

# Clasificación del régimen de flujo en los fondos de la bahía de Cádiz a partir del análisis de campos de formas de fondo

*Flow regime classification in sea bed of Cadiz bay from bedform fields analysis*

J. M. Parrado Román, J.M. Gutiérrez Mas, M. Achab, A. Luna del Barco y J.M. Jódar Tenor.

Dpto. Cristalografía y Mineralogía, Estratigrafía, Geodinámica, y Petrología y Geoquímica. Facultad de Ciencias del Mar (Univ. Cádiz). Apto. 40. 11510-Puerto Real (Cádiz).

## ABSTRACT

Different bedforms fields in external areas of Cadiz bay have been identified in order to establish the flow regime, based on the analysis of side scan sonar recordings. The distribution of facies and bedforms are conditioned by the hydrodynamic system, but on sea bed coexists relict forms beside present day forms. In the western sector, several fields of bedforms appear: dunes, plane bed, sand and mud patches, mainly formed by effect of ebb current.

These bedform fields represent different levels of flow regime: a) Low flow regime, represented by low plane bed; b) Middle flow regimen, represented by 2D dunes, sand ribbons and sedimentary interleaving that show current speed from 50 to 150 cm/s; c) Upper flow regime, represented by 2D dune and great 3D dunes, that show current speed from 100 to 150 cm/s, originated by tidal ebb currents; d) Very upper flow regime, represented by upper plane bed, that show current speed of 150 cm/s.

**Key words:** bedforms, flow regime, marine sediments, Cadiz bay.

Geogaceta, 27 (1999), 131-134  
ISSN: 0213683X-

## Introducción

En la bahía de Cádiz se han realizado estudios destinados a conocer la cobertura sedimentaria reciente, tanto bajo el punto de vista composicional y de los tipos de sedimentos presentes, como los destinados a conocer la estructura interna de los mismos, su evolución y la dinámica sedimentaria asociada (Gutiérrez Mas, 1992; Gutiérrez Mas *et al.*, 1994; Parrado Román, 1997). En estos fondos, debido a los cambios recientes del nivel del mar, coexisten sedimentos relictos, depositados en momentos de bajo nivel relativo del mar, con otros más recientes, que están en formación en el momento actual. La diferenciación de estos depósitos se ha realizado a partir del análisis sedimentológico, pero no se ha establecido la relación entre los depósitos y el nivel energético bajo el que se formaron o ya en actualmente.

En este trabajo se establece el régimen de flujo de diferentes campos de formas de fondo presentes en varios sectores de la bahía de Cádiz, a partir del análisis morfológico, sedimentológico y dinámico. Se relacionan las formas de estabilidad con la naturaleza del sustrato y la intensidad del agente bajo el que se formaron (Rubin y McCulloch, 1980).

## Características de la zona de estudio

La configuración de la bahía de Cádiz, al SO de la Península Ibérica (Fig.

1), se caracteriza por la existencia de dos sectores principales: uno externo, abierto al mar, con costas arenosas y rocosas y otra interna o *Saco*, muy abrigado del

