

Caracterización morfosedimentaria de los fondos sublitorales de la Playa de San Andrés (Bahía de Málaga) mediante sónar de barrido lateral

Morphosedimentary characterization of sublittoral beds of San Andres beach (Malaga Bay) using side scan sonar.

J.A. Morales ⁽¹⁾, I. Delgado ⁽¹⁾, C. Lozano ⁽¹⁾, J.I. Noriega ⁽²⁾, D. Florido ⁽²⁾ y M. Sabastro ⁽²⁾

⁽¹⁾ Departamento de Geología. Universidad de Huelva. Avda. Fuerzas Armadas, s/n. 21007 Huelva. jmorales@uhu.es

⁽²⁾ Nerea Arqueología Subacuática SLL. Calle Almogía, 14. 29006 Málaga. info@gruponerea.com

ABSTRACT

The present work contributes to the characterization and mapping of sublittoral seabed located in the nearshore of the San Andrés Beach in Malaga. This zone extends between the outer dock of the Malaga harbor and the Guadalhorce river mouth. The study was done using the description of the acoustic reflection patterns obtained with Side Scan Sonar techniques. These patterns have been identified with lithological changes, morphological features, dimension and orientation of bedforms, underwater patrimony and evidences of the human activity on the seabed.

Key words: Malaga bay, Side Scan Sonar, seabed mapping.

Geogaceta, 44 (2008), 71-74
ISSN: 0213683X

Introducción

La playa de San Andrés es un sector de la Bahía de Málaga que se extiende al Sur del puerto de Málaga, desde la escollera de la dársena exterior del mismo que ocupa la desembocadura del río Guadalmedina, hasta un espigón situado 2600 metros hacia el SSO cercano a la desembocadura del río Guadalhorce. La Bahía de Málaga, por su orientación, se encuentra al abrigo de la corriente oceánica denominada Giro del Alborán Oeste (WAG), que circula de forma anticiclónica en la zona de Alborán más próxima al Estrecho de Gibraltar (Masqué *et al.*, 2003). En consecuencia, en ella se dan sólo corrientes oceánicas de baja frecuencia (Arévalo y García, 1983; Cano y García, 1991). Por otra parte, esta zona se ve afectada por una corriente de afloramiento costero (*upwelling*), que hace de ella una zona de alta productividad biológica basada en grandes masas de diatomeas y cocolitofóridos (Bárcena y Abrantes, 1998; Bianchi *et al.*, 2002). En cuanto al régimen de oleaje que afecta a la zona costera, según los datos de la boya oceanográfica más próxima (Alborán) dominan las olas procedentes del ESE (22% del tiempo), seguidas por las del SW (16%) y las del E (15%), lo que confiere a la costa un sentido de deriva litoral que actúa de S a N cerca del 60% del tiempo.

Existen numerosos trabajos sobre la zona más profunda de la Cuenca de Alborán, enfocados, sobre todo hacia el conocimiento de la productividad biológica y del origen de los sedimentos, que se atribuyen, sobre todo a la citada productividad biológica y a la decantación del polvo sahariano aportado por la circulación atmosférica (Guerzoni *et al.*, 1997), sin embargo, la zona situada en las áreas costeras se encuentran en un relativo estado de desconocimiento respecto a la dinámica sedimentaria. El objetivo de este trabajo es la caracterización de fondos en un sector de la Bahía de Málaga mediante el uso de Sonar de Barrido Lateral (SSS), demostrando que esta metodología puede ser usada en zonas someras con fines sedimentológicos, ecológicos y patrimoniales.

Metodología

El empleo del SSS se fundamenta en la propiedad de reflexión de las ondas sonoras sobre el fondo. El SSS utilizado es el modelo CM2 de la marca C-Max. Esta sonda ha permitido obtener datos superficiales del fondo a una resolución de 50, metros de anchura a cada banda del barco. Este tipo de sonda permite una calibración precisa teniendo en cuenta los factores de control (salinidad y temperatura) de la zona, que fueron medidos *in*

situ durante la realización de la toma de sondas. Las líneas de navegación han sido diseñadas de tal forma que se consiga una superposición de los registros del 20%.

