

# Variación estacional de las características texturales en los sedimentos intermareales del estuario de los ríos Tinto y Odiel (SO España)

*Seasonal variation of the textural characteristics in the intertidal sediments of the Tinto and Odiel river estuaries (SW Spain)*

N. López-González <sup>(\*)</sup>, J. A. Morales, J. Borrego y B. Carro

Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Experimentales, Universidad de Huelva, 21071, Huelva, España. <sup>(\*)</sup> nieves.lopez@dgeo.uhu.es

## ABSTRACT

*The seasonal evolution in the sediment textural characteristics along the Tinto and Odiel river estuaries has been studied by means of 12 sediment traps. The fine-grained material is associated with flocculation and decantation processes that take place in the zones of saline mixing and acid neutralization of both estuaries. The bed load deposits are related with two different processes. In winter they are located in the confluence of the fluvial and tidal currents, while in spring and summer, they are redistributed by the tidal currents that deposit them in the central zones of the estuaries.*

**Key words:** *seasonal variation, sediment traps, sediment texture, Tinto and Odiel estuary.*

*Geogaceta, 40 (2006), 291-294  
ISSN: 0213683X*

## Introducción y localización

El presente trabajo tiene como objetivo el análisis de la dinámica sedimentaria a partir del estudio de la evolución textural de los sedimentos, como consecuencia de la interacción entre las corrientes fluviales y mareales en los estuarios de los ríos Tinto y Odiel, mediante el uso de trampas de sedimento.

La desembocadura de los ríos Tinto y Odiel se localiza en el sector central de la Costa de Huelva y consiste en dos estuarios que comparten el sector marino junto con las principales barreras de cierre del sistema (Fig.1). Se trata de estuarios mesomareales (rango medio de 2,1 m) drenados por corrientes de marea débiles, aunque pueden alcanzar más de 1 m/s durante los máximos de las mareas vivas (Borrego, 1992). Los Ríos Tinto y Odiel presentan una dinámica típica de ríos mediterráneos, con caudales marcados por una importante irregularidad interanual sumada a una acusada variación estacional. El flujo medio mensual es de 49,8 Hm<sup>3</sup>, que puede oscilar entre 100 Hm<sup>3</sup>/mes durante las estaciones húmedas y menos de 5 Hm<sup>3</sup>/mes durante el periodo seco (Borrego, 1992). Esta irregularidad hace que en un invierno húmedo puedan producirse importantes avenidas, mientras que en verano el caudal resulta prácticamente nulo (Morales *et al.*, 2005).

El estudio de los sedimentos constituye uno de los aspectos principales en el conocimiento de las características físico-químicas de los sistemas estuarinos, ya que en ellos tienen lugar importantes contrastes entre masas de agua. La variación estacional de la textura sedimentaria puede permitir el establecimiento de las zonas de depósito de la carga de fondo y de la zona de mezcla salina, ya que en esos momentos es cuando se producen los principales procesos de floculación y decantación, quedando ambos registrados en los sedimentos. En el estuario de los ríos Tinto y Odiel, habría que añadir a las zonas de mezcla salina aquellas que corresponden a los procesos de neutralización ácida (Carro *et al.*, 2006), ya que se pasa de valores de pH comprendidos entre 2,5-3,5 a valores superiores a 7 en muy poco espacio. Este proceso afectaría a la sedimentación en el mismo sentido que la mezcla salina, produciendo el depósito de material fino en las zonas donde tiene lugar el principal contraste de pH.

## Muestreo y metodología

Para este trabajo se ha recogido, de forma estacional, el sedimento más reciente depositado en el estuario de los ríos Tinto y Odiel durante el año 2004. El muestreo se ha realizado mediante la co-

locación de 12 trampas de sedimento (Fig.1) fabricadas con planchas cuadradas de PVC de 50 cm<sup>2</sup> atravesadas por un cilindro del mismo material que permite su anclaje en el terreno y su localización visual sin interferir con las corrientes. Dichas trampas se situaron en la zona intermareal de cada punto de muestreo, de manera que el sedimento recogido fue el correspondiente al depositado durante el repunte de pleamar. El sedimento óxico más superficial se recogió en recipientes de polipropileno, tratados con HNO<sub>3</sub> y lavados con agua destilada mili-Q, que se almacenaron refrigerados a 4°C hasta su llegada al laboratorio donde fueron secados en un horno a 60°C hasta alcanzar peso constante.