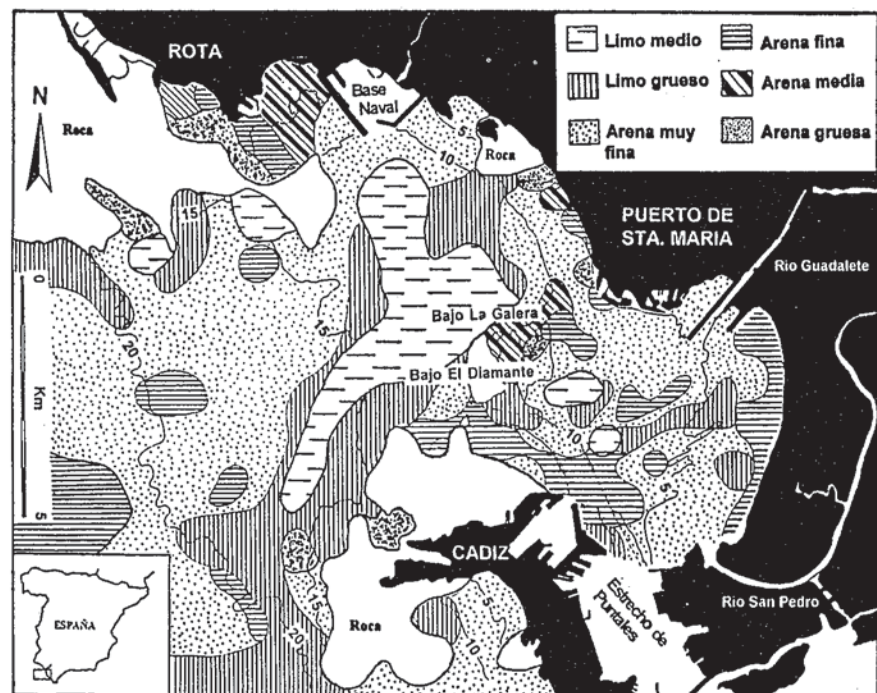


Figura 1.- Mapa de situación y distribución areal del tamaño medio de grano en los fondos de la bahía de Cádiz.

Figure 1.- Location map and grain mean size areal distribution in Cadiz bay seabed.

oleaje y en la que aparecen bien desarrollados los ambientes mareales.

El régimen de mareas es mesomareal, con una amplitud máxima de 3.7 m y media de 2.18 m. El oleaje tipo *sea* presenta enfrentamientos Levante-Poniente, con predominio de la componente Este, mientras que en el de tipo *swell* domina la componente Oeste.

Los sedimentos del fondo son de naturaleza esencialmente siliciclástica, predominando en la bahía externa la arena y el fango en el Saco (Fig. 1). En la bahía externa, el tamaño de grano predominante corresponde a arena muy fina (0.125-0.063 mm) y los tamaños extremos a arena gruesa (de 0.5 a 1 mm) y a limo muy fino. En esta parte de la

bahía se diferencian a su vez dos sectores: uno oriental, menos profundo, hasta 11 m, con fondos de arena fina y muy fina, y otro occidental, hasta 23 m de profundidad, con fondos de arena fina, sobre los que aparece una formación más fangosa que, desde el estrecho de Puntales alcanza la bocana de la bahía, a modo de franja que bordea los bajos costeros (Gutiérrez Mas *et al.*, 1997; Parrado Román, 1997).

**Métodos**

Los registros sonográficos proceden de diversas campañas, y han sido realizados con equipos Klein de 100 Khz y 500 Khz. El ancho de barrido es de 100 m, re-

solución superior a 7.5 cm y solapamiento del 30%. El análisis de los sonogramas ha consistido en la descripción geométrica y morfológica de las *formas de fondo* y medida de parámetros como: dirección predominante, frecuencia, altura, etc., según los criterios de Bouma *et al.* (1980).

El estudio se ha complementado con una campaña de toma de muestras de sedimentos superficiales, realizada con draga Van Veen en 230 estaciones. El análisis de las muestras ha consistido en la determinación de la distribución de tamaños de grano, mediante tamizado mecánico de la fracción gruesa y analizador laser para la fina.

El establecimiento del régimen de flujo se ha realizado a partir de las relaciones entre la profundidad del flujo, velocidad de la corriente y tamaño de grano de los sedimentos de la superficie del fondo, que controlan la estabilidad dinámica y mecánica de las formas de fondo presentes (Rubin y McCulloch, 1980).

Para la clasificación de las *formas de fondo* se ha utilizado la nomenclatura de Ashley (1990) que agrupa las formas transversales en: *ripples* (<7 cm de altura), *pequeñas dunas* (7-40 cm), *dunas medias* (40-75 cm), *grandes dunas* (75 cm-5 m) y *dunas muy grandes* (>5 m de altura).

**Resultados y discusión**

Las *formas de fondo* son morfologías generadas por la interacción de un flujo *ácueo* con el sedimento móvil del fondo, que da lugar a estructuras dinámicas en equilibrio con la velocidad y altura del flujo y las propiedades del sustrato, especialmente el tamaño de grano. Asumiendo que otros factores puedan intervenir en menor medida, básicamente, los factores que controlan la formación y permanencia de una determinada *forma de fondo* son: Velocidad y Profundidad de la corriente y Tamaño de grano del sedimento.