El presente estudio se realizó en una campaña de navegación llevada a cabo en Septiembre de 2006. Los registros sonográficos estuvieron en todo momento georeferenciados, al encontrarse la sonda conectada a un sistema de autoposicionamiento GPS marca Garmin modelo E-trex vista que permite un autoajuste de la posición mediante correcciones por emisora radioterrestre. Esta metodología ha permitido realizar una carta de itinerario de los trayectos reales realizados durante el sondaje. Hay que tener en cuenta que durante las campañas el GPS estuvo configurado para la utilización del huso 29S y el datum *European Datum 1950 (Spain and Portugal)* llamado comunmente ED50 y que ha sido utilizado como referencia.

La zona estudiada está limitada por un polígono pseudorectangular con alargamiento paralelo a la playa, que se extiende desde la isobata 3 metros hasta la isobata 17 metros (Fig. 1). El polígono está delimitado por los vértices:

N 36° 42' 12,7" / O 4° 25' 51,2"

N 36° 40' 58,6" / O 4° 25' 33,9"

N 36° 42' 03,2" / O 4° 25' 10,3"

N 36° 42' 39,8" / O 4° 25' 50,5"



Fig.1.- Localización del área de estudio en el marco de la Bahía de Málaga

Fig. 1.- Location of the study area within the Malaga Bay.

El área de estudio ha sido cubierta con 15 líneas paralelas de navegación, que se han ajustado por completo a los límites de la zona. Para la construcción de los mosaicos se ha descompuesto el registro sonográfico en imágenes raster geoposicionadas que han sido montadas por superposición, teniendo en cuenta el *layback* (diferencia de posición entre el sistema GPS y la sonda del sonar). Sobre el mosaico se han cartografiado los tipos de fondo y todos los rasgos morfológicos observados, esta cartografía ha sido montada sobre un mapa batimétrico a fin de conocer la profundidad de las diferentes observaciones.

Descripción de fondos

A partir del mosaico de imágenes de sonar construido con los fotogramas del registro se ha podido constatar la presencia de un fondo muy homogéneo en cuanto al tipo de respuesta acústica. Dentro de esta homogeneidad han podido observarse ciertas diferencias en

cuanto a la intensidad de la reflectividad y los patrones (lisos, sinuosos o rugosos) mostrados por las variaciones de la respuesta. Normalmente las variaciones de la reflectividad son identificadas como la diferente respuesta de distintas litologías a la reflexión de las ondas acústicas. Las diferencias en los patrones del registro, se deben, en cambio a los cambios en la regularidad del fondo, correspondiendo los patrones lisos a fondos planos y los patrones sinuosos o rugosos a fondos de topografía irregular.

Fondos de reflectividad moderada y patrones lisos

Son los fondos más comunes en toda la zona y se caracterizan por una respuesta muy regular y monótona de la respuesta acústica. Se han identificado como correspondientes a un sedimento de características fango-arenosas. A pesar de poseer en toda su extensión patrones lisos, en extensiones reducidas se presentan algunos parches con una reflectividad similar pero mostrando pa-

trones sinuosos regulares. Éstos han sido identificados como parches de arena con megaripples (Fig. 2A) que presentan longitudes de ondas que superan el metro y alturas cercanas a los 30 cm. En otros lugares la regularidad del patrón acústico se ve interrumpida por la presencia de crestas suaves de morfología sinuosa subparalelas a la costa, que corresponden a barras de oleaje (Fig. 2B).

