

Tempestitas en el Subbético medio (Fm. Milanos, Jurásico superior). Sus características y facies relacionadas

Tempestites in the Middle Subbetic (Milanos Fm, Upper Jurassic). Their characteristics and related facies

J.M. Molina (*) y J.A. Vera (**)

(*) Departamento de Geología. Universidad de Jaén. 23071 Jaén.

(**) Departamento de Estratigrafía y Paleontología. Universidad de Granada. 18071 Granada.

ABSTRACT

We have recognized and analysed tempestites, made up by calcisiltites and calcarenites with chert and hummocky cross-stratification (HCS), in the Milanos Fm (Upper Jurassic) of the Middle Subbetic (Betic Cordillera). The most characteristic calcareous tempestite levels are packstone and grainstone (more rarely wackestone) with peloids and bioclasts. They have a thickness between 25 to 75 cm and a distinctive elemental sequence. The presence of these tempestite levels is a fundamental new argument to interpret these deposits as characteristics of the deeper parts of a platform or carbonate outer ramp, less than 200 m in depth.

Key words: tempestites, hummocky cross-stratification, Upper Jurassic, Middle Subbetic

Geogaceta, 20 (2) (1996), 315-318
ISSN: 0213683X

Introducción

El objetivo fundamental de este trabajo consiste en el estudio monográfico detallado de depósitos calizos de tormentas (tempestitas) en la Formación Milanos (Molina y Vera, 1996) perteneciente al Subbético medio, dentro de las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas. Esta formación está compuesta básicamente por calcarenitas y calcilimolitas con sílex, calizas margosas y margas de edad Kimmeridgiense superior-Tithónico (Fig. 1).

En la bibliografía geológica, los depósitos de tormentas (tempestitas), en los que se ha reconocido estratificación cruzada de tipo *hummocky* son mayoritariamente materiales siliciclásticos (ver revisiones en Brenchley, 1989; Cheel & Lec- kie, 1993). En rocas carbonatadas, son bastante menos abundantes, aunque también han sido reconocidos en muy diferentes edades y contextos geológicos (ver revisión reciente en Molina *et al.*, 1996). Depósitos carbonatados de tormentas de carácter local habían sido descritos previamente en algunas localidades del Subbético externo (Checa *et al.*, 1983; Molina, 1987; Molina *et al.*, 1987; ITGE, 1991a; Molina *et al.*, 1996) para materiales del Jurásico medio (Fm Veleta) y Jurásico Superior (Fm Ammonitico Rosso superior). En el Subbético medio los úni-

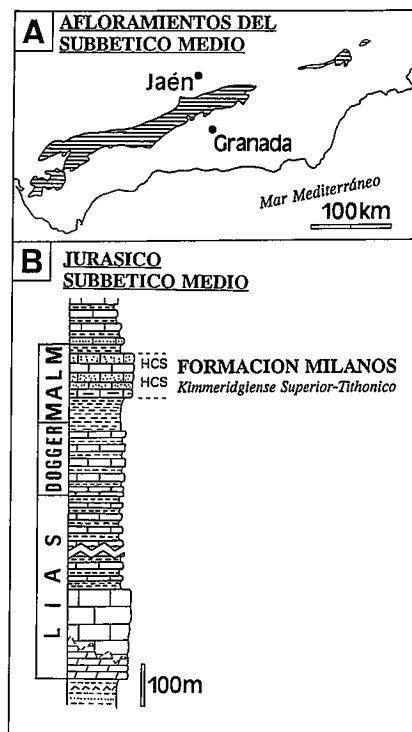


Fig. 1.- Sección estratigráfica del Jurásico del Subbético Medio

Fig. 1.- Jurassic stratigraphic section from the Middle Subbetic Domain.

cos datos previos se limitan a las memorias explicativas de algunos mapas geológicos de esta región (ITGE, 1991b,c,d) en las que se han descrito estructuras de es-

tratificación cruzada de tipo *hummocky* (HCS) en las "calizas detríticas con sílex" del Jurásico superior (Fm Milanos), que consideran como depósitos de tormentas en una plataforma marina somera. En trabajos previos (Ruiz-Ortiz & Vera, 1979) habían sido interpretadas como turbiditas calcáreas.