El análisis granulométrico se realizó en húmedo en un analizador de partículas láser Malvern Mastersizer 2000 (Malvern Instruments Ltd, UK) de la Universidad de Huelva. Se determinaron los tamaños de partícula comprendidos entre 2 mm y 0,02 µm, agrupándolos según la escala de tamaños de grano propuesta por Wentworth (1922) en arena (<2000-63 µm), limo (63-4 µm) y arcilla (<4 µm). Cada muestra se midió por triplicado durante 30 s, con descansos de 10 s entre medidas, con un rango de obscuración comprendido entre 10 y 20%, y una velocidad de agitación de 1500-2000 rpm.

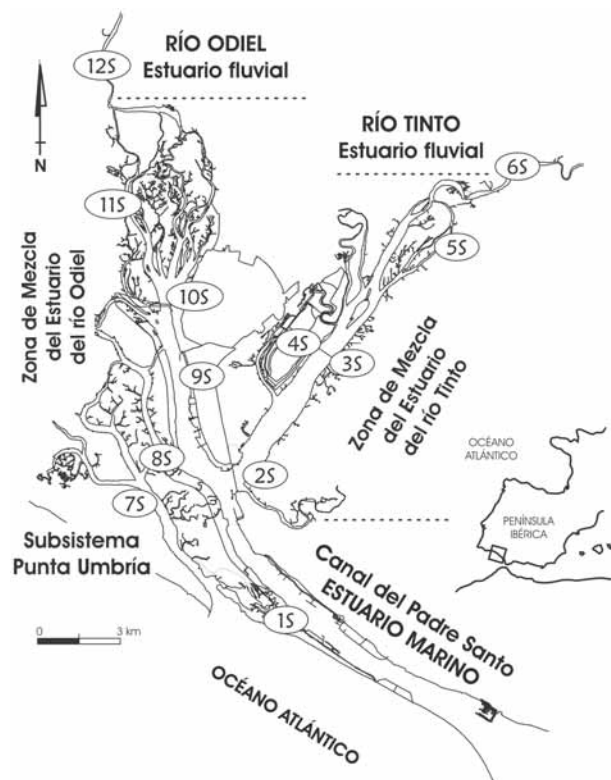


Fig. 1.- Localización de las 12 trampas de sedimentos en el estuario de los ríos Tinto y Odiel.

Fig. 1.- Local setting of the 12 sediment traps in the Tinto and Odiel river estuary.

### Variación estacional de la textura del sedimento

Para la descripción de las características texturales del sedimento se ha utilizado el diagrama ternario de Folk (1954), que permite clasificar el sedimento en función de su contenido en arena, limo y arcilla, junto con la variación longitudinal de las mismas características en los estuario de los ríos Tinto y Odiel.

#### Estuario del río Tinto

En el estuario del río Tinto el tamaño de grano dominante es el limo, constituyendo el 53% del sedimento, seguido de la arena (31%) y de la arcilla (16%), por lo que el sedimento depositado en este estuario durante el periodo de estudio es, principalmente, limo arenoso (Fig.2).

En invierno (Fig.2A) el sedimento con mayor contenido en arena se concentra en los dos extremos del estuario, es decir en las zonas cercanas al aporte fluvial (6s) y en las más cercanas a la costa (1s), como respuesta a la bipolaridad del aporte sedimentario. Las tendencias en los contenidos de limo y arcilla son prácticamente paralelas y contrarias a la de arena. Las mayores proporciones de sedimento fino se localizan en la zona central del estuario (2s, 3s y 4s), donde tienen lugar los procesos de mezcla salina y neutralización ácida durante el invierno (Carro *et al.*, 2006). En la zona de confluencia del estuario del río Tinto con el Canal del Padre Santo (CPS), se deposita el contenido máximo anual de arcilla coinci-

diendo con una de las zonas de máxima creación de materia en suspensión por mezcla salina del estuario (Carro *et al.*, 2006). La textura del sedimento depositado en uno de los canales secundarios del estuario (5s) es más gruesa que las de la zona central, debido a su mayor cercanía a la zona de descarga fluvial que durante este periodo es lo suficientemente importante como para circular por estos canales.

