

# Dinámica de formas de fondo en la desembocadura del estuario del Río Piedras (Huelva)

## *Bedforms dynamics in the mouth of the Piedras river estuary (Huelva)*

I. Delgado <sup>(1)</sup>, J.A. Morales <sup>(1)</sup> y J.M. Gutiérrez Mas <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Departamento de Geología. Universidad de Huelva. Avda. Fuerzas Armadas, s/n. 21007 Huelva.

<sup>(2)</sup> Departamento de Geología. Universidad de Cádiz. Campus Río San Pedro, s/n. Puerto Real (Cádiz).

### ABSTRACT

*The estuary of the Piedras River is a small and narrow estuary, with a reduced fluvial input and a wide spit in its mouth in whose apex expands a wide system of ebb-tidal deltas. The present work characterizes the dimensions, orientation and sediment grain size in the bedforms distributed on the different subenvironments of these tidal deltas. The study was done by means of direct measurements carried out during tides of different range. On the other hand, measurements of the tidal currents in the interface water-bottom have been carried out to associate the studied forms with the currents that generated them.*

**Key words:** *Ebb-tidal deltas, bedforms, sedimentary dynamics.*

*Geogaceta, 38 (2005), 143-146*  
ISSN: 0213683X

### Introducción

El Estuario del Piedras presenta una forma estrecha encajada en dirección N-S, debido a la influencia de las características geológicas del sustrato. Su sector marino se caracteriza por una larga flecha litoral paralela a la costa, desarrollada a partir de la unión de varias islas barrera y donde actualmente ocurre un rápido proceso de acreción apical (O-E) de barras de oleaje, facilitado por la migración de un sistema de deltas mareales en el mismo sentido. Ambos rasgos morfológicos le confieren al estuario una característica forma de L (Fig. 1).

Este estuario se ve afectado por un régimen mesomareal, donde alternan mareas vivas con rangos que alcanzan los 3,37 metros y mareas muertas con rangos que apenas superan los 0,75 metros, con un rango medio de 2,10 metros (Borrego y Pendón, 1989). El oleaje que actúa sobre este sistema costero tiene unas dimensiones medias con alturas de 0,40 metros, longitudes de onda de 39,62 y periodos de 4,03 segundos, y procede mayoritariamente del Suroeste, aunque durante los temporales la ola significativa puede alcanzar los 3,80 metros de altura y los 266,50 metros de longitud de onda (Morales *et al.*, 2001).

En los últimos años, diferentes equipos de investigación han llevado a cabo trabajos a lo largo del estuario del río Piedras, así se han dedicado trabajos a la descripción del funcionamiento dinámico de

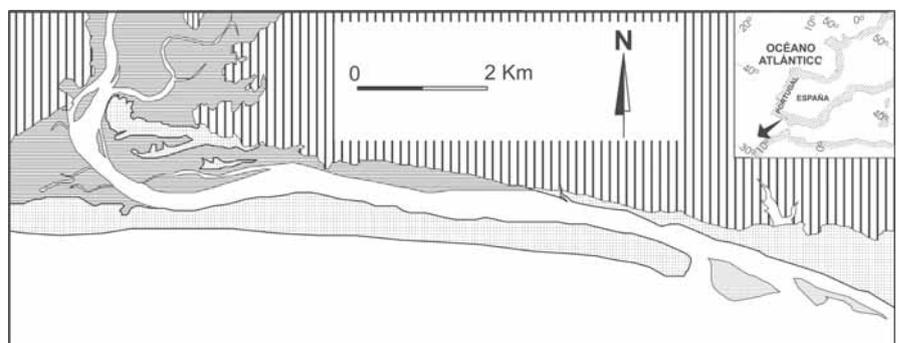
los sistemas de cresta y surco de oleaje en las playas situadas en su frente (Dabrio, 1982), se ha hecho hincapié en los modelos de crecimiento de la flecha litoral que lo cierra (e.g. Borrego *et al.*, 1993; Ojeda y Vallejo, 1995), se han descrito los sistemas de evolución cíclica de los deltas de marea de su desembocadura y se ha interpretado la tendencia hacia la progradación como una respuesta a la reducción progresiva del prisma de marea, causada por la colmatación sedimentaria del interior del estuario (Morales *et al.*, 2001). Sin embargo, hasta el presente no se ha realizado ningún estudio sobre el funcionamiento dinámico de las corrientes de marea y el oleaje sobre los deltas de reflujo mareal, como tampoco se ha caracterizado la morfología de las formas

de fondo resultantes de estos procesos de interacción observados en la desembocadura.

