

Reconocimiento de acumulaciones travertínicas fósiles en la Fm. Aguilar (Kimmeridgiense-Berriasiense de Palencia y Burgos): implicaciones paleoecológicas y paleohidrológicas.

Recognition of fossil travertine accumulations in the Aguilar Fm. (Kimmeridgian-Berriasian of Palencia and Burgos): palaeoecological and palaeohydrological implications.

J.M^a Hernández (*), C. Diéguez (**), V. Pujalte (*), S. Robles (*) y V.P. Wright (***)

(*) Dpto. Estratigrafía y Paleontología. Universidad del País Vasco. Apdo. 644 48.080 Bilbao
 (**) CSIC Museo Nacional de Ciencias Naturales. Jose Gutiérrez Abascal, 2. 28.006 Madrid
 (***) Dept. Earth Sciences. Cardiff University. Cardiff CF1 3YE, UK

ABSTRACT

Fossil travertine deposits have been recognized in the Aguilar Fm., which are intercalated within the typical lacustrine/palustrine limestones of this unit. Macroscopically, they are characterised by numerous plant remains and microscopically by abundant features attributable to microbial activity. The travertine accumulation occurred next to an important fault line that was contemporaneously active. Because of that, they are thought to record former hot-springs within a discharge-type water inflow system.

Key Words: palaeotravertine, bacterial activity, palaeoecology and palaeohydrology, Aguilar Fm., late Jurassic-earliest Cretaceous, Basquecantabrian basin.

Geogaceta, 24 (1998), 167-170
 ISSN: 0213683X

Introducción

La Fm. Aguilar (Kimmeridgiense-Berriasiense) está constituida por una potente sucesión aluvio-lacustre y representa el relleno de la Cuenca de Aguilar de Campóo. El origen y evolución de esta cuenca estuvieron ligados a la actividad de la falla de Villela, que delimitó su margen meridional (Fig. 1a y b). En las proximidades de dicho margen, interdigitados entre sedimentos lacustres de la Fm. Aguilar, se han reconocido depósitos carbonatados de morfología canalizada y microfábrica típicamente bacteriana. Dichos depósitos se han interpretado como un travertino fósil en el sentido de Ford y Pedley (1996), es decir "acumulaciones de carbonato depositadas por procesos orgánicos o inorgánicos, en medios termales e hidrotermales, en los que las bacterias han sido directa o indirectamente responsables de la mayor parte de la precipitación». Dada su proximidad a la falla de Villela, muy activa durante la sedimentación, se interpreta que este paleotravertino se habría precipitado a favor de una surgencia de aguas termales.

Aunque existe abundante información sobre travertinos modernos, principalmente pliocenos y cuaternarios, no ocurre lo mismo con los antiguos, debido a su escaso potencial de conservación y/o

a los procesos erosivos habituales en ambientes subaéreos. Así, Ford y Pedley (1996) en su «Review of tufa and travertine deposits of the world» sólo citan dos paleotravertinos: uno de edad triásica terminal (Glazek, 1989); y otro Mioceno (Schweitzer y Scheuer, 1995). Por su parte, Steinen *et al.* (1987) estudian un travertino jurásico en Connecticut. La escasa presencia de travertinos fósiles en el registro geológico hace que su existencia en la Fm. Aguilar adquiera mayor relevancia.

El objetivo de esta nota es caracterizar las microestructura del citado paleotravertino, y discutir el modelo ecológico e hidrológico en el que fue acumulado.

Arquitectura de facies

En la sección tipo, localizada precisamente cerca de la población de Villela, se han reconocido tres asociaciones de facies principales (Fig. 1c) que se relevan gradualmente en la vertical:

1) Asociación lacustre: calizas micríticas bien estratificadas con restos de ostrácodos, pequeños gasterópodos y, sobre todo, abundantes carofitas en posición de vida, que constituyen el rasgo más distintivo y diagnóstico de la asociación.

2) Acumulaciones travertínicas: se presentan en litosomas de morfología

canaliforme, potencia superior a los dos metros y extensión lateral reducida, siendo rápidamente sustituidos vertical y lateralmente por la asociación lacustre o palustre. La mayoría de estos litosomas culmina con una delgada acumulación de oncolitos. Internamente, los litosomas muestran bandeados milimétricos grisáceos claros y oscuros. Asimismo, contienen numerosos moldes de macrofitas relativamente bien preservados, atribuidos principalmente a cycadophytas.