En primavera (Fig.2B) las proporciones entre las diferentes fracciones granulométricas de todas las muestras se homogeneizan. El contenido en arena aumenta respecto al periodo anterior, rondando el 36% aunque, al contrario que en invierno, es mínimo en la zona de mayor influencia fluvial (6s). En este mismo punto se producen las mayores proporciones de limo y arcilla, que van disminuyendo hacia las zonas centrales del estuario, al contrario que el porcentaje de arena. En el sector central del estuario se establecen dos zonas de circulación preferente de masas de agua, gracias a la existencia de cuerpos arenosos de acreción intermareales y submareales que dividen el canal principal estuarino. Por esta razón, durante este periodo, se empiezan a hacer patentes pequeñas diferencias texturales entre los sedimentos depositados a ambos lados del canal principal estuarino, trampas 3s y 4s, debido a que la segunda recoge, principalmente, el sedimento procedente de la descarga fluvial, mientras que la primera recoge sedimentos con mayor influencia marina. La

gran irregularidad en las precipitaciones y, por tanto, en el caudal del río Tinto, hacen que la trampa 5s comience a desconectarse de los aportes fluviales ya que éstos solo llegan en momentos de descarga abundante. De esta forma, el sedimento depositado en esta zona del estuario estaría condicionado por las corrientes mareales y los aportes procedentes de la escorrentía superficial lateral de los cantiles plio-pleistocenos adyacentes.

En verano (Fig.2C) las texturas medias de los sedimentos son muy similares a las de primavera, sin embargo, durante este periodo la influencia fluvial es prácticamente nula. Las proporciones relativas entre los grupos de tamaños de grano se homogeneizan, por lo que apenas se aprecian diferencias entre ellos. En la zona central se puede observar una inversión respecto a la primavera en las curvas de evolución longitudinal, de forma que el mayor contenido en arena tiene lugar en 4s, donde a su vez se producen los menores contenidos en limo y arcilla. En las trampas del margen este del estuario se aprecia un aumento en los contenidos de limo y arcilla, y una tendencia contraria en la arena que alcanza su valor mínimo en 5s. Durante el verano la influencia fluvial solo se detecta en las zonas altas del sistema (Carro *et al.*, 2006) debido a que durante este periodo el río Tinto permanece prácticamente seco.

En otoño (Fig.2D) comienzan de nuevo las lluvias y, con ellas, las descargas fluviales, desarrollándose una distribución longitudinal en las texturas sedimentarias similar a la de invierno. Los mayores contenidos de arena proceden del CPS acumulándose principalmente en 2s (que muestra el mayor porcentaje de arena anual) y disminuyendo hacia el interior del sistema por la zona de circulación preferente mareal (margen Este del estuario), al contrario de lo que ocurre con el contenido en limo y arcilla, que aumentan en el mismo sentido. El sedimento procedente de la descarga fluvial está constituido principalmente por limo que al introducirse en el sistema se deposita en 4s, donde se detecta el contenido máximo anual, y que coincide con la zona donde vuelven a establecerse los límites para la neutralización ácida y mezcla salina de otoño (Carro *et al.*, 2006). Durante este periodo el agua fluvial vuelve a circular por los canales secundarios, donde se localiza 5s, de manera que su textura vuelve a relacionarse con la fuente de aporte fluvial. La existencia de dos zonas de circulación preferente se hace más patente en otoño, ya que las características texturales de los sedimentos localizados en la misma zona del estuario pero en márgenes opuestos (3s-4s), no solo son diferentes sino que parecen es-

