

Los campos de ondas de arena en la Plataforma Continental del Golfo de Cádiz entre Chipiona y Zahara de los Atunes

Sand waves fields over the Continental Shelf of the Gulf of Cadiz between Chipiona and Zahara de los Atunes

F. J. Lobo (*), F.J. Hernández-Molina (*), A. Maldonado (**) y J. Rodero (**)

(*) Facultad de Ciencias del Mar. Univ. Cádiz. 11510 Puerto Real. Cádiz.

(**) Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra. CSIC-Univ. Granada. c/Fuentenueva s/n. 18071 Granada.

ABSTRACT

The analysis of the seafloor geomorphologic features in the continental shelf of the Gulf of Cadiz with high resolution seismic profiles reveals a well defined distribution pattern of bedforms controlled by the morphology and the hydrodynamic of the area. Three zones are differentiated according to the bedform types and the hydrodynamic processes: a) a northern, shallow submarine zone at 30 m depth situated between Conil and Barbate (Barbate ridge), where sand waves migrate towards the SE; b) a southern zone southward of the Barbate ridge, where sand waves migrate towards the NW, and c) the infralittoral-inner shelf between Conil and Cadiz Bay, where sand waves migrate towards the SE and also are influenced by the waves action.

Key words: Holocene, sand waves, Gulf of Cadiz, continental shelf, hydrodynamics

Geogaceta, 20 (2) (1996), 420-423

ISSN: 0213683X

Introducción

Las ondas de arena constituyen un tipo morfológico de carácter deposicional formadas por acumulaciones de materiales arenosos que generalmente presentan una discontinuidad basal respecto al sustrato infrayacente (Field *et al.*, 1981; Flemming, 1981). Una onda se caracteriza por poseer una cara más tendida que se denomina "stoss", y por otra más inclinada que se denomina "lee". Cuando se encuentra un conjunto de ondas agrupadas con la misma dirección y sentido de migración constituyen "campos de ondas o dorsales de arenas".

En el presente trabajo se presenta el resultado del estudio de los campos de ondas de arena que aparecen en la plataforma continental del Golfo de Cádiz, desde Chipiona a Zahara de los Atunes (Fig. 1). Este estudio se ha realizado mediante el análisis de perfiles sísmicos de muy alta resolución (3.5 kHz y Geopulse) y registros de sónar de barrido lateral, información obtenida en las campañas oceanográficas GC-86-1 y G-86-1 (Fig. 1). El margen continental del sector estudiado se caracteriza por presentar un basamento que constituye la prolongación de los materiales de la Cordillera Bética y un importante relie-

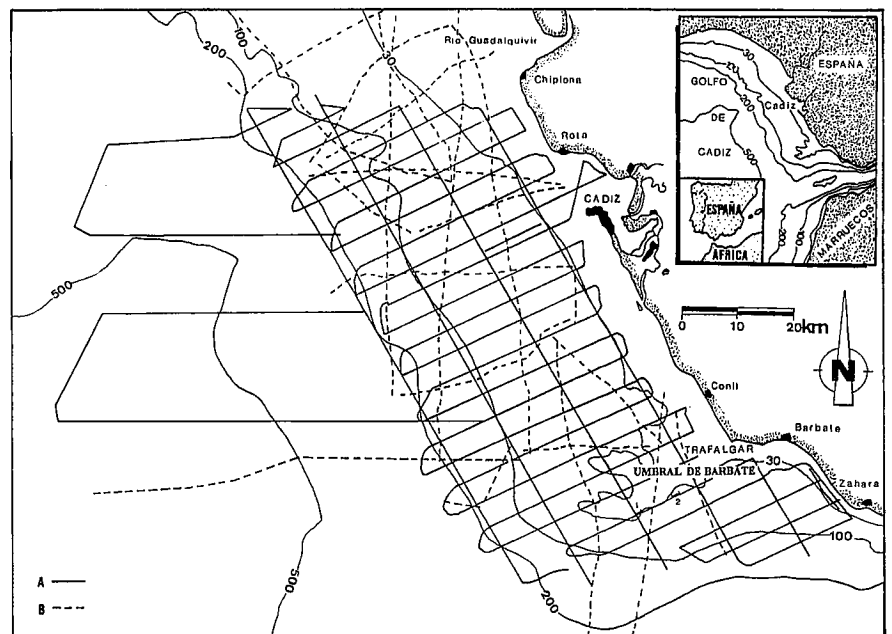


Fig. 1.- Situación geográfica del área de estudio y localización de los perfiles sísmicos usados. Leyenda: A) Campaña GC-86-1; B) Campaña G-86-1.

