

Presencia de estratificación cruzada Hummocky en depósitos lacustres del Terciario de la Depresión del Ebro

A. PÉREZ, J. VILLENA, G. PARDO

Departamento de Estratigrafía. Universidad de Zaragoza.

RESUMEN

En algunos depósitos carbonatado-terrigenos del Terciario lacustre de la Depresión del Ebro se han reconocido estructuras sedimentarias generadas por olas entre las que se han identificado ripples de oscilación así como estratificaciones cruzadas «Hummocky» y «Swaley» que evidencian etapas de alta energía.

Las investigaciones realizadas ponen de manifiesto que las facies de «ripples» y «hummocky» pudieron originarse entre profundidades de 1 y 7 m bajo la acción de vientos de 50 km/h como mínimo.

Los materiales estudiados son afectados por fallas sin sedimentarias con superficies lístricas de 1,5 m de salto. Las capas con HCS fosilizan estas fallas o están cerca de los estratos que las recubren. Por tanto, en la génesis de las facies de HCS se puede considerar la posible acción de «tsunamis» lacustres conectados con la inestabilidad sinsedimentaria provocada por las fallas antes mencionadas.

Palabras clave: Estratificación «Hummocky» y «Swaley». Depósitos lacustres. Terciario. Depresión del Ebro.

ABSTRACT

Wave-originated structures have been recognized in some mixed carbonatic-siliciclastic Tertiary lacustrine deposits in the Ebro Basin.

The existence of Hummocky and Swaley Cross stratifications may be taken as evidence of the record of high energy stages during sedimentation.

The investigation on wave ripple and HCS facies shows they were developed between 1-7 m depth, under action of winds faster than 50 km/h

The studied materials are affected by sinsedimentary faults with listric planes of 1,5 m of greatest vertical displacement. Beds of HCS facies often fossilize there faults or are near to covering beds. Therefore, for genesis of HCS facies one must also consider the possible action of «lacustrine tsunamis» connected with the sinsedimentary instability proved by the before mentioned faults.

Key Words: Hummocky and Swaley cross stratification. Lacustrine deposits. Tertiary. Ebro basin.

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo damos a conocer los primeros resultados de unas investigaciones, actualmente en curso, sobre el posible registro de la influencia de la acción del oleaje y tormentas en sedimentos lacustres de la unidad superior del Terciario de la Depresión del Ebro.

SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y MARCO ESTRATIGRÁFICO

El área estudiada se encuentra al Sur de la provincia de Zaragoza, entre los términos de Lécera y Azuara (fig. 1). Los materiales objeto del trabajo pertenecen a la Unidad Tectosedimentaria Superior (Aragoniense terminal-Vallesiense) definida por Pérez *et al.* (1985) para el borde meridional de la Depresión del Ebro.

Esta unidad está localmente deformada y muy erosionada, presentándose en afloramientos dispersos, que dificultan el establecimiento de una correlación detallada entre los mismos.

A partir de perfiles parciales y observaciones puntuales se puede establecer de forma sintética la siguiente sucesión de base a techo (fig. 2):

1.— Conglomerados de cantos calizos con intercalaciones de areniscas y lutitas. Potencia máxima vista 5 m.



Figura 1. — Mapa de situación.

Figure 1. — Location map.

2.— Areniscas y calcarenitas alternando con margas grises y negras y lutitas. Este tramo se inicia con margas y areniscas con hiladas de cantos de hasta 6 cm de diámetro, seguido por una alternancia de areniscas y limos, que hacia techo pasan a biocalcarenitas y biocalciruditas dispuestas en bancos de 20 cm hasta más de 2 m, con algún nivel conglomerático de 20 a 40 cm. Potencia máxima observada 25 m.

3.— Calizas blancas micríticas en bancos de aproximadamente 1 m; su aspecto es masivo y a techo noduloso. Potencia máxima vista 8 m.