El objetivo de este trabajo es caracterizar la distribución espacial, orientación, dimensiones y tamaños de grano de las formas de fondo presentes en los deltas de marea asociados a la desembocadura del estuario del río Piedras, describiendo el régimen hidrodinámico responsable de su existencia.

### Metodología.

Las medidas sobre las dimensiones de las formas de fondo intermareales se realizaron de forma directa. Para medir las formas mayores y las longitudes de onda de las formas menores se utilizó cinta



**Fig. 1.- Localización del área de estudio. Las áreas rayadas en vertical corresponden al sustrato plioceno. Las áreas rayadas horizontales corresponden a la marisma y las áreas punteadas corresponden a formaciones arenosas.**

*Fig. 1.- Location of the study area. The vertical pattern correspond to the pliocene bedrock, the horizontal pattern correspond to the salt marsh and the pointed surfaces correspond to the sandy formations.*

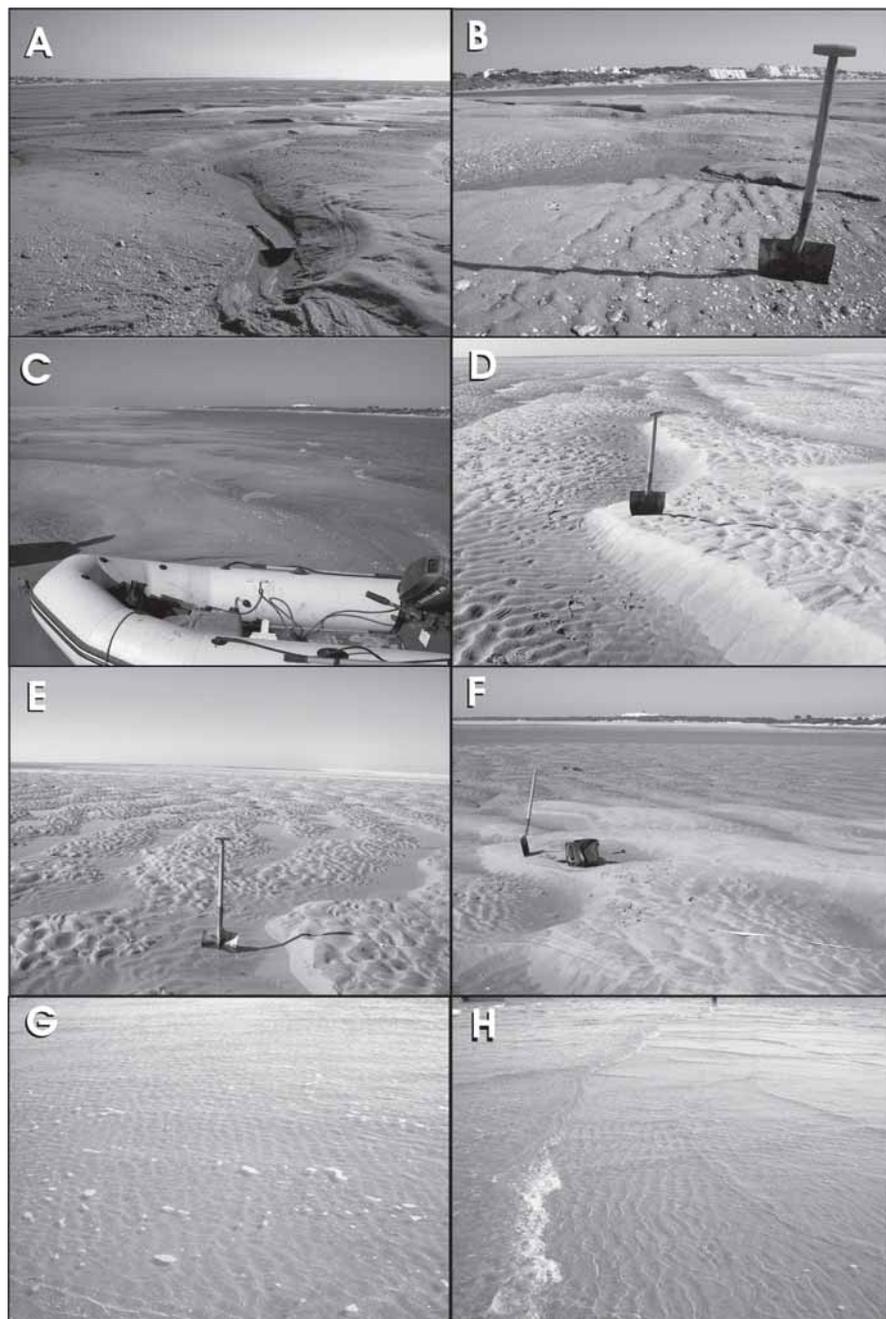


Fig. 2.- Panorámicas de trenes de formas de fondo descritas en el texto.