Fondos de reflectividad moderada-alta y patrones rugosos

Fondos con una reflectividad algo mayor a la anterior y caracterizados por patrones acústicos rugosos se extienden a lo largo de superficies elongadas paralelas a las líneas isobatas. Este tipo de respuesta acústica ha sido interpretada como perteneciente a afloramientos rocosos cubiertos parcialmente por sedimentos fango-arenosos (Fig. 2B). Un patrón muy parecido, pero con algunas diferencias en la disposición de las rugosidades del fondo ha sido interpretado como la respuesta de las superficies arenosas con abundantes clastos dispersos y algunas rocas aisladas de mayor tamaño (Fig. 2C), algunas de las cuales parecen corresponder con los pesos muertos de boyas de balización o delimitación de las zonas de bañistas.

Fondos de alta reflectividad y patrones rugosos

Sólo se ha observado un fondo de este tipo localizado en un cuerpo de extensión reducida. Se trata de un afloramiento rocoso con claros límites escarpados (Fig. 2D).

Anomalías de la respuesta acústica

Existen en la zona diferentes patrones anómalos que pueden ser identificados como respuesta a la actividad antrópica sobre el fondo. El más evidente de estos rasgos quizá sea la presencia de varias tuberías de efluentes que aparecen como una elevación lineal del fondo marcada por una respuesta acústica alta característica (Fig. 2A).

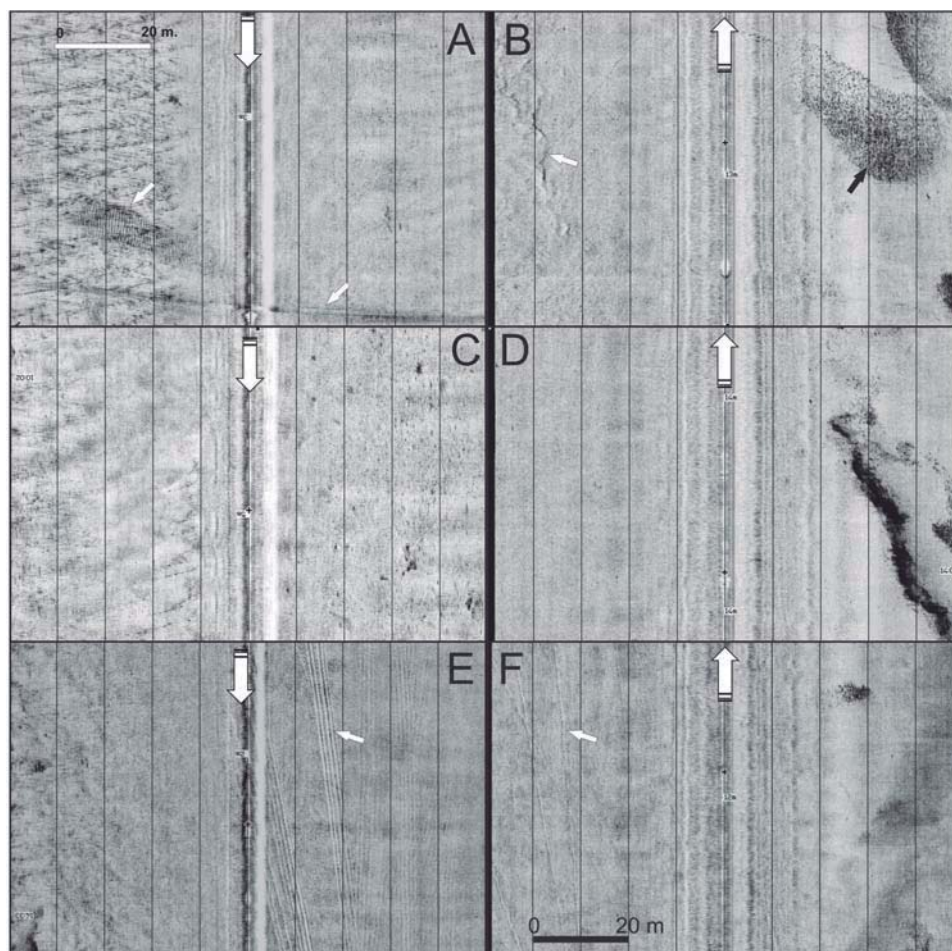
También es significativa la presencia de surcos generados por la actividad pesquera y de marisqueo. A este respecto parece haber dos áreas preferentes:

- Un área configurada por surcos cuádruples (Fig. 2E).
- Un área constituida por surcos simples y de gran longitud (Fig. 2F).

