

## Las «sand waves» calcareníticas del Río Alías (Mioplioceno de la Cuenca de Níjar, Almería)

C.-J. DABRIO

Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense. 28040 Madrid.

### RESUMEN

Las calcarenitas marinas someras del Plioceno del Río Alías se depositaron en un umbral que separaba dos cuencas marinas. Allí migraban distintas formas de fondo movidas por corrientes de deriva, de dirección E-W y sentidos cambiantes, generadas por las tormentas y vientos dominantes en la región.

*Palabras clave:* Calcarenitas marinas someras. Sand waves. Bajos fondos. Mio-Plioceno. Almería.

### ABSTRACT

The shallow-marine Pliocene succession of Río Alías (fig. 1) consists of deposits laid down by prograding shallow shelf-talus and fan delta systems (fig. 2). The lower calcarenite member displays large-scale sets of cross-bedding (fig. 3, lam. 1 fots. 1, 3) that are studied in detail (lam. 1 fots. 2, 4, 5). Lack of definite tide-generated features, together with repeated intense burrowing of some of the foreset laminae, lead to invoke wind-driven currents, induced by storms blowing from E and W, forced through a narrow, shallow pass between two emergent islands, where the flow accelerated (fig. 4).

*Key words:* Shallow marine calcarenites. Sand waves. Carbonate shoals. Mio-Pliocene. Almería.

### INTRODUCCIÓN

Los materiales neógenos del sureste de la Península Ibérica yacen discordantes sobre los de las zonas internas de las Cordilleras Béticas rellenando cuencas intramontañosas alargadas (fig. 1).

La cuenca de Níjar (también llamada de Almería) queda limitada al norte por las Sierras de Alhamilla y de Cabrera, está separada de la de Carboneras por el re-

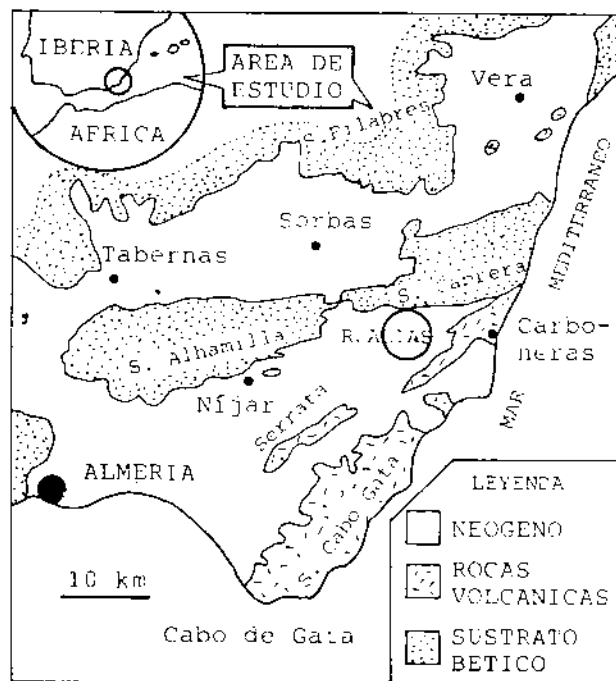


Figura 1. - Mapa de situación en el contexto geológico del sureste de la península Ibérica.

Figure 1. - Location map in the geological context of the southeastern Iberian Peninsula.

lieve volcánico de la Serrata de Níjar, que condicionó durante la sedimentación las relaciones entre ambas cuencas, y se prolonga bajo el mar al sureste de Almería.