Fig. 1.- Geographical setting of the studied area and situation of the seismic profiles. Legend: A) GC-86-1 survey; B) G-86-1 survey.

no Neógeno-Cuaternario afectado por una subsidencia diferencial muy importante (Malod, 1982; Maldonado, 1992; Lobo, 1995). Sobre este margen conti-

ental predomina la circulación del Agua Superficial Noratlántica (NASW) en dirección SE hasta los 600-700 metros de profundidad, por lo que consti-

tuye la corriente predominante sobre la plataforma continental. Entre los 600 y los 1200 metros de profundidad circula en dirección NW y bordeando el talud continental el Flujo Mediterráneo de Salida (MOW) (Mélières, 1974; Gascard y Richez, 1985; Ochoa y Bray, 1991, entre otros).

Distribución y caracterización de las ondas de arena

En la zona de estudio se han distinguido tres zonas con campos de arenas bien desarrollados, donde en la mayoría de los casos las ondas individualmente muestran un claro carácter asimétrico y un sentido de migración preferente (Fig. 2). Las características de las ondas de arena en cada una de las tres zonas aparecen resumidas en la Tabla I.

Zona meridional del umbral de Barbate (Zona A): Umbral somero (25-30 m.) que se encuentra en el dominio de plataforma interna-media entre Conil y Barbate. En esta zona, las ondas presentan un sentido de migración preferente hacia el W y el NW. Las orientaciones predominantes del eje longitudinal son N 18° E, N S y N 100° E, y el ángulo que forman respecto a la línea de costa está comprendido entre los 30° y los 55°.

Zona septentrional del umbral de Barbate (Zona B): En esta zona, las ondas de arena migran hacia el E y el NE, las orientaciones predominantes son N-S, N 170° E y N 150° E, formando un ángulo respecto a la costa que se encuentra comprendido entre los 0° y los 35°. En la transición entre las zonas A y B aparecen algunas ondas de arena de grandes dimensiones, con un carácter simétrico (Fig. 2 y 3).

Dominio infralitoral y de plataforma interna entre Conil y la Bahía de Cádiz (Zona C): Estas ondas de arena migran preferentemente hacia el E, las orientaciones predominantes de los ejes son N10° E, N 150° E y N100° E, y el ángulo que forman respecto a la costa está comprendido entre los 0° y los 35°. En esta zona muchas ondas de arena aparecen con las crestas redondeadas y erosionadas.

Las ondas de arena están caracterizadas superficialmente por un sedimento de carácter arenoso, en concreto arena media y arena fina (0.125 y 0.5 mm), si bien puntualmente se reconocen are-

	ZONA A	ZONA B	ZONA C
Z mínima	15	15	10
Z máxima	30	30	25
Número	44	23	18
L mínima	100	50	50
L máxima	850	400	350
L media	275	190	145
X mínima	600	800	500
X máxima	4200	3400	2000
X media	1600	1760	1080
H mínima	1	1	1
H máxima	11	6	5
H media	3.75	2	1.9
S mínima	200	300	200
S máxima	1300	2000	1200
P mínima	1	1	1
P máxima	13	9	6
P media	4.7	2.8	2.5
PML	9	4.5	7
PMS	3	2	2

Tabla 1.- Características significativas de las ondas de arena dentro de cada zona. Leyenda: Z: profundidad; L: longitud de onda; X: extensión horizontal; H: altura; S: separación entre dos morfologías consecutivas; P: potencia; PML: pendiente máxima de la cara lee; PMS: pendiente máxima del stoss.

Table 1.- Sand waves significant characteristics in every zone. Legend: Z: depth; L: wavelength; X: horizontal extension; H: height; S: separation between two consecutive morphologies; P: thickness; PML: maximum slope of the lee; PMS: maximum slope of the stoss.

nas gruesas. En las zonas de plataforma externa que bordean el umbral de Barbate predominan las arenas muy finas (Rodero *et al.*, en preparación). Aparte de la diferenciación de esta tres grandes zonas, es importante resaltar que en muchas ocasiones se distinguen megaripples sobre la cara más tendida de las ondas de arena, los cuales pueden tener o no el mismo sentido de migración (Fig. 3).