Además de estos tipos de fondo, afloramientos y morfologías características se han observado 7 anomalías que presentan una respuesta acústica diferente a las de cualquiera de los fondos descritos. Es-

Fig. 2.- Patrones de reflectividad de diferentes tipos de fondo: A) Parche de arena con megaripples y traza de un efluente sumergido sobre fondo de reflectividad moderada y patrón liso, B) barras sinuosas (flecha blanca) y afloramientos rocosos parcialmente cubiertos por sedimentos (flecha negra), C) parches de rocas dispersas sobre sedimentos areno-fangosos, D) afloramiento rocoso sobresaliente sobre un fondo fango-arenoso, E) surcos múltiples sobre fondo arenoso, originados por rastros de marisqueo y F) surcos simples sobre fondo areno-fangoso desarrollados por una draga de marisqueo por succión. Las flechas centradas indican el sentido de desplazamiento del barco.

Fig. 2.- Reflectivity patterns corresponding with different bed types: A) Sand patche with megaripples and trace of a submerged effluent on a moderate reflectivity bed, B) sinuous sand bars (white arrow) and rocky outcrops partially covered by sediments (black arrow), C) disperse rock above muddy sand sediments, D) rocky outcrop over a muddy sand bed, E) multiple furrows on a sandy bed, originated by trawls and F) simple furrows on a muddy sand bed developed by a suction seafood dredge. Big arrows indicate the sense of ship displacement.



tas anomalías se presentan en forma de patrones con formas geométricas regulares y bien definidas, que pueden ser interpretadas como producto de objetos de factura humana sumergidos.

Distribución de los fondos e interpretación

Todos estos elementos han sido cartografiados y se presentan en la figura 3. Es necesario tener en cuenta que algunos registros presentan una fuerte interferencia por parte de bancos de peces de diferentes dimensiones que han dificultado su interpretación cartográfica.

Se trata de un fondo de pendiente suave (1,07%) hacia el ESE. En más del 90% del registro se obtiene una respuesta acústica de reflectividad moderada y patrones lisos típica de litologías areno-fangosas. Dentro de estas litologías se observan parches aislados de arena cuya superficie se encuentra tapizada por megaripples. La distribución de estos parches no guarda relación con la profundidad, observándose algunos de ellos a profundidades inferiores a los 5 metros, mientras que otros se desarrollan en torno a la isobata de 8

metros y otros aún en zonas más profundas presentan una disposición alargada en torno a la isobata de 11 metros. Asociadas a estas litologías se observan también crestas suaves correspondientes a barras de oleaje. Estas crestas se sitúan preferentemente en profundidades inferiores a los 10 metros, aunque las de mayor continuidad se presentan entre los 12 y los 13 metros de profundidad.

En otras áreas donde domina esta litología se observa la presencia de rocas dispersas o campos de clastos, que quedan evidenciados por una reflectividad más alta del fondo y un patrón de características rugosas. Estas áreas se desarrollan al sur de la zona y presentan una morfología alargada paralela a las isobatas. Tampoco se observa una relación con la profundidad, ya que aparecen varias de estas franjas a los 8, 11, 13 y 16 metros de profundidad.

A profundidades superiores a 14 metros comienzan a aparecer fondos de reflectividad mayor y patrones rugosos que permiten identificar estructuras geológicas como estratificación o líneas de fracturación. Estos patrones

se han interpretado como afloramientos rocosos parcialmente cubiertos por los sedimentos fango-arenosos. Estos afloramientos se sitúan de forma paralela a las isobatas y se hacen más abundantes por debajo de la isobata de 15 metros, donde van adquiriendo una morfología más alargada en dirección perpendicular a las isobatas.