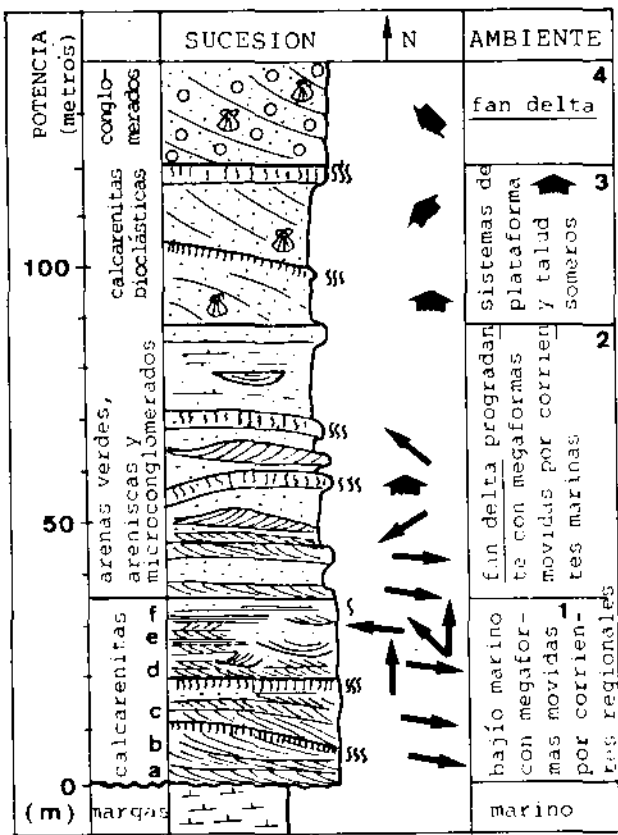


Figura 2. - Sucesión esquemática con los números y letras usados en el texto. Las flechas más finas indican paleocorrientes y las gruesas sentidos de progradación, ambas con el norte hacia arriba. Las líneas sinuosas representan bioturbación.

Figure 2. - Schematic lithostratigraphic succession with the same numbers and letters as in the text. Thin arrows: paleocurrent directions; thick arrows: progradations; both with north pointing upwards. Sinuous lines: burrowed layers.

Los materiales calcareníticos de la garganta del Río Alías son de edad pliocénica y posteriores al depósito de los yesos messinienses pues se sitúan sobre margas con olistones de estos materiales. Forman parte de la UTS del Messiniense II-Plioceno I y equivalen a parte del denominado Miembro Sorbas (Dronkert y Pagnier, 1977, Dabrio *et al.*, 1985). Fueron objeto de un informe preliminar del autor cuyas conclusiones se recogieron en la Memoria de la Hoja 24-43: Carboneras (IGME, 1983).

En el afloramiento del Río Alías (Cortijo del Molino de Arriba, 1 km al suroeste de El Argamasón) las calca-

renitas presentan grandes *sets* de estratificación cruzada. Sus características se analizan en este trabajo con el fin de proponer un modelo genético y paleogeográfico.

## ESTRATIGRAFÍA

La sucesión está formada por calcarenitas, areniscas y conglomerados con faunas marinas someras en la que pueden establecerse cuatro términos (fig. 2).

1) *Calcarenitas*. Comprende una sucesión de litofacies. Según el tipo de estructuras sedimentarias y el tamaño de la estratificación cruzada se distinguen de muro a techo:

a) Facies de estratificación cruzada en surco, cuyos *sets* miden un metro de espesor. Se originó por la migración de *megaripples* de cresta sinuosa.

b) Facies de estratificación cruzada en surco de gran escala (*sand waves*) que alcanza 4 m de espesor. Las superficies de *inter-set* aparecen intensamente bioturbadas. Los *foresets* contienen láminas de avalancha, retocadas a veces por laminación o estratificación cruzada, y niveles bioturbados.

c) Facies de estratificación cruzada en surco de escala media (0,5 a 1 m de altura) formada por la migración de *megaripples* de cresta sinuosa. Se adapta a la morfología de las *sand waves* infrayacentes. El techo de esta unidad está formado por un nivel calcarenítico intensamente bioturbado de 0,5 m.

d) Facies de estratificación cruzada planar de 0,5 a 1 m de altura generada a su vez por trenes de *megaripples* de crestas rectas.

e) Facies de *sets* aislados de estratificación cruzada en surco de 3 a 4 m de altura y unas decenas de metros de anchura. Se encajan parcialmente a techo de la unidad infrayacente, de modo que las formas del fondo (*bed-forms*) que las originaron tenían escaso relieve positivo sobre el fondo.

f) Facies de laminación paralela. Las láminas son gruesas (centimétricas) y están moderadamente bioturbadas.

El análisis de las características de la estratificación cruzada de esta unidad y su interpretación sedimentaria se ofrecerán en apartados posteriores.

2) *Arenas verdes* con bancos de arenisca gruesa y microconglomerados. La organización general de la unidad consiste en cuerpos masivos de arena separados por niveles bioturbados de arenisca microconglomerática. Su morfología es suavemente convexa hacia arriba y se adap-

tan unos a otros. Dentro de ellos se encuentran, a su vez, megaformas aisladas de areniscas y microconglomerados con estratificación cruzada en surco (de hasta 5 m de altura) que migraban hacia el W y E. El conjunto se interpreta como un depósito de *fan delta* progradante (probablemente hacia el norte) retrabajado por corrientes marinas, similares a las que se discutirán luego para las calcarenitas inferiores, que movían *megaripples* aislados en forma de media luna en dirección transversal al sentido de la progradación.