En esta unidad IGME (1986) cita la presencia de gasterópodos (*Planorbis*, *Helix* e *Hydrobia*), Charáceas (*Chara* aff. *rochettiana*), ostrácodos (*Candona* aff. *Suevica* y *Candona* sp.) foraminíferos (*Ammonia becarii tepida*), restos de peces y mamíferos. IGME (1975) y Truylols y Porta (1982) citan en el Mioceno superior lacustre de la cuenca del Duero un contenido biológico similar al reseñado. Por nuestra parte podemos señalar la existencia de micro y macromamíferos (*Gomphotherium*?), así como dientes de Cyprinidos que indicarían ambientes de aguas continentales de salinidad máxima 18 ‰, tal como señala Gaudant (1984) para los sedimentos Turolienses de la fosa de Teruel. Asimismo, Gutierrez *et*

al. (1982) relacionan otros afloramientos de esta unidad con la sedimentación carbonatada de un margen lacustre con episodios de aporte fluvial.

Todo lo expuesto indica que la unidad estudiada está constituida por sedimentos continentales principalmente lacustres.

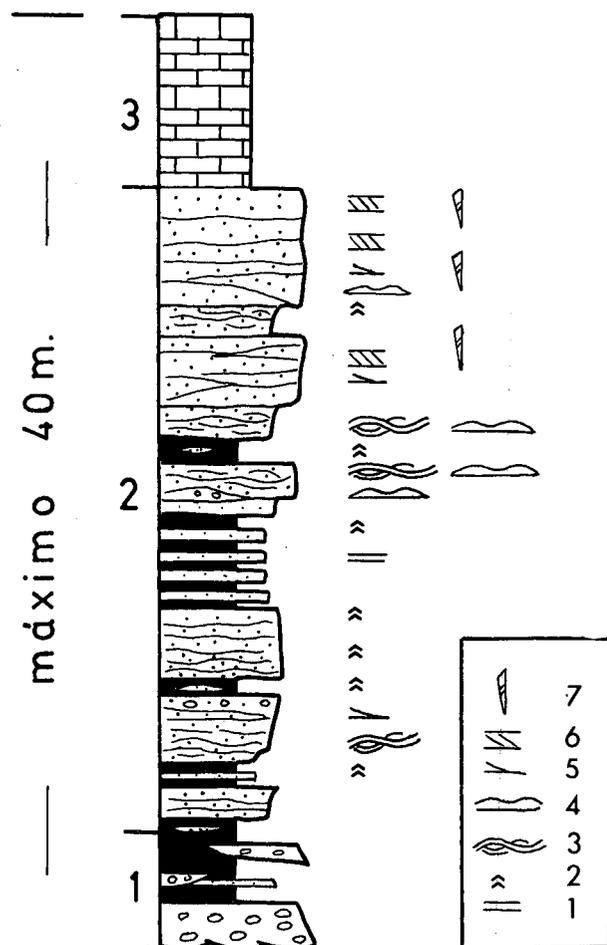


Figura 2. — Perfil representativo de la unidad estudiada. 1: Estratificación horizontal. 2: Laminación cruzada de ripples de oscilación. 3: Estratificación cruzada «Hummocky». 4: Megaripples simétricos. 5: Estratificación cruzada de bajo ángulo. 6: Estratificación cruzada planar. 7: Nivel bioclástico.

Figure 2. — Sedimentological log of the studied unit, 1: Horizontal bedding. 2: Wave ripple cross lamination. 3: Hummocky cross stratification. 4: Symmetrical wave megaripples. 5: Low angle cross bedding. 6: Planar cross stratification. 7: Bioclastic bed.

RASGOS SEDIMENTOLÓGICOS

Nuestras investigaciones han puesto de manifiesto la presencia, en el tramo 2 de la unidad estudiada (fig. 2), de un conjunto de características texturales y de estructuras sedimentarias que han permitido identificar dentro del mismo tres tipos de facies:

Facies de Ripples

Litológicamente está constituida por areniscas de grano medio a fino y lutitas. Las areniscas se presentan en

lechos milimétricos a decimétricos, aunque por lo general, inferiores al decímetro.

En esta facies se reconoce laminación cruzada, estructuras flaser y lenticular y climbing ripples.

