



ESTUDIO DE LOS PROCESOS SEDIMENTARIOS RECIENTES DE LA BAHÍA DE PALMA A PARTIR DEL ANÁLISIS DE LA MORFOLOGÍA Y LA RESPUESTA ACÚSTICA (ISLAS BALEARES, MEDITERRÁNEO OCCIDENTAL)

Desirée Palomino¹, Juan Tomás Vazquez¹, Víctor Díaz del Río¹, Luis Miguel Fernández- Salas¹

¹*Instituto Español de Oceanografía, Centro Oceanográfico de Málaga. C/ Puerto Pesquero s/n, 29640 Fuengirola Málaga*

Resumen: A partir de un estudio detallado de perfiles sísmicos de muy alta resolución (3.5 kHz) se han definido los diferentes tipos morfológicos y de respuesta acústica en el relleno sedimentario reciente de la Bahía de Palma. Se han identificado 19 tipos morfológicos que han sido agrupados según su génesis. Además, se han diferenciado 9 ecos acústicos que han sido agrupados en 3 clases en función de la topografía del fondo, las morfologías del fondo y las características acústicas de la secuencia sedimentaria más superficial. Todo ello, se ha relacionado con la distribución espacial de sedimentos superficiales y con otros factores como la presencia de praderas vegetales submarinas, la geología de la zona y las condiciones oceanográficas, obteniéndose como resultado un modelo de distribución de los procesos sedimentarios recientes que actúan en la bahía.

Los procesos sedimentarios deposicionales ocupan la mayor parte de la superficie de la bahía y prevalecen los de baja energía. Los procesos erosivos y los procesos tectónicos, se han diferenciado especialmente en la parte oriental. Por último, los procesos biogénicos corresponden a las zonas de mayor interacción entre las praderas vegetales y la sedimentación.

Palabras clave: Bahía de Palma; eco carácter; geomorfología; procesos sedimentarios recientes; sísmica de alta resolución

Abstract: Based on a detailed study of very-high-resolution subbottom profiles (3.5 kHz), the presence of different morphologic and echo character types in the recent sedimentary infill of Palma Bay have been identified. 19 morphologic types have been recognized, which have been grouped according to their origin. Furthermore, 9 acoustic types were differentiated which have been grouped in 3 classes according to the topography, seabed morphology and the acoustic characteristics of the surficial sedimentary sequence. By correlating all these data with the spatial distribution of the surficial sediments, with other factors like the presence of submarine vegetables meadows, the geological setting of the zone and the oceanographic conditions, it is possible to infer a model for the distribution of the recent sedimentary processes that act in the Bay seafloor.

Depositional sedimentary processes are distributed all along the Bay and low energy processes are prevailed. Erosional and tectonic processes appear in the eastern part of the Bay. Last, Biogenic processes correspond to the main interaction zones between submarine flora and sedimentation.

Key words: Palma Bay, echo character, geomorphology, recent depositional processes, high resolution seismic profiles

Palomino, D., Vazquez, J.T., Díaz del Río, V. y Fernández-Salas, L.M. (2009): Estudio de los procesos sedimentarios recientes de la Bahía de la Palma a partir del análisis de la morfología y la respuesta acústica (Islas Baleares, Mediterráneo Occidental). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 22 (1-2): 79-93

Edita: *Sociedad Geológica de España*
ISSN: 0214-2708



El estudio de respuesta acústica a partir del eco-carácter de los perfiles sísmicos de alta resolución (3,5 kHz) es una herramienta de gran utilidad para el conocimiento de los procesos sedimentarios. Damuth (1975) propuso una clasificación de la respuesta acústica y desde entonces, numerosos estudios han demostrado su utilidad como método indirecto para la investigación marina en aguas profundas (Damuth, 1980; Pratson y Laine 1989; Chough *et al.*, 2002; Blondel, 2003). El análisis de los datos sísmicos de alta resolución permite identificar los diferentes tipos de respuesta acústica y relacionarlos con la distribución de sedimentos superficiales. Junto con el análisis de sus facies sísmicas y la caracterización morfológica de la zona considerada, son datos importantes para comprender los procesos sedimentarios recientes (Damuth, 1980).

En aguas someras, el análisis de la respuesta acústica debe ser combinado con estudios morfológicos y texturales para poder así calibrar los mapas de eco-carácter. Además, es importante conocer otros factores como la geología de la zona, el sistema hidrodinámico, la red fluvial, etc., para poder hacer una correcta interpretación de los datos (Bouyé, 1983; Trabant, 1984). En los últimos años se han realizado numerosos estudios que han confirmado la eficacia del análisis del eco carácter como método indirecto para la

identificación de los procesos sedimentarios, permitiendo establecer una clasificación energética relativa de los distintos procesos sedimentarios presentes (Hernández-Molina, 1993; Chought *et al.*, 2002; García-García *et al.*, 2004; Hernández-Molina *et al.*, 2008).

Son pocos los estudios geológicos realizados en la Bahía de Palma, así De Buen (1916) consideró aspectos generales sobre los sedimentos de la bahía, Díaz del Río y Rey (1987) estudiaron los aspectos estructurales y neotectónicos y Díaz del Río *et al.* (1993) analizaron sus principales características fisiográficas, por tanto, son todavía poco conocidas las características morfológicas de la Bahía de Palma y los procesos ambientales que controlan la sedimentación reciente. El objetivo de este trabajo es evaluar los procesos sedimentarios que han tenido lugar en la Bahía de Palma a lo largo del Holoceno Superior y su relación con la morfología. Para ello, se han diferenciado los distintos tipos morfológicos y de respuesta acústica, considerándose además los factores geológicos, biológicos y oceanográficos del entorno.

Encuadre geológico y oceanográfico

La zona de estudio se encuentra en la Bahía de Palma que está comprendida entre los meridianos

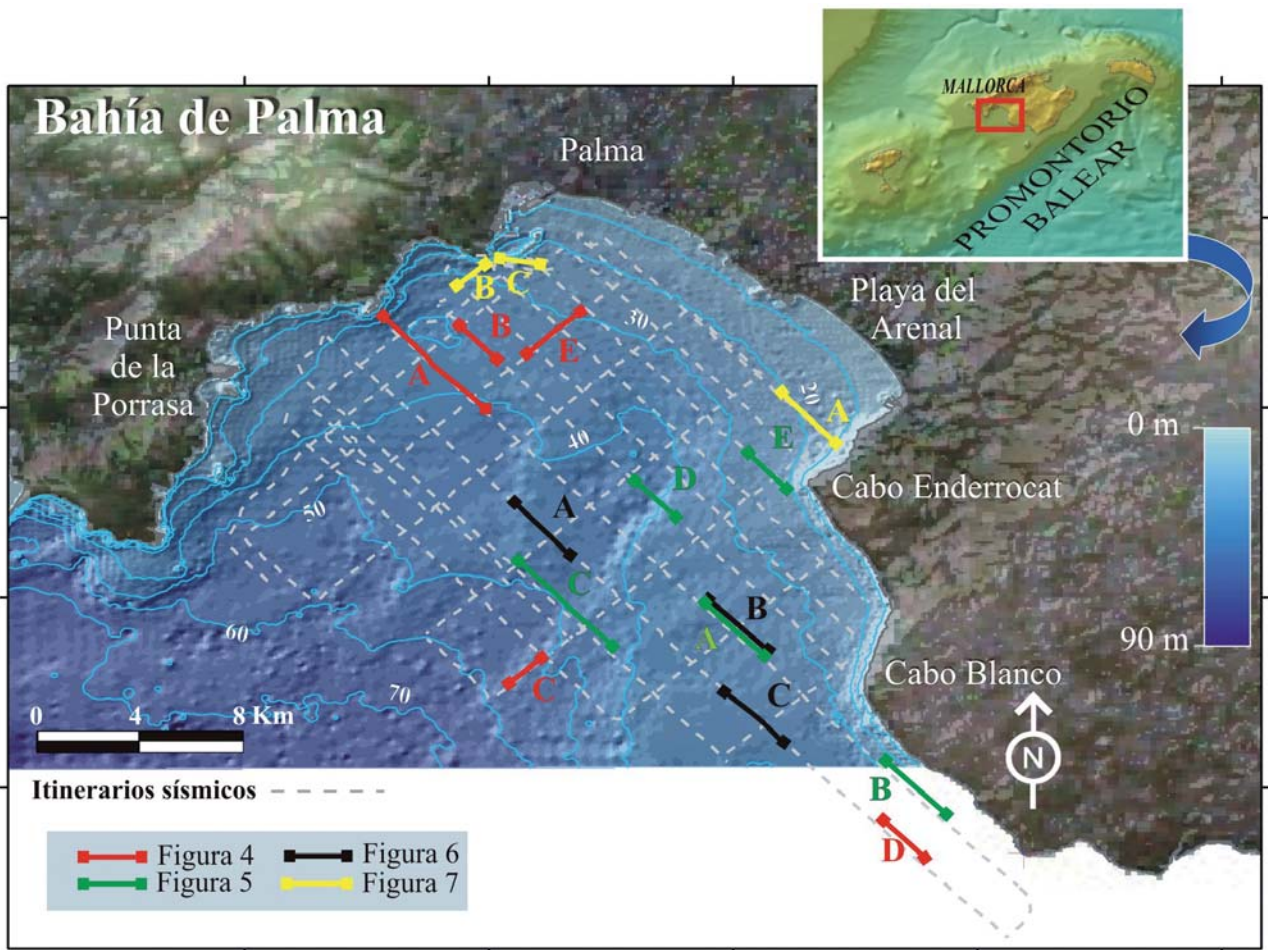


Figura 1.- Localización geográfica y batimetría de la Bahía de Palma. Los números representan la profundidad en metros y las letras se corresponden con la localización de las figuras 4-8.