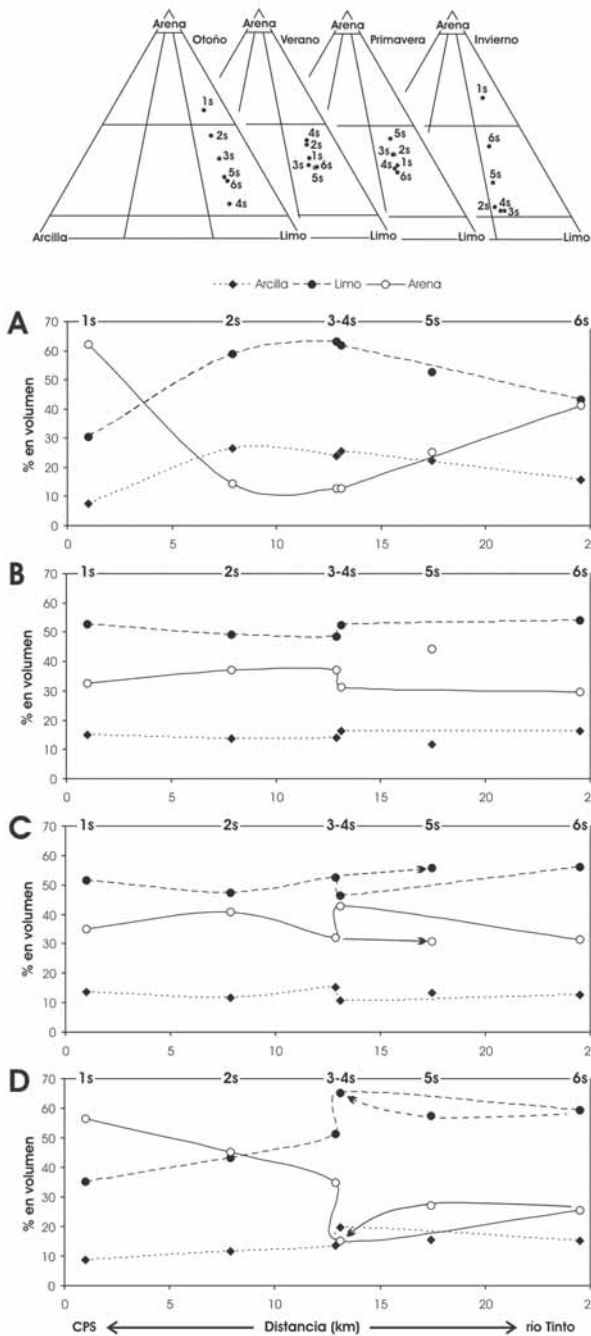


Fig. 2.- Clasificación textural del sedimento (Folk, 1954) y evolución longitudinal en el estuario del río Tinto. A) Invierno, B) primavera, C) verano, y D) otoño.

Fig. 2.- Textural classification of the sediments (Folk, 1954) and longitudinal evolution along the Tinto river estuary. A) Winter, B) spring, C) summer, and D) autumn.

tar relacionados, cada una de ellos, con su principal fuente de aporte.

*Estuario del río Odiel*

El tamaño de grano dominante en el estuario del río Odiel sigue siendo el limo (45%), aunque en menor proporción que en el estuario del Tinto, seguido de la arena (43%) y la arcilla (12%), por lo que la textura del sedimento que caracteriza al estuario para el periodo de estudio es el

limo arenoso, aunque en las zonas más internas puede llegar a ser arena limosa.

En invierno (Fig.3A) tiene lugar una gradación longitudinal en la textura del sedimento, con los mayores contenidos de arena en los extremos fluvial (12s) y marino (1s), al igual que ocurría en el estuario del río Tinto. A partir de 12s, donde el sedimento es una arena limosa que presenta el mayor porcentaje de arena anual, se produce un descenso en su contenido aguas abajo en