Estas formas pueden ser efímeras o permanecer un tiempo, por lo que, a los factores anteriores, habría que añadir el *potencial de conservación*, que depende de la posición geográfica y de la energía del medio. Una *forma de fondo* será estable mientras se mantenga la causa que la originó. Su presencia representa el nivel energético más alto alcanzado, y sólo desaparecerá o transformará bajo la acción de un régimen más energético. A veces, formas características de baja energía se sobrepone a otras mayores, generadas en un régimen más alto, en un proceso de retrabajamiento, que no tiene que suponer la destrucción de la forma inicial, por

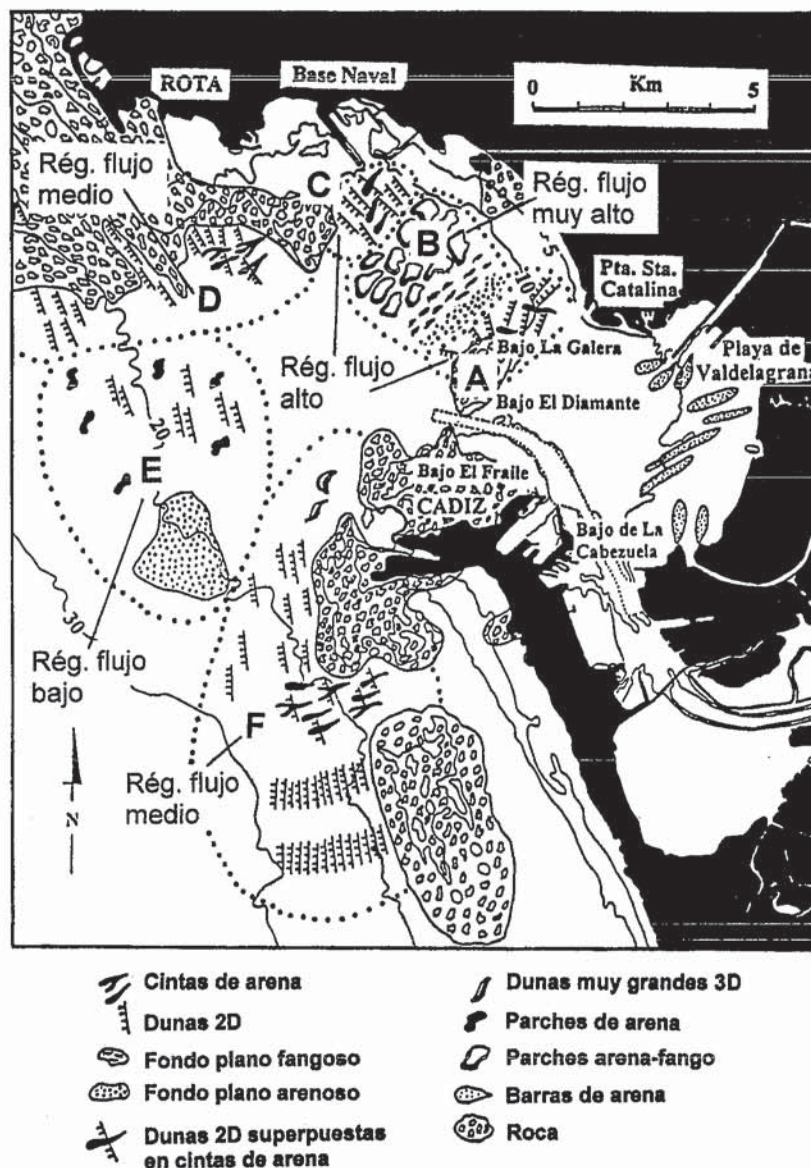


Figura 2.- Mapa de distribución de campos de formas de fondo en la parte externa de la bahía de Cádiz.

Figure 2.- Bedform fields distribution map in external Cadiz bay.

lo que, con frecuencia, coexisten estructuras generadas en diversos momentos y bajo niveles de energía diferentes. Otras veces, puede tratarse de formas más antiguas generadas como consecuencia de eventos de excepcional energía (temporales excepcionales, maremotos, etc.) o bien, formas relictas formadas en momentos en el que el nivel del mar estaba por debajo del actual (Fig. 3).

#### Descripción de los campos

Las formas de fondo encontradas en los fondos de la bahía de Cádiz son consecuencia de la interacción de los diferentes agentes hidrodinámicos (oleaje, mareas, corrientes, etc.) con los sedimentos del fondo. Se han identificado diferentes formas de fondo, que están presentes en sectores bien definidos. Estas formas, agrupadas en campos, corresponden sedimentológicamente a depósitos modernos de edad holocena, unos más antiguos (*relictos*) y otros *retrabajados* o *actuales*.