Estratificación cruzada *hummocky*, capas de tormentas y facies asociadas

Los niveles interpretados como capas de tormentas en este trabajo son calcilimolitas y calcarenitas caracterizadas, esencialmente, por la presencia de estratificación cruzada de tipo *hummocky* (HCS) (Fig. 2A y B). Hay excelentes ejemplos de estratos con HCS que responden a las siguientes características:

a) Son niveles calciclásticos de tamaño de grano pequeño (fracciones limo o arena muy fina), como los reconocidos en tempestitas carbonatadas de otras edades y localidades por diferentes autores. Texturalmente se trata de *grainstone* a *wackestone* (dominantemente de *packestone*). Los granos no esqueléticos dominantes son peloides, ooides e intraclastos micríticos. Entre los granos esqueléticos destacan *Saccocoma*, "filamentos", otros bioclastos no diferenciados, foraminíferos, *aptychus*, algas calcáreas, briozoos e hidrozoos. La lamina-

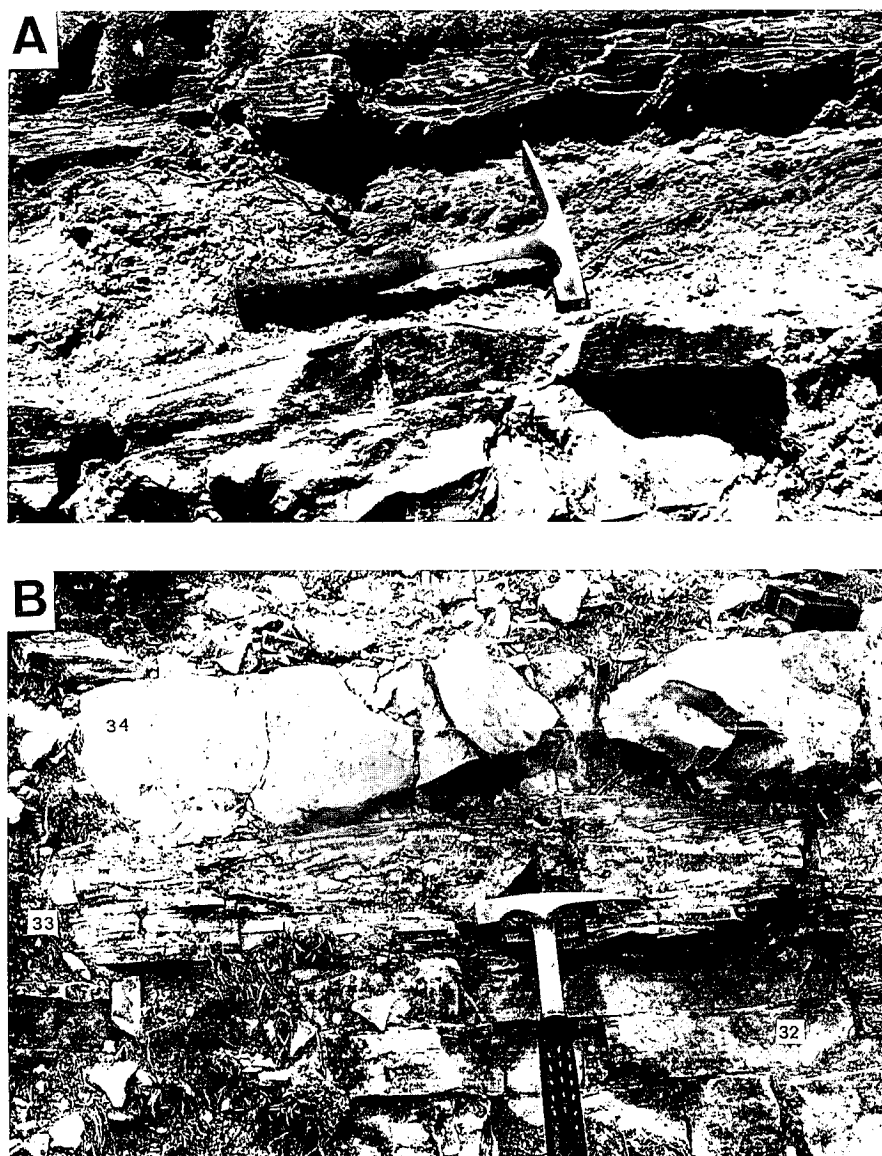


Fig. 2.- A. Aspecto de campo de algunos niveles de tempestitas con HCS. Obsérvese el techo con ripples simétricos en el nivel 27 de la sección de Arroyo Milanos. (La moneda de la escala tiene 2 cm de diámetro). B. HCS en niveles de la sección de Dehesas Viejas. Los niveles 32 y 33 son calcilimolitas con laminación paralela y techos ondulados y el nivel 34 es de calizas micríticas con radiolarios y *Saccocoma*.

Fig. 2.- A. Field aspect of some tempestite levels with HCS. The level 27 in the Arroyo Milanos section has a wavy top with symmetrical wave ripples. Levels 32-34 from the Dehesas Viejas section. Levels 32 and 33 are tempestites (calcisiltites) with HCS and wavy top, and the level 34 is micritic limestone (mudstone) with radiolaria and *Saccocoma*.

ción viene dada por la disposición paralela de los bioclastos planares y por la diferente concentración de granos, principalmente peloides.

b) Presentan, en la base de algunos estratos, *gutter casts* que sobresalen 5-8 cm del muro del estrato y tienden a tener formas lineales rectilíneas. También se han observado algunos salientes del muro, de escala centimétrica y forma de botón atribuibles a *pot casts*. Con frecuencia los *gutter casts* han sido considerados como uno de los criterios de diagnóstico de capas de tormentas.