3) Asociación palustre: calizas margosas y margas calcáreas caracterizadas por abundantes rasgos pedogénicos, originados por repetida exposición e inundación del fango carbonatado original.

El relevo vertical de las citadas asociaciones de facies, indica una somerización lacustre asociable a una retracción de los sistemas hacia zonas más internas de la cuenca. De esta forma se explica coherentemente la transición desde ambientes lacustres abiertos hasta zonas palustres marginales, pasando por un estadio intermedio de aporte de aguas canalizadas al sistema.

Biofacies del paleotravertino

Tal como se ha avanzado, la acumulación travertínica se caracteriza macroscópicamente por el elevado número de res-

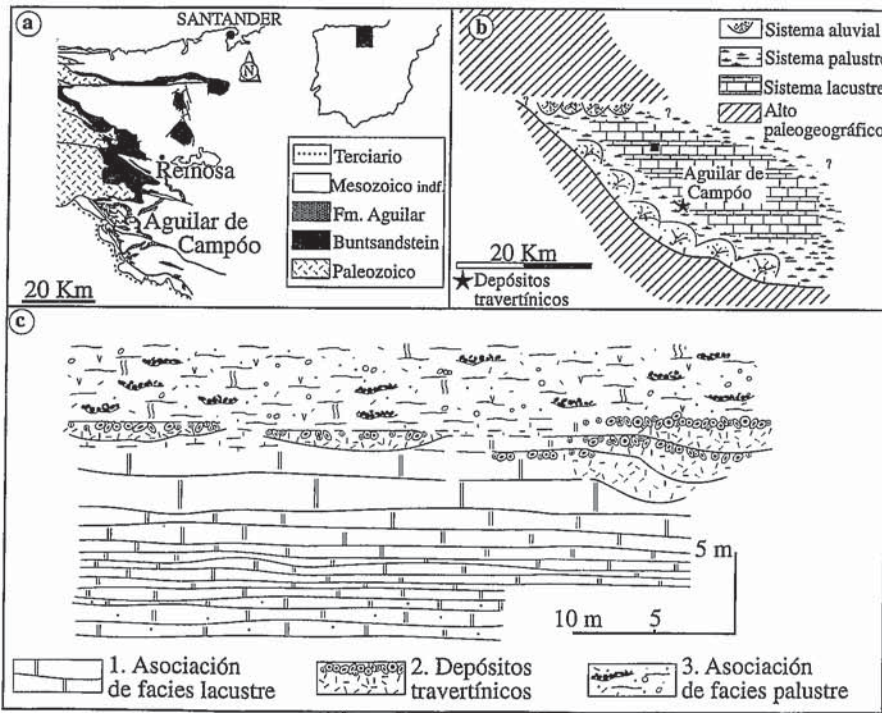


Fig. 1- a) Localización geológica; b) Situación de los paleotravertinos en el contexto paleogeográfico de la Cuenca de Aguilar de Campó; b) Arquitectura deposicional. Nótese la morfología canalizada y los niveles oncólitos tapizando la parte superior de los litosomas canalizados.

Fig. 1- a) Geological setting; b) Palaeogeography of the Aguilar Fm. and location of the palaeotravertine; c) Field sketch showing the relationship between the three facies associations recognized in this study. Note the channel-like morphology of the travertine association.

