

Fig. 5.—Summary diagram showing relative timing of microcodium and lacustrine-palustrine invertebrate burrows: 1. Development of a shallow lake overlying flood plain deposits and reworking by deposit feeders (aquatic *Oligochaeta*?). Lacustrine mud contains cyanobacterial mats, charophite and microcodium remains. 2. Lake filling and development of «in situ» microcodium (postdates A1 traces). 3. Invertebrates (A2) as «microcodium-feeders».

Fig. 5.—Cuadro resumen con la cronología relativa y relaciones mutuas entre el microcodium y las trazas lacustres y palustres: 1. Instalación y expansión lacustre sobre la llanura de inundación y colonización por sedimentívoros (¿*Oligochaeta* acuáticos?). El fango lacustre contiene cianobacterias, restos de carofitas y prismas disociados de microcodium. 2. Colmatación lacustre y colonización por microcodium «in situ», afectando a las trazas de tipo A1. 3. Colonización por invertebrados (A2) que se alimentan directamente de microcodium.

El relleno interno en menisco de las trazas es sistemáticamente cóncavo hacia arriba y está formado por láminas muy apretadas con leve contraste granulométrico, en ocasiones con falso aspecto masivo. La composición del relleno es análoga a la de la arenisca sin perturbar, con la excepción de que en los rellenos los prismas de microcodium carecen de cemento sintaxial, que es inhibido por una matriz micrítico-arcillosa. El espaciado sobre un plano entre las trazas individuales es usualmente de 3-4 cm, y pueden presentar falsa ramificación hacia abajo (ramificación secundaria sucesiva de D'Alle-

sandro y Bromley, 1987), debido al aprovechamiento parcial de un relleno por otro animal con el mismo camino. A techo de cada *sheet* areniscoso suelen desarrollarse cantidades muy variables de microcodium «in situ», que corta y reemplaza parcialmente a las trazas de tipo B1.

La dirección de movimiento deducida de los meniscos (siempre hacia arriba) y el carácter episódico de la sedimentación de los cuerpos arenosos, son coherentes con una interpretación de las trazas como estructuras de escape de invertebrados que viven en la llanura de inundación y son sepultados

durante una crecida por un desbordamiento arenoso.

Trazas Tipo B2

Tubos cilíndricos generalmente sinuosos y con orientaciones diversas. No suelen exceder los 15 cm de longitud y su diámetro variado (de 3 mm a 2 cm). Son generalmente adhesivos (no se separan fácilmente de su matriz) y abundan extraordinariamente en los finos de la llanura de inundación, donde son responsables de la mayor parte de la marmorización (roja, marrón, amarilla y gris).

En las areniscas de desbordamiento coexisten con microcodium «in situ» y cortan a las trazas B1. Al igual que en éstas, la estructura en menisco puede estar difusa, y causan el mismo efecto de transformación textural (tránsito *grainstone-packstone*) por conversión de los cantos blandos arcillosos y micríticos en pseudomatriz, lo que inhibe el crecimiento posterior de cementos sintaxiales sobre los prismas disociados calcíticos de microcodium.

Las trazas de tipo B1 y B2 reflejan probablemente dos comportamientos diferentes del mismo sedimentívoro: movimiento en B1 y movimiento + alimentación en el caso B2. La ausencia de trazas B1 inferiores a 1 cm se interpreta como un fenómeno de supervivencia selectiva de los individuos adultos ante un enterramiento súbito.

Referencias

- Betzler, Ch.; Van der Hurk, A.; Eichenseer, H. & Luterbacher, H.P. (1989): *Com. XII Cong. Esp. de Sedimentología*, Bilbao.



Fig. 6.—Parallel and cross laminated sandstones (crevasse splays) with vertical B1 burrows.

Fig. 6.—Areniscas con laminación paralela y cruzada (crevasse splays) con abundantes trazas verticales de tipo B1.