2°30'E y 2°48'E y los paralelos 39°22'N y 39°34'N. Desde el saco a la boca de la bahía hay una distancia de 17 km y desde Cabo Blanco a la Punta de la Porrassa de 19 km, cubriéndose en este estudio unos 250 km² (Fig. 1).

Las profundidades aumentan de una manera uniforme en dirección suroeste, llegando a alcanzar los 70 m en el límite externo de la bahía. La Bahía de Palma está limitada al noroeste por las estibaciones de la Sierra de la Tramontana (Fig. 2), caracterizada por zonas escarpadas y ensenadas, que en su conjunto presenta una dirección NE-SO. Al sureste está controlada por una zona de acantilados bajos, zona de Cabo Blanco, que corresponden a la continuación de las Sierras Centrales, diferenciándose dos tramos de dirección NE-SO conectados por un tercero de dirección NO-SE. Por último, en la parte central aparece un conjunto de sistemas sedimentarios de dirección NO-SE (Díaz del Río *et al.*, 1993) sobre los que se asienta la playa del Arenal (Fig. 2).

En la Bahía de Palma se diferencian dos dominios fisiográficos que se corresponden con el litoral y la plataforma continental. En el dominio litoral se ha diferenciado únicamente el subdominio infralitoral, llegando a alcanzar su límite inferior los 30 metros de profundidad. La plataforma continental es relativamente ancha, y comprende los sectores de plataforma interna y media. Al ser provincias morfológicas muy someras, muestran una gran fragilidad frente a los cambios geológicos y ambientales y han estado muy condicionados, principalmente, por los cambios del nivel del mar a lo largo del Cuaternario.

Situación geológica

Los rasgos estructurales de la Isla de Mallorca corresponden a un conjunto de *horsts* y *grabens*, limitados por fallas normales con dirección NE-SO, formados bajo un régimen extensional a partir del Mioceno medio, si bien la estructura interna de los *horst* corresponde a sistemas de cabalgamientos de edad

Oligoceno a Mioceno inferior (Álvaro, 1987; Benedicto *et al.*, 1993; Gelabert y Sabat, 2004). De noroeste a sureste se encuentran (Fig. 2) la Sierra de la Tramuntana, el sistema de Cuencas neógenas de Palma e Inca-Sa Pobra, las Sierras Centrales, la Cuenca de Campos y las Sierras de Levante (Gelabert y Sabat, 2004), este conjunto de estructuras ha continuado activo a lo largo del Cuaternario controlando los procesos morfosedimentarios (González-Hernández *et al.*, 2001). Dentro de este esquema, la cuenca de Palma se corresponde con una fosa sometida actualmente a subsidencia. Ésta limita al noroeste por una falla de dirección NNO-SSE, que la separa de la Sierra de Tramuntana (Fig. 2). Al Noreste linda con dos estructuras antiformales que la separan de la Cuenca de Inca-Sa Pobra (Silva *et al.*, 1998) y al sureste está separada de las Sierras Centrales por un sistema de fallas normales de dirección NE-SO (Benedicto *et al.*, 1993).

Al este de la falla de Sineú-Algaida, y probablemente en su continuación, se encuentra la falla de Enderrocat que separa la parte central de la cuenca de Palma, dónde ha tenido lugar un mayor depósito de formaciones cuaternarias, de un umbral neto, hacia el sureste, en el que se encuentran unidades pliocenas y miocenas que forman parte del relleno sedimentario Neógeno de esta cuenca (González-Hernández, 2001). Esta falla ha sido registrada en la Bahía de Palma como un escarpe neto de orientación NE-SO que articula un área central subsidente al NO de la falla que correspondería a su labio hundido, con respecto al bloque SE, que correspondería a su labio levantado, y sobre la que se ha definido la presencia de una plataforma erosiva sumergida (Díaz del Río *et al.*, 1993). Por último, cabe señalar que el máximo de la transgresión Versiliense se alcanzó entorno a los 7000 ¹⁴C a.BP, (Goy *et al.*, 1997) produciéndose a partir de los 6000 a.BP el desarrollo progresivo de un cordón litoral que separaría un sistema de albufera, en la parte emergida, del sistema de bahía abierta, si bien se mantendría una comunicación entre ambos sistemas hasta el siglo XVI, por medio de un canal situado en su sector sureste más subsidente (Goy *et al.*, 1997).

Características oceanográficas

Las aguas de la Bahía poseen una dinámica de baja energía y la masa de agua situada en el interior tiene un alto grado de reposo estando resguardada frente al oleaje y las corrientes. En el entorno de las Islas Baleares no existen corrientes regionales importantes, ello está propiciado por la posición que ocupa el archipiélago en la parte central del Mediterráneo occidental, produciendo su aislamiento de la circulación general. Por otro lado, y como consecuencia de las propias características fisiográficas de la Bahía de Palma, y en particular debido a la dirección general (NE-SO) que presenta su configuración, está protegida de los vientos de mayor fuerza en la zona (Tramontana - Norte) que no penetran en su interior. La bahía está abierta hacia el SO

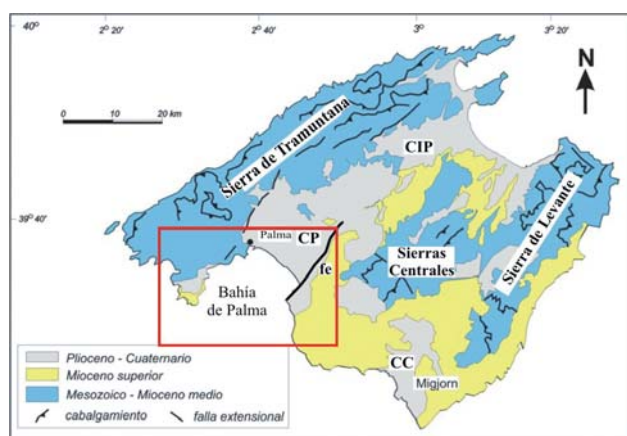


Figura 2.- Marco estructural de la isla de Mallorca. Leyenda: cp-cuenca de Palma; cip: cuenca de Inca-Sa Pobra; cc- cuenca de Campos; fe-falla de Enderrocat (Modificada de Gelabert y Sábato, 2004).

que, precisamente, son los vientos menos comunes en la región (De Buen, 1916). Además, las mareas astronómicas son prácticamente insignificantes por lo que el intercambio de masas de agua queda muy condicionado a la fuerza del viento (Ramis *et al.*, 1990).

Se ha observado la presencia de una circulación de masas de agua, en el interior de la bahía, con una tendencia general ciclónica, de aguas cálidas, en la que el agua penetra en la Bahía por el Este, mientras que el flujo de salida predominante es por el Oeste (Rey y Díaz del Río, 1985; Gazeau *et al.*, 2005). Aunque también se ha observado una corriente con dirección anticiclónica en la que el agua penetra por el oeste y sale por el este. La circulación ciclónica, se caracteriza por una mayor temperatura y menor salinidad, en todo caso la velocidad de la corriente es baja, de entre 10-20 cm s^{-1} (Gazeau *et al.*, 2005)

Por otro lado, el alto grado de residencia de las masas de agua junto a su escasa profundidad y alta tasa de insolación hacen que tengan una temperatura elevada. Estos caracteres favorecen el desarrollo de la flora submarina, de manera que el 30% de la Bahía de Palma está ocupado por praderas vegetales (*Posidonia oceanica* y *Caulerpa prolifera*) que se extienden hasta 35 m de profundidad (Díaz del Río *et al.*, 1993; Gazeau *et al.*, 2005; Micheli *et al.*, 2005), encontrándose *Posidonia* hasta los 72 m donde se dispone más dispersa y de menor dimensión. Esta característica es de gran importancia en zonas litorales ya que las praderas de fanerógamas actúan como trampas de sedimento e influyen, en gran medida, en la dinámica sedimentaria.

Metodología

Para la realización de este trabajo se han analizado los perfiles sísmicos de alta y muy alta resolución, obtenidos durante la campaña oceanográfica BAPAL84, realizada por el Instituto Español de Oceanografía en la Bahía de Palma. En esta campaña se adquirieron unos 800 km de perfiles sísmicos (Fig. 1), a una profundidad comprendida entre los 20 y los 65 m de profundidad. Los datos sísmicos utilizados se obtuvieron con un perfilador de sedimentos (Chirp) que trabaja con un transmisor-receptor multifrecuencia (3-11 kHz) y con una potencia de 10 kw. De forma complementaria se ha utilizado otro sistema de sísmica por reflexión continua Uniboom de alta resolución (0.3-0.4 m) y media penetración (75-100 m). A partir de los perfiles sísmicos se han medido distintos parámetros relacionados con las formas de fondo como: profundidad, desnivel, pendiente, anchura, etc. Además, se han utilizado datos batimétricos obtenidos en la misma campaña oceanográfica con una ecosonda monohaz emitiendo a una frecuencia de 35 kHz.