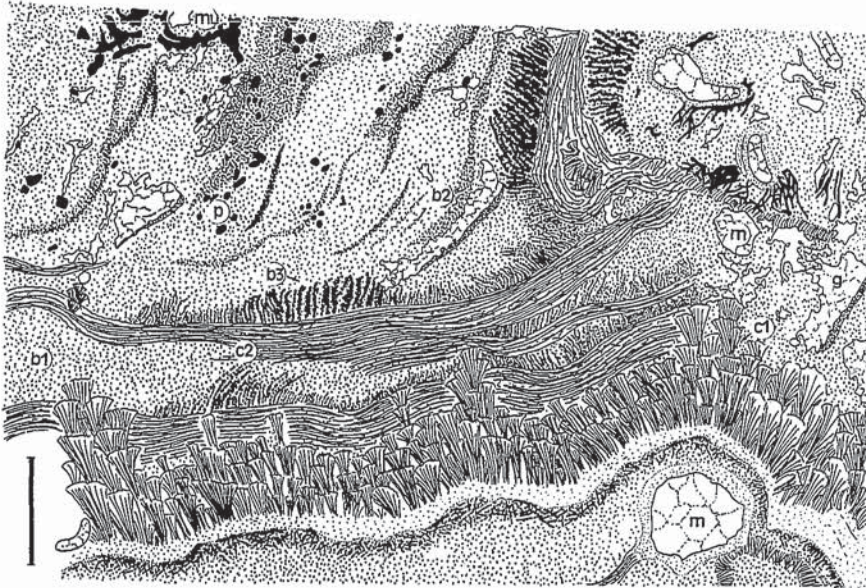


Fig. 2- Esquema obtenido a partir de lámina delgada, en el que se observan las diferentes microfábricas descritas y sus interrelaciones. Leyenda: c1) colonias de cianobacterias arborescentes; c2) mallas finamente laminadas de cianobacterias; b1) acumulación simple de corpúsculos bacterianos; b2) laminación bacteriana; b3) niveles filamentosos bacterianos; m) secciones de macrofitas; f) filamentos no identificados; g) rellenos geopetales; mu) posibles restos mucilaginosos; p) pelets. Barra vertical = 5 mm.

Fig. 2- Line-diagram of a thin-section showing the different microfabric features recognized within the travertine. Legend: c1) cyanobacterial bush-like growth structure; c2) cyanobacterial laminated mats; b1) simple accumulation of bacterial clumps; b2) bacterial wavy lamination; b3) bacterial filaments; m) macrophyte section; f) undetermined filaments; g) geopetal infill; mu) possibly mucilaginous remains; p) pellets. Vertical bar = 5 mm.

tos vegetales que posee, sobre todo frondes y tallos. Sin embargo, la asociación florística muestra una variedad ecológica poco importante, estando esencialmente constituida por los géneros *Zamites*, *Pterophyllum* y *Ptilophyllum*, característicos de condiciones ambientales áridas. En contraste, el material carbonatado que recubre estos restos vegetales presenta una alta variabilidad de microtexturas (Fig. 2), casi todas atribuibles a la acción de microorganismos, básicamente cianobacterias y bacterias:

Cianobacterias: presentan microestructura compleja, habiéndose reconocido niveles arborescentes y niveles finamente laminados. Los primeros (Fig. 3a) se disponen en colonias de delicada microfábrica arbustiva de aproximadamente 1 mm de espesor formadas por crecimientos frondosos (penacho o abanico) de 200-300 μm en los que se reconocen filamentos de hasta 10 μm de longitud (Fig. 3b), similares a los atribuidos por Riding (1983), y Ford y Pedley (1996) a las algas verdeazuladas *Ortonella* y *Rivulariaceae*.

La microestructura laminada se caracteriza por crecimientos subhorizontales alabeados (Fig. 3c), que tienden a compensar irregularidades producidas en crecimientos microbianos previos, especialmente colonias de cianobacterias arborescentes. Cabe destacar la presencia de un fino entramado de filamentos calcificados (200 a 300 μm), dispuestos subparalelamente al bandeado de forma muy similar a la que presenta la cianobacteria *Girvanella* (Catalov, 1983). Mallas bacterianas delgadas sin colonias arborescentes, originadas por la asociación de bacterias y cianobacterias, han sido reconocidas en surgencias hidrotermales actuales (Doemel y Brock 1974).

Bacterias: corpúsculos (clumps) de 40 μm de tamaño, forma subredondeada y tonalidad oscura incluidos en un cristal de esparita clara, similares a los descritos por Chafetz y Meredith (1983) y Chafetz y Folk (1984), aunque en nuestras muestras el tamaño es sensiblemente superior. Estas unidades bacterianas básicas se disponen: (i) en acumulaciones simples formando una matriz más o menos homogénea, con los espacios intercorpúsculos ocluidos por calcita esparítica (Fig. 3c y d); (ii) concentradas preferentemente en laminaciones alabeadas; (iii) en colonias filamentosas de elongación perpendicular a la superficie de crecimiento (Fig. 3d); o (iv) en colonias arborescentes de ramificaciones radiadas (Fig. 3e).

