

# Consideraciones paleoceanográficas a partir del registro estratigráfico Holoceno de la Bahía de Cádiz

*Paleoceanographic considerations by the Holocene sedimentary record in the Bay of Cádiz*

E. Llave, F.J. Hernández-Molina y F. López-Aguayo

Dpto. de Geología. Facultad de Ciencias del Mar. Univ. de Cádiz. 11510 Puerto real. Cádiz.

## ABSTRACT

Several paleoceanographic considerations have been carried out based on the seismic stratigraphy analysis in the Holocene sedimentary record of the Bay of Cádiz. Present oceanographic conditions in the Bay show us the main role of the tidal outflow in the local hydrodynamic and sediment transport. Nevertheless, a tidal sedimentary deposits, present in the Holocene record of the external Bay characterize a opposite tidal current to the present one. This important change in the oceanographic regime could be due to a different paleogeographic and sea level conditions during the time of the deposit (eustatic maximum Holocene) in relation with the present situation.

**Key words:** Late Holocene, seismic stratigraphy, paleoceanography, tidal environments, Bay of Cádiz.

*Geogaceta*, 27 (1999), 231-234  
ISSN: 0213683X

## Introducción

La Bahía de Cádiz se localiza al SO de la Península Ibérica, en el sector oriental del Golfo de Cádiz. En su zona marítima, de aguas someras (profundidad media de 10 m y máxima de 22 m) se diferencian 3 sectores (Barragán, 1996; Llave, 1998): a) *sector de conexión entre la Bahía Interna y Externa*, b) *Bahía Externa*, y c) *Bahía Interna*. Las condiciones oceanográficas actuales en la Bahía, están reguladas por las corrientes de las mareas. Además, existen otras corrientes como consecuencia del viento, del oleaje y de las variaciones en la presión atmosférica (Bruno *et al.*, 1997; Álvarez, *et al.*, 1999). Las mareas son de tipo semidiurno y de régimen mesomareal, con una carrera máxima de 3,7 m y media de 2,2 m, si bien la altura y dirección de la onda de marea están influenciadas por el viento, fricción con el fondo, carga sedimentaria, fuerza de Coriolis y fisiografía del fondo (IHM, 1990;

Junta de Andalucía, 1994; Álvarez, *et al.*, 1999). Se reconocen 2 corrientes de marea (IHM, 1990; Guillemot, 1986; Guillemot y Arriba Sánchez, 1987; Junta-Andalucía, 1994; Álvarez, *et al.*, 1999).

1.- Reflujo o vaciante. Constituye la corriente dominante en la Bahía, con 3 ramas principales: a) La que discurre desde la Bahía Interna hacia el exterior de la Bahía por el canal principal, pasando entre los bajos de Las Puercas y del Diamante b) La corriente mareal de reflujo del río Guadalete, que pasa por el canal N de dirección E-O, hacia el centro de la Bahía Externa, al final de la vaciante, y c) La corriente del Caño de Sancti Petri, que según Guillemot (1987) permite el vaciado de la parte oriental de la Bahía Interna, pero que sin embargo, según datos experimentales muy recientes (Álvarez, *com. pers.*), favorece el llenado de la Bahía Interna durante el reflujo. 2.- Flujo o llenante, con una corriente principal que discurre por el estrechamiento del bajo de la Cabezuela desde la Bahía Ex-

terna hacia la Interna y al llegar a ésta se bifurca en 2 ramas, una que toma la dirección del canal de Puerto Real, y otra que lo hace en dirección al caño de la Carraca. La influencia que ejerce la morfología submarina genera un retardo de hasta 12' en la propagación y variaciones notables en la amplitud de la onda de marea entre la Bahía Externa e Interna (Álvarez *et al.*, 1999).