3) *Calcarenitas bioclásticas superiores*. Forman grandes cuerpos con estratificación cruzada gigante (los *sets* superan los 10 m de altura), separados por superficies de *inter-set* bioturbadas. Los bioclastos y restos de bivalvos indican medio marino somero de plataforma y talud carbonatados. La estructura de gran escala atestigua su progradación a partir del margen septentrional de La Serrata.

4) *Conglomerados* con muchos cantos redondeados de cuarzo blanco y fauna bien conservada de bivalvos marinos someros (ostreidos y pectínidos). Se disponen en enormes *sets* de estratificación cruzada de altura superior a 20 m. De acuerdo con la litología, el tamaño de grano, el redondeamiento de los cantos, la fauna y la estructura interna, se asimilan a depósitos de *fan delta* procedentes de Sierra Cabrera. Hacia el mar pasan a lutitas amarillas («margas con lepra»). La pro-

gradación hacia el sur se produjo por coalescencia de lóbulos de abanico con estratificación cruzada gigante que casi llegaron a cubrir La Serrata. Un problema paleogeográfico aún no resuelto es el del área fuente del cuarzo blanco que es abundantísimo en los sedimentos a partir del Plioceno y que debe suponer el desmantelamiento de enormes volúmenes de materiales metamórficos que hasta esa época no lo habían suministrado.

## LAS «SAND WAVES» DE LAS CALCARENITAS INFERIORES

Las características más notables, comunes a la mayoría de los *sets* de estratificación cruzada de las calcarenitas, son:

a) *Morfología de los sets* (fig. 3 y lam. I, fot. 1). Suele conservarse bastante bien la forma original, con *sets* largos que dan la impresión de tabulares, aún siendo en surco, y poco relieve sobre el fondo pues son más bien formas excavadas en el lecho. En las fases de degeneración puede recordar el tipo sigmoidal, pero es sólo un efecto aparente pues las láminas chocan contra la superficie superior del *set*.

b) *Superficies de inter-set*. Son erosivas y se adaptan a las irregularidades de las formas infrayacentes, sobre todo en las fases de degeneración. Suelen estar afectadas por bioturbación (lam. I, fot. 2).