El crecimiento expansivo vertical (iii) puede ser debido, según Chafetz y

Folk (1984), a un efecto fototrópico, lo cual indicaría que las bacterias eran fotosintéticas. Pentecost (1995) ha documentado una respuesta fototáctica diaria en comunidades bacterianas filamentosas del centro de Italia. Las colonias filamentosas habitualmente presentan una inclinación generalizada del eje máximo de crecimiento que puede llegar hasta los 30°. Chafetz y Folk (1984), basándose en ejemplos actuales del Parque Nacional de Yellowstone, consideran que una inclinación en la elongación de las colonias indica el sentido de la corriente acuosa.

Los núcleos de los oncolitos que tapizan el techo de las acumulaciones travertínicas están formados por fragmentos del travertino infrayacente. Muestran crecimientos concéntricos de morfología laminar y arborescente, y microestructura filamentososa similar a la descrita para las cianobacterias.

Eventualmente se encuentran agrupaciones de filamentos entrelazados alrededor de una sección de macrofitas, de tamaño muy superior al de las cianobacterias (1-2 mm), y cuya atribución a un taxón determinado es complicada. Drysdade y Gale (1997) han encontrado filamentos calcificados de tamaño similar asociados a cianobacterias en travertinos actuales, si bien Chafetz y Folk (1984) afirman que los hongos producen filamentos más largos que los de la actividad bacterial.

Discusión

Se acepta ya que las bacterias son directa o indirectamente responsables del origen de la mayoría de travertinos. Investigaciones en Bagni di Tivoli (Italia), por ejemplo, han revelado la existencia de una rica flora bacteriana en travertinos activos (Pentecost y Tortora, 1989). En algunos casos se ha comprobado que las bacterias han podido inducir hasta el 90% o más de la precipitación de carbonato (Folk, 1994). Chafetz y Folk (1984) concluyen que la mayoría de los constituyentes de los travertinos son el resultado de la incrustación extracelular de bacterias por cristales de calcita. Asimismo, resultados experimentales han corroborado que las bacterias son capaces de precipitar carbonato cálcico o producir condiciones localmente favorables para su precipitación (Krumbein, 1979).

Según Ford y Pedley (1996), el término travertino debe restringirse a aguas dulces de origen termal o hidrotermal