Además de estos estudio oceanográficos, Gutierrez-Mas *et al.* (1996) y Parrado (1997) a partir de estudios sedimentológicos y morfológicos de los sedimentos superficiales, determinan que la corriente de reflujo genera un transvase sedimentario neto desde la Bahía hacia la plataforma. Establecen las siguientes corrientes de reflujo mareal; a) una hacia el N, entre Pta. Sta. Catalina y la ciudad de Cádiz, que sigue el margen oriental de la bahía y que se divide en 2 ramas, una al NO, próxima a la costa y otra al O, que gira al S siguiendo la fisiografía del fondo. b) Una corriente hacia el SO, al S de la base de Rota, afectada por la costa y el espigón de la base

naval, dirigiéndose aguas afuera, hacia la plataforma continental. c) Corrientes locales al SO de Cádiz y permanentes de dirección SO, generadas como corrientes de resaca por los temporales de poniente (O – SO).

En el presente trabajo se quiere poner de manifiesto que las condiciones hidrodinámicas actuales de la Bahía han sido diferentes durante el máximo eustático del Holoceno superior, como se deduce de la presencia de un cuerpo sedimentario mareal en el relleno Holoceno de la Bahía externa-plataforma interna. Este trabajo, se ha desarrollado usando como base un estudio estratigráfico realizado mediante perfiles sísmicos de alta resolución (3.5 kHz, Geopulse y Uniboom), obtenidos a partir de 8 campañas oceanográficas (Fig.1), en las que se han recopilado un total de 1175,7 kms de perfiles sísmicos que cubren la Bahía de Cádiz y parte de la plataforma continental interna. El posicionamiento de las campañas se llevó a cabo mediante Trisponder en las 3 primeras y