Fig. 2.- Photographs of the bedform trains described in the text.

métrica de 20 metros de longitud, graduada milimétricamente. Para las medidas de altura de las formas menores se utilizó un calibre inoxidable. La orientación de las crestas se midió con una brújula de espejo Silva. Las formas submareales se midieron también de forma directa mediante inmersiones con equipo autónomo utilizando la misma metodología.

Las campañas de medida de las formas de fondo se realizaron en tres mareas de coeficiente distinto, para caracterizar los regímenes extremos actuantes. De igual modo, las medidas se realizaron con distintos regímenes de vientos y oleaje.

Las formas generadas por las corrientes de marea viva fueron estudiadas el día 11 de Febrero de 2005 (rango mareal de 3,23 metros), las de marea media el día 21 de Febrero de 2005 (rango mareal de 1,82 metros) y las de marea muerta el 18 de Marzo de 2005 (rango mareal de 0,91 metros).

Las campañas de medida de velocidad de las corrientes mareales se realizaron utilizando un medidor de corriente Silva Sea Data, con precisión mínima de 0,003 m/s. Este medidor se orienta de forma mecánica con la dirección de máxima velocidad. El correntímetro se fijó a 70

cm del fondo para estudiar la corriente en la interfase agua-fondo. Estas medidas también fueron realizadas durante mareas de diferente coeficiente para que los datos fuesen correlacionables con las formas de fondo caracterizadas, así se midieron los días 18 de Febrero (marea muerta, rango 0,97 metros), 11 y 21 de Marzo de 2005 (mareas viva, rango 3,42 metros y media, rango 1,41 metros respectivamente).

Para estudiar el tamaño de grano se tomaron muestras de sedimento sobre las formas estudiadas. La distribución de tamaños de grano se realizó por tamizaje convencional en una columna de tamices de malla normalizada de acuerdo con la escala de Udden-Wenworth.

Todas las observaciones fueron referenciadas geográficamente utilizando un GPS Garmin modelo 38.

### Morfología y granulometría de las formas de fondo.

De acuerdo con la accesibilidad de los deltas de marea, se realizaron medidas en tres submedios diferentes: Canal principal de flujo, canal secundario de flujo y plataformas de batida intermareales.

#### - Canal principal de reflujo:

Presenta un lecho con abundantes formas de fondo de diferentes morfologías y dimensiones según el rango de marea. Durante la marea viva las formas corresponden a olas de arena de cresta recta (dunas 2D) con longitudes de onda que oscilan entre 330 y 350 cm y alturas entre 40 y 60 cm. Éstas llevan sobreimpuestas formas menores (*ripples* linguoides) con longitudes de onda que oscilan entre 30 y 35 cm y alturas entre 4 y 6 cm. Durante la marea media se observaron dunas 2D con longitudes de onda entre 160 y 270 cm y alturas entre 30 y 50 cm. Las formas observadas en la marea muerta fueron también dunas 2D con longitudes de onda entre 65 y 70 cm y alturas entre 6 y 7 cm. Todas las formas siempre están orientadas en el sentido del reflujo. Las únicas formas observadas con orientación hacia el flujo fueron *ripples* linguoides con longitudes de onda entre 35 y 90 cm y alturas de entre 3 y 5 cm desarrolladas durante la marea viva. Las formas desarrollan crestas con direcciones comprendidas entre N12°E y N170°E, formando un ángulo de entre 20 y 35 ° con los márgenes del canal (Fig. 3).

La granulometría del fondo es siempre de arena media muy bien clasificada, con porcentajes más bajos de las fracciones más finas (Muestra P-2, Fig. 4).

