

# Estructuras sedimentarias de deformación originadas por licuefacción en depósitos de tormentas (Mioceno de la Cuenca del Guadalquivir, provincia de Jaén)

*Soft-sediment deformation structures formed by liquefaction in storm deposits (Miocene of the Guadalquivir Basin, Jaén province, Southern Spain)*

P. Alfaro (\*), J.M. Molina (\*\*), M. Moretti (\*\*\*) y J.M. Soria (\*\*\*\*)

(\*) Dpto. Geología. Escuela Politécnica Superior. Univ. Jaén. Avenida de Madrid, 35. 23071, JAÉN.

(\*\*) Dpto. Geología. Campus Universitario de Las Lagunillas. Fac. Ciencias Exp. Universidad de Jaén. JAÉN.

(\*\*\*) Dpto. de Geología e Geofísica. Università di Bari. V. Orabona, 4, 70125 BARI (Italia)

(\*\*\*\*) Dpto. Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Univ. Alicante. Apdo. 99, ALICANTE.

## ABSTRACT

*Soft-sediment deformation structures related with hummocky cross stratification appear in the Upper Miocene calcarenites of the Guadalquivir Basin. They are analysed and after consider their different possible genetic mechanisms, they are interpreted as originated by liquefaction processes triggered by the storm wave action.*

**Key words:** *soft-sediment deformation structures, storm deposits, liquefaction, Miocene, Guadalquivir Basin.*

*Geogaceta, 20 (2) (1996), 311-314*  
ISSN: 0213683X

## Introducción

En la Naturaleza, los procesos de licuefacción y fluidificación pueden relacionarse con varios fenómenos naturales. Algunos de estos fenómenos se producen en el propio ambiente sedimentario (oleaje de tormenta, sobrecarga, movimientos de agua subterránea, etc.) mientras que otros, como los terremotos, son externos (Allen, 1982 y Owen, 1996). En relación con el oleaje de tormenta, muchos estudios, especialmente de ingeniería marítima, se han centrado en el efecto cíclico de las olas sobre el fondo en las proximidades de la costa, demostrando claramente que las olas de tormenta pueden llegar a licuefactar parte del sedimento en la zona de interfase agua-sedimento. El proceso de licuefacción se inicia por la diferencia de presión existente entre la cresta y el seno de la ola de tormenta, que provoca una repentina variación de la presión intersticial en el fondo marino y seguidamente una disminución drástica de la resistencia a la cizalla del sedimento, originando la licuefacción del mismo.

Los ejemplos de licuefacción en sedimentos actuales producida por las olas, así como su reproducción experimental en el laboratorio, están actualmente bastante bien documentados. Por el contrario, son muy

pocos los ejemplos de estructuras sedimentarias de deformación antiguas atribuidas directamente a la acción de las olas de tormenta, y su descripción morfológica así como la de sus características generales son muy escasas.

Johnson (1977) analiza algunas estructuras de licuefacción en sedimentos de plataforma dominada por tormenta sin llegar a discriminar la causa de la deformación (tormentas o sacudidas sísmicas). Dalrymple (1979, 1980) describe algunas estructuras de dimensiones centimétricas, tipo laminación distorsionada y de carga (*sand-in-sand load structures*) en sedimentos intertidales atribuyendo la formación de estas estructuras a la licuefacción cíclica inducida por las olas de tormenta. Eyles y Clark (1986) citan arenas con estratificación *hummocky* deformada originada con la licuefacción inducida por el impacto de las olas en sedimentos lacustres. Molina *et al.* (1987) también describen estructuras centimétricas de carga en tempestitas del Subbético Externo de la Cordillera Bética. Tucker (1991) cita la presencia de pillows en tempestitas del Carbonífero inferior, mientras que Kerr y Eyles (1991) describen *ball-and-pillow* en areniscas depositadas por tormentas en Ontario (Canadá). Recientemente, Martel y Gibling (1993) atribuyen a la licuefacción

de oleaje algunas estructuras tipo diques sedimentarios (clastic dykes) en sedimentos lacustres.

En la Cuenca del Guadalquivir, concretamente en las proximidades de Porcuna (Jaén) (Figura 1A) se observan estructuras sedimentarias de deformación de escala métrica que ya fueron citadas previamente por Roldán (1988) y Sierro *et al.*, (1992), e interpretadas por estos autores como deformación sinsedimentaria de escape de agua asociada con *slumping*.