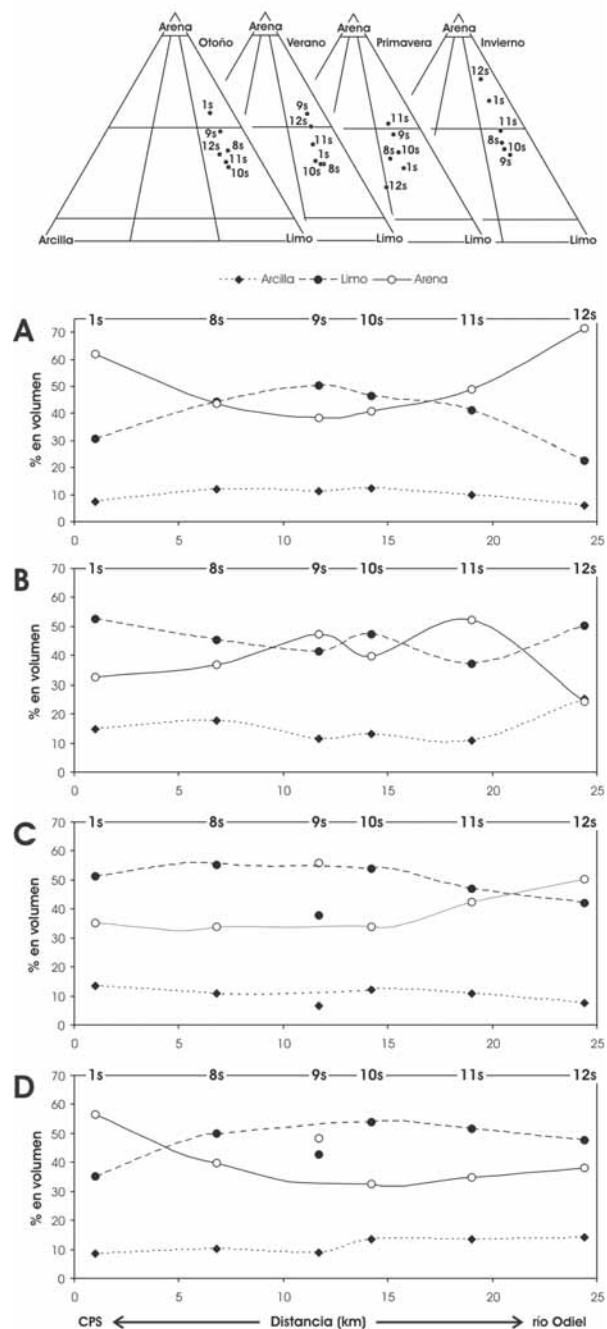


Fig. 3.- Clasificación textural del sedimento (Folk, 1954) y evolución longitudinal en el estuario del río Odiel. A) Invierno, B) primavera, C) verano, y D) otoño.

Fig. 3.- Textural classification of the sediments (Folk, 1954) and longitudinal evolution along the Odiel river estuary. A) Winter, B) spring, C) summer, and D) autumn.

9s, hacia la zona de confluencia con el CPS. Del mismo modo, el sedimento arenoso procedente de la costa disminuye desde 1s hasta el mismo punto. Los contenidos en limo y arcilla presentan una tendencia contraria a la anterior, aumentando gradualmente hasta alcanzar sus valores más altos en las trampas 9s y 10s, respectivamente. Esta zona coincide con la establecida para los procesos de mezcla salina y neutralización ácida que tienen lugar a lo largo del

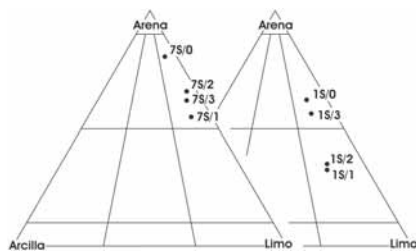


Fig. 4.- Clasificación textural de los sedimentos del Subsistema Punta Umbría (7s) y Canal del Padre Santo (1s) (0: invierno, 1: primavera, 2: verano, 3: otoño).

Fig. 4.- Textural classification of the sediments from Subsistema Punta Umbría (7s) and Padre Santo Channel (1s) (0: winter, 1: spring, 2: summer, 3: autumn).

canal principal del estuario del río Odiel durante el invierno (Carro *et al.*, 2006).

En primavera (Fig.3B), al contrario que en invierno, las texturas más finas se encuentran en los extremos marino y fluvial, siendo este último el que presenta el mayor contenido anual en arcilla del estuario del río Odiel. Este hecho podría estar relacionado con la presencia de algas, observada durante el muestreo, que favorecerían la retención del sedimento fino. El sedimento fino también se acumula en 10s, zona donde tienen lugar los procesos de mezcla salina y neutralización ácida en primavera (Carro *et al.*, 2006). El mayor contenido en arena se produce a lo largo de uno de los canales secundarios de la zona interna del sistema (11s), por el que circula preferentemente el agua fluvial. Hay que tener en cuenta que en la zona alta del estuario, el sedimento arenoso se localiza principalmente en barras fluviales mientras que el fangoso lo hace en zonas de sombra hidrodinámica. De esta forma, en la trampa 11s se produciría una mezcla de sedimentos, principalmente fluviales, con altos contenidos en arena que descenderían aguas abajo hasta la trampa 10s.

En verano (Fig.3C) se puede observar una gradación longitudinal en la textura del sedimento, desde la zona fluvial hasta la zona de confluencia con el CPS, con un descenso del contenido en arena y un aumento en el de limo y arcilla en este sentido, si no se tiene en cuenta la textura de la trampa 9s, ya que presenta valores anómalos y opuestos en arena y fango. La zona comprendida entre 8s y 10s, muestra los mayores porcentajes de limo y arcilla junto con los menores de arena. Durante este período el caudal del río es muy bajo, por lo que las características fluviales quedan restringidas a la zona alta del sistema (Carro *et al.*, 2006), mientras que en el resto del estuario dominan los procesos mareales.