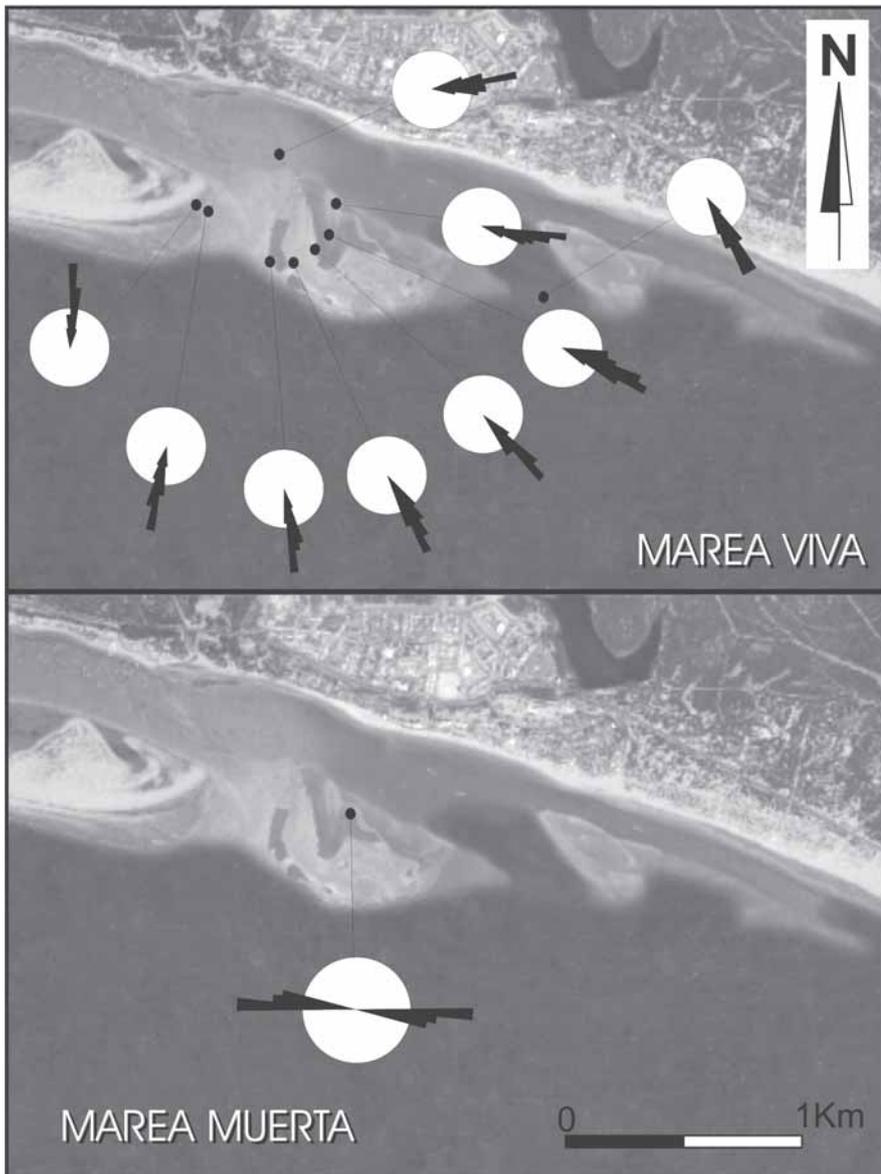


Fig. 3.- a) Rosas de los vientos del sentido de las corrientes deducido de las formas estudiadas durante la marea viva. b) Rosa de los vientos de las crestas de ripples simétricos de oleaje estudiados durante la marea muerta.

Fig. 3.- a) Wind roses of the sense of currents deduced from the studied bedforms during the spring tide. b) Wind roses of the symmetric ripple crests studied during the neap tide.

- Canal secundario de flujo:

Las formas desarrolladas durante la marea viva corresponden a barras sinuosas (dunas 3D) desarrolladas tanto en el sentido de flujo como en el de reflujo (Fig. 2 A). Las formas mayores de flujo se distribuyen con longitudes de onda entre 500 y 530 cm y alturas entre 25 y 30 cm. Las formas mayores de reflujo presentan dimensiones similares (longitudes de onda entre 490 y 500 cm y alturas entre 28 y 30 cm). Estas formas mayores presentan formas menores superpuestas, que suelen ser ripples de cresta sinuosa con longitudes de onda entre 25 y 40 cm y alturas de 3 cm en las zonas topográficamente más altas y con

longitudes de entre 10 y 25 cm y alturas de 2.5 cm en las zonas más deprimidas (Fig. 2 B). Las crestas de estas formas se encuentran orientadas en sentido N90°E a N105°E, orientadas de forma casi perpendicular a los márgenes del canal.