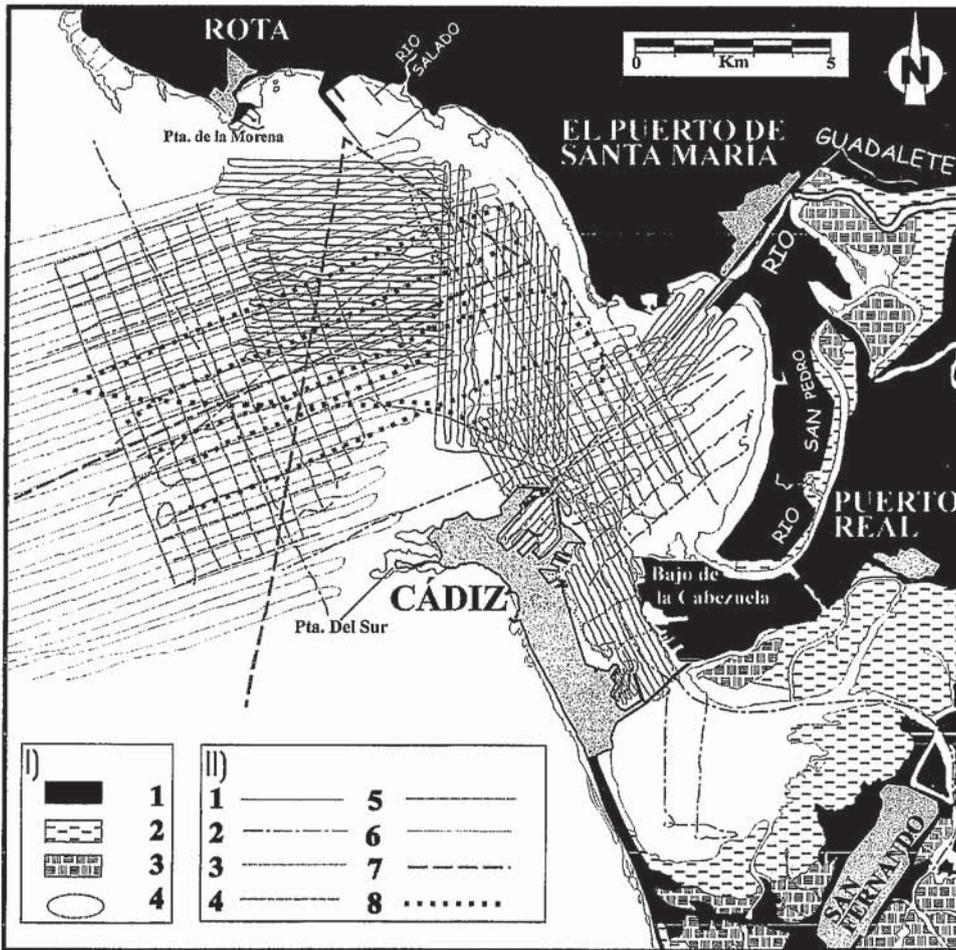


Figura 1.- Localización del área de estudio y situación de los perfiles sísmicos. (I): 1.- Tierra firme; 2.- Marismas o Bahía Anfibia; 3.- Salinas o Bahía Terrestre; y 4.- Afloramientos de roca en la zona intermareal. (II): Campañas oceanográficas: 1.- Nereida-1985; 2.- Badiz-95; 3.- CA-014-95; 4.- Bahía-95, Geopulse; 5.- Bahía-95, 3.5 kHz; 6.- Estudio Geofísico Marino-1994; 7.- GC-86-1 (1994-1995); y 8.- Bahía-96.

Figure 1.- Study area sketch with seismic profiles location. (I): 1.- Mainland; 2.- Marshes or Amphibian Bay; 3.- Saltworks or Land Bay; and 4.- Rock Outcrops on intertidal zone; (II): Oceanographic cruises 1.- Nereida-1985; 2.- Badiz-95; 3.- CA-014-95; 4.- Bahía-95, Geopulse; 5.- Bahía-95, 3.5 kHz; 6.- Estudio Geofísico Marino-1994; 7.- GC-86-1 (1994-1995); and 8.- Bahía-96.

con GPS diferencial en las 5 restantes.

**Caracterización estratigráfica de los depósitos**

En el relleno sedimentario de Cuaternario superior de la Bahía se han podido diferenciar 5 grandes unidades sísmicas que caracterizan a 3 cortejos sedimentarios diferentes (Fig.2A): un cortejo regresivo y de bajo nivel, un cortejo transgresivo y un cortejo del alto nivel (Llave, 1998). En dicho relleno, se ha determinado una unidad sedimentaria muy característica (unidad sísmica 4 de Llave, 1998) comprendida

entre el cortejo transgresivo y el de alto nivel y compuesta internamente por 2 subunidades (4a y 4b) con facies muy diferentes.

La subunidad 4a, constituye una unidad agradable (Fig. 2) con una respuesta acústica de débil a media. Localmente es transparente, y hacia la plataforma interna se observan apantallamientos acústicos puntuales debido a la presencia de gas en el sedimento. Sus facies caracterizan a un depósito marino de baja energía asociado a la desembocadura de los antiguos ambientes de tipo estuarino generados durante el máximo eustático Holoceno tras la transgresión flandriense

(Hernández-Molina *et al.*, 1994).

La subunidad 4b presenta una morfología lenticular, se encuentra estratigráficamente sobre la subunidad 4a y limitada a base por una discontinuidad muy erosiva (Fig.2). La configuración interna es progradante oblicua a paralela con reflectores que terminan en "downlap" y en "toplap" a concordancia respecto a la discontinuidad inferior y superior. Se localiza en la zona occidental de la Bahía Externa, con espesores medios de 5-6 m, y una orientación SO-NE. Algo muy significativo de esta subunidad es que las capas que la conforman presentan reflectores

progradantes hacia la costa, con dirección NE-SO y sentido hacia el NE, esto es hacia el interior de la actual Bahía Externa (Fig.2 y 3). Dentro de esta zona se observan mayores espesores de la subunidad 4b hacia el SO y cierto acúñamiento hacia el NE, pudiéndose distinguir varios depocentros (Fig. 3): a) El más importante de ellos en extensión es el más próximo a Rota, con una potencia máxima de 16 m. b) El resto de los depocentros, que son de menor extensión, se ubican en la parte más meridional de esta zona (al O de la ciudad de Cádiz), con potencias máximas de 11 m. La subunidad 4b también aparece en la zona central del sector de conexión entre la Bahía Externa e Interna, pero presenta una escasa distribución con un espesor medio de 1-2 m, una orientación NO-SE y un sentido de la progradación hacia el SE (Fig. 3).