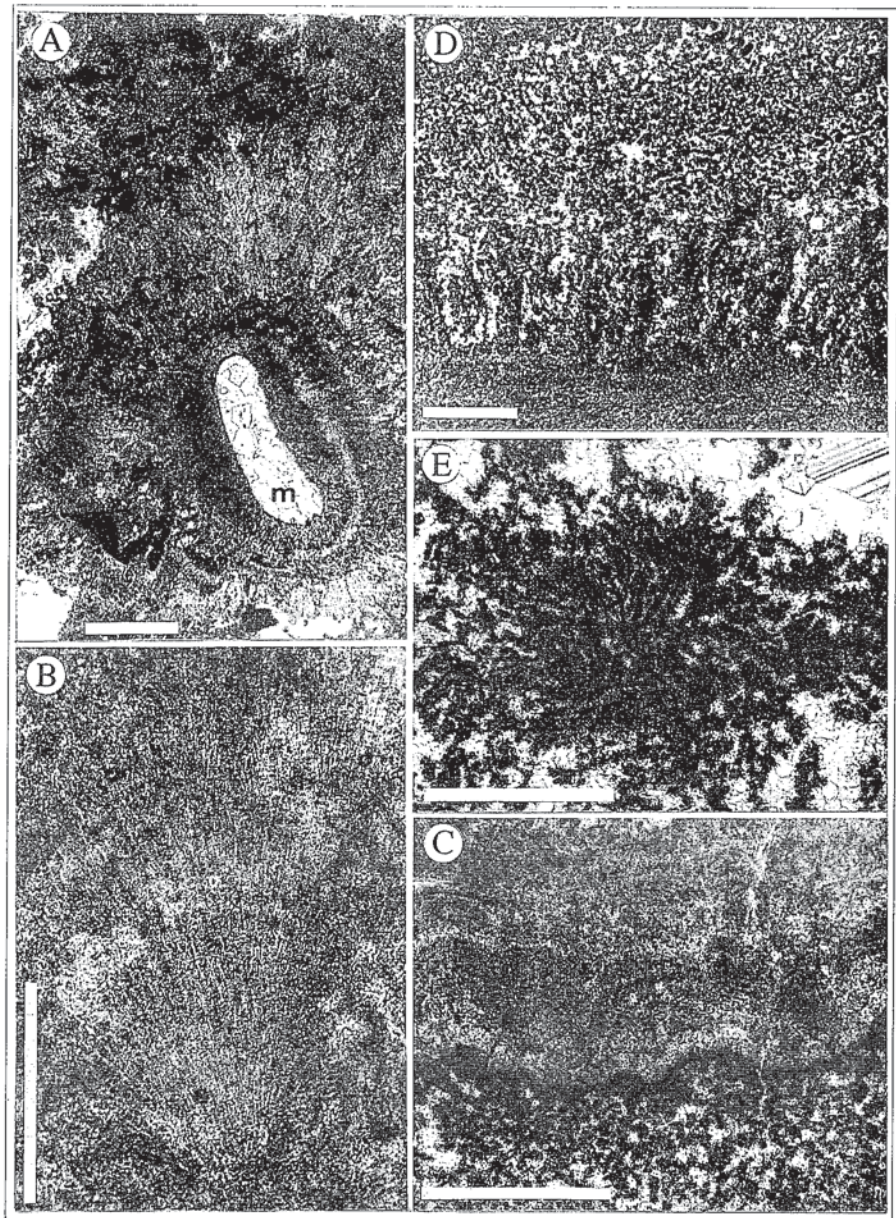


Fig. 3- Microfotos del travertino mostrando detalles de la actividad bacteriana: a) Colonia arborescente de cianobacterias recubriendo una sección de macrofitas (m); b) Detalle de una colonia arborescente cianobacteriana donde pueden observarse los filamentos calcificados; c) Colonias de cianofitas finamente laminadas, creciendo sobre un intervalo bacteriano sin ordenamiento preferencial; d) Nivel bacteriano filamentososo (nótese la inclinación de los ejes en el sentido de la paleocorriente) y tramo de acúmulo simple de corpúsculos bacterianos; e) Colonia bacteriana arbustiva con crecimiento radial. La barra blanca equivale a 1 mm en a, c, d, e y 0.5 mm en b.

Fig. 3- Microphotos of the paleotravertine facies showing details of microbial activity: a) Cyanobacterial brush colony coating a macrophyte section (m); b) Close-up of a bush-like colony showing details of its constitutive calcified filaments; c) Cyanobacterial laminate fabric growing upon a simple accumulation of bacterial clumps interval; d) Bacterial elongated filaments showing a systematic tilt of their axes, and simple accumulation of bacterial clumps; e) Shrub-like growth of a radial bacterial colony. Scale: white bar = 1 mm in a, c, d, e and 0.5 mm in b

donde el acúmulo de CaCO_3 es dominado por precipitación fisicoquímica y bacteriana. Así, los travertinos tienden a mostrar una pequeña variabilidad de facies, debido a su relativamente limitada extensión lateral, reconociéndose únicamente actividad bacteriana y reducida presencia de macrofitas.

Según el esquema propuesto por Chafetz y Folk (1984), en las inmediaciones de la surgencia hidrotermal el proceso de precipitación de carbonato es básicamente inorgánico: un descenso de la presión del agua al salir al aire libre provoca su empobrecimiento en CO_2 por desgasificación, induciendo un descenso del pH y

propiciando la precipitación de CaCO_3 .

La mayoría de las aguas hidrotermales surgen con un rango de temperatura comprendido entre 10 y 30° C y progresivamente se enfrían al alejarse del manantial, propiciando el desarrollo de los procesos orgánicos. Las bacterias pueden desarrollarse y crecer activamente en un amplio rango de condiciones ambientales, mientras que las cianobacterias (algas verdeazuladas) tienen un espectro ecológico más reducido (Brock, 1976). En resumen, el progresivo enfriamiento de las aguas termales corriente abajo permite la colonización del medio sucesivamente por bacterias, cianobacterias, y/o macrofitas, incrementándose la precipitación orgánica en detrimento de la puramente fisicoquímica.

Desde el punto de vista de la microtextura, los depósitos aquí descritos deben atribuirse a un paleotravertino, si bien la presencia de cianofitas y cyaadales parece indicar una posición algo alejada de la surgencia.

La proximidad de la falla de Villela a los depósitos travertínicos induce a pensar que ésta podría haber funcionado como vía de llegada de las aguas desde el subsuelo hasta la superficie. Existen numerosos ejemplos de depósitos travertínicos actuales asociados a zonas tectónicas o sísmicamente activas, como ciertas partes del sistema de Pamukkale en Turquía (Altunel y Hancock, 1994), o las termas de San Giovanni en Italia (Chafetz y Folk, 1984).