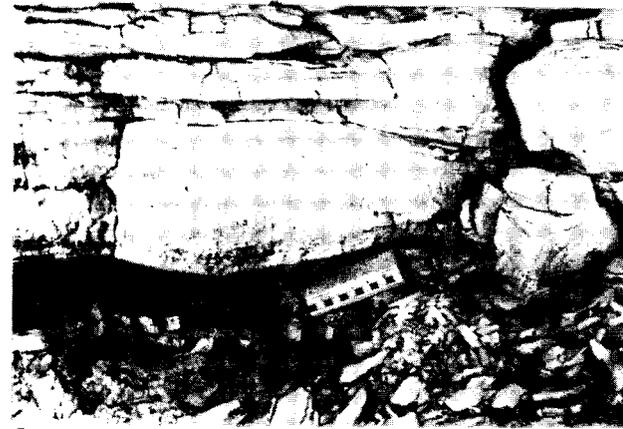
La laminación cruzada es bidireccional o unidireccional, y forma parte de estratos de hasta 20 cm de espesor, en los que se reconoce diferentes términos de laminación según una secuencia: laminación de bajo ángulo → laminación ondulada → laminación cruzada. El



A



B



C



D

LAMINA I

Figura A. — «Climbing ripples» (Facies de ripples).

Figura B. — Megaripples simétricos.

Figura C. — Estratificación cruzada «hummocky».

Figura D. — Estratificación cruzada «hummocky» y «swaley».

PLATE I

Figure A.— «Climbing ripples» (Ripple Facies).

Figure B. — Symmetrical megaripples.

Figure C. — Hummocky cross stratification.

Figure D. — Hummocky and swaley cross stratification.

techo de estos estratos aparece modelado por ripples generalmente simétricos, de crestas rectilíneas en ocasiones truncadas, que seccionan los haces de láminas.

Estos ripples presentan las siguientes dimensiones:

Longitud de onda (L): 5 - 26 cm.

Altura (H): 0,5 - 2 cm

Índice de ripple (L/H): 6 - 13

Las estructuras flaser aparecen en unidades granodecrescentes de unos 15 cm de espesor. Las laminaciones de «climbing ripples» (lam. I, fig. A) aparecen como ripples simétricos tanto en fase como fuera de fase. Lateralmente estas laminaciones se pueden relacionar con estratificación cruzada hummocky (HCS).

El espesor de los niveles de arena, su estructura interna, así como la relación arenisca-lutita de esta facies son bastante similares a los de los litotipos M_1 y M_2 de De Raaf *et al* (1977) interpretados como estructuras generadas por la acción del oleaje.

Estas facies son dominantes en el tercio inferior del tramo arenoso (tramo 2), por encima de los niveles con hiladas de cantos. (Ver fig. 2).

Facies de HCS

Está integrada por areniscas y biocalcarenitas de grano medio a fino, conglomerados y algunos niveles de lutitas.

Desde el punto de vista de las estructuras (lam. I, figs. B, C y D), se caracteriza por la existencia de niveles de megaripples simétricos, estratificación «Hummocky» y estratificación «Swaley» (HCS y SCS respectivamente).

Los megaripples están formados por arenas o por arenas y gravas de hasta más de 2 cm de centilo. Presentan las siguientes dimensiones:

Longitud de onda (L): 40 - 80 cm.

Altura (H): 4 - 8 cm.

Índice de ripple (L/H): 8 - 10

Por lo general no presentan estructura interna, mostrándose en capas de unos 20 cm de espesor, con aspecto masivo, estando algunos niveles constituidos mayoritariamente por conchas de gasterópodos.

Alternando con estos niveles se encuentran capas arenosas de 10 a 80 cm de espesor que contienen HCS con las siguientes características:

Longitud de onda (L): 13 - 117 cm excepcionalmente 6 m.

Altura (H): 2 - 13 cm excepcionalmente 35 cm.

RELACION L/H: 8,3 - 17

Estas capas presentan por lo general un límite inferior neto, a veces ligeramente cóncavo, evolución vertical granodecrescente e inclinaciones de las láminas superiores de hasta 12° .

La ordenación interna de las HCS responde por lo general a secuencias BPHFM y PHFM, en el sentido de Dott y Bourgeois (1982) y Walker *et al.* (1983), habiéndose observado casos que podrían corresponder a secuencias BPF (fig. 3).