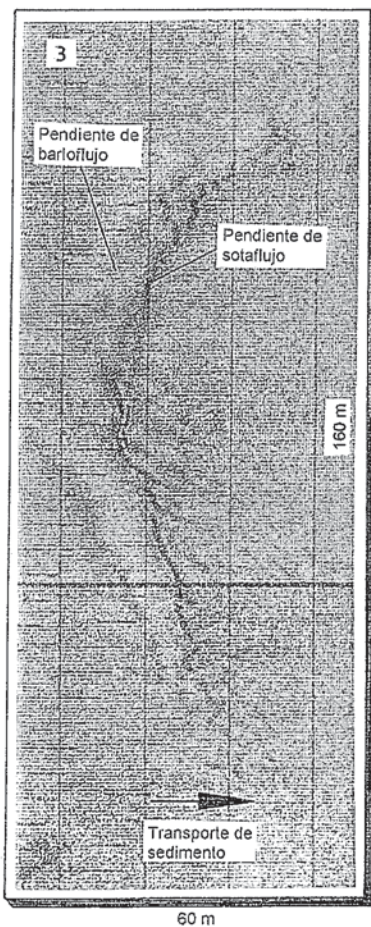


Figura 3.- Sonograma mostrando la imagen de una gran duna 3D de forma lunoide, al oeste de Cádiz.

Figure 3.- 3D lunate large dune sonographic image in west side of Cadiz.

**Campo A.-** Se encuentra en la bahía externa, cerca de la punta de Santa Catalina (Figs. 2 y 4A). Aparecen dunas 2D de tamaño medio y grande (*large ripples*), sobre fondos de limo y profundidad de 11 m. Otras formas presentes son: pequeñas dunas 2D y grandes dunas 3D. Estas condiciones indican un régimen de flujo alto, con velocidades de la corriente entre 100 y 150 cm/s (Rubin y McCulloch, 1980). El principal agente hidrodinámico que actúa sobre este campo son las corrientes de reflujo mareal, con dirección dominante hacia el Oeste.

**Campo B.-** Se encuentra al Sur de la base naval de Rota (Fig. 2). La transición con el campo A se produce mediante *fondo plano de alta energía (upper plane bed)* sobre fondos arenoso-fangosos y profundidad entre 11 y 14 m. Estas condiciones indican un régimen de flujo muy alto (150 cm/s), generado por la acción de corrientes de reflujo mareal. Otras formas presentes son: *parches de fango (mud patch)*, cuyo origen está relacionado con fondos cuya secuencia de depósito está constituida por la alternancia de capas de fango y arena de pequeño espesor, que se desplazan gravitacionales (*slide*), favorecidos por el oleaje y las corrientes mareales, a favor de la pendiente del fondo (Knebel *et al.*, 1991).

**Campo C.-** Se trata de una zona de pequeñas dunas 2D, paralelas, sinuosas y de buena continuidad lateral, a una profundidad de 9 m (Fig. 2 y 4b). Estas formas se generan a causa del oleaje e indican el nivel de base de las olas. Al incrementarse la profundidad, deja de sentirse la influencia de las olas en el fondo, dominando ahora las corrientes de reflujo mareal. Aparecen *cintas de arena* con pequeñas dunas 2D sobreimpuestas, sobre fondos de arena muy fina. En estas condiciones, el régimen de flujo deducido es alto (100-150 cm/s), observándose un incremento de éste hacia el Oeste, ya que las *cintas de arena* representan formas de mayor energía que las pequeñas dunas y *ripples* (Belderson *et al.*, 1982).

**Campo D.-** Este campo se encuentra junto a los bajos rocosos de Rota (Fig. 2) y está formado por pequeñas dunas 2D y *cintas de arena* sobre sedimentos de tamaño de grano variable, a profundidad de 12 m. También aparecen *imbricaciones sedimentarias de cintas de arena* muy puntiagudas que progadan sobre sedimentos más finos. Esta zona está muy influenciada por el efecto de contorno generado por las rocas aflorantes en el fondo. El régimen de flujo deducido es medio-alto (50-150 cm/s), poniéndose de manifiesto sensibles variaciones energéticas.