En el límite SE de la zona de estudio se ha observado el único afloramiento rocoso sin ninguna cobertura sedimentaria. Éste queda delimitado por escarpes abruptos de más de un metro de altura. La respuesta acústica de este afloramiento es la más alta de la zona estudiada.

En relación con los fondos sedimentarios se han observado rasgos antrópicos de alteración. Estos rasgos son principalmente surcos erosivos de diferente morfología que aparecen agrupados en dos áreas relacionadas con la batimetría. La primera de estas áreas muestra una amplia distribución de surcos cuádruples y está situada frente al sector central de la playa entre las isobatas de 3 y 8 metros y en el interior de la línea que delimita la zona de bañistas. La segunda zona se encuentra configurada por agrupaciones de surcos simples, es

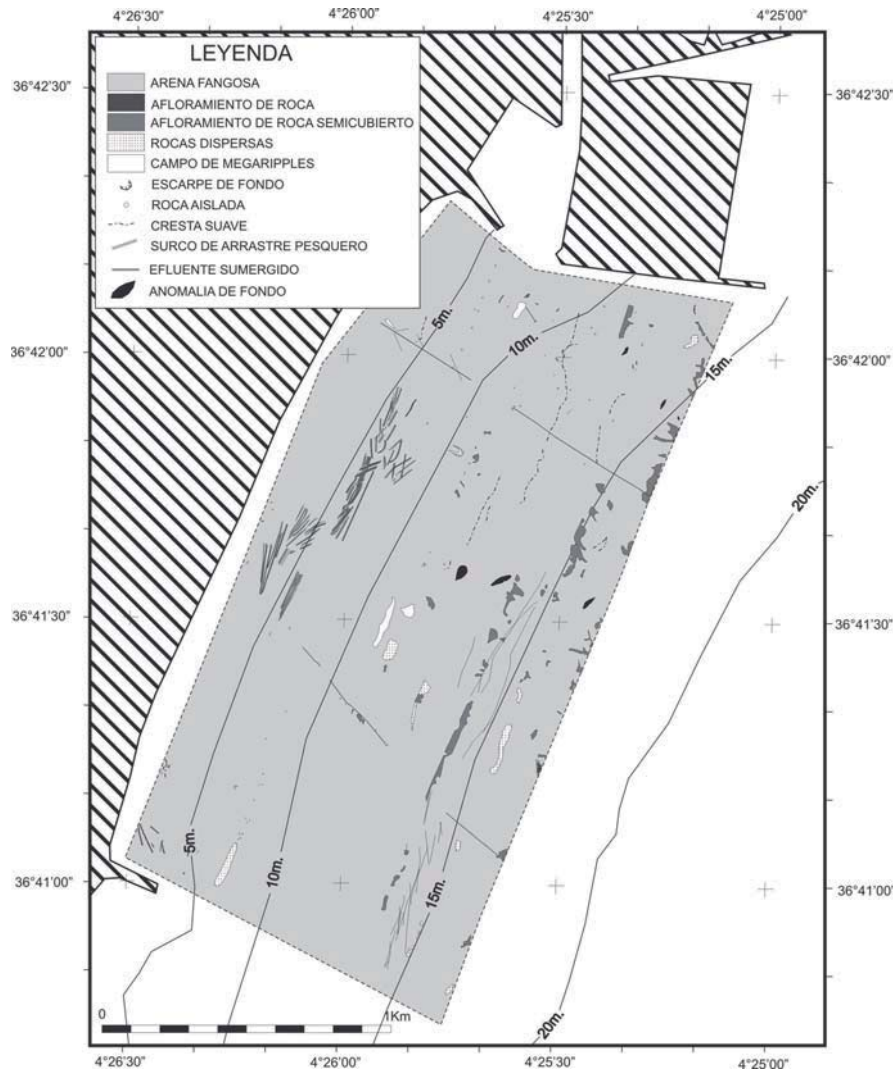


Fig. 3.- Cartografía de fondos.