- Bown, T. M. & Kraus, M. J. (1983): *Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol.*, 43, 95-128.
- Bracken, B. & Picard, M. D. (1984): *J. Paleontol.*, 58, 477-487.
- D'Alessandro, A. & Bromley, R. G. (1987): *Palaentology*, vol. 30, 743-763.
- Frey, R. W.; Pemberton, S. G. & Fagerstrom, J. A. (1984): *J. Paleontol.*, v. 58, 511-528.
- Freitag, P. & Plaziat, J. C. (1982): *Contributions to Sedimentology*, nº 12, 213 pp.
- Rossi, C. & de la Peña, J. A. (1991): *Abstr. Dolomieu Conf. on Carbonate Platf. and Dolomitization*, 229-230.
- Squires, R. L. & Advocate, D. M. (1984): *J. Paleontol.*, 58, 593-597.
- Toots, H. (1967): *Contributions to Geology*, v. 6, 93-96.

Agradecimientos

El autor agradece a J. A. de la Peña, J. P. Rodríguez, E. Sanz, M. Díaz, J. A. Gámez y O. Bernaldo por su ayuda y comentarios durante la realización de este trabajo.

Significado de bioturbaciones en un medio evaporítico continental (Mioceno de la Cuenca de Madrid)

Meaning of the bioturbations in a continental evaporitic environment (Miocene of the Madrid Basin)

J. P. Rodríguez Aranda

Depto Petrología y Geoquímica. Fac. CC. Geológicas. Univ. Complutense. 28040-Madrid.

ABSTRACT

Several types of bioturbation traces have been recognized within sedimentary deposits belonging to the Miocene Lower and Intermediate Units of the Eastern part of the Madrid Basin. The bioturbation traces are developed in muddy, carbonate and gypsiferous deposits that are interpreted as mudflat, ephemeral ponds and brackish-to-saline lake facies. The bioturbation traces, whether caused by roots or meiofauna, inform about the depositional paleoenvironment. On the other hand, they influence both depositional and diagenetic fabrics.

Key words: Mudflat, saline lake, bioturbation, diagenesis, Madrid Basin.

Geogaceta, 12 (1992), 113-115.

ISSN: 0213683X

Introducción

En el registro geológico evaporítico se observan con relativa abundancia productos de actividad de organismos microbianos, tales como estromatolitos y facies de sulfatoreducción (Rouchy *et al.*, 1986), y con cierta frecuencia se encuentran restos de actividad de vegetación (Retallack, 1990); sin embargo, la literatura geológica sobre actividad de metazoos en medios evaporíticos continentales es escasa y generalmente profundiza poco en su estudio (Chamberlain, 1975; Truc, 1980; Salvany, 1989; Arribas *et al.*, 1991, etc.).

En la zona oriental de la Cuenca de Madrid afloran sedimentos de las Unidades Inferior e Intermedia del Mioceno, donde es posible observar un cortejo variado de trazas fósiles. Estos sedimentos son fundamentalmente lutitas, margas, yesos y carbonatos, que se han interpretado como facies de complejos de llanura lutítica-lago salino (Calvo *et al.*, 1989; Rodríguez Aranda *et al.*, 1991).

Los puntos fundamentales en los que se centra este trabajo son:

- 1) Significado sedimentario de la presencia de bioturbación y su relación con el ambiente deposicional.
- 2) La bioturbación como factor importante en la constitución de la facies, condicionamiento de la fábrica deposicional y diagenética.

Tipos de icnitas

En una primera aproximación se pueden distinguir cinco tipos de icnitas, de acuerdo con los criterios expuestos en García Ramos *et al.* (1989):

1. *Sistemas de chimeneas (y túneles) con relleno nada o mal organizado y diámetro de orden milimétrico.*—Grado de bioturbación normalmente alto. Se encuentran a techo de niveles lutíticos, que pueden tener nódulos de yeso, en menor proporción micríticos y más raramente yesíferos. Relleno arcilloso y/o carbonático, en ocasiones se pueden observar glaucofanas y estructuras alveolares. Constan de tubos cilíndricos usualmente verticales, a veces con terminaciones dicotómicas. Diámetro: 0,5-2 mm. Longitud: 2-7 cm. Las icnitas se disponen según sistemas que pueden organizarse en niveles lateralmente continuos y de espesor centimétrico a decimétrico.

Interpretación: Rellenos de raíces de plantas de pequeña envergadura (Retallack, 1990). Puede haber también actividad de insectos.