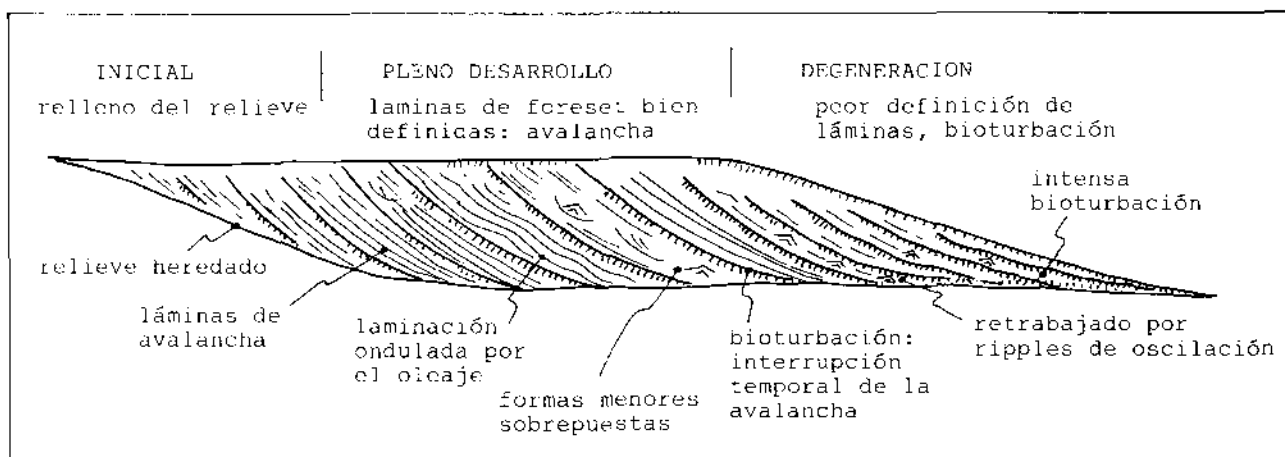
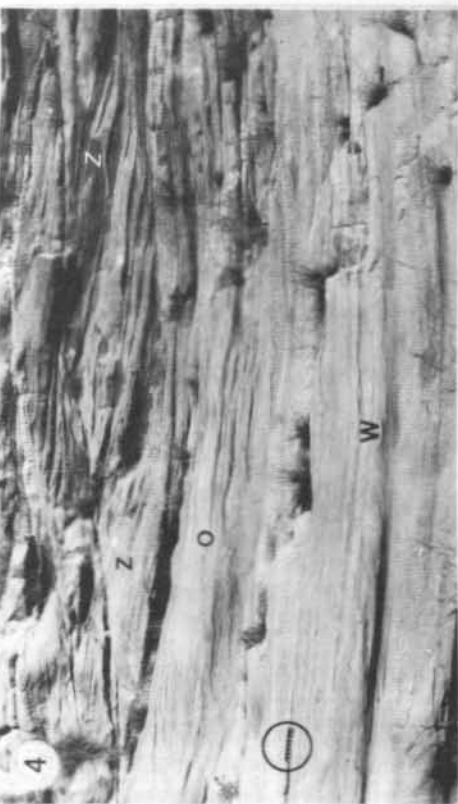
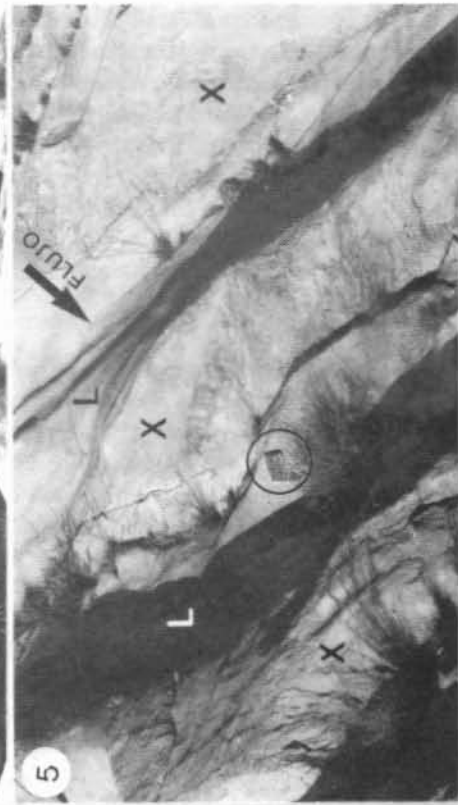
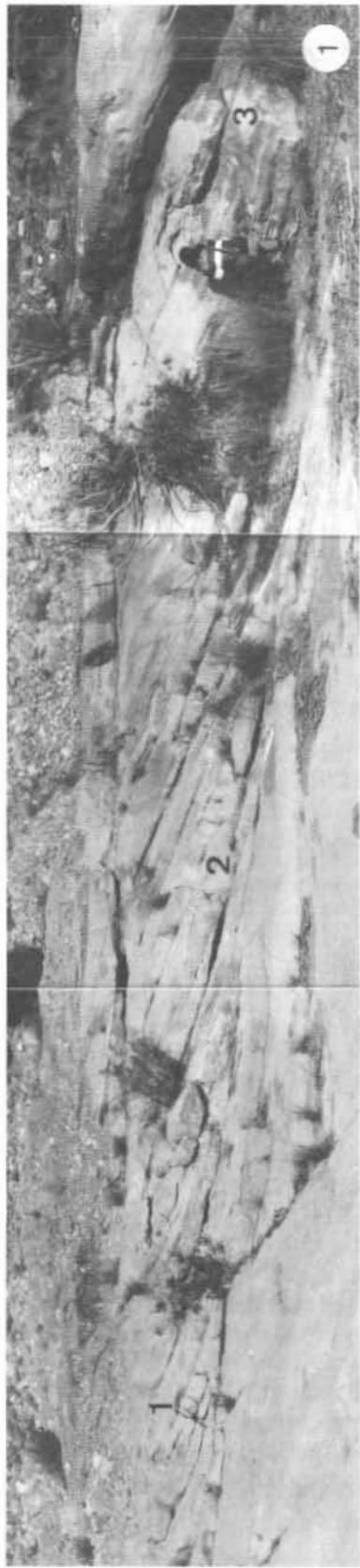


Figura 3. - Modelo conceptual de una *sand wave* mostrando sus principales rasgos sedimentarios (explicación en el texto). Compárese con las fotos 1 a 5.