Esquema morfodinámico a partir de las formas de fondo : Discusión

El desarrollo de campos de ondas de arena durante el Pleistoceno Terminal-Holoceno sobre la plataforma continental puede tener dos orígenes distintos: a) formas relictas generadas por los procesos litorales durante el avance de la transgresión Flandriense; y b) formas actuales generadas por la interacción de las corrientes con el fondo (Stu-

bblefield *et al.*, 1984; Swift *et al.*, 1984). La segunda alternativa es la más probable para explicar la génesis de los campos de ondas de arenas de la plataforma de Cádiz anteriormente descritos, dado que en primer lugar la orientación de estas morfologías no es paralela a la línea de costa. No obstante, Díaz y Maldonado (1990) constatan que morfologías relictas pueden tener una orientación oblicua con respecto a la línea de costa. En segundo lugar y como criterio principal, se comprueba que existe una relación entre la distribución, morfología y dinámica de las formas de fondo con el régimen actual de corrientes. El desarrollo de estas formas es muy frecuente en las plataformas continentales, debido en gran medida a que durante el reciente periodo de alto nivel del mar (últimos 6000 años) que sigue a la Transgresión Flandriense (Holoceno Terminal) se ha producido una intensificación en la circulación de las masas

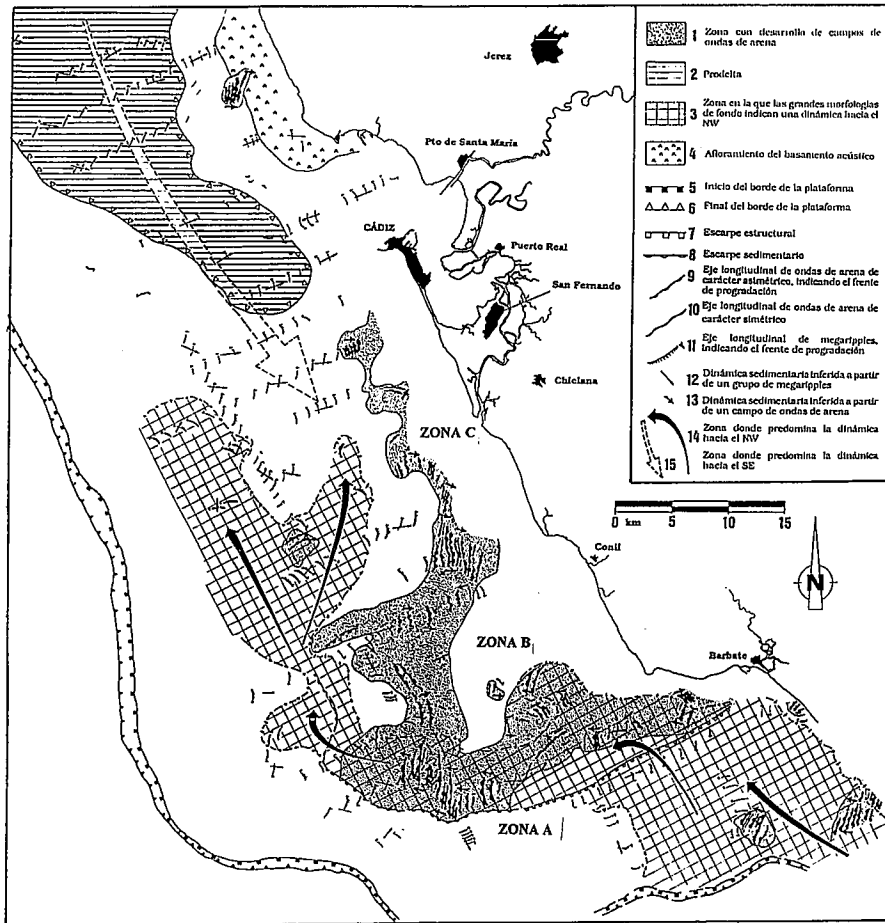


Fig. 2.- Mapa general de distribución de las formas de fondo en el área de estudio.

Fig. 2.- Seabed morphologies distribution map in the studied area.

de agua y en consecuencia una mayor interacción con el fondo marino (Caralp, 1988; Trincardi *et al.*, 1994).