La subunidad 4b presenta unas facies muy peculiares y características en el área de estudio. No obstante la determinación del ambiente deposicional de esta subunidad no ha constituido algo sencillo debido a su particular configuración interna, geometría del depósito, respuesta acústica y su actual posición geográfica. Sin embargo, el análisis realizado ha llevado a correlacionar esta unidad con un depósito de alta energía de tipo mareal (delta mareal) equiparable a los depósitos de "lenticular bedding" de Davis (1996) generados por una componente de marea dominante. Estos depósitos son frecuentes en medios de transición actuales (Davis, 1996) y, si bien son difíciles de identificar en el registro cuaternario de las plataformas continentales, otros autores como Okazaki y Masuda (1995) y Davis (1996) si los han identificado en sectores de conexión entre bahías y plataformas continentales. Facies equivalentes han sido descritas en el estuario del río Odiel, en Huelva (Borrego, *et al.*, 1995) y en la Bahía de Tokyo con un depósito mareal

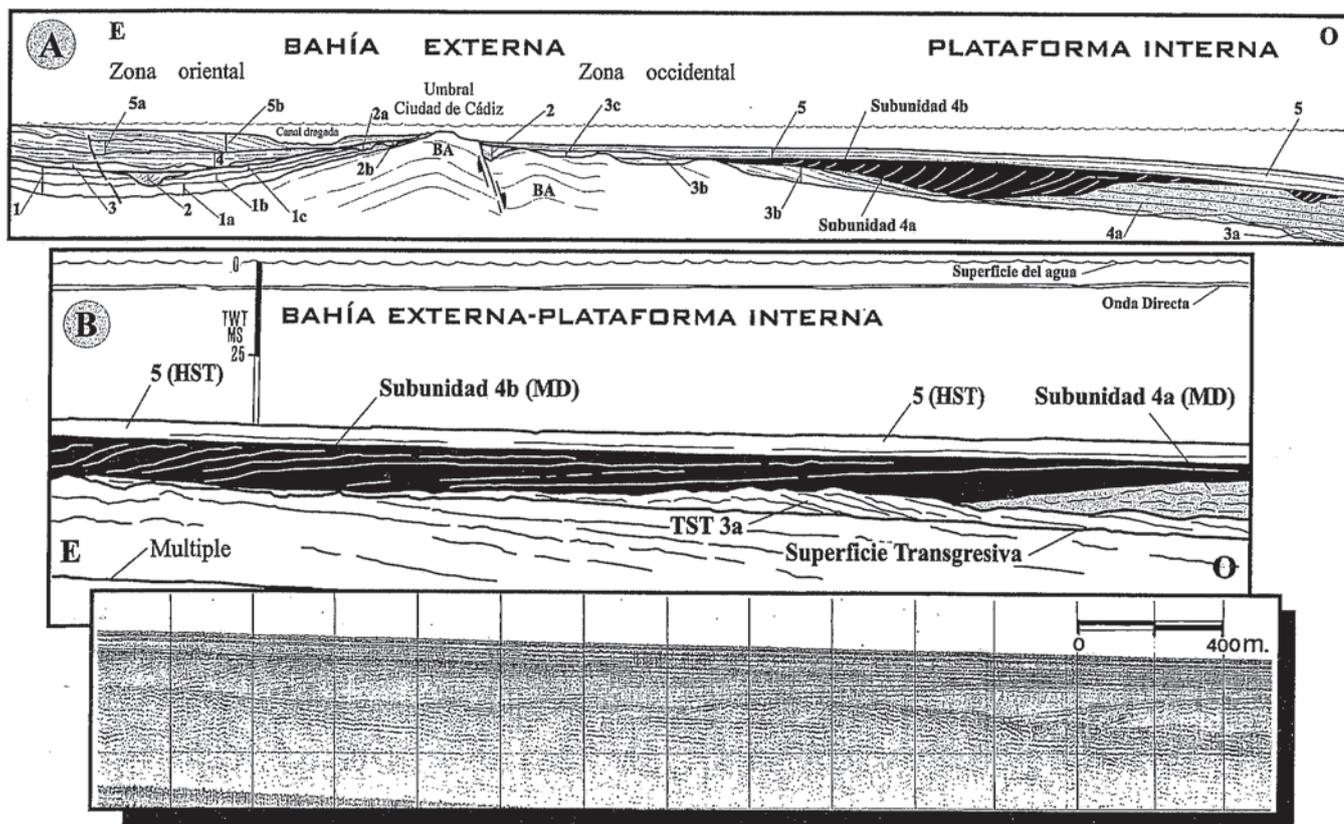


Figura 2.- (A): Esquema estratigráfico y estructural del relleno sedimentario de la Bahía de Cádiz entre la zona oriental y la zona occidental (dirección E-O). B) Interpretación de perfil sísmico. C) Perfil sísmico de Uniboom y esquema interpretativo de la subunidad 4b. Posición de B y C en la Fig. 3-II.

Figure 2.- (A): Stratigraphical and structural sketch of the sedimentary infill of the Bay of Cadiz between the eastern and western zones (E-W direction). B) Interpretative sketch of a seismic line. C) Seismic profile of Uniboom and interpretation of seismic subunit 4b. Location of B and C in the Fig. 3-II.

de características muy similares al encontrado en la Bahía de Cádiz (Okazaki y Masuda, 1995).