## Marco geológico y estratigráfico

Los afloramientos estudiados se encuentran en los escarpes situados inmediatamente al sur del pueblo de Porcuna y en las canteras que aparecen al sureste del mismo pueblo (ver Figura 1A). Pertenecen a una unidad autóctona de la Cuenca del Guadalquivir de edad Tortoniense superior-Messiniense (Unidad de Porcuna, Roldán, 1988; I.T.G.E., 1992). Esta unidad se dispone horizontalmente o subhorizontalmente sobre otras unidades olistostrómicas o autóctonas de la Cuenca del Guadalquivir. Dentro de esta unidad, con un espesor total máximo observable de aproximadamente 140 m se diferencian: I) Un conjunto inferior, de margas con alguna intercalación cal-

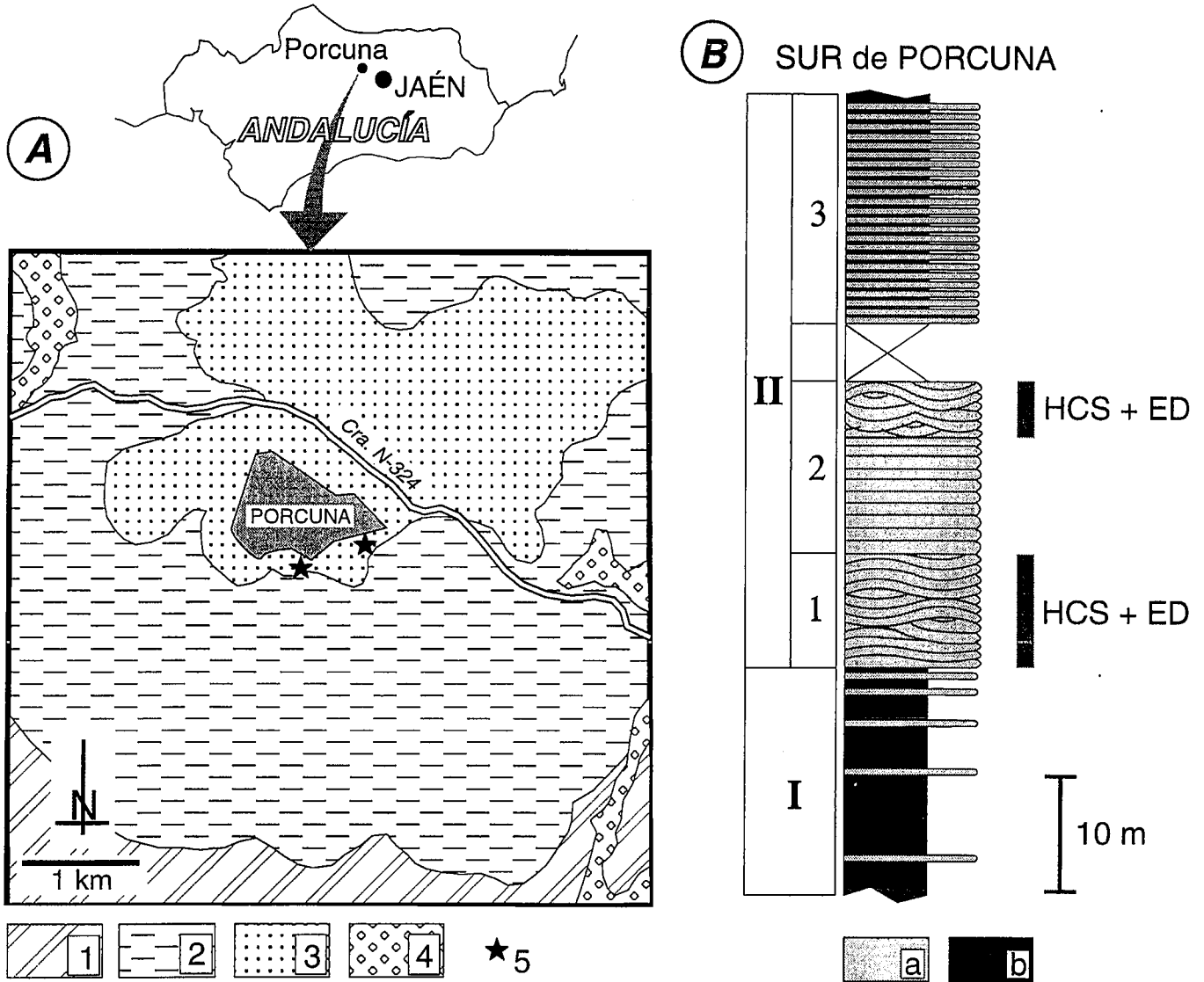


Fig. 1.- A. Situación y mapa geológico de los afloramientos estudiados. (1) Unidad de Castro del Río, (2) Margas de la Unidad de Porcuna, (3) Calcarenitas de la Unidad de Porcuna, (4) Cuaternario. (\*) Afloramientos estudiados B. Columna estratigráfica esquemática de la Unidad de Porcuna con la situación de los niveles con estructuras de deformación sedimentaria y estratificación hummocky. (a) Calcarenitas, (b) Margas, (HCS) Estratificación cruzada hummocky, (ED) Estructuras de deformación.

Fig. 1.- A. Geological map and location of the studied outcrops. 1) Castro del Río Unit, (2) Marls of Porcuna Unit, (3) Calcarenites of Porcuna Unit, (4) Quaternary, (\*) Studied outcrops. B. Simplified stratigraphic section of the Porcuna unit with the location of the soft-sediment deformation structures and hummocky cross stratification. (a) Calcarenites, (b) Marls, (HCS) Hummocky cross stratification, (ED) Deformation structures.

carenítica, de unos 90 m de espesor. II) Un conjunto superior, al que pertenecen los afloramientos estudiados de areniscas bioclásticas y calcareníticas de tamaño de grano de arena fina a media bastante homogéneo, en el que se pueden diferenciar a su vez tres tramos (Figura 1B): 1) Basal calcarenítico, de aproximadamente 10 m de potencia, con contacto muy recubierto con las margas infrayacentes y con abundantes estructuras de deformación sedimentaria y estratificación de tipo hummocky, sobre el que trataremos con más detalle a continuación y deno-

minado "zamarrón" por los canteros del lugar. 2) Intermedio, con unos 20 m de potencia explotados en algunas canteras, también de calcarenitas en bancos de 10 a 20 cm de espesor por término medio, pero con algunas intercalaciones de tamaño milimétrico a centimétrico de margas. Estas separaciones son aprovechadas por los canteros para obtener buenas placas de piedra para construcción. En este tramo intermedio destaca la presencia, especialmente hacia la mitad y parte más alta, de algunos niveles más potentes de hasta 1 m de espesor, con estruc-