Todos los datos obtenidos han sido integrados en un Sistema de Información Geográfica (ArcGIS v.9.2©) que ha servido de herramienta para gestionar estos datos y realizar las cartografías temáticas que se muestran en este trabajo.

Resultados

Tipos morfológicos

Para realizar la clasificación de los tipos morfológicos (Fig. 3A), se ha seguido un criterio (Vanney, 1977; Díaz *et al.*, 1984; Medialdea *et al.*, 1990; Díaz del Río y Somoza, 1994; Llave *et al.*, 2008) genético, agrupándolos en: deposicionales, erosivos y tectónicos. Se ha descrito otro tipo morfológico biogénico de carácter mixto, resultado de la combinación de distintos procesos biológicos y geológicos. Se han identificado un total de 9 ecos acústicos diferentes (Fig. 3B) que han sido agrupados en 3 clases en función de la topografía del fondo, las formas de fondo de la superficie y las características acústicas de la secuencia sedimentaria más superficial.

Deposicionales: son formas funcionales en relación con la dinámica sedimentaria más reciente (Hernández-Molina *et al.*, 1994), aunque en algún caso pueden existir también formas relictas. Se han diferenciado 3 tipos morfológicos:

a) Prisma litoral: Se trata de un cuerpo sedimentario que se dispone paralelo a la línea de costa, en el que se pueden diferenciar una parte plana, o ligeramente inclinada, en su zona proximal, que hacia el mar cambia a otra área de mayor pendiente (Fig. 4A). El borde del prisma se extiende 4 km desde la costa y alcanza una profundidad de 35 m en el norte de la Bahía. En la zona occidental ocupa 1,3 km y se encuentra condicionado por la existencia de pequeñas calas y ensenadas mientras que en la oriental se ve limitado su desarrollo por los acantilados (Fig. 3A).

En la zona occidental este cuerpo ofrece una respuesta acústica transparente y continua, en la que no se distinguen reflectores internos (Fig. 3B). En la parte mas septentrional encontramos un eco semitransparente de reflectividad media sin reflectores internos que se diferencia del anterior en que presenta un mayor apantallamiento de la señal acústica (Tabla I). Se encuentra un tercer tipo de eco en la zona nororiental (Fig. 3B) que ofrece una respuesta acústica semitransparente de reflectividad media en la que se disponen capas de reflectores subhorizontales.

b) Relleno de plataforma: Constituye una amplia área morfológica de escaso gradiente de pendiente, situada en la parte central de la bahía, en la que el relleno sedimentario colmata las irregularidades infrayacentes (Fig. 4A). Tiene una escasa potencia sedimentaria, y su espesor disminuye hacia la plataforma externa recubriendo cualquier morfología anterior (Fig. 3A). Mantiene un aspecto acústico transparente y muy homogéneo en el relleno sedimentario constituyendo un fondo de batimetría suave, recubriendo una superficie irregular y de mayor reflectividad.

c) Dunas submarinas: Siguiendo la terminología de Ashley (1990) se han denominado como dunas

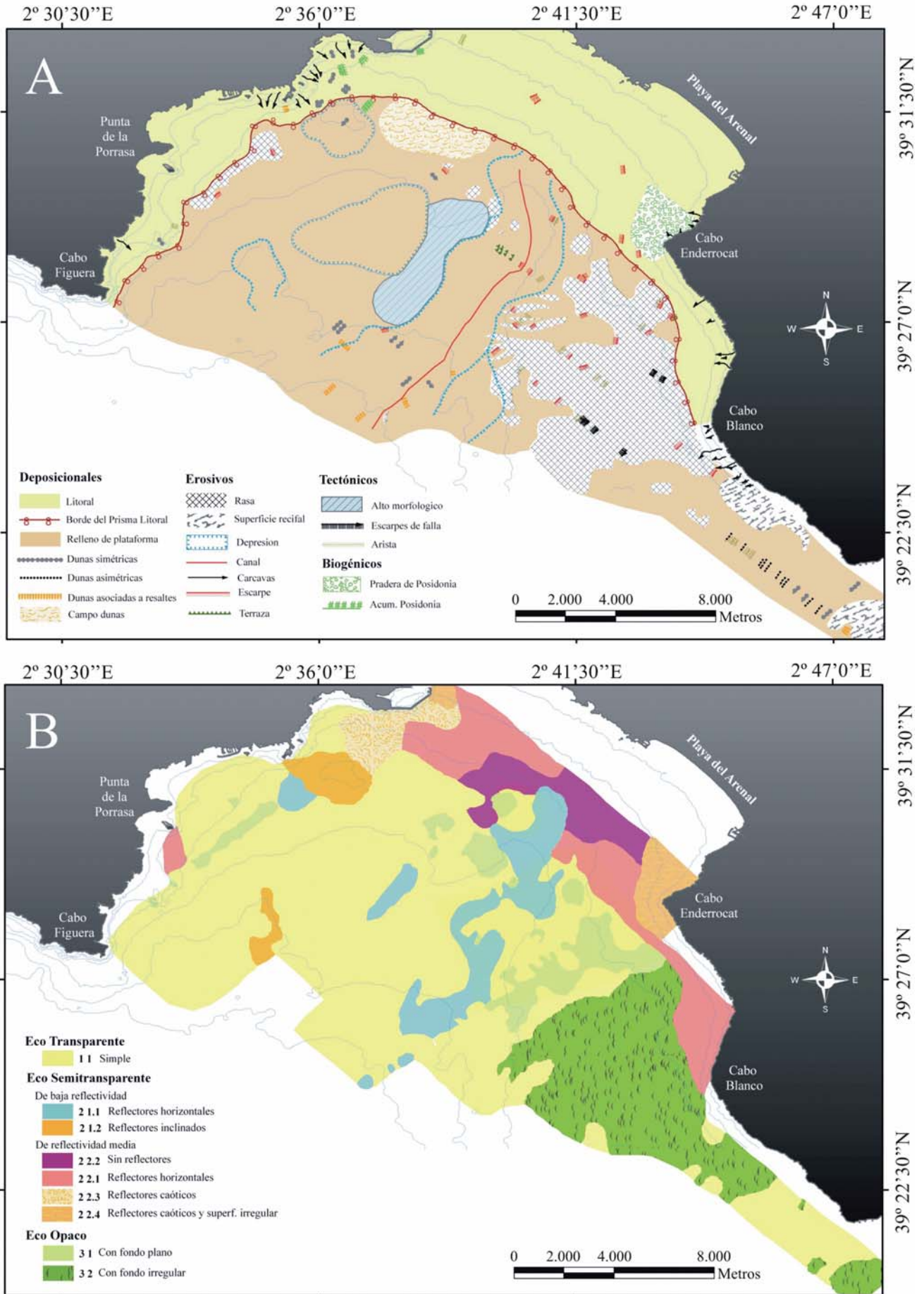


Figura 3.- A) Distribución de los tipos morfológicos en la Bahía de Palma. B) Distribución de los distintos tipos de eco-carácter en la Bahía de Palma.



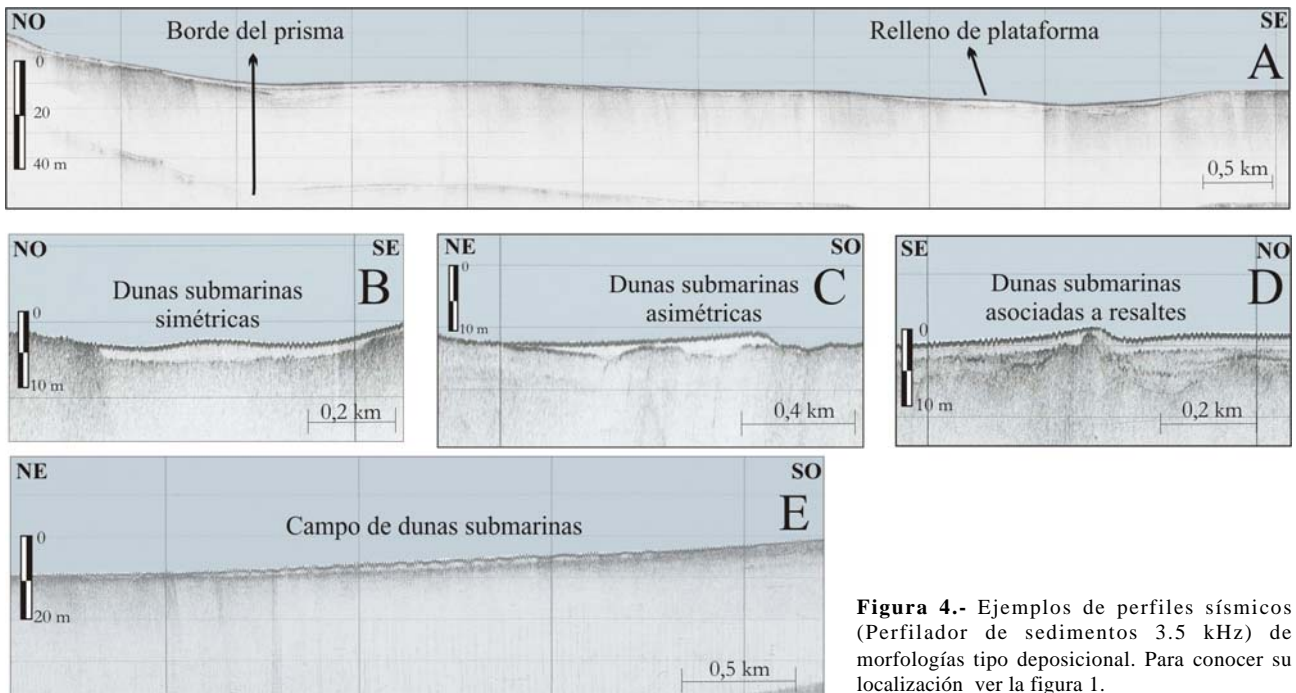


Figura 4.- Ejemplos de perfiles sísmicos (Perfilador de sedimentos 3.5 kHz) de morfologías tipo deposicional. Para conocer su localización ver la figura 1.

submarinas a los relieves lineares positivos generados por acumulación de sedimentos. Se han clasificado en 3 tipos:

- dunas submarinas de carácter simétrico (Fig. 4B), que presentan una superficie de discordancia neta con el sustrato infrayacente. Se corresponden con estructuras sedimentarias generadas bajo la influencia de los gradientes hidrodinámicos que gobiernan la zona. Por lo general, tienen unas dimensiones no muy elevadas (altura media de 1,2 m y anchura media de 150 m) y se localizan preferentemente en aquellas zonas de la bahía con mayor espesor de sedimentos (Fig. 3A).