#### Consideraciones paleoceanográficas: discusión y conclusiones

La subunidad 4b constituye un cuerpo mareal progradante. En la zona occidental de la Bahía Externa la progradación de los depósitos de esta subunidad es indicativa de una componente de marea dominante hacia el interior de la Bahía de Cádiz, ya con una dirección en el depósito sedimentario SO-NE y un sentido hacia el NE (Fig. 3). Por el contrario, en el sector de conexión, la dirección de progradación es NO-SE y el sentido hacia el SSE (Fig. 3). Si se considera el sentido de la

progradación de estos depósitos se obtendría una una componente de marea predominante de flujo, contraria a la componente que genera el transporte sedimentario en la actualidad.

Para poder entender la diferencia en las condiciones hidrodinámicas observadas actualmente e inferidas a partir de la distribución y progradación de la subunidad 4b, es necesario tener en cuenta tanto la situación eustática, como paleogeografía existente en la Bahía en la época en la que se dio el depósito de esta sub-unidad. En este sentido es necesario señalar que esta subunidad se depositó durante el máximo eustático Holoceno, que aconteció entre 6.800-6.000 a.B.P. (Zazo *et al.*, 1994; Hernández-Molina, 1994; Zazo *et al.*,

1994; Lario, 1996; Dabrio *et al.* 1998; Llave, 1998), periodo en el que la Bahía no presentaba la configuración actual, sino que como consecuencia del máximo eustático se desarrolló en su interior un amplio estuario en el cual el mar llegaba muy al E, hasta el pie de la Sierra de San Cristóbal, aislando algunos islotes como Cádiz y la isla de León (actual San Fernando) (Gavala, 1927, 1959; Ponce Cordones, 1985; Zazo, 1980; Ramírez, 1982; Llave, 1998; Alonso *et al.*, en prensa). Bajo estas condiciones paleogeográficas, se favoreció el predominio del flujo sobre el refluo mareal, generándose la progradación de la subunidad 4b con sentido hacia el NE, hacia el interior de la Bahía Externa. Por otro lado, al estar en dicho momento el islote de la

ciudad de Cádiz desconectado de la isla de San Fernando, el flujo mareal podría haber tenido salida a través de dicha zona (o entre San Fernando y la costa por el E) originándose una componente mareal hacia el SSE.