Las morfologías canalizadas de los depósitos (Fig. 1c), junto con la presencia de oncolitos, y la inclinación de las colonias bacterianas filamentosas (Fig. 3d), apoya el modelo de un travertino algo evolucionado en el que hay movimiento efectivo de las aguas. Ello permitiría el descenso de la temperatura posibilitando el desarrollo de cianobac-

terias y la instauración de las primeras comunidades de plantas superiores.

De acuerdo con Wright *et al.* (1997), la existencia de sistemas travertínicos interconectados con las facies palustres y lacustres, sugiere un modelo hidrológico tipo descarga. Según este modelo, aguas saturadas en carbonato cálcico nutrían los sistemas lacustres de la Cuenca de Aguilar de Campóo.

Conclusiones

En la cuenca aluvio-lacustre mesozoica de Aguilar de Campóo han sido reconocidas acumulaciones travertínicas lateralmente conectadas a los sistemas lacustres; estos depósitos muestran morfología canalizada y están culminados por delgados niveles oncolíticos.

Las microfacies que presentan demuestran que la precipitación de carbonato fue inducida mayoritariamente por acción bacteriana, lo que indica que debió producirse en las inmediaciones de una surgencia de aguas termales. No obstante la existencia de cianobacterias y macrofitas parece indicar un cierto distanciamiento del manantial.

El acceso de las aguas hasta la superficie debió realizarse a través de la cercana falla de Villela, lineación tectónica muy activa que condicionó la creación y relleno sedimentario de la cuenca.

La existencia de travertinos lateralmente conectados a las facies lacustres de la Fm. Aguilar, y depositados coetáneamente a ellos, apunta hacia un modelo hidrológico tipo descarga. Según el cual, aguas subterráneas ricas en carbonatos surgirían en manantiales cerca de la falla de Villela, y alimentarían pequeños riachuelos que desembocarían en la Cuenca de Aguilar de Campóo incrementando su nivel hidrológico.

Agradecimientos

Contribución al Proyecto de Investigación del Gobierno Vasco: UE 97/11

Bibliografía

- Altunel, E. y Hancock, P.L. (1994): *Z. Geomorphol. Suppl.*, 94: 285-302
- Brock, T.D. (1976): In: *Stromatolites* (Ed. M.R. Walter) 141-148 Elsevier, New York
- Catalov, G.A. (1983): In: *Coated Grains* (Ed. T.M. Peryt) 398-408 Springer-Verlag, Berlin
- Chafetz, H.S y Meredith, J.C. (1983): In: *Coated Grains* (Ed. T.M. Peryt) 450-455 Springer-Verlag, Berlin
- Chafetz, H.S y Folk, J.C (1984): *J. Sed. Petrol.*, 54: 289-316
- Doemel, W.N. y Brock, T.D (1974): *Science*, 184: 1083-1085
- Drysdale, R.N. y Gale, S.J. (1997): *Earth Surf. Proc. Land.*, 22: 413-418
- Folk, R.L. (1994): *Geogr. Phys. Quaternaire*, 48 :233-246
- Ford, T.D. y Pedley, H.M. (1996): *Earth-Science Rev.*, 41: 117-175
- Glazek, J. (1989): In: *Paleokarst* (Ed. P. Bosak) 77-106 Acad. Prague y Elsevier, Amsterdam
- Krumbein, W.E. (1979): *Geomicrobiology Jour.*, 1: 139-203
- Pentecost, A. (1995): *Microbios*, 81: 45-58
- Pentecost, A y Tortora, P (1989): *Bull. Soc. Geol. Italia*, 108: 315-324
- Riding, R. (1983): In: *Coated Grains* (Ed. T.M. Peryt) 276-283 Springer-Verlag, Berlin
- Schweitzer, F. y Scheuer, G. (1995): *Acta Geogr. Szged.*, 34: 163-186
- Steinen, R.P., Gray, N.H. y Mooney, J. (1987): *Jour. Sed. Petrol.*, 57(2): 319-326
- Wright, V.P., Pujalte, V., Hernández, J.M^a, Platt, N.H., Robles, S., Taylor, K.G. y Beck, V.H. (1997): *36th Ann. Meet. British Res. Gr.*, 18