En función del sentido de migración de las formas de fondo, en el umbral de Barbate se distinguen dos campos de ondas de arenas con sentidos de migración contrapuestos, uno con dirección NW en el sector meridional y otro con dirección SE en el sector septentrional. Considerando las dimensiones de las ondas de arena, y que el tamaño medio del sedimento está comprendido entre 0.125 y 0.5 mm, y de acuerdo con la clasificación establecida por Middleton y Southard en 1977, el valor de flujo necesario para originar formas de fondo con las dimensiones que se encuentran estaría comprendido entre 40 y 60 cm/s. La inexistencia de datos de oceanografía física (corrientes, olas y mareas) en el umbral de Barbate obliga a plantearse distintas posibilidades acerca de la génesis de las ondas de arena. Unos valores tan elevados parece que no pueden ser explicados por la acción de un agente aislado, sino que son varios fac-

tores los que influyen en su generación. Los únicos datos de corrientes de los que se disponen indican que la corriente en la zona meridional (Zona B) presenta una dirección NW desde la bajamar hasta la pleamar, y una dirección SE desde la pleamar hasta la bajamar. Por otra parte, en la zona septentrional (Zona A) la corriente presenta una dirección SE desde 2 horas antes de la pleamar hasta 2 horas después de la pleamar (Menanteau, 1983). Se plantea la posibilidad de que la corriente mareal tenga un carácter asimétrico, con un flujo mareal que interacciona sobre el fondo de distinta manera e intensidad en función de la zona. No obstante, estos datos provienen del seguimiento de las masas de agua mediante satélites, no existiendo información de medidas tomadas directamente en la masa de agua. Los datos de intensidad propuestos por Menanteau (1983) no explican por sí solos que la interacción de las mareas con el fondo constituya el único proceso que genere las morfologías existentes.

Otra posibilidad es que las morfologías

sean generadas por procesos de gran intensidad, como pueden ser la acción sobre el fondo en zonas someras de los temporales y las tormentas, hipótesis que podría explicar las dimensiones (Tabla 1) y la profundidad a la que se encuentran estas morfologías. En este sentido, las ondas de arena del umbral de Barbate podrían ser consideradas como "storm-dominated sand ridges" (Berné *et al.*, 1994), es decir, se trata de grandes morfologías originadas por la influencia de temporales y tormentas sobre el lecho marino. Según esta hipótesis, habría que considerar la influencia de los temporales de poniente en la zona septentrional y los temporales de levante en la zona meridional. Entre ambas zonas existe un área de transición donde las ondas de arena son simétricas, sin indicar un flujo con una dirección determinada. Finalmente, hay que considerar como un factor más que influiría en el desarrollo de los campos de arena sobre el umbral de Barbate la existencia de un brusco perfil fisiográfico que presenta este umbral hacia el sur. Este perfil posibilitaría un incremento en la velocidad del flujo de agua proveniente del sur debido a la disminución de la sección (Lobo, 1995).

Parece improbable la influencia del flujo mediterráneo de salida, que ejerce su acción en zonas de talud (Nelson *et al.*, 1993). No obstante, en relación con las mareas, durante la vaciante del mediterráneo se generan corrientes muy importantes (de hasta 7 nudos) sobre los umbrales existentes a la salida del Estrecho de Gibraltar, que actúa de embudo amplificando y aumentando la velocidad de la corriente de marea. De este modo podría plantearse la posibilidad de la influencia de las corrientes de marea sobre el umbral de Barbate.

Sobreimpuestos a los grandes cuerpos de arena se determinan cuerpos menores (megarriples) que indicarían la influencia sobre el fondo de movimientos de las masas de agua con una menor intensidad. Su presencia en la Zona C (zona somera), así como el redondeamiento y erosión de las crestas de las ondas de arena, indicarían el posible efecto del oleaje, tal y como propone Green (1986).

Conclusiones

En la plataforma continental de Cádiz se han desarrollado durante el Holoceno un gran número de ondas de arena agrupadas en tres importantes campos

de ondas de arenas. Estos campos se distribuyen por el umbral somero que se encuentra entre Conil y Barbate en el dominio de plataforma, y por el subdominio infralitoral y la plataforma interna entre Conil y la Bahía de Cádiz. En función de la orientación y dimensiones de las ondas de arena se distinguen tres zonas con unas características hidrodinámicas distintas entre sí: a.- Zona meridional del umbral de Barbate (Zona A). Las ondas de arena migran preferentemente hacia el NW y alcanzan las mayores dimensiones. En esta zona se destaca la posible influencia de los temporales de Levante, que originarían un flujo en dirección NW, teniendo en cuenta la posible influencia de la corriente de marea que se dirige en esta zona hacia el NW desde la bajamar hasta la pleamar. b.- Zona septentrional del umbral de Barbate (Zona B). En esta zona las ondas de arena alcanzan unas dimensiones menores y migran en dirección SE, indicativo de la posible influencia de los temporales de Poniente que originan un flujo de dirección SE. En esta zona también habría que considerar el efecto de la corriente de marea que se dirige hacia el SE desde la pleamar hasta la bajamar. c.- Zona infralitoral y de plataforma interna entre Conil y la Bahía de Cádiz (Zona C). En esta zona las ondas de arena migran hacia el SE, y presentan las menores dimensiones, considerándose el posible efecto de los temporales de Poniente y el efecto erosivo del oleaje sobre las ondas de arena.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado dentro del marco del proyecto de Cartografía de la Plataforma Continental Española y Zonas Adyacentes (Hoja Geología Marina nº 86-86S, Cádiz). Dicho proyecto pertenece al ITGE y está sien-