#### Agradecimientos

Nuestro sincero agradecimiento al IEO, al IHM, a la Junta del Puerto de la Bahía de Cádiz (JPBC) e ITGE, gracias a los cuales se ha podido realizar diversas campañas oceanográficas. Igualmente agradecer al antiguo MOPU, IEO, y JPBC su autorización para la utilización de datos de campañas previas. Agradecemos especialmente las correcciones y los valiosos comentarios de O. Álvarez, que han mejorado el

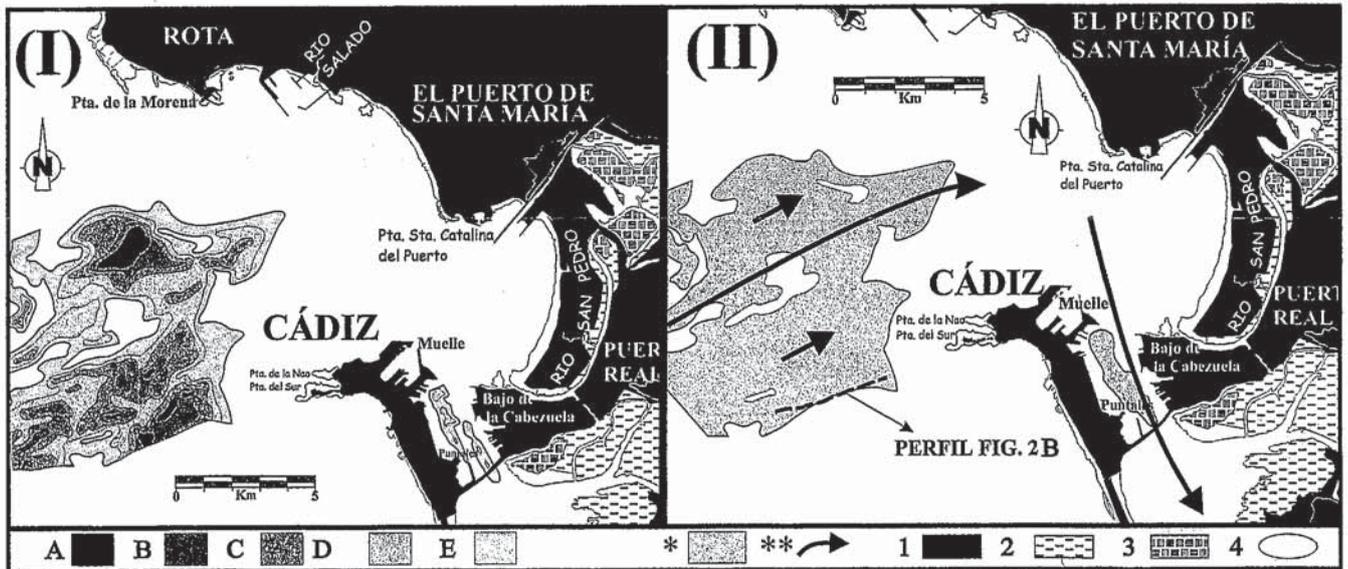


Figura 3.- (I) Mapa de isopacas de la subunidad 4b. A) 0-3 m; B) 3-5 m; C) 5-8 m; D) 8-10 m and E) 10-15 m (II) (\*) Distribución espacial de la subunidad 4b en el que se ilustra (\*\*) la componente hidrodinámica dominante durante el depósito de dicha subunidad. 1.- Tierra firme; 2.- Marismas o Bahía Anfibia; 3.- Salinas o Bahía Terrestre; y 4.- Afloramientos de roca en la zona intermareal.