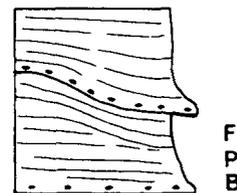
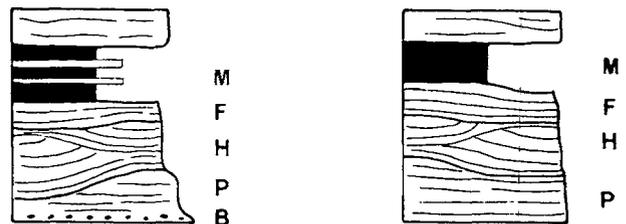


Figura 3. — Tipos de secuencias observadas para los niveles con «hummocky» (sin escala).

Figure 3. — Sequences recorded in the hummocky beds (no scale).

Asociados con las capas de HCS se encuentran niveles con SCS con anchuras comprendidas entre 30 y 300 cm y alturas de 5 a 25 cm. La inclinación de las láminas está comprendida entre 5° y 8° .

Esta facies se reconoce preferentemente hacia la mitad del tramo 2, en los primeros niveles de calcarenitas y biocalcarenitas.

Facies de estratificación cruzada

Está constituida por biocalcarenitas, biocalciruditas

y areniscas. Es una facies compleja en la que se puede diferenciar tres subfacies (fig. 4):

Subfacies a:

Está formada por secuencias granodecrecientes de 17 a 25 cm de espesor integradas de base a techo por tres términos: Calciruditas con gasterópodos, areniscas y lámina de lutitas. Presentan contactos erosivos, laminación horizontal o inclinada de bajo ángulo y fuerte bioturbación que puede llegar a destruir la estructura interna. En el techo de las areniscas se observan ripples simétricos de 12 a 21 cm de longitud de onda y 0,8 a 1,5 cm de altura. Son frecuentes las secuencias incompletas en las que sólo se encuentran los niveles de gasterópodos. El espesor máximo de la lámina de lutitas es de unos 2 cm.

Esta subfacies constituye niveles de 0,5 a 1,5 m de espesor.

Subfacies b:

Consiste en calcarenitas, por lo general bioclásticas, cuyos componentes principales son los gasterópodos. Están organizadas en una alternancia de estratificación cruzada planar y estratificación cruzada de bajo ángulo en «sets» de 10-15 cm de espesor. Esta subfacies forma niveles de 0,5 a 1 m de potencia.

Subfacies c:

Consiste en biocalcirutidas (lumaquelas de gasterópodos) organizadas como un único «set» de estratificación cruzada planar de hasta 1,5 m de espesor.

Estas subfacies llegan a superponerse verticalmente según una sucesión a → b → c, dando lugar a potentes unidades calcareníticas que constituyen resaltes morfológicos. Sin embargo, esta secuencia rara vez se observa completa en la realidad, encontrándose con frecuencia uno sólo de sus términos, habitualmente el basal.

En este último caso, la facies que nos ocupa se presenta como cuerpos de geometría plano-convexa, de más de 50 m de amplitud y hasta 1,5 m de espesor que pueden presentar ripples sobrepuestos. Estos ripples son simétricos de crestas rectilíneas, de 5-6 cm de longitud y 0,3-0,6 cm de altura.

La facies de estratificación cruzada se sitúa principalmente hacia el techo del tramo 2 (fig. 2).

Significado sedimentológico de las facies.

Las asociaciones de estructuras que caracterizan las facies de ripples, son propias de depósitos generados por

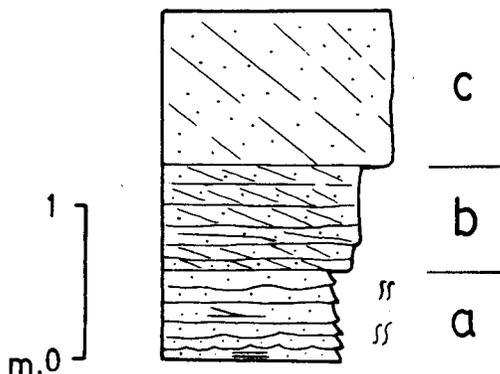


Figura 4. — Secuencia completa de la facies de estratificación cruzada; a, b y c, subfacies diferenciadas.