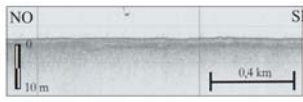
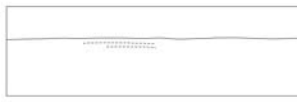


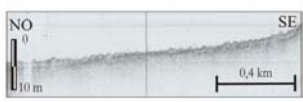



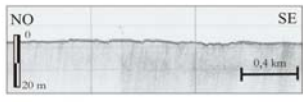

Las dunas submarinas simétricas se disponen agrupadas y/o asociadas en la zona próxima al litoral formando campos de dunas submarinas, pero sin que exista una conexión con el prisma litoral actual (Fig. 4E). Estos campos de dunas se encuentran en ambientes de plataforma interna y media para profundidades comprendidas entre 30 y 40 m. Se han caracterizado 57 dunas submarinas pertenecientes a un mismo campo, que ocupa una extensión aproximada de 5,5 km² y se encuentra localizado en un rango de profundidad muy limitado, entre 31,5 m y 36,5 m. Las dunas tienen una altura media de 0,6 m y no se han encontrado dunas de alturas superiores a 1,5 m. La longitud de onda media de estas ondulaciones alcanza un valor de 51,39 m. En los registros del Perfilador de Sedimentos (3,5 kHz.) el eco se identifica como una unidad transparente, que ofrece una respuesta acústica muy poco reflectiva, sobre un sustrato acústico de alta impedancia que no se interrumpe entre una

duna y otra (Tabla I). En superficie ofrece además ondulaciones muy amplias y abiertas.

- Dunas submarinas que poseen un perfil asimétrico y ligeramente alargado en planta (Fig. 4C). En los perfiles de sísmica de alta resolución perpendiculares a las barras, se observan apoyadas sobre una superficie basal. Se han identificado 10 dunas asimétricas, de las cuales el 90% se encuentran en un rango comprendido entre los 40 y los 50 m de profundidad. Tienen una altura media de 1,7 m, alcanzando un máximo de 3 m. Ofrecen una respuesta acústica transparente, de baja reflectividad.
- Dunas submarinas que se encuentran asociadas a resaltes morfológicos (Fig. 4D). Se encuentran normalmente como formas adosadas. Se encuentran distribuidas a profundidades mayores que las dunas submarinas simétricas. Se han localizado 9 dunas a una profundidad máxima de 64,5 m. Su altura media es de 1,66 m, llegándose a encontrar dunas asociadas a resaltes con 3 m de desnivel entre el seno y en la cresta. En los registros sísmicos del Perfilador de Sedimentos (3,5 kHz.), muestran un carácter sísmico transparente sobre un sustrato irregular de alta impedancia acústica.

Erosivos: Se caracterizan por modificar las unidades geológicas preexistentes sin evidencias de acumulación sedimentaria. Aparecen representados en los perfiles sísmicos por reflectores truncados o biselados y con marcadas irregularidades en el perfil del fondo.

a) Rasa: Son áreas subhorizontales, en las que se observa una truncación de los reflectores internos de las unidades subyacentes. Es una zona muy fracturada

Clase	Tipo	Ejemplo	Interpretación	Facies acústica	Morfología
1	1-1			Fango, arena fina	Relleno de Plataforma, dunas submarinas, depresiones batimétricas, prisma litoral, terrazas
2	2-1.1			Capas de arena media y fango	Dunas simétricas, canales
	2-1.2			Capas de arena media y fango	Dunas submarinas, depresiones batimétricas
	2-2.1			Arena media, arena gruesa	Prisma litoral, aristas, escarpes
	2-2.2			Posidonia, capas de arena-fango	Prisma litoral, escarpes
	2-2.3			Posidonia, arena	Biogénicos, escarpes, aristas
	2-2.4			Posidonia, arena	Biogénicos
3	3-1			Arena gruesa, roca	Escarpes, aristas, rasa erosiva
	3-2			Arena gruesa, roca	Escarpes de falla, escarpes, aristas, rasa erosiva

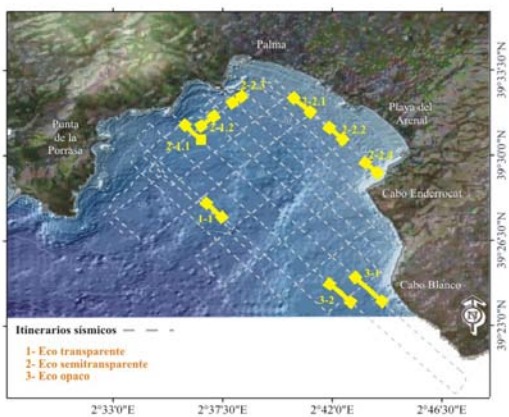


Tabla I.- Clasificación, ejemplo y características asociadas a los diferentes tipos de ecos diferenciados; y situación de los distintos ejemplos de eco-carácter en los itinerarios sísmicos donde los números se corresponden con el ecotipo clasificado en la figura 3B.

y es en esta zona de la plataforma donde se encuentra la mayor parte de los escarpes de falla y aristas (Fig. 5A). Esta morfología se distribuye espacialmente en forma de pequeños parches, aunque frente a los acantilados de Cabo Blanco, en la zona oriental, alcanza una gran extensión (Fig. 3A). La respuesta acústica en los perfiles de 3,5 kHz, es altamente reflectiva, casi opaca, y enmascara la señal sísmica. Se diferencian dos tipos de ecos opacos, uno en la zona central (Fig. 3B) con

una morfología plana en superficie. Y otro, que predomina en la zona oriental (Tabla I) frente a los acantilados de Cabo Blanco, con un fondo irregular.

Al sureste de Cabo Blanco esta respuesta acústica opaca de fondo irregular se asocia a zonas carbonatadas miocenas que se corresponden con superficies recifales fósiles (Fig. 5B). En la malla de perfiles sísmicos considerados aparece tan sólo una pequeña muestra de la plataforma arrecifal progradante (Fig. 3A) que ha

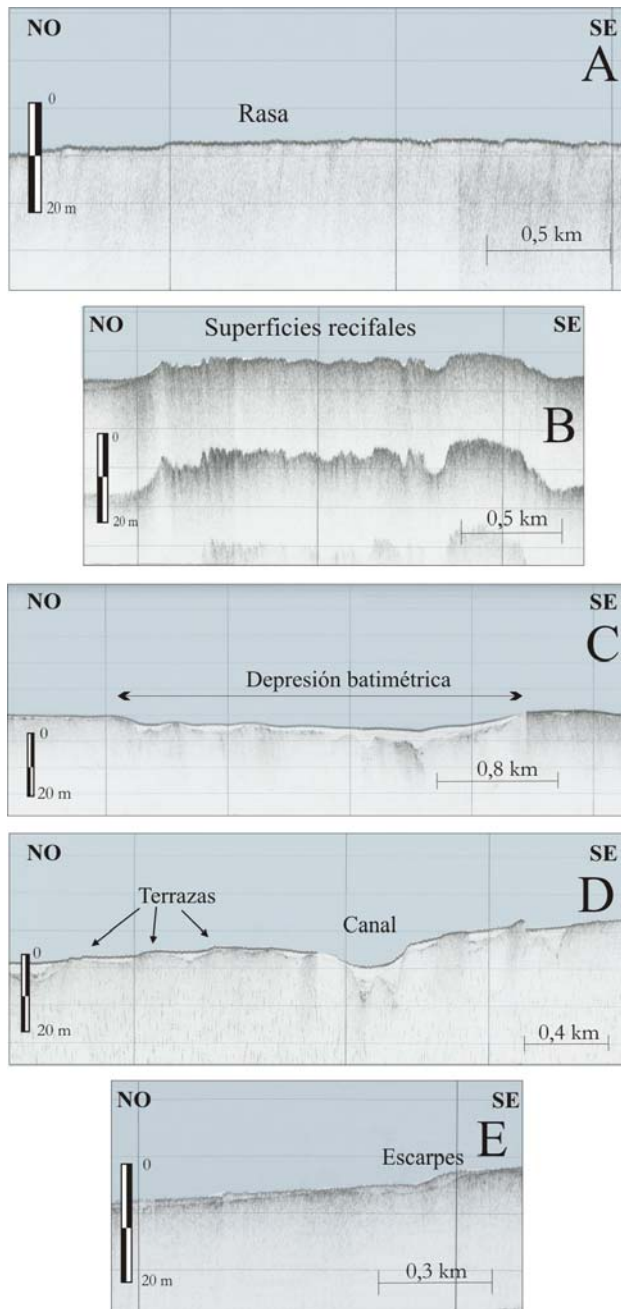


Figura 5.- Ejemplos de perfiles sísmicos (Perfilador de sedimentos 3.5 kHz) de morfologías erosivas. Para conocer su localización ver la figura 1.