Fig. 3.- Bed map.

algo más profunda y se alarga de forma paralela a la isobata de 15 metros, justo al Sur de los afloramientos rocosos semicubiertos de sedimento.

La zona se ve cruzada de NO a SE por dos tuberías que corresponden a efluentes de residuos sólidos urbanos. El resto de las anomalías con patrones geométricos regulares han sido identificadas como pecios que forman parte del patrimonio sumergido.

Discusión y conclusiones

El empleo del sonar de barrido lateral (*Side Scan Sonar*) se manifiesta como una herramienta muy útil en el reconocimiento y cartografía de fondos de zonas sublitorales. Esta técnica combinada con información de tipo sedimentológico puede aportar datos del fondo susceptibles de ser cartografiados y usados por parte de las

administraciones en los campos geológico, dinámico, ecológico y arqueológico-patrimonial.

La zona de estudio presenta en general un fondo sedimentario de baja movilidad y naturaleza fango-arenosa, que queda puesta de manifiesto en una gran escasez de formas de fondo en toda su superficie, a excepción de unos pocos parches de poca extensión donde se desarrollan formas de fondo de escala métrica muy simétricas y formas mayores de tipo barras lineales debido a la actuación del oleaje. Este relleno sedimentario parece ser de baja potencia, dejando aflorar extensiones configuradas por fragmentos rocosos dispersos. En todo caso, el espesor de la cubierta sedimentaria decrece hacia las zonas más profundas, comenzando a parecer los afloramientos de roca cubiertos por

una fina capa de sedimentos por debajo de los 14 metros.

La riqueza ecológica de la zona queda puesta de manifiesto por la presencia de surcos de arrastre marisquero. Los surcos múltiples corresponden al uso de rastros para el marisqueo de la chirla y la coquina y se concentran en la zona más próxima a la playa, a profundidades menores a los 8 metros, e incluso dentro de la zona reservada a los bañistas, a pesar de encontrarse prohibida esta actividad. Los surcos simples corresponden al uso de rischio (rastros italiano), se concentran en zonas más profundas cercanas a los 15 metros y explotan bancos de bivalvos localizados en arena fangosa de escaso espesor que lindan con afloramientos rocosos.

En profundidades superiores a los 12 metros se han observado objetos poligonales sumergidos que han sido identificados como pecios y presentan un elevado interés patrimonial.

Agradecimientos

Este estudio ha sido financiado con fondos de Nerea Arqueología Subacuática con una partida económica del Ayuntamiento de Málaga destinada a la realización de una carta arqueológica submarina del territorio que servirá a la administración andaluza y municipal a una mejor protección del territorio. Agradecer la confianza que se ha puesto en el trabajo desde la Concejalía de Cultura de la ciudad de Málaga y el gabinete de alcaldía de dicho Ayuntamiento.

Referencias

- Arévalo, L. y García, J. (1983). *Instituto Español de Oceanografía, Málaga. Informe inédito.*
- Bárcena, M. A. y Abrantes, F. (1998). *Marine Micropaleontology*, 35, 91-10.
- Bianchi, A., Calafat, A., De Wit, R., Garcin, J., Tholosan, O., Cacho, I., Canals, M., Fabrés, J., Grout, H., Masqué, P., Sanchez-Cabeza J.A. y Sempéré R. (2002). *Oceanologica Acta*, 25, 315-324.
- Cano, N. y García, J.M. (1991). *Boletín del Instituto Español de Oceanografía*, 7, 59-77.
- Guerzoni, S., Molinaroli, E. y Chester, R. (1997). *Deep-Sea Research*, 44, 631-654.
- Masqué, P., Fabres, J., Canals, M., Sanchez-Cabeza, J. A., Sanchez-Vidal, A., Cacho, I., Calafat, A. M. y Bruach, J. M. (2003). *Marine Geology*, 193, 207-233.