turas de deformación, siempre asociadas como en el caso anterior con estratificación de tipo hummocky. 3) El tramo superior, de unos 20 m de potencia, corresponde a calcarenitas tableadas con techos y muros planos en bancos de 10 cm por término medio que alternan con limos y margas, cada vez más abundantes hacia techo.

En el tramo basal calcarenítico y en la parte alta del tramo intermedio (Figura 1B) aparecen abundantes estructuras de tipo estratificación hummocky siempre relacionadas con estructuras de deformación sedi-

mentarias que serán descritas en el siguiente apartado. Esta estratificación *hummocky* se presenta formando láminas cruzadas con ángulos de unos  $8^\circ$  por término medio. Aparecen morfologías de estratos de muro plano y techo con forma de montículo con dimensiones máximas de hasta 50 cm de altura y 760 cm de longitud. Son abundantes las superficies de amalgamación. Estos sedimentos se habrían depositado en un ambiente de rampa carbonatada (rampa media) básicamente entre el nivel de base del oleaje normal y el nivel de base de las olas de tormentas.

### Estructuras de deformación y mecanismo de deformación

Las estructuras de deformación tienen unas dimensiones que varían entre 5 cm y 2 m. La mayoría de las estructuras son de tipo *load casts* (Allen, 1982). Tienen una morfología almohadillada hacia muro, de forma que dirigen su parte convexa hacia muro (ver figura 2). Las estructuras son simétricas, sin vergencia alguna. Localmente también se observan algunas estructuras de escape de agua.

El mecanismo de deformación de estas estructuras está relacionado con la existencia de un sistema sedimentario inicial metaestable (*reverse density gradient systems*, Anketell *et al.*, 1970). Estos conjuntos o sistemas sedimentarios, constituidos por dos capas, están caracterizados por una mayor densidad de la capa superior. Una vez que se desencadena el proceso de licuefacción, se tiende al equilibrio gravitatorio de modo que se produce un movimiento de las dos partes del sistema que está controlado principalmente por la viscosidad del sedimento. En este caso, la unidad superior tiende a moverse hacia la parte inferior debido a su menor viscosidad, y forma estructuras de carga almohadilladas.