Figure 3. - Conceptual model of a sand wave displaying the major sedimentological features (see text for explanation). Compare to photos. 1 to 5.



c) *Láminas del foreset*. Son tangentes a la superficie inferior del *set* y se diferencian tres tipos que alternan entre sí: láminas de avalancha, localmente onduladas; láminas de avalancha retocadas por laminación o estratificación cruzadas de oscilación y láminas bioturbadas de varios centímetros de espesor (lam. I, fot. 2).

d) *Etapas de evolución* (fig. 3, lam. I, fot. 1). La variación de la morfología de la estratificación cruzada durante la migración de la *sand wave* o del *megaripple* responde al cambio de las condiciones hidrodinámicas. La migración suele comenzar aprovechando la morfología heredada de otras formas ya inactivas e, incluso, parcialmente erosionadas.

En la *fase inicial* se genera estratificación cruzada en surco de pequeña escala. Según migra, va aumentando el tamaño, el buzamiento y la definición de las láminas, que se hacen cada vez mejor visibles.

En la *fase de pleno desarrollo* o migración activa, el ángulo de las láminas del *foreset* alcanza sus máximos valores. La energía es lo suficientemente alta como para producir una intensa avalancha en el *foreset* donde el oleaje induce, por su parte, la formación de *ripples* y *megaripples* que retocan parcialmente la laminación (fot. 3 y 4). Los grupos de láminas de avalancha están separados por niveles de bioturbación (fot. 5).

En la *fase de degeneración* decrece el buzamiento de las láminas y se hace más patente su retrabajado por *ripples* de oscilación. La bioturbación se intensifica, extendiéndose desde las láminas del *foreset* hasta el fondo (lam. I, fot. 1).

No se ha observado evidencia de la variación regular del espesor de las láminas y las asociaciones de formas de retrabajado descritas por Boersma y Terwindt (1981) y Terwindt (1981) en *megaripples* de ambientes mareales.

La alternancia de laminación y bioturbación refleja el carácter episódico de la migración de las formas de fondo y sugiere la acción de corrientes intermitentes de intensidad fluctuante y de dirección dominante este-oeste. Así pues la «alternancia» es, en realidad, la superposición de episodios de migración (avalancha) y detención (bioturbación).

e) *Direcciones de corriente*. En la parte baja de la unidad calcarenítica (fig. 2) el sentido es muy constante hacia el este (N100° E) aunque la intersección de la estratificación cruzada en surco con las paredes de la garganta del río haga pensar a veces en *sets* de sentidos opuestos. En los niveles de estratificación cruzada tabular de la litofacies d (fig. 2) se miden paleocorrientes de sentidos opuestos (al este y oeste).

Así pues, hay evidencia del carácter reversible del flujo en varios tramos de la sucesión. Más adelante se discutirá el alcance de este hecho.

#### LÁMINA I

Foto 1. Panorámica de una *sand wave* migrando hacia N100° E (a la derecha). Los números indican las fases de migración marcadas por el desigual aspecto de las láminas del *foreset*. Compárese con la figura 3.

Foto 2. Primer plano de la anterior (tomado junto al número 2) mostrando detalles del *foreset*: láminas de avalancha (L) y bioturbadas (X). La escala, en el círculo, mide 15 cm.

Foto 3. Estratificación cruzada en surco de gran escala (véase la persona en pie, a la izquierda) debida a una *sand wave* migrando hacia el este (dirección de flujo indicada por la flecha). Las láminas aparecen retocadas por estratificación cruzada en surco de oscilación (Z).

Foto 4. Detalle de la anterior mostrando laminación ondulada (O), laminación (W) y estratificación (Z) cruzada que retrabajan las láminas del *foreset*. La escala (círculo) mide 15 cm.

Foto 5. Primer plano, visto desde arriba, de las láminas de la *sand wave* de la foto 3 donde se aprecian los sucesivos episodios de laminación (L) y bioturbación (X) discutidos en el texto. El cuaderno dentro del círculo mide 15 cm de longitud. Las letras tienen el mismo significado que en figuras anteriores.

#### PLATE I

Photo 1. Panoramic view of a sand wave migrating towards N100° E (right). Numbers refer to the stages of migration registered in the varying types of laminae. Compare to figure 3.

Photo 2. Close-up of the former photograph (taken just by No. 2) to show some details of the foresets: lamination due to avalanching (L) and burrowed layers (X). The encircled scale-bar is 15 cm long.

Photo 3. Large-scale cross-stratification (see person standing to the left) generated by a sand wave migrating towards the east (flow direction marked by arrow). Note reworking of laminae by wave-generated cross stratification (Z).

Photo 4. Close up of figure 6. Wavy bedding (o), cross lamination (W) and cross bedding (Z) reworking laminae of foreset. Ruler into the circle is 15 cm long.

