALVANY, J.M., ROSELL, L., PUEYO, J.J. e INGLES, M., 1986: Evaporitas antiguas (Navarra) y actuales (Los Monegros) de la Cuenca del Ebro. In: P. Anadón y L. Cabrera (eds). *Guía de las Excursiones del XI Congreso Español de Sedimentología*. 2.1-2.36. Barcelona.
- PÉREZ, A., 1989: *Estratigrafía y sedimentología del Terciario del borde meridional de la Depresión del Ebro (sector riojano-aragonés) y cubetas de Muniesa y Montalbán*. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza. 525 pp. (Inédita).
- PÉREZ, A., PARDO, G., VILLENA, J.; GONZÁLEZ, A., 1983: Estratigrafía y sedimentología del Paleógeno de la cubeta de Montalbán (Prov. Teruel, España). *Bol. R. Soc. Española Hist. Nat. (Geol)*. 81:197-223.
- PÉREZ, A., AZANZA, B., CUENCA, G., PARDO, G. y VILLENA, J., 1985: Nuevos datos estratigráficos y paleontológicos sobre el Terciario del borde meridional de la depresión del Ebro (Provincia de Zaragoza). *Estudios Geol*, 41: 405-411.
- PÉREZ, A., MUÑOZ, A., PARDO, G., ARENAS, C. y VILLENA, J., 1988 a: Características de los sistemas lacustres en la transversal Tarazona-Tudela (sector Navarro-Aragonés de la cuenca terciaria del Ebro). *II. Congreso Geológico de España*. Simposios: 519-527. Granada.
- PÉREZ, A., MUÑOZ, A., PARDO, G., VILLENA, J. y ARENAS, C., 1988b: Las unidades tectosedimentarias del Neógeno del borde ibérico de la Depresión del Ebro (sector central). in: A. Pérez, A. Muñoz y J.A. Sánchez eds. *Sistemas lacustres neógenos del margen ibérico de la cuenca del Ebro*. Guía Campo III Reunión Grupo Español de Trabajo. PICG 219: 81-104.
- PÉREZ, A., VILLENA, J. y PARDO, G., 1986-1987: Presencia de estratificación cruzada Hummocky en depósitos lacustres de la depresión del Ebro. In: P. Anadón, L. Cabrera y J. de Porta (eds.). *Com. XI Congr. Español de Sedim. Acta Geológica Hispánica*. 21-22: 27-33.
- QUIRANTES, J., 1969-1978: *Estudio sedimentológico y estratigráfico del Terciario continental de los Monegros*. Tesis doctoral. Univ. de Granada. Publicada en 1978 por Inst. Fernando el Católico. CSIC.: Zaragoza. 200 pp.
- SALVANY, J.M., 1989a: *Las formaciones evaporíticas del Terciario continental de la cuenca del Ebro en Navarra y La Rioja. Litoestratigrafía, Petrología y Sedimentología*. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona 397 pp. (Inédita).
- SALVANY, J.M., 1989 b: Aspectos petrológicos y sedimentológicos de los yesos de Ablitas y Monteagudo (Navarra): Mioceno de la cuenca del Ebro. *Turiaso*. 9: 121-146.
- SALVANY, J.M. y MUÑOZ, A., 1989: Aspectos petrológicos y sedimentológicos de los Yesos de Ribafrecha (La Rioja). *Res. Com. XII Congr. Español de Sedimentología*. Bilbao. 87-90.
- SIMÓN, J.L. 1984: *Compresión y distensión alpinas en la cadena ibérica oriental*. Tesis de Doctorado. Instituto de Estudios Turolenses. 269 pp.
- VALDES, G., SESE, C. y ASTIBIA, H., 1986: Micromamíferos (Rodentia y Lagomorpha) del yacimiento del Mioceno medio de Tarazona de Aragón (Depresión del Ebro, Provincia de Zaragoza). *Estudios Geol.*, 42: 41-55.
- VILLENA, J., LÓPEZ, F., PARDO, G., PÉREZ, A., MUÑOZ, A., GONZÁLEZ, J. GONZÁLEZ, J.M. y FERNÁNDEZ NIETO, C., 1987a: Clay mineralogy in tectosedimentary analysis of Southern sector of Tertiary Ebro basin. *The Sixth Meeting of European Clay Group*. Sevilla. pp. 572-574.
- VILLENA, J., PÉREZ, A., PARDO, G. 1987b: Storm deposits in the lacustrine Miocene of Ebro basin, Spain. *Abstracts 8 th Regional Meeting of Sedimentology, I.A.S.* Tunis: 494-495.
- VILLENA, J., PÉREZ, A., PARDO, G.; MUÑOZ, A. y ARENAS, C., 1988: Sistemas lacustres de la región de Moyuela. In: A. Pérez, A. Muñoz y J.A. Sánchez eds. *Sistemas lacustres neógenos del margen ibérico de la Cuenca del Ebro*. Guía Campo III Reunión Grupo Español de Trabajo. PICG 219: 81-104.