En otoño (Fig.3D) empiezan a diferenciarse, al igual que en invierno, dos zonas de aporte principales. Una fluvial con un mayor contenido en limo, que aumenta hacia la zona central del estuario, y un menor contenido en arena, que disminuye en el mismo sentido. La otra fuente de aporte procede de la costa, con un mayor porcentaje en arena, que desciende hacia el interior del estuario, y un menor porcentaje en limo, que muestra una tendencia contraria. La zona de confluencia de ambas fuentes se produciría en el entorno de 10s, coincidiendo con la zona donde tienen lugar los procesos de mezcla salina durante este período (Carro *et al.*, 2006). Las características del sedimento depositado en 9s siguen mostrando las mismas relaciones anómalas que las observadas durante el verano.

#### Canal del Padre Santo y Subsistema Punta Umbría

La descripción textural del sedimento depositado en las dos trampas localizadas en estas zonas del estuario se ha realizado por separado, ya que en el primer caso se trata de la zona marina compartida por los estuarios de los ríos Tinto y Odiel que, aunque se ha tenido en cuenta a la hora de describir la situación sedimentaria en ambos estuarios, recoge un sedimento con gran influencia marina debido a su cercanía a la costa. En el segundo caso, se trata de una zona desconectada de los aportes fluviales de ambos ríos y conectada directamente con el mar, donde se depositan unos sedimentos con características predominantemente marinas.

En la trampa situada en el Canal del Padre Santo (1s) el sedimento presenta un contenido medio en arena del 47%, que puede aumentar hasta más del 60% durante el invierno (arena limosa) o disminuir hasta un 32% en primavera (limo arenoso). El porcentaje medio de sedimento fino es de un 11% de arcilla y un 42% de limo, aunque ambos presentan variaciones marcadamente estacionales al igual que la arena (Fig.4). El contenido en fango muestra una tendencia contraria a la arena, alcanzando los valores máximos durante primavera-verano, con más del 13% de arcilla y más del 51% de limo, mientras que en invierno-otoño ambos descienden, hasta menos del 9% en arcilla y menos del 36% en limo.

En la trampa situada en el Subsistema Punta Umbría (7s) el sedimento presenta una textura más gruesa que el resto de trampas del estuario. Este sedimento se puede clasificar como una arena limosa (Fig.4) con un valor medio del 66% en arena, aunque puede llegar a alcanzar más del 80% en invierno, debido a la influencia de los temporales que introducen

mayores contenidos de arena por el canal principal de distribución mareal. Los valores mínimos se obtienen en verano con cerca de un 55% de arena. El valor medio del contenido en limo es del 29%, aunque durante el invierno no alcanza el 16%, mientras que en primavera puede llegar hasta casi el 38% favorecido por los procesos de fijación por la presencia de algas. El contenido medio de arcilla es del 5%, alcanzando los valores máximos en primavera y mínimos en verano.

#### Interpretación dinámica

El material fino de los estuarios de los ríos Tinto y Odiel está asociado con los procesos de floculación y decantación que se producen en las zonas de mezcla salina y neutralización ácida de ambos estuarios. El desplazamiento de la zona con mayor contenido en material fino está relacionado con la diferente posición de las zonas de mezcla, de tal forma que se situará en posiciones más bajas en invierno y más altas en verano.

La carga de fondo se relaciona con dos procesos diferentes. En invierno la zona de acumulación preferente de la carga de fondo se sitúa en la confluencia de las corrientes fluviales con el flujo mareal. Durante la primavera y el verano, las corrientes mareales distribuyen el sedimento grueso por el resto del sistema estuarino apareciendo los máximos de arena en la zona central del estuario. Este proceso explicaría las diferencias texturales entre los márgenes del canal estuarino del Tinto, ya que la arena introducida en las zonas altas del sistema durante el invierno es redistribuida posteriormente por la marea.

#### Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado gracias a una beca FPU del MEC y ha sido financiado por el proyecto REN2002-03979 (CICYT) y la Junta de Andalucía (PAI RNM-276).

#### Referencias

- Borrego, J. (1992). *Sedimentología del estuario del río Odiel (Huelva, S.O. España)*. Tesis Doctoral, Univ. de Sevilla, 296 p.
- Carro, B., Borrego, J., López-González, N. y Lozano-Soria, O. (2006). *Geogaceta*, 39, 115-118.
- Folk, R. L. (1954). *Journal of Geology*, 62, 344-359.
- Morales, J. A., Pons, J. M. y Cantano, M. (2005). *Geogaceta*, 37, 243-246.
- Wentworth, C. K. (1922). *Journal of Geology*, 30, 377-392.