c) El espesor de los estratos de calcarenitas y calcilimolitas con HCS es muy variable, entre los 10 cm y 1 m, aunque dominan claramente aquellos comprendidos entre 20 y 30 cm. Estos espesores son semejantes a los de tempestitas calizas de diferentes edades y localidades. No se constata la existencia de secuencias estratotrecientes o estratodecipientes, aunque si se nota un aumento hacia el techo de los niveles de calciclastitas con respecto a las margas y calizas micríticas.

d) Presentan una secuencia elemental (Fig. 3I, II y III) formada por un intervalo

basal masivo (excepcionalmente con grano-clasificación normal), un segundo intervalo de laminación paralela, un tercer tramo de HCS y un cuarto de laminación de *ripples* de olas, muy semejante a la descrita para las tempestitas en general, por ejemplo en Walker *et al.*, (1983). Las superficies de amalgamación son raras, de modo que dominan los bancos formados por un solo evento, lo que constituye un criterio de distalidad.

e) El intervalo de HCS (H de la secuencia de Walker *et al.*, 1983) se caracteriza por presentar superficies de segundo orden con antiformes (*hummocks*) y sinformes (*swales*) definidas por laminaciones con buzamientos inferiores a los 15° (generalmente inferiores a 10°), rasgo que se ha considerado como criterio de diagnóstico de los HCS desde su definición por Harms *et al.*, (1975). Entre las superficies de segundo orden se reconocen las de tercer orden formadas por las láminas internas con cambios en la inclinación. Se diferencian tres tipos de HCS en función de sus dimensiones: los de pequeña escala con longitud de onda de menos de 10 cm, los de escala media con longitudes de onda principalmente entre 30 y 60 cm y los de gran escala con longitud de onda de algunos metros.

f) Las pistas de organismos asociadas a estos niveles son escasas y se limitan a *Thalassinoides*. A estas huellas clasificables hay que unir la existencia de algunas pistas verticales en los niveles de calcilimolitas que son asimilables a tubos de escape verticales, que representan las huellas de organismos enterrados bruscamente en un intento de salir a la superficie, después de una tormenta.