Figure 3.- I) Isopach of subunit 4b. A) 0-3 m; B) 3-5 m; C) 5-8 m; D) 8-10 m and E) 10-15 m (II) (\*) indicating the main hydrodynamic (tidal inlet) during the deposit (\*\*). 1.- Mainland; 2.- Marshes or Amphibian Bay; 3.- Saltworks or Land Bay; and 4.- Rock Outcrops on intertidal zone.

presente trabajo. El presente trabajo constituye parte de los resultados del Proyecto de la CICYT AMB94-0501, y del proyecto IGCP 396 "Plataformas Continentales en el Cuaternario".

**Referencias**

Alvarez, O.; Izquierdo, A.; Tejedor, B.; Mañanes, R.; Tejedor, L. y Kagan, B.A. (1999): *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 48:439-450.

Barragán, J.M. (1996): *Estudios para la ordenación, planificación y gestión integradas de las zonas húmedas de la Bahía de Cádiz*. Universidad de Cádiz, Barcelona, 13-118.

Borrego, J., Morales, J.A. y Pendon, J.G. (1995): *Spec. Publ. Ass. Sediment* (24): 151-170.

Bruno, M; Fraguela, B; Alonso, J.; Ruiz, A; Mañanes, R; Rico, J; (1997): *Scientia Marina*. 61 (3): 379-387.

Davis, R.A. (1996): *Coasts*, 274 pp.

Gavala, J. (1927): *Boletín del Instituto Geológico Minero de España*, 49: 219-245.

Gavala, J. (1959): *Hoja nº 1061 (Cádiz) del mapa geológico de España a escala 1/50.000*, I. 51-76; 2, 139 pp.

Guillemot, E. (1986): *Tesis Doctoral*, Université de Paris, Paris, 151 pp.

Guillemot, G. y Arriba Sánchez, J.A. (1987): *Evolución de los paisajes y ordenación del territorio en Andalucía Occidental. Bahía de Cádiz*. Diputación de Cádiz, Cádiz, pp. 237.

Guillemot (1987) Alonso et al. (en prensa)

Gutiérrez-Mas, J.M., Achab, M., Sánchez Bellón, A., Moral Cardona, J.P. y López-Aguayo, F. (1996): *Advances in Clay Minerals* : 121-123.

Hernández-Molina, F.J.; Somoza, L.; Rey, J. y Pomar, L. (1994): *Marine Geology*, 120: 129-174.

IHM (1990): *Derrotero de las Costas de Portugal y SW de España*, Instituto Hidrográfico de la Marina: 310 pp.

Junta-Andalucía (1994): *El medio Físico y Biológico en la Bahía de Cádiz: saco interior*. Informaciones técnicas, 28/94: 161 pp.

Lario, J. (1996): *Tesis Doctoral*, Univ. Complutense. Madrid, 269 pp.

Llave, E. (1998): *Tesis de Licenciatura*, Puerto Real. Univ. de Cádiz, 247 pp.

Okazaki, H. y Masuda, F. (1995): *Spec. Pub. Int. Ass. Sediment* (24): 275-288.

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

Ponce, F. (1985): *Anales de la Universidad de Cádiz*, II: 99-121.

Ramírez, J. R. (1982). *Los primeros núcleos de asentamiento en la ciudad de Cádiz*. Exmo. Ayuntamiento de Cádiz. 240 pp.

Zazo, C. (1980): *Tesis Doctoral*, Univ. Complutense, Madrid, 450 pp.

Zazo, C., Goy, J.L., Somoza, L., Dabrio, C.J., Belluomini, G., Improta, S., Lario, J., Bardají, T. y Silva, P.A. (1994): *Jour. Coast. Res.* 10 (4): 933-945.