La marea media se caracteriza por el desarrollo de megaripples de cresta recta (dunas 2D) con longitudes de onda entre 0,9 y 1,9 metros y alturas de 15 a 30 cm siempre orientadas en el sentido del flujo y con crestas perpendiculares a los márgenes del canal (N84°E, Fig. 3). Las formas de marea muerta fueron poco perceptibles debido a las condiciones de visibilidad del día de estudio en este submedio.

La granulometría de estos fondos es algo más gruesa que la del canal principal de reflujo, con mayor porcentaje de las fracciones más gruesas (muestra P-1, Fig. 4).

- Plataformas de batida intermareales (ebb-tidal delta levees):

Estos elementos fisiográficos se localizan en la zona abierta del sistema, bajo la acción de las olas y las corrientes mareales.

Durante la marea viva se observaron muchas formas con dimensiones y orientaciones variables. Así, en las zonas más internas se estudiaron olas de arena linguoides con longitudes de onda entre 410 y 765 cm y alturas entre 30 y 47 cm

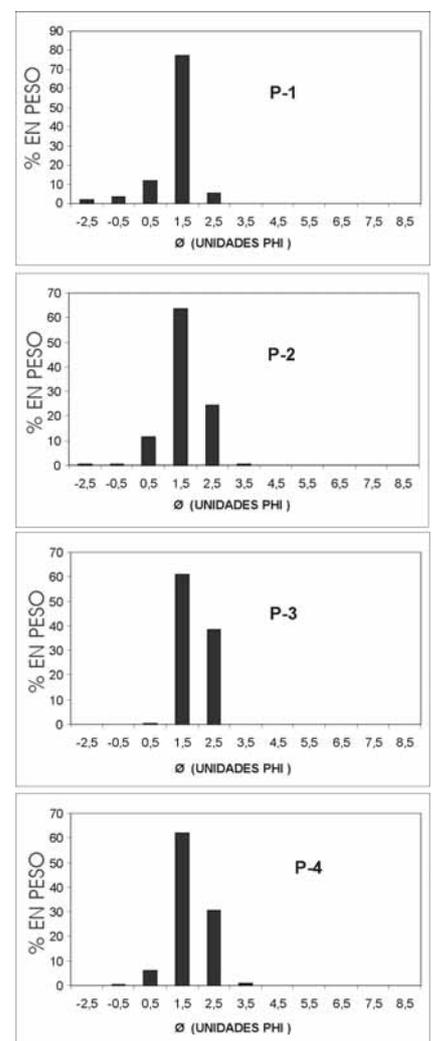
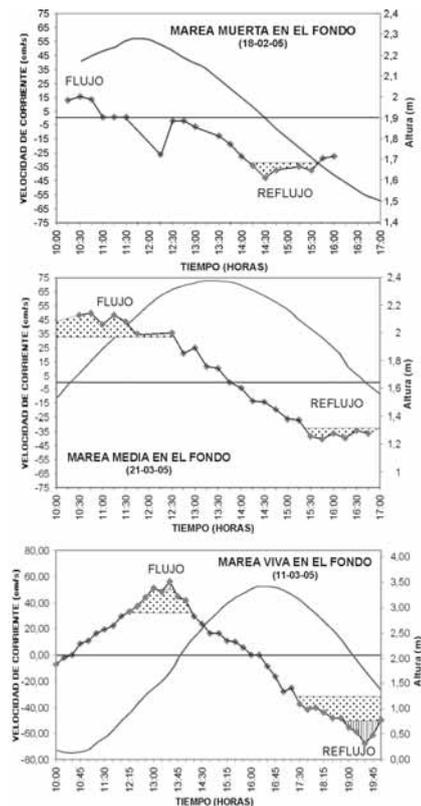


Fig. 4.- Granulometrías de las muestras tomadas durante la marea media (21-3-2005) en el canal secundario de flujo (P-1), canal principal de reflujo (P-2) y plataformas de batida intermareales (P-3 y P-4).

Fig. 4.- Grain size analyses of the samples taken during a mean tide (21-3-2005) on the marginal flood channel (P-1), main ebb channel (P-2) and intertidal wash platforms (P-3 and P-4).



**Fig. 5.-** Curvas tiempo-altura y tiempo-velocidad en la interfase agua-fondo para mareas de diferente rango, indicando los campos de estabilidad de formas de fondo para arena media. Las áreas punteadas representan los campos de estabilidad de ripples y las rayadas los campos de estabilidad de dunas.