g) Presencia de *ripples* simétricos de olas en el techo de numerosos niveles calcilimolíticos y calcareníticos (Fig. 3I, II y VI) sobre el intervalo con laminaciones de *ripples* de olas. Los *ripples* de olas en el techo de los estratos tienen longitudes de onda que oscilan de 35-65 cm y altura de 3,5 a 6 cm, por tanto con una relación longitud de onda/altura del orden de 10. Estos *ripples* en planta presentan formas subsférica o elíptica, con la consiguiente dispersión de los buzamientos de las láminas, rasgos que también han sido considerados como significativos de los estratos con HCS (Harms *et al.*, 1975).

h) En algunos niveles se han podido medir direcciones de paleocorrientes en la base del estratos, a partir de marcas de muro, estratificaciones cruzadas y/o *parting lineations*, resultando la dirección aproximadamente perpendicular a las crestas de los *ripples* de olas simétricos del techo. Este hecho ha sido constatado en tempestitas por diferentes autores y considerado como un criterio importante para

admitir que en la génesis de las mismas se coordina la acción de flujos unidireccionales y flujos oscilatorios.

i) Predominan las secuencias típicas de tempestitas, que representan más del 75 % de los niveles calciclásticos estudiados (Fig. 3I, II y III). Sin embargo, también aparecen, especialmente en los afloramientos de Sierra Pelada, norte de dicha sierra y este de Parapanda, otras secuencias con HCS intercalada entre laminación plana paralela y con cambios laterales de esta HCS a laminación plana paralela (Fig. 3IV). También hay algunos niveles con claras secuencias de Bouma completas (Fig. 3V) o incompletas y más localmente con *convolute lamination* e incluso secuencias de Bouma de tipo también turbidítico pero con *ripples* de oleaje y laminación ondulada en el techo (Fig. 3VI).

Interpretación genética y conclusiones

Casi todos los niveles de calcilimolitas o calcarenitas aquí estudiados y que tienen estructuras HCS pueden ser interpretados como capas de tormentas. La presencia de HCS es considerada, de manera general, como un criterio distintivo de sedimentación en una plataforma, y dentro de ella en el sector comprendido entre el nivel de base del oleaje de buen tiempo y el nivel de base de las olas de tormentas, y más episódicamente por debajo del nivel de base de tormentas hasta el nivel al que llegan excepcionalmente las tormentas. Aplicando el modelo de rampa carbonatada de Burchette y Wright (1992) se trataría de la rampa media (en la que el sedimento del fondo es retrabajado frecuentemente por marejada y oleaje de tormentas) y la rampa externa caracterizada por el depósito de *mudstone* y pocos lechos de tormentas.

Diferentes autores (Aigner, 1985; Monaco, 1992, 1994) han planteado criterios de diferenciación entre tempestitas calcáreas proximales y distales. De acuerdo con estos criterios los materiales aquí estudiados mayoritariamente son distales.

Según las tablas de tiempo geológico calibrado más actuales, el intervalo de tiempo representado en la Fm Milanos (Kimmeridgiense superior-Tithonico) puede tener una duración de 8 a 9 millones de años. En las dos secciones estratigráficas estudiadas con detalle el número de estratos de tempestitas es del orden de 150 en la sección del Arroyo Milanos y de 95 en la sección de Dehesas Viejas, el intervalo medio de recurrencia de los episodios tempestíticos es de 53.000 a 95.000 años, mucho mayor que los calculados para materiales de la misma edad en