Photo 5. Close up (taken from above) of the sand wave pictured in figure 6, to illustrate the successive episodes of lamination (L) and burrowing (X) as discussed in the text. Same meaning of letters as in the previous pictures.

f) *Apilamiento de estratificaciones cruzadas.* Los *sets* de gran escala depositados por las *sands waves* se apilan formando barras de varias decenas de metros de longitud en el sentido del flujo y una decena de altura (mínimo visible en la garganta del río) por cuyo flanco de sotavento descienden trenes de *megaripples*.

g) *Contexto paleogeográfico.* Los depósitos calcareníticos aparecen entre dos sierras emergidas, al norte y sur, sobre el bajío o umbral que separaba las cuencas de Níjar y Carboneras (fig. 1). Se sitúan en uno de los márgenes del Mediterráneo ancestral, cuyo rango mareal se supone muy bajo o nulo pues su tamaño (poco mayor que el actual) no debía permitir el desarrollo de una onda de marea significativa.

## DISCUSIÓN DEL MECANISMO DE FORMACIÓN

La migración y apilamiento de las formas de fondo descritas registran el paso de corrientes esporádicas, de velocidad fluctuante y sentidos opuestos sobre una plataforma de baja energía de gran productividad orgánica y sometida a bioturbación.

Las corrientes de este tipo más conocidas son las de marea que aceleran, frenan e invierten el sentido del movimiento cada 6 o 12 horas según las fuerzas que las produzcan. La amplitud de la marea y las velocidades de las corrientes que induce varían con los ciclos de mareas vivas y muertas.

Algunos de los rasgos que se han reseñado más arriba para los *sand waves* y *megaripples*, tales como la morfología de tipo sigmoidal, la bidireccionalidad de las paleocorrientes, las etapas de evolución y la alternancia de los periodos de migración y detención, parecen ser congruentes con un origen mareal. No obstante, un examen más detenido lleva a descartarlo por diversas razones:

— La morfología de aspecto sigmoidal (que en este caso es más aparente que real) no debe considerarse un rasgo mareal exclusivo (Dabrio y Fernández, 1985) sino una indicación de velocidades de flujo relativamente altas que llevan mucho sedimento suspendido al pie del *foreset*, suavizando mucho el ángulo de tangencia con el fondo. En otros casos esta forma se debe a la erosión y retoque de la cresta del *sand wave* por la corriente (mareal) opuesta que carece, sin embargo, de competencia para dar lugar a transporte generalizado. De este modo se producen varios tipos de superficies de reactivación (Allen, 1980), aunque efectos similares pueden producirlos, también, corrientes opuestas no mareales. Es el

carácter repetitivo del proceso, más que la morfología, lo que debe servir de indicación genética.

— La alternancia de periodos de migración y detención de las formas de fondo es, en principio, un argumento a favor de las corrientes mareales, pero en el Río Alías: a) no existen parejas de láminas arena/arcilla como las descritas por Terwindt (1981) en las sucesivas fases de corrida y detención de la marea; b) la intensa bioturbación de las láminas del *foreset* sugiere periodos sin corrientes más prolongados que el mero lapso de parada de las corrientes mareales; c) no se han encontrado superficies de reactivación asimilables a la reversión continua del flujo y, además, d) no hay evidencia del incremento y disminución progresivos del espesor de las láminas del *foreset* en respuesta a los cambios de competencia de las corrientes mareales al sucederse los periodos de mareas vivas y muertas (Boersma y Terwindt, 1981). En cualquier caso, tampoco se conoce muy bien cómo pueden compararse los rasgos de las formas de fondo (*bedforms*) intermareales con las de bajíos submareales abiertos, pues quizá allí se aprecie menos la diferenciación de láminas al correr de las fases mareales.

Así pues, la migración de las *sand waves* y *megaripples* del Río Alías parece ser un proceso repetitivo (pero no cíclico y regular) entre periodos de tranquilidad y bioturbación del fondo.

— Las paleocorrientes de sentidos opuestos pueden también usarse como un criterio favorable al origen mareal pero, por las razones expuestas, es preferible atribuir las a corrientes inducidas por fuerzas no mareales dirigidas al este y el oeste. La situación paleogeográfica no parece justificar el desarrollo de rangos mareales altos, capaces de generar corrientes mareales de la intensidad necesaria para mover las grandes formas del afloramiento del Río Alías. En cualquier caso es significativo para explicar su génesis el hecho de que, durante cierto tiempo, sólo quedarán registradas migraciones hacia el este mientras que luego se registraron también al oeste haciéndose dominantes.