2. *Sistemas de chimeneas y túneles con relleno nada o mal organizado*

y diámetro de orden centimétrico.—Grado de bioturbación de moderado a alto. Se observan a techo de niveles micríticos con yeso intrasedimentario y de niveles de yeso mesolenticular. Relleno lutítico-margoso o de yeso-carbonato. Las chimeneas y túneles son más o menos cilíndricos, tienen un diámetro de 0,5 a 2 cm y una longitud de 5 a 30 centímetros, y se disponen dando estructuras en enrejado. Los sistemas en enrejado muestran hasta 1,5 m de espesor y son discontinuos en la horizontal (50 cm a varios metros).

Interpretación: Rellenos de raíces de arbustos. En algunos casos poco claros podría tratarse de huellas de excavación de anélidos. Se han descrito arbustos con sistemas de raíces similares a este tipo de icnitas bajo salinidades superiores a 35 g/l (Evenary *et al.*, 1985).

3. *Chimeneas y túneles con relleno en menisco (estriotúbulos) y diámetro submilimétrico-milimétrico (fig. 1).*—Grado de bioturbación alto (moteado de huellas de excavación). Se encuentran incluidas dentro de niveles de yeso lenticular o micrita con yeso lenticular intrasedimentario. Relleno de yeso lenticular, micrita con yeso lenticular, cemento de yeso, sílex. Normalmente se aprecia una estructuración interna del relleno en menisco. Consta de tubos cilíndricos verticales, inclinados u horizontales, generalmente con una leve curvatura en sección longitudinal. Diámetro medio de 0,5-5 mm y longitud en sección de hasta 5 cm. A estas icnitas se encuentran asociados «peloides» micríticos, de 150 a 500 µ. de tamaño y morfologías en sección elipsoidales y circulares. Estos «peloides» se han interpretado como «pellets» fecales y «pseudoheces».

Interpretación: Estructuras de morada y alimentación de larvas de insectos. Tentativamente se atribuyen a la familia *Chironomidae* dada la geometría de las trazas, la estructuración del relleno, el alto grado de bioturbación, su probable génesis bajo lámina de agua (Mc Call y Tevesz, 1982; Oliver, 1971), la compatibilidad de dicha familia con salinidades relativamente altas, 150 g/l (Paterson y Walker, 1974; Pueyo, 1991), etc.

4. *Chimeneas y túneles con relleno en menisco o masivo y diámetro de orden centimétrico (fig. 2).*—Grado de bioturbación de moderado a bajo. Se hallan hacia la parte superior de niveles de yeso lenticular intrasedimentario con matriz lutítica o micrítica y niveles de yeso lenticular masivo. Relleno de yeso lenticular, micrita (lutita) con yeso lenticular o cemento de yeso en mosaico. Usualmente se observa una estructuración interna según

estriotúbulos. Son tubos cilíndricos (chimeneas y túneles) con diámetro de 0,5 a 5 cm y longitud total de 4 a 20 centímetros. De acuerdo con su geometría y disposición se pueden establecer varios subtipos, no considerados en este trabajo. En algunos individuos se observa una o dos ramas verticales y otra horizontal bien definidas; en otros, predomina una rama vertical que se intersecta con varias ramas horizontales o inclinadas.

Interpretación: Estructuras de morada y alimentación de insectos (larvas, coleópteros, etc.) y anélidos? (Gerdes *et al.*, 1985, Williams *et al.*, 1990, etc.). En algunos casos podría representar también rellenos de raíces.

5. *Pisadas de vertebrados.*—En este tipo se incluyen huellas de pisadas aisladas, del orden de 2 cm de longitud, y pequeños rastros, que se encuentran a techo de niveles de carbonatos (margas).

Interpretación: Por su morfología se atribuyen a pisadas de pequeños mamíferos en sustratos blandos. Actualmente todavía se encuentran en fase de estudio.

Las asociaciones de icnitas más representativas son: tipos 3-2, tipos 4-2, tipos 3-4 y tipos 3-1. En ellas, la bioturbación por raíces se superpone a la bioturbación por fauna. Asociaciones de icnitas relativamente similares a las descritas se pueden encontrar en Bracken y Picard (1984).