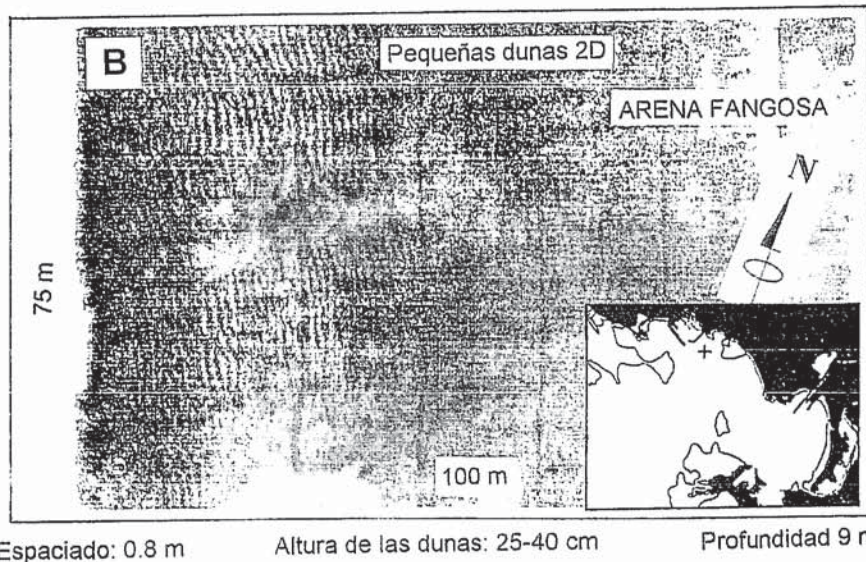
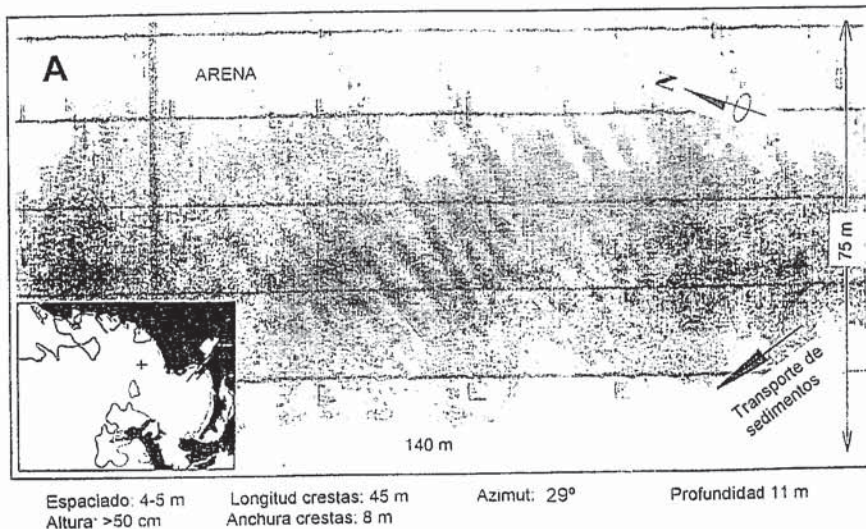
**Campo E.-** Se encuentra en la parte Oeste de la bahía externa, a profundidades en torno a los 20 m y está constituido por *fondos planos de baja energía (low plane bed)*, dunas 2D muy frecuentes y *parches de grava* aislados, sobre fondos de arena media. El régimen de flujo deducido es bajo, a causa de la profundidad y distancia a la costa, quedando fuera de la influencia del oleaje. En estas condiciones, dadas las características de las facies, cabe pensar en depósitos relictos propios de ambientes más energéticos, probablemente playas, en momentos en que el nivel del mar estaba por debajo del actual, que actualmente están retrabajándose en un ambiente de baja energía y de mayor potencial de conservación.

**Campo F.-** Está situado al SO de Cádiz, y de Norte a Sur aparecen: grandes dunas 3D aisladas y sinuosas, algunas muy grandes y de forma *lunoide* (Figs. 2 y 3). A continuación aparecen subcampos de pequeñas dunas 2D de 25 cm de altura, sobre fondos de arena muy fina. Estos subcampos se transforman hacia el Sur en *cintas de arena* con pequeñas dunas 2D superpuestas, sobre fondos de limo grueso. Las cintas tienen dirección promedio SO y se encuentran a una profundidad de 20 m en una zona de mayor pendiente. En estas condiciones, cabe pensar que su origen tiene que ver con la acción de corrientes de reflujo mareal que desaganan entre la rasa de Cádiz y los bajos de León, acelerándose por efecto del estrechamiento que provocan los afloramientos rocosos del fondo y por la pendiente.