En consecuencia, se asume que las corrientes responsables eran de origen meteorológico regional a causa de las derivas inducidas por los temporales de poniente y de levante, con cierta colaboración de los vientos dominantes (que soplaban en esas mismas direcciones). Además, éstas son las únicas orientaciones con *fecth* suficiente para generar oleajes y corrientes de intensidad significativa, a causa de la compleja morfología de las cuencas y las sierras que las limitan. Los temporales de poniente (causantes de derivas hacia el este) podrían verse reforzados, además, por la corriente del Estrecho (que en la actualidad se deja sentir hasta las costas levantinas) y quizá por cierta componente mareal.

Explicar la génesis de las formas de fondo encontradas en el Río Alías supone contestar a varias preguntas: ¿cómo pudieron producirlas y moverlas esas corrientes?, ¿cuál es la causa de la uni o bidireccionalidad de las paleocorrientes en los distintos niveles?, ¿porqué se forman algunas grandes formas de fondo migrando en direcciones transversales a las descritas (fig. 2, tramo 1º y tramo 2º), es decir, ¿en qué contexto paleogeográfico y dinámico se produjo el depósito?

Las corrientes propuestas debían fluir adaptándose a los relieves emergidos y, por supuesto, también a los sumergidos. Uno de estos últimos era el que cerraba, aún más, la constricción ya existente entre las amplias cuencas de Níjar y de Carboneras (fig. 4). En buen tiempo los vientos locales reinantes debían inducir sólo oleajes de período corto y corrientes lentas de escaso efecto sobre el fondo que, en consecuencia, era bioturbado. Las corrientes de deriva alcanzarían su máxima competencia bajo los temporales de componente este y oeste. Cuando las corrientes ascendían por las rampas del bajío aceleraban, a causa de la disminución de la sección de flujo, alcanzando en algunas zonas velocidades en las que los *megaripples* y las *sand waves* son estables (fig. 4). A mayores profundidades, el efecto sobre el fondo era más pequeño y movía tan sólo formas menores (*ripples*). Por el contrario, cerca de la cresta del bajío, la menor profundidad forzaba a las corrientes a fluir a velocidades más elevadas, compatibles sólo con formas de fondo más pequeñas (*megaripples*) y, en el caso extremo, con laminación paralela por aplanamiento de las otras formas.

La morfología del umbral es, en parte, la responsable de la preservación de una o dos direcciones de paleocorrientes según la altura o cota del punto y su posición en uno u otro flanco. El dominio de las paleocorrientes N100º E en los primeros términos de las calcarenitas (a, b y c de la fig. 2) se debe a que están en la pendiente occidental y, por ello, expuestos a esos temporales pero resguardados de los de levante (fig. 4). En el flanco oriental del umbral, ya en la cuenca de Carboneras, sucede al revés como puede verse en algunos puntos de otro bajío situado entre La Serrata y la Sierra del Cabo de Gata.

Al progresar el depósito aumentó la superficie ocupada por la cresta del bajo fondo y quedó bajo los efectos de las corrientes procedentes de ambas cuencas, lo que produjo migración de *megaripples* en ambos sentidos (o sea, las estratificaciones cruzadas de sentidos