Figure 4. — Stylized sequence of cross bedding facies; a, b, and c, are diverse subfacies.

la acción de olas, tal como han puesto de manifiesto De Raaf *et al.* (1977) y Allen (1981) entre otros. Los niveles con estratificación «flaser» indican períodos de acción moderada pero continua del oleaje y la lenticular una acción discontinua del mismo.

En cuanto a las facies de «hummocky» creemos que es la presencia de HCS y SCS, el rasgo sedimentológico que mayor significado hidrodinámico puede tener.

Desde que Harms *et al.* (1975) definen estas estructuras hasta los trabajos más recientes de Duke (1984), Greenwood y Sherman (1986) y Surlik y Nygaard (1986) todos los autores coinciden en atribuirles una génesis en relación con tormentas. Los temporales actúan como agentes inductores de corrientes (longshore, de reflujo o de turbidez) que transportan arena a profundidades superiores a la base del oleaje de buen tiempo, donde son remodeladas como HCS por acción de flujos oscilatorios generados por las olas de tormenta combinados, según algunos autores, con flujos unidireccionales (Greenwood y Sherman, op. cit.; Swift *et al.*, 1983). Otros investigadores (Goldring y Bridge, 1973; Dott y Bourgeois, 1982) atribuyen también a los tsunamis el origen de las olas capaces de generar HCS.

Asimismo Leckie y Walker (1982) interpretan dunas conglomeráticas análogas a nuestro megariipples simétricos como formas debidas a la acción de tormentas.

La facies de estratificación cruzada obedece a la migración de formas de gran escala y representa posiblemente un cambio notable en cuanto a las condiciones de flujo. La actuación de flujos unidireccionales se hace patente en sus tres subfacies. No obstante, con carácter intermitente siguen actuando, al menos para la subfacies a, flujos oscilatorios, aunque su importancia es menor.

DISCUSIÓN

Tal como señalábamos en el apartado de introducción está claramente probado el carácter continental de los sedimentos estudiados, lo que plantea cuestiones de gran interés sedimentológico y paleogeográfico.

Como exponíamos anteriormente, depósitos con características semejantes a nuestras facies de ripples y de hummocky se han reconocido bien desarrollados en ambientes influenciados por oleaje y tormentas. De ahí que una gran mayoría de los estudios existentes relacionan tales depósitos a medios de plataformas siliciclásticas someras. Como ejemplo reciente, Handford (1986) describe una asociación de climbing ripples con HCS similar a la presente en nuestra facies de ripples, interpretando etapas de elevado aporte sedimentario bajo la acción de tormentas en un medio de plataforma marina.

Solamente unos pocos autores, describen términos similares a nuestras facies de ripples y hummocky en sedimentos lacustres. Así, Allen (1981) para una asociación de estructuras como la que caracteriza nuestras facies de ripples, deduce que se han generado por olas con períodos de 1 a 2,6 segundos en lagos con una profundidad de 0,2 a 5 m. Por nuestra parte, a partir del tamaño de grano y dimensiones de los ripples hemos obtenido, siguiendo los métodos de Clifton (1976) y Allen (1979), unos resultados que provisionalmente nos permiten estimar que esta facies se ha generado a profundidades comprendidas entre 1,3 a 7 m bajo un oleaje de 3,8 a 1 seg. de período.

Sedimentos con HCS de dimensiones comparables con las que estudiamos han sido citadas por Duke (1984), Greenwood y Sherman (1986) en depósitos pliocenos del Lago de Bonneville y en sedimentos recientes de los Grandes Lagos canadienses respectivamente. Para dichos autores estas estructuras se generan a profundidades comprendidas entre 1,2 y 2,2 m bajo los flujos oscilatorios de 1 a 4 m/s y vientos superiores a 55 km/h. Según Duke (op. cit.) el alcance («fetch») del viento sobre la superficie del agua sería de unos 15 km.