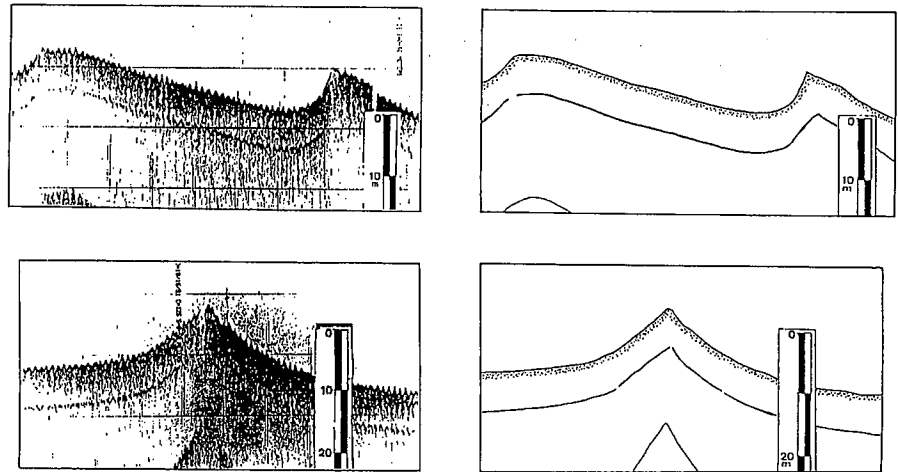


Fig. 3.- Ejemplos de ondas de arena, una de carácter asimétrico y otra de carácter simétrico. Perfiles sísmicos de 3,5 kHz

Fig. 3.- Sand waves examples, one asymmetrical and other symmetrical. Seismic profiles of 3.5 kHz

do elaborado por el Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (IACT. CSIC- Univ. de Granada).

Referencias

- Berné, S., Trentesaux, A., Stolk, A., Missiaen, T. y De Batist, M. (1994): *Mar. Geol.* 121: 57-72.
- Caralp, M.H. (1988): *Mar. Microplaeontol.*, 13:265-289.
- Díaz, J.I. and Maldonado, A. (1990): *Marine Geology*, 91. p. 53-72.
- Field, M.E., Nelson, C.H., Cacchione, D.A. y Drake, D.E. (1981): *Mar.Geol.* 42: 233-258.
- Flemming, B.W. (1981): *Mar. Geol.* 42: 259-277.
- Gascard, J.C. y Richez, C. (1985): *Progr. Oceanogr.* 15: 157-216.
- Green, M.O. (1986): *Geo-Mar. Lett.* 6: 35-40.
- Lobo, F.J. (1995): *Tesis de Licenciatura*, Univ. de Cádiz. 200 pp.
- Maldonado, A. (1992): III Congreso Geológico de España, *Simposios.* 2: 239-246.
- Malod, J.A. (1982): *Thèse de doctorat d'etat, Meim. Sc. Terre Univ. Curie, Paris.* 82-83:235 pp.
- Mélières, F.(1974): *Thesis, Univ. Paris.* 235 pp.
- Menanteau, L. (1983): *Publ. de la Casa de Velázquez*, Fascículo nº 4.
- Middleton, G.V. y Southard, J.B. (1977): *SEPM Short Course nº 3*, 232 pp.
- Nelson, C.H., Baraza, J. y Maldonado, A. (1993): *Sedim. Geol.* 82: 103-131.
- Ochoa, J. y Bray, N.A. (1991): *Deep-Sea Res.*, 38(1):465-503.
- Stubblefield, W.L., McGrail, D.W. y Kersey, D.G. (1984): *Siliciclastic Shelf Sediments. SEPM*, Special Publication 34. 1-24.
- Swift, D.J.P., McKinney, T.F. y Stahl, L. (1984): *Siliciclastic Shelf Sediments. SEPM*, Special Publication 34. 25-36.
- Trincardi, F., Corregiari, A. y Roveri, M. (1994): *Geo-Mar. Lett.*, 14: 41-51.