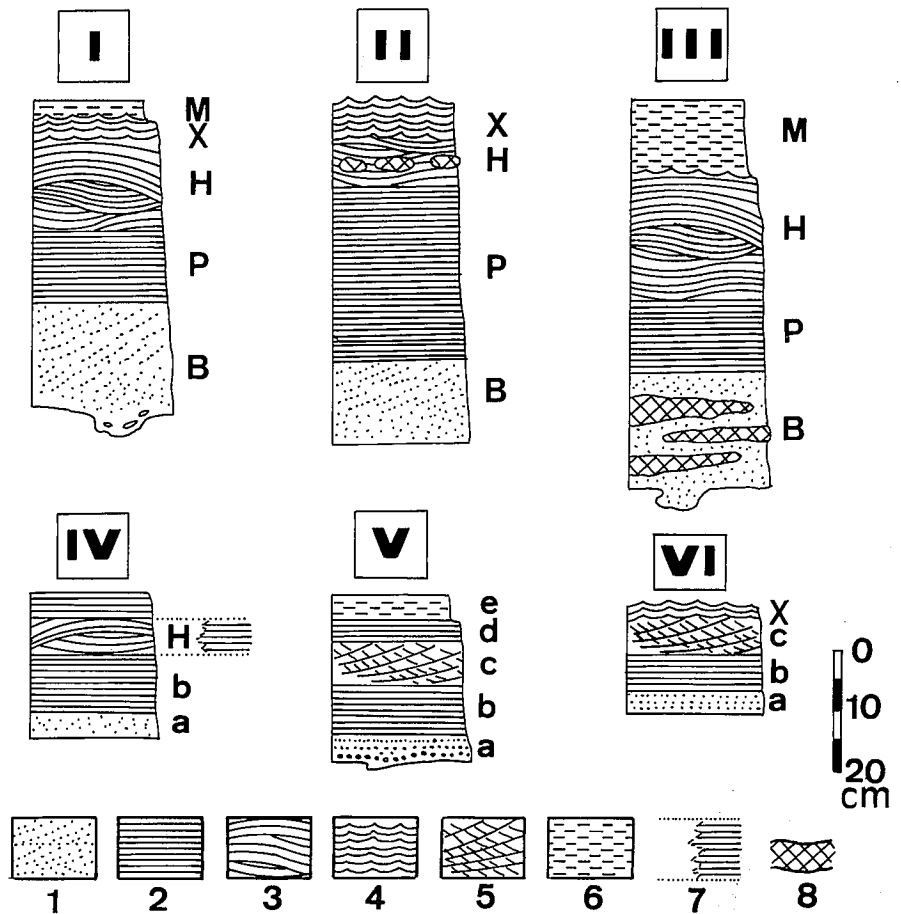


Fig. 3.- Secuencias elementales de las tempestitas y turbiditas calcáreas estudiadas. I-III: Secuencias de las tempestitas (intervalos B, P, H y X según la nomenclatura de la secuencia de Walker *et al.*, 1983). IV: Secuencias incompletas (Ta-b o Tb) con HCS de pequeña escala cambiando lateral y verticalmente a laminación paralela. V: Secuencia de Bouma completa. VI: Secuencia turbidítica (Ta-c) con *ripples* de olas simétricos y laminación ondulada en el techo. Clave de facies: 1.- Masivo o laminación difusa. 2.- Laminación paralela horizontal. 3.- HCS. 4.- Ripples de olas simétricos. 5.- Ripples de corrientes (intervalo c de la secuencia de Bouma). 6.- Margas pelágicas. 7.- Cambios laterales a laminación paralela horizontal. 8.- Siliceo.

Fig. 3.- Elemental sequences from the studied calcareous tempestites and turbidites. I-III: Sequences of the tempestites (B,P,H,X intervals according to the nomenclature of the sequences of Walker *et al.*, 1983). IV: Incomplete sequences (Ta-b or Tb) with small scale HCS changing laterally and vertically to parallel lamination. V: Complete Bouma sequence. VI: Turbidite sequence (Ta-c) with symmetrical wave ripples and undulate lamination on the top. Facies key: 1.- Massive or diffuse lamination. 2.- Parallel horizontal lamination. 3.- HCS. 4.- Symmetrical wave ripples. 5.- Current ripples (interval c of the Bouma sequence). 6.- Pelagic marls. 7.- Lateral changes to parallel horizontal lamination. 8.- Chert.

medios de plataforma somera. Este hecho también avala una interpretación en la que la sedimentación hubiese ocurrido en las partes más profundas de las plataformas que solamente pudiesen ser afectadas por las olas de tormentas excepcionales y en los episodios de nivel del mar más bajo.