Ambiente de sedimentación

Los principales factores que influyen en la presencia y distribución de especies en ambientes evaporíticos son entre otros: régimen hidrológico, salinidad, presencia de determinados iones, temperatura, disponibilidad de nutrientes, depredadores, competencia entre especies, velocidad de sedimentación, etc. (Williams *et al.*, 1990). La importancia de cada factor depende de su «valor», más o menos extremo, y de las especies en cuestión.

A continuación se relacionan los diferentes tipos de icnitas con el ambiente de sedimentación, deducido por análisis secuencial y de asociaciones de facies y el propio estudio de las icnitas.

1. Las icnitas de tipo 1 se observan en facies de llanura lutítica y charcas efímeras carbonáticas. Son muy abundantes al pie de los sistemas de abanicos aluviales, en probables zonas de surgencia de agua (Rodríguez Aranda *et al.*, 1991). Su desarrollo está controlado por la velocidad de sedimentación y la duración de las interrupciones sedimentarias. El ambiente

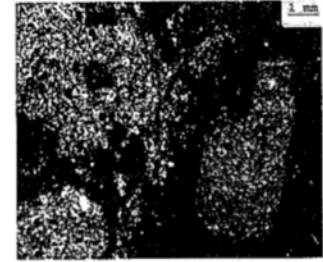


Fig. 1.—Microfotografía en negativo de yesos lenticulares con icnitas de tipo 3.

Fig. 1.—Microphotograph negative of lenticular gypsum showing type 3 ichnites.

pudo ser relativamente salino, pues, si bien el influjo de la salinidad es muy importante en el momento de la germinación, se reduce considerablemente para los individuos desarrollados (Evenary *et al.*, 1985).

2. Las icnitas de tipo 2 son comunes en facies palustres y lacustres. Pueden estar asociadas a señales de desecación e, incluso, paleokarstificación. Así, su presencia puede indicar retracciones del ambiente lacustre y desecaciones.

3. Las icnitas de tipo 3 se encuentran, fundamentalmente, en facies lacustres constituidas por cristales de yeso tamaño limo-arena fina. Su formación pudo ser simultánea a la precipitación bajo lámina de agua de yeso o carbonato. Los valores de salinidad tolerados por familias como *Chironomidae* son mayores que los estrictamente necesarios para la precipitación de yeso y carbonato evaporítico en un medio continental. Por otro lado, la alimentación de los organismos bioturbadores debió de estar garantizada por la abundante cantidad de bacterias y/o algas en el medio.

4. Las icnitas de tipo 4 se hallan sobre facies lacustres, palustres y de llanura lutítica salina. Su formación pudo tener lugar tanto bajo lámina de agua como en condiciones subaéreas. La salinidad de estos ambientes es muy variable, permitiendo la presencia de abundante vida en los momentos de dilución. Como dato de referencia cabe decir que algunas especies de coleópteros admiten salinidades de hasta 250 g/l y de anélidos de 70 g/l (Gerdes *et al.*, 1985).

5. Las icnitas de tipo 5 se observan en facies palustres y/o de charcas, y caracterizan un medio empapado o con una lámina de agua de orden centimétrico.

Efecto de la bioturbación sobre la fábrica deposicional

Dicho efecto ha sido puesto de manifiesto por numerosos autores (Mc Call y Tevesz, 1982). En nuestro caso señalamos por su importancia:

a) La presencia de materia orgánica asociada a los organismos que bioturban (mucus segregado por fauna, humus, etc.) ha podido influir directamente en el hábito lenticular de los cristales de yeso (Cody y Cody, 1988).

b) Efecto de mezcla de sedimentos en la excavación por organismos: no se conservan las orientaciones originales de las lenticulas de yeso ni laminaciones varvadas yeso-carbonato (fig. 1).

c) Producción de «pellets» fecales y «pseudoheces».