Al Oeste de estos afloramientos rocosos, entre 20 y 30 m de profundidad, aparecen *cintas de arena (sand ribbons)* con pequeñas dunas 2D superpuestas de 30 cm de altura, sobre fondos de limo grueso. Los ejes principales de estas cintas no tienen la misma dirección, llegando incluso a ser perpendiculares, mientras que las pequeñas dunas mantienen su orientación. Su origen se ha relacionado con la acción de corrientes locales muy permanentes de dirección SO, probablemente corrientes de resaca generadas por el oleaje.

#### Conclusiones

Las *formas de fondo* encontradas en la bahía de Cádiz son muy variadas, junto a formas efímeras pequeñas, generadas por las mareas y el oleaje, aparecen otras mayores y más permanentes, consecuencia de la acción de eventos de especial intensidad. También existen formas *relictas*, formadas en ambientes más energéticos y en momentos en que el nivel del mar estaba por debajo del actual.



Los depósitos *relictos* se encuentran en la parte Oeste de la bahía externa, a unos 20 m de profundidad, estando actualmente retrabajándose en ambientes de baja energía, presentando en superficie formas *actuales* como: *fondo plano de baja energía (low plane bed)* y dunas 2D, indicadores de régimen de flujo bajo y de alto potencial de conservación.

Bajo el punto de vista del *régimen de flujo*, en los fondos de la bahía de Cádiz, se han establecido 4 niveles: a) *Régimen de flujo bajo*, presente en el Saco y representado por *fondo plano* de baja energía; b) *Régimen de flujo*

*medio-alto*, representado en la zona de Rota y parte oriental de la bahía externa, con formas como: dunas 2D, *cintas de arena e imbricaciones sedimentarias*, que indican velocidades de corriente entre 50 y 150 cm/s; c) *Régimen de flujo alto*, representado en la bahía externa por: dunas 2D (*large ripples*) y grandes dunas 3D, con velocidades de la corriente entre 100 y 150 cm/s, debidas a la acción de las corrientes de reflujo marea; d) *Régimen de flujo muy alto*, representado por *fondos planos de alta energía*, con velocidades de 150 cm/s.

Figura 4.- Sonogramas de diferentes formas de fondo encontradas en la parte externa de la bahía de Cádiz: A) Grandes dunas 2D paralelas y bajo índice de sinuosidad; B) Pequeñas dunas 2D paralelas y sinuosas, de gran continuidad lateral.

Figure 4.- Bedforms sonographic images in external Cadiz bay: A) 2D parallel large dunes with low sinuosity index; B) 2D parallel and sinuous small dunes with a great lateral continuity.

**Agradecimiento**

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto de la CICYT: MAR98-0796.

**Referencias**

Ashley, G.M. (1990): *Jour. Sed. Petrol.*, 60: 160-172.

Belderson, R.H., Johnson, M.A. y Kenyon, N.H. (1982): *In Sedimentary Environments and Facies*, De. by H.G. Reading: 27-57.

Bouma, A.H., Rapoport, M.L., Orlando, R.C. y Hampton, M.A. (1980): *Sedim. Geol.*, 26: 157-177.

Gutiérrez Mas, J.M. (1992): *Tesis Doctoral*. Univ. Cádiz.

Gutiérrez Mas, J.M., Hernández-Molina, F.J., López Galindo, A. y López Aguayo, F. (1994). *GAIA*, 8: 125-128.

Gutiérrez Mas, J.M., Achab, M., Parrado Román, J.M., Moral Cardona, J.P., Sánchez Bellón, A., González Caballero, J.L. y López Aguayo, F. (1997): *Geogaceta*, 21: 139-141.

Gutiérrez Mas, J.M., Sanchez Bellón, A., Achab, M., Ruiz Segura, J., Gonzalez Caballero, J.L., Parrado Román, J.M. y López Aguayo, F. (1997): *Publicaciones Especiales del Instituto Español de Oceanografía* (En prensa).

Knebel, H.J.; Rendigs, R.R. y Bothner, M.H. (1991). *Jour. Sed. Petrol.*, 61, pp. 791-804.

Parrado Román, J.M. (1997): *Tesis de Licenciatura*, Univ. de Cádiz, 113 pp.

Rubin, D.M. y McCulloch, D.S. (1980): *Sedimen. Geol.*, 26: 207-231.