Los depósitos de la Unidad Superior que presentan litologías calcareníticas similares a las aquí descritas afloran aisladamente en un área de 30 km en sentido N-S y 50 en sentido E-W en el margen meridional del Valle del Ebro, adosados a la Cordillera Ibérica. Aunque sus dimensiones no fuesen mayores en sentido N-S, ya que los depocentros de las unidades terciarias del Ebro sufren un desplazamiento progresivo en este sentido (Riba, 1964), las actuales son más que suficientes para distancias de alcance de vientos capaces de generar tormentas, según los datos antes citados. Las velocidades de viento dadas por esos mismos investigadores son ac-

tualmente habituales durante períodos de varios días consecutivos en el centro del Valle del Ebro. Aunque, naturalmente, no se puede extrapolar los parámetros de circulación atmosférica actual al Aragoniense terminal, al menos los rasgos paleogeográficos generales de forma y marcos montañosos de la Depresión eran similares, con su posible incidencia en el régimen de vientos.

En cuanto a la facies de estratificación cruzada, presenta características que, de tratarse de un medio marino, serían referibles a subambientes litorales (bajíos, barras mareales, etc.), normalmente ubicados a profundidades menores que los depósitos con HCS, con los que se relacionaría lateralmente. Tal es el caso de los modelos propuestos por Brenner y Davis (1974), De Raaf *et al.* (1977) y Kreisa (1985) entre otros. En el área estudiada, a pesar del carácter lacustre de esta facies, parece probable que en ella se desarrollasen alguno de los procesos hidrodinámicos (oleaje y corrientes de deriva) que generan facies similares en medios marinos. Además, las medidas de direcciones de corriente en los niveles con estratificación cruzada son unidireccionales aunque muestran una amplia dispersión y también es posible que esta facies pueda responder a la influencia de flujos procedentes de los márgenes próximos al lago, tal vez relacionados con dispositivos deltaicos.

Dado que no hemos encontrado interrupciones sedimentarias en el tramo estudiado, y aceptando una menor profundidad para los sedimentos de las facies de estratificación cruzada, la evolución del mismo parece corresponder a un proceso de somerización. Como consecuencia, las facies con HCS serían menos profundas que las facies de ripples.

Desafortunadamente las condiciones de afloramiento no nos han permitido, hasta el momento, efectuar las correlaciones necesarias para establecer con seguridad las relaciones y variaciones laterales de las facies descritas, por lo que es prematuro establecer un modelo sedimentario para las mismas.

Finalmente, en cuanto al papel que los Tsunamis pueden jugar como agentes desencadenantes de oleaje capaz de generar HCS, queremos señalar que los materiales estudiados están afectados por pequeñas fallas sinsedimentarias de superficies lítricas, de salto máximo del orden de 1,5 m, estando las capas de HCS próximas a los niveles que fosilizan estas fallas e incluso fosilizándolas. Esto nos hace pensar, al menos por el momento, que no debería descartarse la influencia de una etapa de inestabilidad en la generación de las capas con HCS.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado dentro del Proyecto n.º 0826-84 subvencionado por la CAICYT.