Relación procesos diagenéticos-bioturbación

Los procesos diagenéticos asociados a las facies bioturbadas suelen indicar un cierto control por la bioturbación, debido a su efecto sobre la permeabilidad-porosidad del sedimento, disponibilidad de materia orgánica, aporte y/o transporte de reactivos químicos, etc. Estos factores originan

un gradiente diagenético horizontal (Fisher, 1982), cuyo efecto puede observarse, incluso, a escala de afloramiento (del orden de varios metros). Entre los procesos diagenéticos más significativos enumeramos: cementación de yeso y anhidrita, procesos redox, carbonatación, silicificación y «pseudo-microkarstificación» por raíces (Freytet y Plaziat, 1982).

Por último, cabe destacar el uso de las icnitas como criterio de cronología relativa de procesos: relaciones geométricas (temporales) entre los distintos tipos de icnitas, crecimiento de cristales de yeso o glauberita diagenéticos tempranos anteriores, simultáneos o posteriores a la bioturbación, procesos de paleokarstificación anteriores o posteriores a bioturbación por vegetales, etc.

— Trabajo financiado por el proyecto PB-890032 PRY.

Referencias

- Arribas, J.; Bustillo, M. A. y Díaz-Molina, M. (1991): *VI Flint Internac. Symp. Abstracts*, 29-33.
- Brackert, B. y Picard, M. D. (1984): *Jour. Pal.*, 58, 477-487.
- Calvo, J. P.; Alonso, A. M. y García del Cura, M. A. (1989): *Pal. Pal. Pal.*, 70, 199-214.
- Cody, R. D. y Cody, A. M. (1988): *Jour. Sed. Petrol.*, 58, 247-255.
- Chamberlain, C. K. (1975): En: R. W. Frey (ed.) *The study of trace fossils*. Springer-Verlag, 431-458.
- Evenary, M.; Gutterman, Y. y Gavish, E. (1985): En: G. M. Friedman y W. E. Krumbein (eds.) *Hypersaline Ecosystems*. Springer-Verlag, 145-182.
- Fisher, J. B. (1982): En: P. L. Mc Call y M. J. S. Tevesz (eds.) *Animal-sediment relations*. Plenum Press, 177-217.
- Freytet, P. y Plaziat, J. C. (1982): *Contributions to Sedimentology*, 12, 213 pp.
- García Ramos, J. C.; Valenzuela, M. y Suárez de Centi, C. (1989): En: A. Arche (coord.) *Sedimentología*. Vol. 2, CSIC, 261-342.
- Gerdes, G.; Spira, J. y Dimentman, Ch. (1985): En: G. M. Friedman y W. E. Krumbein (eds.) *Hypersaline Ecosystems*. Springer-Verlag, 322-345.
- Mc Call, P. L. y Tevesz, M. J. S. (1982): En: P. L. Mc Call y M. J. S. Tevesz (eds.) *Animal-sediments relations*. Plenum Press, 105-176.
- Oliver, D. R. (1971): *Annu. Rev. Entomol.*, 16, 211-230.
- Paterson, C. G. y Walker, K. F. (1974): *Aust. Jour. Mar. Freshwater Res.*, 25, 315-325.
- Pueyo, J. J. (1991): En: J. J. Pueyo (coord.) *Génesis de formaciones evaporíticas. Modelos Andinos e Ibéricos*. Publ. Univ. Barcelona, 136-147.
- Retallack, G. J. (1990): *Soils of the past*. Unwin Hyman, 520 pp.
- Rodríguez Aranda, J. P.; Calvo, J. P. y Ordóñez, S. (1991): *Rev. Soc. Geol. España*, 4, 33-50.
- Rouchy, J. M.; Bernet-Rollande, M. C. y Maurin, A. F. (1986): En: *Les séries à évaporites en exploration pétrolière*. Tom. 1. Ed. Technip, 73-122.
- Salvany, J. M. (1989): *Turiaso*, 9, 121-146.
- Truc, G. (1980): En: *Evaporite deposits*. Ed. Technip, 61-71 y 234-259.
- Williams, W. D.; Boulton, A. J. y Taaffe, R. G. (1990): *Hydrobiología*, 197, 257-266.



Fig. 2.—Icnita de tipo 4 en yesos lenticulares con matriz margosa.

Fig. 2.—Type 4 ichnite located within lenticular gypsum with marly matrix.