### Discusión sobre su origen

Las estructuras de deformación de Porcuna se encuentran únicamente en el conjunto superior de la serie neógena. Concretamente se observan en el tramo inferior, y de forma discontinua en el tramo intermedio.

Podría pensarse en las sacudidas sísmicas para explicar estas deformaciones. Toda la serie de Porcuna está constituida, principalmente, por areniscas con un tamaño de grano de arena fina que es un sedimento altamente susceptible a la licuefacción sísmica. Sin embargo, las estructuras de deformación sedimentarias aquí analizadas, como se ha comentado anteriormente, sólo aparecen asociadas a estratificación cruzada de tipo *hummocky*. Según esta hipótesis, sólo habría terremotos cuando apareciesen

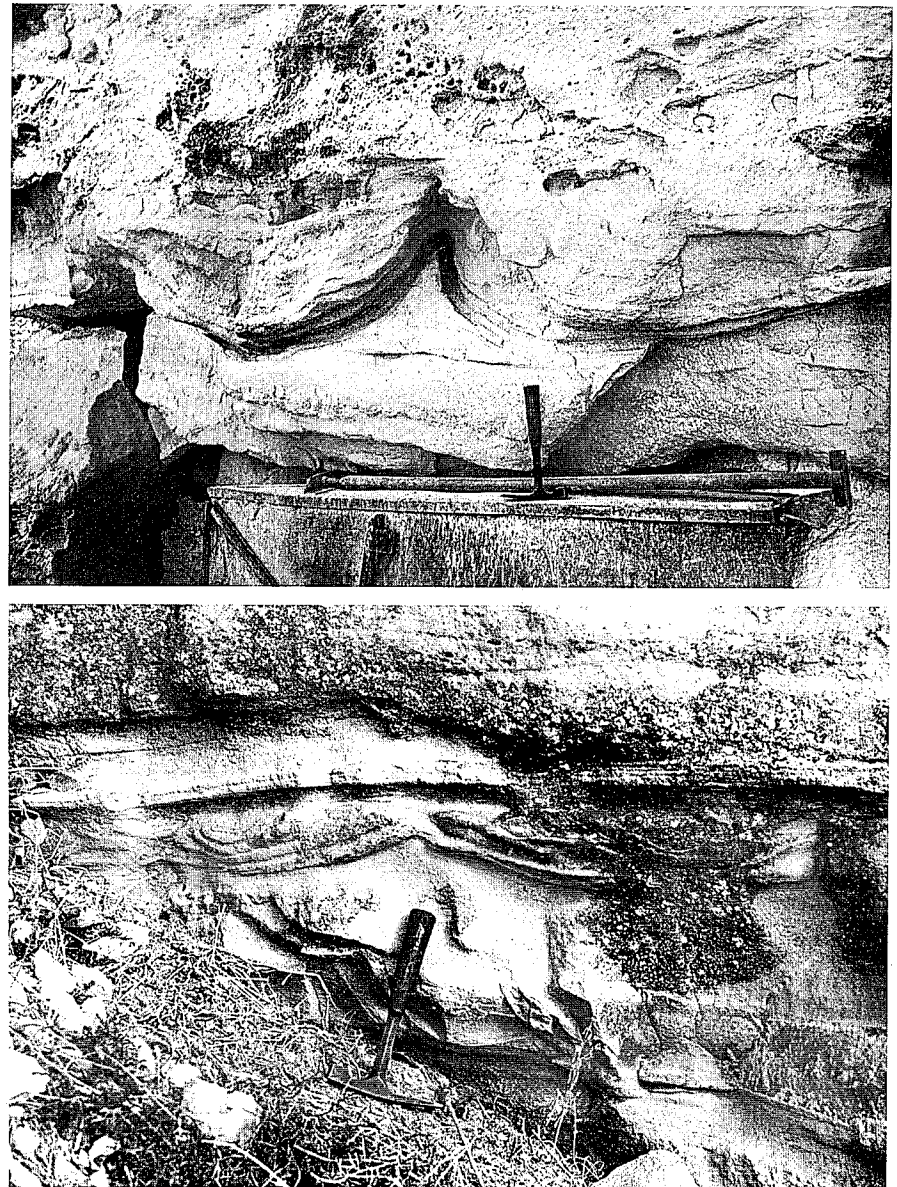


Fig. 2.- Ejemplos de estructuras de deformación de tipo *load casts* almohadilladas.