sido localizada al sur de la Isla de Mallorca (Pomar *et al.*, 1983; Pomar y Ward, 1991).

b) Depresiones batimétricas: Son formas erosivas con relieve negativo, de dimensiones variables y morfología circular en planta (Fig. 5C). Son rasgos relictos que mantienen una expresión morfológica en superficie. Constituye un espacio de sedimentación para el material erosionado de relieves circundantes. Se han localizado 4 depresiones (Fig. 3A), de este a oeste se diferencian:

- Depresión 1: ocupa una extensión de 27,3 km², aunque sus límites no han podido ser cartografiados completamente ya que excede la superficie cubierta por la malla de perfiles sísmicos (Fig. 3A). Se extiende unos 10 km desde el NE hacia el SO y tiene un desnivel máximo de 11,5 m a 48 m de profundidad. En general, queda representada por un eco semitransparente de baja reflectividad con reflectores internos de gran amplitud horizontales (Tabla I), aunque se observan de forma muy tenue no permitiendo en ocasiones delimitar la base del eco. También se encuentran zonas con menor reflectividad que se corresponden con el eco transparente simple (Fig. 3B).

- Depresión 2: se sitúa en la zona central de la bahía (Fig. 3A). Abarca una extensión de 13,5 km² y presenta un desnivel máximo de 5,5 m a 43 m de profundidad. El tipo de respuesta acústica predominante es el eco transparente simple. En el eje de la depresión se encuentra una respuesta semitransparente de baja reflectividad con reflectores horizontales (Tabla I).

- Depresión 3: se encuentra en la zona noroccidental (Fig. 3A) y ocupa una extensión de 3,54 km². A 41 m de profundidad tiene un desnivel máximo de 3 m. Ofrece una respuesta acústica semitransparente de baja reflectividad con niveles de fuerte reflectividad discontinuos, paralelos e inclinados, donde la superficie del fondo es más o menos suave (Tabla I).

- Depresión 4: su extensión es de 2,82 km² aunque su límite hacia el sur no ha podido ser cartografiado (Fig. 3A) por lo que su extensión total puede ser mayor. El desnivel máximo es de 9 m y se encuentra a 56 m de profundidad. Predomina el eco transparente simple y en el eje de la depresión ofrece una respuesta semitransparente de baja reflectividad con reflectores inclinados.

c) Canales: Son relieves negativos, que se extienden longitudinalmente ocupando extensiones variables en la dirección del flujo que los genera, siendo sus anchuras también variables. En la Bahía de Palma se ha localizado, una de estas formas en la zona central de la bahía (Fig. 3A) y se encuentra tapizado por sedimentos recientes (Fig. 5D). Presenta un perfil suave, con morfología en «U» y fondo plano. Se extiende 11,5 km con una dirección media NNE-SSO y su desnivel medio es de 6,5 m, con mínimos de 1 y máximos de 11,5 m. Ofrece una respuesta acústica semitransparente de baja reflectividad en la que se pueden distinguir reflectores horizontales (Tabla I).

d) Cárcavas: Son formas de erosión excavadas sobre materiales sedimentarios que han sido fuertemente afectados por la acción intensa de las corrientes de retorno generadas por el oleaje, dando lugar a una red de barrancos encajados y separados por crestas escarpadas. Se han cartografiado en la zona litoral a partir de las curvas de nivel de los mapas batimétricos (Fig. 3A), y por tanto, no se ha podido observar su

respuesta acústica. Se concentran en la zona noroccidental y en la oriental entre Cabo Enderrocot y Cabo Blanco.

e) Escarpes: Su geometría es más irregular que en el caso de los escarpes de falla, no pudiéndose definir siempre una dirección preferente. Se localizan en la zona de plataforma a una profundidad que oscila entre los 19 y los 51,5 m. Se han descrito 57 escarpes que presentan un desnivel medio de 2 m con máximos de 10,5 m y mínimos de 0,3 m. (Fig. 5E). En general, poseen una respuesta acústica muy reflectiva. Predominan los ecos opacos tanto de fondo plano como de fondo irregular. También se encuentran escarpes en la zona mas próxima al litoral con una respuesta acústica semitransparente de reflectividad media (Fig. 3B).

f) Terrazas: Son morfologías escalonadas constituidas por superficies limitadas por pequeños escarpes (Fig. 5D). Se han identificado 4 terrazas (Fig. 3A), a una profundidad media de 42,5 m, alcanzando cotas máximas de 44 m. Tienen una altura media de 1 m, una buena continuidad lateral y se disponen paralelas a las líneas batimétricas. Se observa una respuesta acústica transparente simple y semitransparente de baja reflectividad.

Tectónicos: Las morfologías de origen tectónico corresponden a formas generadas por la actividad actual o pasada de estructuras tectónicas, fundamentalmente pliegues y fallas (Vázquez, 2001). Entre los tipos morfológicos de origen tectónico se han diferenciado:

a) Alto morfológico: Se han descrito como resaltes estructurales asociados a afloramientos del basamento acústico o a alineaciones neotectónicas que afectan al relleno sedimentario. En esta zona se localiza un extenso alto morfológico que corta la bahía desde el NE, y se extiende hacia el SO a lo largo de 5,5 km (Fig. 3A). Tiene una anchura variable que oscila entre 0,95 y 1,8 km y una suave elevación. Se caracteriza por la presencia de un afloramiento rocoso sumergido cubierto parcialmente por un depósito de sedimentos no consolidados (Fig. 6A). Ofrece una respuesta acústica transparente, que recubre una superficie de mayor reflectividad.

b) Escarpes de falla: es un relieve positivo, que presenta una fuerte pendiente hacia uno de sus lados (Fig. 6B) y están asociados a fallas. Los escarpes se localizan en la zona de rasa a una profundidad que oscila entre los 30 y los 37 m. (Fig. 3A). Muestran un desnivel medio de 1,08 m, con máximos de 1,5 m y mínimos de 0,5 m. Ofrecen una respuesta acústica opaca que en superficie ofrece un fondo muy irregular (Tabla I).

c) Aristas: Las aristas son relieves positivos con pendientes abruptas a ambos lados, situándose en las cumbres de los afloramientos rocosos (Fig. 6C). Se han identificado 17 aristas a una profundidad mínima de 28 m y máxima de 54. Se distribuyen preferentemente en

la zona oriental y se encuentran asociadas en mayor número a la rasa (Fig. 3A). En la mayor parte de los casos, el desnivel que presentan las aristas en cada una de las caras es desigual llegando a tener un valor máximo de 7,2 m. Se encuentran asociadas a fallas. En los registros sísmicos del Perfilador de Sedimentos (3,5 kHz.) asociados a facies opacas (Tabla I) aunque, en menor número, aparecen en facies semitransparentes de reflectividad media en las que se distinguen reflectores dispuestos de manera caótica.

Biogénicos: Por último se han diferenciado otras formas debidas a los procesos sedimentarios de carácter mixto, deposicionales que poseen, además, un componente biogénico que permite su diferenciación.

a) Formas debidas al asentamiento de comunidades macrofitobentónicas: Las densas poblaciones de macrófitos, actúan como trampas que atrapan el sedimento. Determinan una particular morfología que queda definida por relieves similares a las barras en forma de montículos de cierta entidad (Figs. 7B y 7C). Aunque también se encuentran en superficies aplaceradas (Fig. 7A), en forma de praderas submarinas de dimensiones variables (Fig. 3A), en función de su distinto grado de desarrollo. Han sido identificadas a partir de los perfiles sísmicos y se han comparado los resultados con un mapa fisiográfico de la Bahía de Palma (Díaz del Río *et al.*, 1993) obtenido a partir de datos de sonar de barrido lateral. Las formas de relieve más

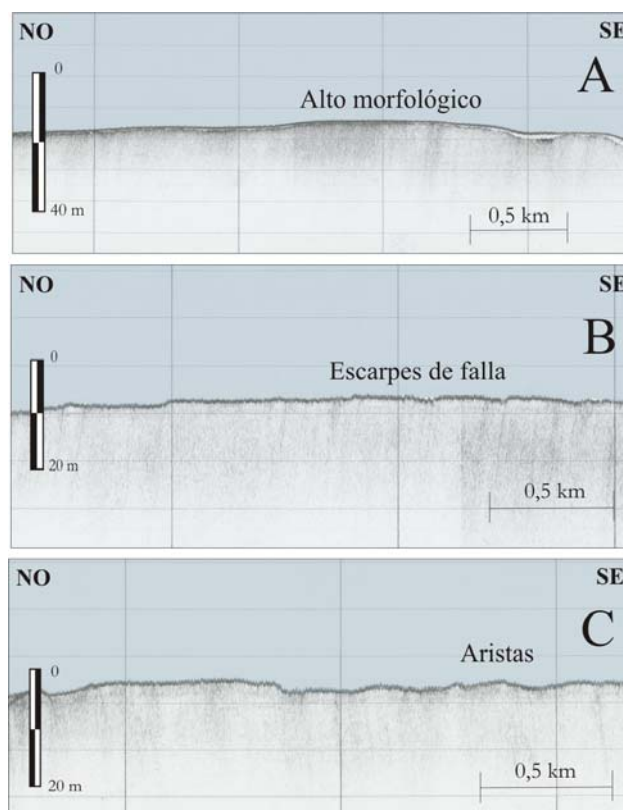


Figura 6.- Ejemplos de perfiles sísmicos (Perfilador de sedimentos 3.5 kHz) que muestra los 3 tipos de morfologías tectónicas. Para conocer su localización ver la figura 1.