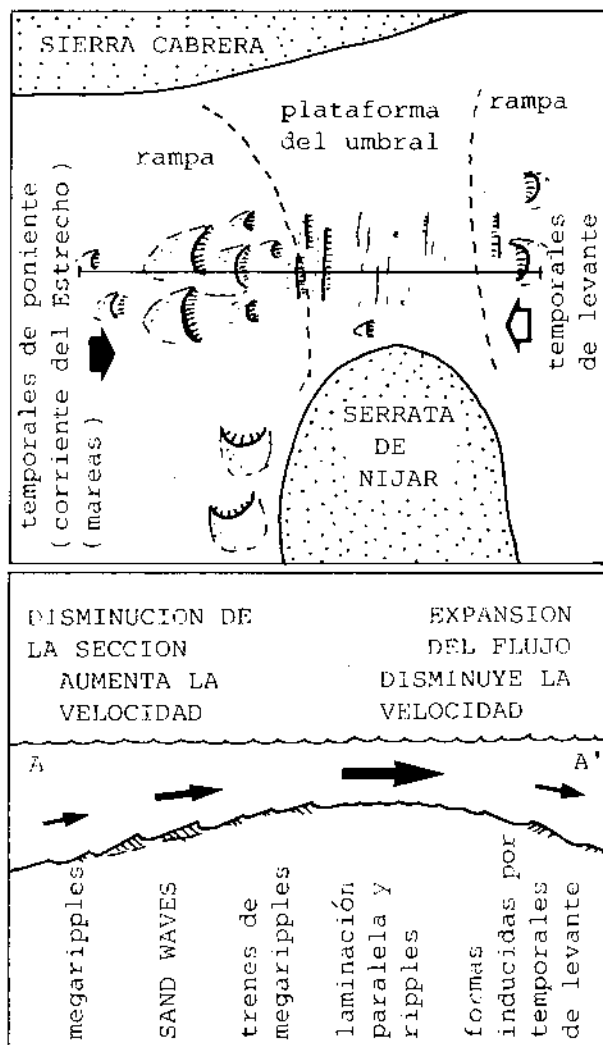


Figura 4. - Modelo paleogeográfico del bajo calcarenítico de Río Alías durante un temporal de poniente. Arriba, planta; abajo en sección transversal E-W.

Figure 4. - Palaeogeographic model of the calcarenitic shoal of Río Alías with various bedforms migrating under westerly storms. Plan (above) and E-W section (below).

opuestos de las litofacies d, fig. 2). Además, al crecer la plataforma se ampliaron las zonas en las que la relación velocidad de la corriente/profundidad era favorable al desarrollo de *sand waves*. Entonces se produjeron migraciones hacia el norte (transversales a las precedentes) causadas por corrientes que bordeaban el extremo noroeste del paleorrelieve de La Serrata, en su camino hacia el estrecho que conectaba las dos cuencas (litofacies e, fig. 2).

## CONCLUSIONES

La sucesión Pliocena del Río Alías está formada por depósitos marinos someros correspondientes a la progradación de sistemas de plataformas y taludes y, en otros momentos, de *fan deltas* retrabajados por procesos marinos.

Las calcarenitas de la parte inferior de la serie presentan *sets* de estratificación cruzada de gran escala. Su estudio permite diferenciar las fases de migración y pone de manifiesto tres tipos de láminas de *foreset*: de avalancha simple, de avalancha retocada por oleaje y bioturbadas.

La ausencia de rasgos mareales, según se discute en el texto, la intensidad y frecuencia de la bioturbación en las láminas del *foreset* y el contexto paleogeográfico local y regional, llevan a proponer un modelo sedimentario consistente en un umbral entre dos cuencas sometido a corrientes de deriva regional generadas por los temporales y vientos dominantes que eran del este y el oeste. Los episodios de migración de las formas de fondo estaban separados por largos períodos de inactividad y bioturbación en el fondo.

## AGRADECIMIENTOS

El Dr. J.R. Boersma (Universidad de Utrecht) aportó valiosas sugerencias y la Dra. D. Polo (Salamanca), además, corrigió el manuscrito. Este trabajo se benefició, indirectamente, de la subvención del Proyecto CAICYT nº 1113/84.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALLEN, J.R.L., 1980: Sand waves: a model of origin and internal structure. *Sedim. Geol.*, 26: 281-328.
- BOERSMA, J.R. y TERWINDT, J.H.J., 1981: Neap-spring tide sequences on intertidal shoal deposits in a mesotidal estuary. *Sedimentology*, 28: 151-170.
- DABRIO, C.J., MARTIN, J.M. y MEGÍAS, A.G., 1985: The tectosedimentary evolution of Miopliocene reefs in the Province of Almería (S.E. Spain). 6th European Regional Meeting of Sedimentology. Field Guidebook. Excursion No. 8: 269-306.
- DABRIO, C.J. y FERNÁNDEZ, J., 1985: Evolución del estilo fluvial del Triásico de Alcaraz (Albacete). *Cuad. Geol. Ibérica*, 11: 173-206.
- DRONKERT, H. y PAGNIER, H., 1977: Introduction to Mio-Pliocene of the Sorbas basin. *Messinian Seminar 3. Field trip 2*: 1-21.
- I.G.M.E. 1983: Mapa geológico de España. Escala 1:50.000. 1046: Carboneras. Madrid, serv. Publ. Ministerio Industria, 76 p., 1 mapa pleg.
- TERWINDT, J.H.J., 1981: Origin and sequences of sedimentary structures in inshore mesotidal deposits of the North Sea. *Spec. Publ. int. Ass. Sedim.*, 5: 4-26.