*Fig. 5.- Curves Time-Height and Time-Velocity on the interface water-bottom for tides of different ranges. The stable bedforms field for medium sand are indicated. The pointed areas represent the fields of stable ripples, the vertical pattern indicates the fields of stable dunes.*

(Fig. 2 C). Estas formas llevaban sobreimpuestas ripples linguoides con longitudes de onda entre 17 y 25 cm y alturas entre 2,3 y 2,5 cm. En el centro de las plataformas de batida las crestas de las formas mayores pasan a ser sinuosas y las dimensiones algo menores, observándose longitudes de onda entre 260 a 490 cm y alturas de 18 a 24 cm. En los surcos se instalan ripples sinuosos con crestas

bifurcadas en sentido perpendicular a las crestas de las formas mayores (Fig. 2 D). Las longitudes de onda oscilan entre 4,6 y 13,4 cm y las alturas entre 0,7 y 1,6 cm. En las zonas más abiertas se estudiaron megaripples linguoides con longitudes de onda entre 210 y 258 cm y alturas entre 13 y 23 cm. Estas formas también tenían sobreimpuestas ripples linguoides con longitudes de onda entre 5,4 y 23,4 cm y alturas entre 1,1 y 3,0 cm (Fig. 2 E y F).

Todas estas formas se encuentran orientadas en el sentido del reflujo y la dirección de las crestas varía de acuerdo con su localización en la plataforma. Así, las crestas de las formas estudiadas en las zonas más internas de la plataforma presentan direcciones cercanas a N12°E, las formas del centro de la plataforma oscilan entre los N30°E y N65°E y las formas más externas presentan crestas orientadas en dirección N82°E (Fig. 3).

Durante la marea muerta la variabilidad de formas observadas fue mucho menor, habiéndose estudiado mayoritariamente formas asociadas al oleaje. Se observaron barras largas con longitudes de onda cercanas a los 10 metros y muy tendidas, que no superan los 0,3 m. de altura. Estas barras suelen situarse en el frente de los levees y migran hacia tierra debido a la acción del oleaje. Sobre estas barras, se desarrollan megaripples de cresta recta (dunas 2D) de pequeñas dimensiones y vida efímera, que pudieron ser observados durante su desarrollo (L=120-125 cm, H=5-10 cm) y ripples simétricos de cresta recta, también efímeros, con longitudes de onda entre 4 y 6 cm y alturas menores a 1 cm (Fig. 2 G y H). Todas estas formas presentan orientaciones cercanas a N90°E (Fig. 3).

El tamaño de grano del sedimento es de arena media pero con porcentajes de arena fina mayores que en los anteriores subambientes. (muestras P-3 y P-4, Fig. 4).

**Hidrodinámica.**

Las velocidades de corrientes fueron representadas en diagramas tiempo-velocidad que fueron complementados con

diagramas tiempo-altura de marea (Fig. 5). Sobre estas gráficas se han representado los campos de estabilidad de las formas de fondo obtenidos del diagrama de Harms *et al.* (1975) de acuerdo con la granulometría presente (arena media).

Durante las mareas muertas la corriente de flujo no llega a alcanzar el límite de formación de ripples, por lo que la forma más estable es el fondo plano inferior, mientras que la corriente de reflujo sólo alcanza el umbral de formación de ripples.

Durante las mareas medias, tanto el flujo como el reflujo alcanzan el umbral de formación de ripples, con lo que los ripples linguoides serán la forma de fondo más estable, tanto durante el flujo como durante el reflujo. La granulometría más gruesa observada en los canales secundarios de flujo explicaría la presencia en ellos de formas mayores que serían estables a velocidades menores.

Durante las mareas vivas se llegan a superar las velocidades límite de formación de dunas (megaripples) tanto en flujo como en reflujo, si bien el tiempo en el que estas formas permanecen estables es mayor durante el reflujo que durante el flujo, lo que explicaría porqué estas son las formas que se han observado con mayor profusión. También se observa cómo las formas de flujo son estables a alturas topográficas mayores que las formas de reflujo, lo que explicaría las formas reversas observadas en el campo (Fig. 2 A).

**Referencias**

Borrego, J., Morales, J.A. y Pendón, J.G. (1993). *Journal Coastal Research*, 9, 242-254.  
 Dabrio, C.J. (1982). *Sedimentary Geology*, 32,141-151.  
 Harms, J.C., Southard, J.B., Spearing, D.R. y Walker, R.G. (1975). S. E. P. M., short course, nº 2, 161 pp.  
 Morales, J.A., Borrego, J., Jiménez, I. Monterde, J.R. y Gil, N. (2001). *Marine Geology*, 172, 225-241  
 Ojeda, J. y Vallejo, I. (1995). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 8, 229-238.