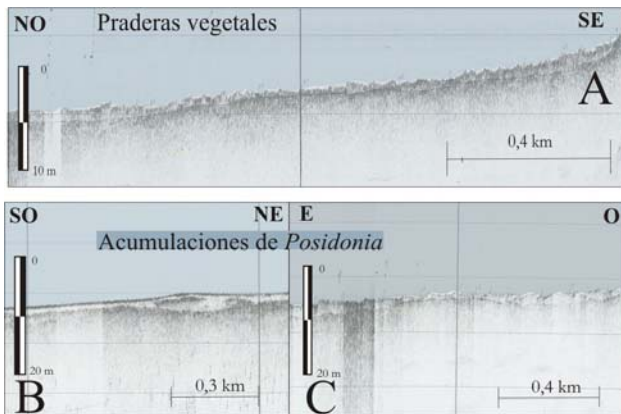


Figura 7.- Ejemplos de perfiles sísmicos (Perfilador de sedimentos 3.5 kHz) de morfologías con origen biogénico. Para conocer su localización ver la figura 1.

frecuentes corresponden a una serie de montículos que presentan una cumbre subhorizontal y se disponen de forma paralela al perfil litoral, como consecuencia de la estrecha relación existente entre el desarrollo de las especies bentónicas y el gradiente de profundidad. A partir de la batimétrica de 35 m los asentamientos, y por tanto, la morfología asociada, comienzan a ser más dispersos y de menor crecimiento. Ofrecen una respuesta acústica semitransparente de reflectividad media (Fig. 3B) en la que se distinguen reflectores internos distribuidos de manera caótica. Además pueden dar lugar en superficie a una morfología muy irregular (Tabla I).

Discusión

Relación entre el eco-carácter, la morfología y el tipo de sedimento

Teniendo en cuenta la distribución espacial de los tipos morfológicos y del eco carácter, se puede deducir la distribución de los sedimentos recientes en el área (Tabla I). Esta relación la estableció Damuth (1975) señalando que, la escasa penetración acústica de los cuerpos sedimentarios sugería la existencia de sedimentos de grano grueso mientras que, cuando esta penetración era mayor, se puede relacionar con un sedimento de grano fino.

Las morfologías clasificadas como deposicionales se corresponden, en mayor proporción, con el eco acústico transparente simple. Se encuentran, en este caso, las dunas submarinas que se generan por procesos asociados a corrientes de fondo (Ashley, 1990). Este eco también corresponde a la respuesta acústica del prisma litoral y del relleno de plataforma que se encuentra recubriendo otros tipos morfológicos erosivos como las depresiones batimétricas y terrazas, que presentan, de esta manera, una morfología suave en superficie con valores de pendiente que no sobrepasan los 1.5° (Fig. 8). El relleno sedimentario se origina por la acumulación de material fino que ha sido aportado por el drenaje continental y resuspendido por las corrientes y el oleaje, y es transportado como carga de

fondo y suspensión por las corrientes hasta los lugares donde éstas pierden su competencia (Díaz y Maldonado, 1990; Díaz del Río y Somoza, 1994). La alta penetración de las ondas sísmica que implicaría el eco transparente simple (Trabant, 1984) se relacionaría con sedimentos de grano fino según el criterio de Damuth (1975). El campo de dunas y otras formas deposicionales aisladas se ha relacionado con el eco transparente, que ofrece además una superficie ondulada. Se correspondería, por tanto, con sedimentos de grano fino, probablemente arenas finas, que si tienen una cierta consolidación pueden producir que la señal acústica no penetre demasiado en el subsuelo.

Las morfologías erosivas como las depresiones batimétricas, los canales y terrazas se relacionan principalmente con el eco semitransparente de baja reflectividad. El eco con reflectores horizontales, predomina en la depresión central de la Bahía y el eco con reflectores inclinados ocupa las depresiones de la parte occidental. En los ecos de tipo semitransparente, la señal acústica tiene una menor penetración que en el caso anterior y se correspondería a un aumento en la proporción de arenas en los sedimentos (Damuth, 1975). En el relleno sedimentario de estos tipos morfológicos, se observan distintas capas que se corresponden con diferentes episodios de subida y estabilización del nivel del mar o con épocas de aporte sedimentario diferencial (tormentas, etc.).

Los tipos morfológicos erosivos y tectónicos corresponden en mayor proporción con fondos con una respuesta acústica opaca. Así, en zonas con respuesta acústica de alta reflectividad predominan la presencia de una amplia rasa erosiva, con suaves formas elevadas o deprimidas en el caso del subtipo de fondo plano, y con escarpes erosivos, escarpes de fallas y aristas más marcadas en el subtipo de fondo irregular. La rasa se originó durante el último ascenso eustático, tal como ha sido descrito en otras zonas (Swift *et al.*, 1991; Hernández-Molina *et al.*, 1994), por la erosión de los materiales situados por encima del perfil de equilibrio. Limitando hacia el noroeste esta rasa se encuentra un escarpe de falla, que probablemente está relacionado con la falla de Enderrocat, que tiene la misma orientación (NE-SO) (Fig. 2 y Fig. 3A). Esta falla ha controlado el área de sedimentación de las unidades morfo-sedimentarias cuaternarias, en este sentido delimita hacia el NO una zona subsidente en la parte central de la bahía, de un umbral neto, elevado y abrupto hacia el SE sobre el que se sitúa la rasa erosiva (Díaz del Río y Rey, 1987; Díaz del Río *et al.*, 1993). Tanto la superficie de la zona subsidente como la de la rasa muestran valores similares de pendiente, entre 0° a 0,5° (Fig. 8). Aplicando el criterio de Damuth (1975), la alta reflectividad del eco opaco de fondo plano y el de fondo irregular, puede deberse tanto a las irregularidades que conforman su superficie como a la existencia de materiales de granulometría gruesa, arenas y gravas, o incluso afloramientos de roca, que impiden la buena penetración de los equipos sísmicos

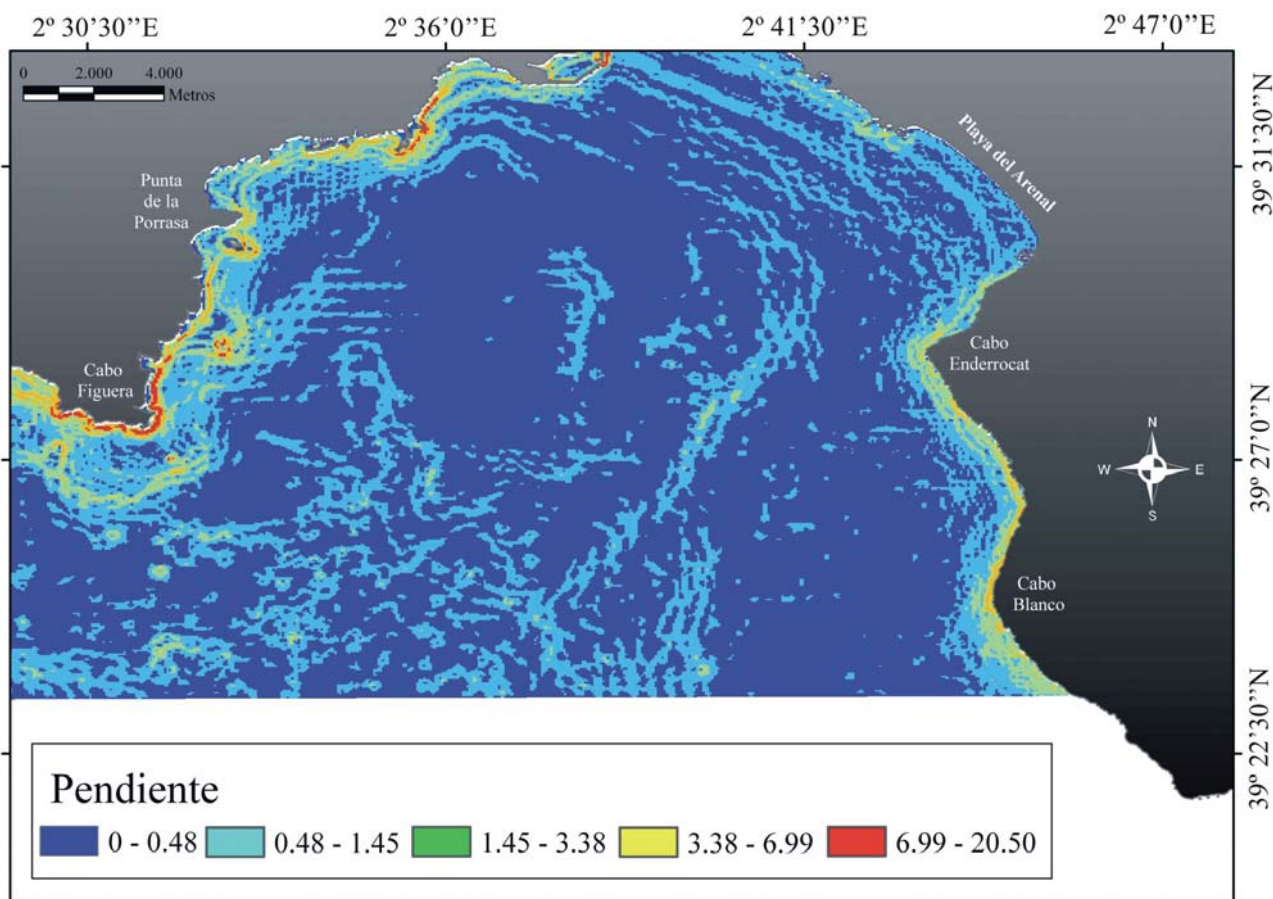


Figura 8.- Mapa de pendientes. Los intervalos representan los valores de pendiente en grados.