La diferenciación entre turbiditas y tempestitas ha constituido un tema de debate reciente (Einsele y Seilacher, 1991) ya que la distinción en materiales antiguos de ambos tipos de depósitos, con frecuencia no resulta fácil. Este es el caso de las capas de tormentas que se estudian en este trabajo que fueron interpretadas como depósitos de

turbiditas carbonatadas (Ruiz-Ortiz y Vera, 1979) antes de que tuviese lugar el gran desarrollo del conocimiento de las capas de tormentas y la HCS. La existencia de verdaderas turbiditas calcáreas de la misma edad en otro dominio paleogeográfico de este mismo margen y la presencia de niveles de verdaderas turbiditas (calciruditas y calcarenitas con la secuencia de Bouma) en esta formación, fueron los criterios que impulsaron a estos autores a considerar como turbiditas a la mayoría de los niveles calcareníticos y calcilimolíticos con laminaciones paralelas. La estrecha relación lateral y vertical entre tempestitas y turbiditas, según el mo-

delo de Walker (1984), hace que además puedan estar muy cercanas unas de otras y que puedan intercalarse. Los ejemplos de relaciones verticales entre tempestitas y turbiditas carbonatadas son abundantes (Wright, 1986; Monaco, 1992, 1994, 1995). Einsele y Seilacher (1991) resumieron los rasgos distintivos entre turbiditas y tempestitas. Aplicando estos criterios los materiales aquí estudiados son claramente tempestitas, en especial, por la presencia de *ripples* de olas simétricos, *HCS* y *gutter casts*, así como por la ausencia de *convolute lamination*.

Prave y Duke (1990) describieron HCS de pequeña escala en turbiditas calciclásticas. En los materiales aquí estudiados solamente algunos niveles, pudieran atribuirse a una génesis equivalente a la propuesta por Prave y Duke (1990) por tratarse de micro-HCS entre laminaciones paralelas en estratos de techo plano, pero la gran mayoría de los niveles difieren de los descritos por estos autores

Las pocas pistas de organismos reconocibles, *Thalassinoides* en las calcarenitas y *Chondrites* en las calizas micríticas, pertenecen a la ichnofacies *Cruziana*, son perfectamente compatibles con una interpretación batimétrica de las partes más profundas de una plataforma marina de acuerdo con los modelos más usuales de distribución de las ichnofacies (Monaco, 1995).

En otros márgenes continentales alpinos, del ámbito mediterráneo, se han reconocido tempestitas calcáreas intercaladas entre sedimentos jurásicos pelágicos (Cecca *et al.*, 1987; Monaco, 1992, 1994) y que se disponen sobre niveles de turbiditas, que los citados autores consideran como un criterio de la escasa profundidad generalizada del margen. Monaco (1992) aplica el modelo de Walker (1984) en el que se considera que se pasa lateralmente (y verticalmente) desde facies con HCS hacia turbiditas. De este modo considera que las tempestitas se depositarían en la parte más profunda de la plataforma, por encima del nivel de base de olas de tormenta más importantes, mientras que las turbiditas lo harían en las áreas aún más profundas, localizadas por debajo de este nivel.

En las reconstrucciones paleogeográficas del extremo occidental del Tethys para el Kimmeridgiense y el Tithónico (Dercourt *et al.*, 1993) se estima que la paleolatitud de la región aquí estudiada era de 22°N y 26°N, respectivamente. En estas paleolatitudes y posición paleogeográfica (parte oriental de un continente) se darían condiciones óptimas para que la región quedase afectada por huracanes tropicales, factor que para algunos autores (Duke, 1985) es el más importante para explicar la génesis de los HCS, argumento que no comparten otros autores (Klein & Marsaglia, 1987), para los cuales las tormentas de invierno serían más importantes, como factor genético.

En definitiva, todos los datos disponibles apoyan una interpretación de que el depósito de la Fm Milanos se efectuó en un medio de plataforma marina (en su parte más profunda) o de rampa carbonatada externa (según la clasificación de Burchette y Wright, 1992) en ambos casos a menos de 200 m de profundidad. Esta nueva interpretación batimétrica de los materiales estudiados obliga a reconsiderar las atribuciones de profundidad de las facies radiolaríticas, que se disponen inmediatamente debajo de las tempestitas aquí estudiadas.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido realizada dentro del proyecto PB-93-1150 financiado por la DGICYT y de los grupos de investigación nº 4089 y 4135 de la Junta de Andalucía.