Fig. 2.- Examples of pillow load casts.

sedimentos de tormentas y entre ellas se detendría bruscamente la actividad sísmica. Este hecho es poco probable ya que estos eventos sísmicos no se restringen a un único nivel estratigráfico, al menos cuando todos los sedimentos, como es el caso de Porcuna, son altamente susceptibles a la licuefacción sísmica. En todo caso habría que ligar las estructuras de deformación estudiadas a capas de tormentas producidas por *tsunamis* muy esporádicos, hecho también poco probable ya que si existe actividad sísmica el resto de la serie estratigráfica debería presentar también estructuras de deformación.

Otro fenómeno que se podría considerar sería el de la sobrecarga (*overloading*). Pero estos procesos se desarrollan princi-

palmente en sedimentos lutíticos de ambientes turbidíticos y deltaicos. Por el contrario, en sedimentos arenosos, el aumento de presión intersticial, producido por la sobrecarga sedimentaria, disminuye rápidamente por la alta permeabilidad del sedimento arenoso y dificulta normalmente la licuefacción. Además, este tipo de procesos se desarrollan únicamente cuando el depósito en masa es repentino, prácticamente instantáneo. En el caso analizado, las estructuras de deformación afectan a un sedimento laminado y/o finamente estratificado, con una alta tasa de sedimentación, pero que no corresponde a depósitos en masa de carácter instantáneo.

Finalmente, la posibilidad de una rela-

ción con fenómenos de *slumping* (Sierro *et al.*, 1992) tampoco parece ser la causa, al menos en Porcuna, debido a la geometría perfectamente simétrica de la mayoría de las estructuras de deformación. En ellas no se aprecia ninguna vergencia o una importante componente horizontal, característica de las estructuras de deformación gravitacionales.

En definitiva, y teniendo en cuenta que las facies de Porcuna corresponden a un ambiente de rampa carbonatada, y considerando que durante el Neógeno, la Cuenca del Guadalquivir estaba directamente conectada con el Océano Atlántico, por lo que se podrían producir tormentas de tipo oceánico, pensamos que estas estructuras de escala métrica son el resultado de la licuefacción inducida por el oleaje de tormentas.

#### Agradecimientos

Para la realización de este trabajo se ha contado con la ayuda del proyecto de la DGICYT nº PB-93-1150-CO2-02.

#### Referencias

- Allen, J.R.L. (1982): *Sedimentary structures. Their character and physical basis*. Elsevier, 593+663 pp.
- Anketell, J.M.; Cegla, J. Dzulynski, S. (1970): *Ann. Soc. Geol. Polon.*, 40, 3-30.
- Dalrymple, R.W. (1979): *Sedimentology*, 26, 835-844.
- Dalrymple, R.W. (1980): *Sedimentology*, 27, 461.
- Eyles, N. y Clark, B.M. (1986): *Geology*, 14, 679-682.
- Henkel, D.J. (1970): *Géotechnique*, 28, 377-393.
- I.T.G.E. (1992): *Mapa Geológico de España a escala 1:50.000. Hoja nº 925 (Porcuna)*.
- Johnson, H.D. (1977): *Sedimentology*, 24, 389-411.
- Kerr, M. y Eyles, N. (1991): *Can. Jour. Earth Sci.*, 28, 266-282.
- Martel, A.T. y Gibling, M.R. (1993): *Sedim. Geol.*, 87, 103-119.
- Molina, J.M.; Ruiz-Ortiz, P.A. y Vera, J.A. (1987): *Acta Geol. Hisp.*, 21-22, 167-175.
- Owen, G. (1987): *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 29, 11-24.
- Owen, G. (1996): *Sedimentology*, 43 (en prensa).
- Roldán, F.J. (1988): *Tesis de Licenciatura*, Univ. Granada (Inédita).
- Seilacher, A. (1969): *Sedimentology*, 13, 155-159.
- Sierro, F.J.; González Delgado, J.A.; Dabrio, C.; Flores, J.A. y Civis, J. (1992): *III Congr. Geol. España y VIII Congr. Latinoam. Geol.*, Excursiones, 180-236.
- Tucker, M.E. (1991): *Sedimentary Petrology*. Blackwell, 260 pp.