de alta resolución. Las superficies recifales presentan una respuesta acústica opaca debido a la escasa penetración de las ondas por la presencia de los carbonatos que las conforman.

Los tipos morfológicos clasificados con una génesis biogénica se desarrollan principalmente con una respuesta acústica semitransparente con reflectividad media, y se ha asociado con sedimentos arenosos (De Falco *et al.*, 2000). Las fanerógamas marinas, fundamentalmente *Posidonia oceanica*, provocan un apantallamiento de la señal acústica que se traduce en una menor penetración de las ondas sísmicas en el sedimento y un aumento en la opacidad del eco. El grado de semitransparencia es característico de la presencia de estas praderas vegetales (Donda *et al.*, 2008) que, al actuar como trampas de sedimento, retienen fundamentalmente la fracciones gruesas de arena (De Falco, 2000) y sedimentos finos (<63µm) por medio de sus hojas (Gracia Granata y Duarte, 1999). En función del grado de desarrollo o de degradación que presenten estas praderas, el grado de apantallamiento es desigual y se pueden diferenciar tres zonas a partir de este fenómeno. Una primera, que se corresponde con el eco semitransparente de reflectividad media sin reflectores en la que las praderas, presumiblemente, se encuentran en buen estado de desarrollo impidiendo que las ondas sísmicas penetren en el sustrato y sean

reflejadas. Se relaciona con sedimentos compuestos por arenas medias que ofrecen una mayor compactación y, por tanto, escasa penetración en el subfondo marino. En segundo lugar, el área que ocupa el eco semitransparente de reflectividad media con reflectores horizontales, en el que estas praderas pueden estar enterradas por un cierto espesor de sedimento, o bien, se encuentran distribuidas formando parches, lo que permite que las ondas sísmicas penetren en el sedimento y se registren los reflectores. Se asocia a capas de sedimentos de grano fino. Por último, una tercera zona que se corresponde con los ecotipos semitransparentes de reflectividad media con reflectores caóticos en la que las praderas han sufrido ciclos de crecimiento y enterramiento por sedimento, quedando el conjunto en forma de una amalgama de materia orgánica y sedimentos que ofrece esta respuesta acústica característica. El ecotipo de reflectividad media con reflectores caóticos y el que presenta reflectores caóticos con superficie irregular se relacionarían con sedimentos de grano fino mezclados con restos de materia orgánica. En algunos casos se observa un aumento en el grado de apantallamiento de la señal acústica, que es típico de zonas con acumulaciones de gas en el sedimento producido por la descomposición de los restos vegetales en el interior de las unidades sedimentarias.



Distribución espacial de los procesos sedimentarios y tectónicos

La respuesta acústica está relacionada con la naturaleza, tipo y distribución de los sedimentos y los procesos sedimentarios que los forman (Bouyé, 1983). Combinando la información obtenida del eco-carácter con datos morfológicos adicionales es posible definir los tipos y la influencia regional de los distintos procesos sedimentarios (Fig. 9) que han modelado una determinada región del fondo del mar (Damuth, 1980). Además, la plataforma continental y las zonas litorales son los dominios fisiográficos más afectados por la acción de oleaje y las corrientes, y por los cambios del nivel del mar, debido a su menor profundidad. De esta manera, su configuración queda condicionada por estos procesos que quedan reflejados también en los tipos morfológicos y de eco-carácter.

En la zona infralitoral dominan principalmente los procesos deposicionales asociados a los aportes terrígenos y a la dinámica sedimentaria propia de la Bahía. En este sentido, se desarrolla el prisma litoral, que se relaciona con el cortejo sedimentario de alto nivel del mar del Holoceno (Fernández-Salas, 2008). La respuesta acústica de reflectividad media en este sector, se asocia a procesos deposicionales de media y alta energía favorecidos por la presencia de altas densidades de fanerógamas marinas en las zonas más someras. La acumulación de materia orgánica generada por la propia actividad de la pradera y por la acumulación de restos foliares y rizomáticos producidos por las fuertes tormentas, facilitan la formación de depósitos de gas en el sedimento. El gas así acumulado queda interestratificado y puede identificarse por los apantallamientos acústicos que enmascaran o distorsionan los reflectores de la serie sísmica. También existen procesos erosivos en esta zona infralitoral, producidos por las corrientes de retorno del oleaje, que genera las cárcavas en aquellas zonas de mayor pendiente (Fig. 3A y 8).

En la plataforma continental, por debajo del límite distal del prisma, se forman los campos de dunas. Este tipo morfológico se produce por procesos sedimentarios de carácter deposicional, como consecuencia de las corrientes litorales que transportan y depositan sedimentos de tamaño normalmente arenoso. Se desarrollan en zonas donde existe una dinámica de corrientes lo suficientemente energética para transportar el sedimento dando lugar a las ondas. También se encuentran dunas aisladas que se interpretan como productos generados en ambientes de elevada energía de depósito, originados por la dinámica de las corrientes. El sector más oriental está afectado por una hidrodinámica mayor que hace que los ecos sean de mayor reflectividad, que en la zona occidental donde predominan los ecos transparentes. Así, a medida que el flujo principal disminuye su intensidad, los sedimentos transportados son cada vez más finos.

Las características de la zona central son propias de

zonas donde domina un régimen irregular de aportes, en los que se pasa de episodios de baja energía a episodios de mayor energía. Ofrece un eco de reflectividad media relacionado con procesos mixtos. Está formado por procesos deposicionales con sedimentación diferencial, originados durante la colmatación de la cuenca, encontrándose los depósitos de relleno y procesos erosivos por corrientes que se desarrollan actualmente en el canal principal (Fig. 3A). Aunque la existencia del canal central puede estar relacionada con la confluencia de los cauces fluviales cuando la plataforma estaba emergida en épocas glaciales. En la Bahía los aportes de sedimento desde tierra son escasos debido a la ausencia de ríos caudalosos con transporte de carga. Si bien es posible que durante los temporales se produzca la descarga de material terrígeno al mar (Romera *et al.*, 2008) que posteriormente será transportado y redistribuido por las corrientes marinas, generando el relleno de plataforma mediante procesos deposicionales de baja energía en la plataforma.

En la zona oriental se dan procesos erosivos originados durante intervalos de bajo nivel del mar y transgresivos, produciéndose en estas épocas, su exposición subaérea que dan lugar a la aparición de la rasa, escarpes y terrazas. La profundidad a la que se encuentra la rasa se correlaciona con épocas transgresivas de entre 9000 y 7000 años BP (Hernández-Molina, 1993), antes de alcanzar el máximo eustático. Las terrazas también pueden marcar diferentes estabilizaciones del nivel del mar en la etapa transgresiva. La formación de depósitos durante esta etapa se asocia al desarrollo de terrazas submarinas (Lobo, 1995). La respuesta acústica opaca está relacionada con sedimentos de granulometría grosera o bien por depósitos muy compactados que pueden deberse también a los afloramientos de rocas, gravas o con áreas de no sedimentación. Que la rasa no tenga sedimentación o está sea escasa, se debe a que en estas zonas los flujos son más intensos en esas zonas.

La influencia de la actividad tectónica ha sido mayor en la zona oriental de la bahía y está asociada a las zonas con eco opaco de fondo irregular. En este sector se observan afloramientos de materiales litificados que se interpretan como el basamento acústico en las secciones sísmicas obtenidas con el perfilador de sedimentos (3,5 kHz.).

En la zona central de la bahía, también se ha determinado la presencia de altos morfológicos y escarpes de falla relacionados con la actividad tectónica reciente, así como terrazas submarinas basculadas. Se han denominado procesos mixtos ya que la respuesta acústica y sus características morfológicas se pueden interpretar como el resultado de la combinación de procesos erosivos y tectónicos.