Referencias

- Aigner, T. (1985): *Lect. Not. Earth Sci.*, 3, pp. 174. Springer-Verlag, Berlin.
 Brenchley, P.J. (1989): *Geol. Today*, 5, 133-136.
 Burchette, T.P. y Wright, V.P. (1992): *Sedim. Geol.*, 79, 3-57.
 Dercourt, J.; Ricou, L.E. y Vrielynck, B. (Eds) (1993): *Atlas Tethys palaeoenvironmental maps*. BEICIP-FRANLAB.
 Cecca, F.; Cresta, S.; Pallini, G. y Santantonio, M. (1987): *Atti II Conv. Int.*

- F.E.A.*, pp. 63-139.
 Checa, A.; Molina, J.M. y Olóriz, F. (1983): *Comun. X Congr. Nac. Sedim.*, Menorca, pp. 3.17-3.20.
 Cheel, R.J. y Leckie, D.A. (1993): *Sedim. Review*, 1, 103-122.
 Duke, W.L. (1985): *Sedimentology*, 32, 167-194.
 Einsele, G. y Seilacher, A. (1991): In *Cycles and events in stratification* (G. Einsele, W. Ricken y A. Seilacher, Eds.), pp. 377-382. Springer-Verlag, Berlin.
 Harms, J.C.; Southard, J.B.; Sparing, D.R. y Walker, R.G. (1975): *Soc. Econ. Paleont. Mineral. Short Course*, 2, 161 pp.
 ITGE (1991a): Mapa y memoria explicativa de la Hoja 968 (Alcaudete) del Mapa Geológico de España a escala 1:50000. *Inst. Tecn. Geom. Esp.*, 52 pp.
 ITGE (1991b) Mapa y memoria explicativa de la Hoja 970 (Huelma) del Mapa Geológico de España a escala 1:50000. *Inst. Tecn. Geom. Esp.*, 52 pp.
 ITGE (1991c) Mapa y memoria explicativa de la Hoja 990 (Alcalá la Real) del Mapa Geológico de España a escala 1:50000. *Inst. Tecn. Geom. Esp.*, 52 pp.
 ITGE (1991d) Mapa y memoria explicativa de la Hoja 991 (Iznalloz) del Mapa Geológico de España a escala 1:50000. *Inst. Tecn. Geom. Esp.*, 84 pp.
 Klein, G. de V. y Marsaglia, K.M. (1987): *Sedimentology*, 34, 333-337.
 Molina, J.M. (1987): *Tesis Doctoral*, Univ. Granada, 518 pp.
 Molina, J.M.; Ruiz-Ortiz, P.A. y Vera, J.A. (1987): *Acta Geol. Hisp.*, 22, 167-175.
 Molina, J.M.; Ruiz-Ortiz, P.A. y Vera, J.A. (1996): *Sedim. Geol.* (en prensa).
 Molina, J.M. y Vera, J.A. (1996): *Geogaceta*, 20 (1), 35-38.
 Monaco, P. (1992): *Sedim. Geol.*, 77, 123-142.
 Monaco, P. (1994): *Geobios*, 17, 679-688.
 Monaco, P. (1995): *Geobios*, 18, 299-311.
 Ruiz-Ortiz, P.A. y Vera, J.A. (1979): *Cuad. Geol. Univ. Granada*, 10, 571-582.
 Walker, R.G. (1984): In *Facies Models* (R.G. Walker, Ed.), 2nd Ed. *Geosc. Can. Repr. Ser.*, 1, 141-170.
 Walker, R.G.; Duke, W.L. y Leckie, D.A. (1983): *Bull. Geol. Soc. Am.*, 94, 1245-1249.
 Wright, V.P. (1986): *Sedimentology*, 33, 831-838.