BIBLIOGRAFÍA

- ALLEN, J.R.L., 1979: A model for the interpretation of wave ripple marks using their wavelength, textural composition, and shape. *J. Geol. Soc. London*, 146: 673-682.
- ALLEN, P.A., 1981: Wave-generated structures in the Devonian lacustrine sediments of south-east Shetland and ancient wave conditions. *Sedimentology*, 28: 369-379.
- BRENNER, R.L. y DAVIER, D.K., 1974: Oxfordian Sedimentation in Western Interior United States. *American Ass. Petrol. Geol. Bull.*, 58 (3): 407-428.
- CLIFFTON, H.E., 1976: Wave-form sedimentary structures a conceptual model. In: Beach and Nearshore Sedimentation (Ed. Davis R.A. and Ethington R.L.). *Sp. Publ. Soc. Econ. Paleont. Miner.*, 24: 126-148.
- DE RAAF, J.E., BOERSMA, J.R. y GELDER, A., 1977: Wave-generated structures and sequences from a shallow marine succession, Lower Carboniferous, County Cork, Ireland *Sedimentology*, 24: 451-483.
- DOTT, R.H. y BOURGEOIS, J., 1982: Hummocky stratification: significance of its variable bedding sequences. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 93: 663-680.
- DUKE, S.L., 1984: Paleohydraulic analysis on hummocky cross stratified sands indicates equivalence with wave-for medflat bed: Pleistocene Lake Bonneville deposits, northern Utah (abs.). *Bull. Am. Ass. Petrol. Geol.*, 68: 472.
- DUKE, W.L., 1985: Hummocky cross-stratification, tropical hurricanes, and intense winter storms. *Sedimentology*: 32, 167-194.
- GAUDANT, J., 1984: Sur les poissons fossiles (Teleosteens, cyprinidae) des gypses turoliens du fosse de Teruel: Essai d'approche paleoecologique. *Estudios Geol.*, 40: 463-472.
- GOLDRING, R. y BRIDGES, P., 1973: Sublitoral sheet sandstone. *Journal of Sedimentary Petrology*, 43: 736-747.
- GREENWOOD, B y SHERMAN, D.J., 1986: Hummocky cross-stratification in the surf zone: flow parameters and bedding genesis. *Sedimentology*, 33: 33-45.
- GUTIERREZ, M., MELÉNDEZ, A. y SORIANO, A., 1982: Las series terminales neógenas en el sector centromeridional de la Depresión del Ebro y sus relaciones con la morfogénesis. *Bol. Geol. y Min.*, 93: 465-469.
- HANDFORD, C.R., 1986: Facies and bedding sequences in shelf-storm-deposited carbonates Fayetteville shale and Pitkin Limestone (Mississippian), Arkansas. *Journal Sedimen. Petrol.*, 56⁽¹⁾: 123-127.
- HARMS, J.C., SOUTHARDS, J.B., SPEARING, D.R. y WALKER, R.G., 1975: Depositional environments as interpreted from primary sedimentary structures and stratification sequences. *Soc. Econ. Paleont. Mineral.*, Short Course n° 2, 161 p.
- IGME, 1975: Mapa geológico de España. Escala 1:50.000, 2ª serie, 236 (Astudillo), Madrid. *Serv. Publ. Ministerio Industria*, 1 mapa pleg.
- IGME, 1986: Mapa Geológico de España. Escala 1:50.000, 2ª serie, 466 (Moyuela), Madrid, *Serv. Publ. Ministerio Industria* (en prensa).
- KREISA, R.D., 1981: Storm-generated structure in sub-tidal marine facies with examples from the middle and upper Ordovician of Southwestern Virginia. *J. Sedim. Petrol.*, 51: 823-848.
- LECKIE, D.A. y WALKER, R.G., 1982: Storm and tide dominated shorelines in Cretaceous Moosedar Lower Gates interval outcrop equivalents of deep basin gas trap in Western Canada. Reply. *A.A.P.G. Bull.*, 66 (22): 138-157.
- 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.
- RIBA, O., 1964: Estructura sedimentaria del Terciario continental de la Depresión del Ebro en su parte Riojana y Navarra. *XX Congreso Geográfico Internacional Reino Unido.*, pp. 127-138.
- SURLYK, F. y NYGAARD, N., 1986: Hummocky cross-stratification from the Lower Jurassic Hasle Formation of Borholm, Denmark. *Sedimentary Geology*, 46: 259-273.
- SWIFT, D., FIGUEIREDO, A., FREELAND, G. y OERTEL, G., (1983): Hummocky cross stratification and megaripples: a geological double standard. *Sedimen. Petrol.*, 53: 1295-1317.
- TRUYOLS, J. y PORTA, J., 1982: Observaciones sobre los niveles fosilíferos del Mioceno de Castrillo de Val (Burgos). *Temas Geológicos y Mineros*. IGME, VI (2ª). 1ª Reunión sobre la Geología de la Cuenca del Duero, Salamanca, 1979. Madrid.
- WALKER, R.G., 1984: Shelf and shallow marine sands. In: Walker, R.G. ed. *Facies Models*: 141-170. Reprint series 1. Geoscience. Canadá.
- WALKER, R.G., DUKE, W.L. y LECKIE, D.A., 1983: Hummocky stratification: significance of its variable bedding sequences: discussion. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 94: 1245-1249.