Por lo tanto, se han diferenciado varios sectores en la Bahía de Palma en función de los procesos sedimentarios dominantes (Fig. 9). En la zona

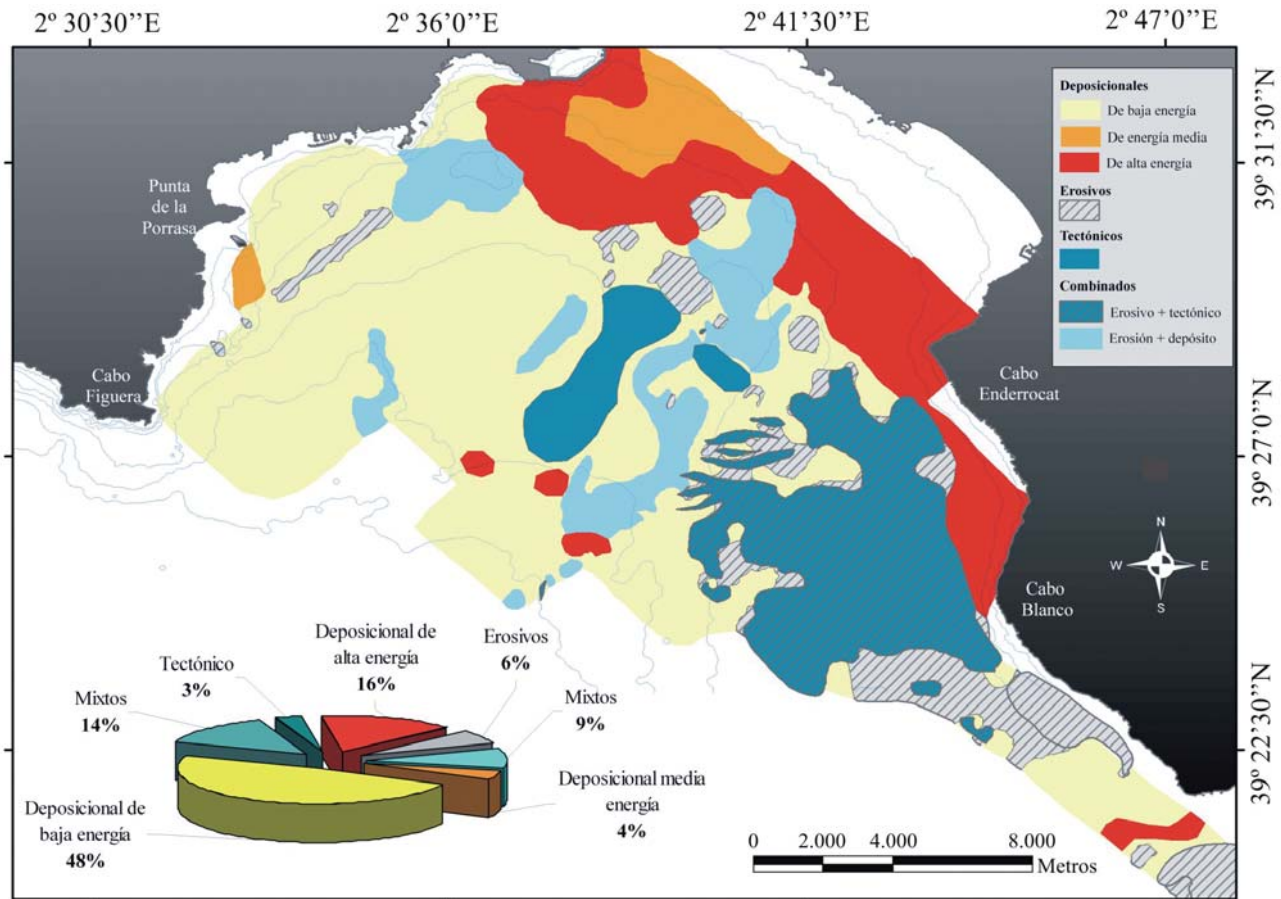


Figura 9.- Mapa de distribución de los diferentes tipos de procesos sedimentarios recientes en la Bahía de Palma. El diagrama representa el porcentaje que representa cada uno de los procesos sedimentarios en la Bahía.

nororiental predominan los procesos deposicionales de media y alta energía, relacionados con la presencia de las praderas de fanerógamas que retienen el sedimento y actúan como trampas, favoreciendo la acumulación de arenas y materia orgánica. En la zona suroriental prevalecen los procesos erosivos y tectónicos (procesos mixtos), con presencia de relieves heredados debido a una escasa sedimentación. En la zona occidental dominan los procesos deposicionales de baja energía, que han tenido como resultado una sedimentación homogénea y un depósito de geometría agradable, aunque localmente se han observado algunas zonas erosivas. Finalmente, en la zona central predominan los procesos erosivos, los deposicionales de baja energía y los procesos mixtos. Se han observado campos de ondas de arena que se forman por procesos deposicionales de alta energía, asociados a corrientes desarrolladas en relación con la acción de la dinámica litoral.

Esta zonación de los procesos que tiene en cuenta la energía relativa del ambiente sedimentario puede correlacionarse, en parte, con la dinámica de las masas de agua en el interior de la bahía. Así, el predominio de sistemas ciclónicos en la bahía (Gazeau *et al.*, 2005) puede producir que la energía de estos sistemas sea mayor en su sector oriental, por dónde circularían con más energía las masas de agua, y disminuiría en la parte central de la bahía, dónde se concentraría el núcleo de la circulación ciclónica. Se incrementaría de nuevo, en

la parte occidental, aunque no en la misma medida que en la parte oriental, dónde las masas de agua en su salida por el oeste podrían interaccionar de nuevo con el fondo marino en las zonas de plataforma interna (Fig. 9).

Los procesos deposicionales son los predominantes en la zona (Fig. 9) donde prevalecen los procesos de baja energía que se encuentran en un 48% del área estudiada, seguido de los de alta energía (16%) que tienen mayor importancia en las zonas más someras, mientras que los de energía media abarcan un 4%. Los procesos erosivos ocupan un 6% del área total y los procesos tectónicos que favorecen el afloramiento de rocas un 3%. Además, los procesos mixtos tienen lugar en un 23%.

Conclusiones

La configuración actual de la Bahía de Palma y su evolución morfodinámica está íntimamente ligada a tres fenómenos principales: (1) los cambios ambientales (glacio-eustáticos) durante el Holoceno, (2) la tectónica neógeno-cuaternaria que ha sufrido la isla, y (3) las características energéticas del ambiente sedimentario.

Los procesos sedimentarios deposicionales son los predominantes en la zona. Adquieren mayor importancia en la parte nororiental, donde se localizan

los procesos deposicionales relacionados con la presencia de las praderas posidonícolas, que retienen el sedimento actuando como trampas. La importancia de los procesos deposicionales de alta energía también se pone de manifiesto por la existencia de formas de fondo aisladas y campos de ondas sedimentarias. Del mismo modo, la zona se caracteriza por una sedimentación homogénea que permite el desarrollo de las extensas praderas vegetales que ocupan gran parte de los fondos someros.

Los procesos erosivos que han actuado en la zona se localizan en la zona meridional, donde producen la formación de una extensa rasa, así como de abruptos escarpes y aristas de relieves heredados. Estos procesos también quedan representados en la zona central de la bahía por la existencia de terrazas y escarpes. Se reconocen otros rasgos morfológicos erosivos que tuvieron lugar en etapas anteriores de mínimo eustático, y que dieron lugar a las depresiones sobre las que actualmente se reconocen ambientes sedimentarios con acumulaciones de depósito considerables.

Los procesos tectónicos han actuado principalmente en la zona suroriental y central. En este sector se ha determinado la presencia de altos morfológicos, escarpes de falla y terrazas submarinas que llegan a presentar una geometría basculada. Estos relieves podrían estar relacionados con la actividad tectónica reciente de la falla de Enderrocat, a tenor de la continuidad que poseen dichas estructuras con la propia dirección y ubicación de la falla.

Referencias

- Álvaro, M. (1987): La tectónica de cabalgamientos de la Sierra Norte de Mallorca (Islas Baleares). *Bol. Geol. y Min.*, 98: 34-41.
- Ashley, G. M. (1990): Classification of large-scale subaqueous bedforms: a new look at an old problem. *Journal of Sedimentary Petrology*, 60 (1), 160-172.
- Benedicto, A., Ramos, E., Casas, A., Sábat, F., Barón, A. (1993): Evolución tectosedimentaria de la cubeta neógena de Inca (Mallorca). *Rev. Soc. Geol. España*, 6: 167-176.
- Blondel, Ph. (2003): Seabed classification at ocean margins. In: Wefer, G., Billet, D., Hebbeln, D., Jørgense, B.B., Schlüter, M., Weering, V. (Eds.), *Ocean Margin System*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 125-141.
- Bouyé, C. (1983): *Etude des corrélations entre la réponse la réponse sismique haute résolution de quelques types de dépôts meubles et leurs caractéristiques sédimentologiques*. Tesis Doctoral, Université de Persignan, 163 pp.
- Chough, S.K., Kim, J.W., Lee, S.H., Shinn, Y.J., Jin, J.H., Suh, M.C., Lee, J.S. (2002): High-resolution acoustic characteristics of epicontinental sea deposits, central-eastern Yellow Sea. *Marine geology*, 188: 317-331.
- Damuth, J.E. (1975): Echo character of the western equatorial Atlantic floor and its relationship to the dispersal and distribution of terrigenous sediments. *Marine Geology*, 18: 17-45.
- Damuth, J.E. (1980): Use of high-frequency (3,5-12 kHz) echograms in the study of near-bottom sedimentation processes in the deep-sea: a review. *Marine Geology*, 38: 51-75.
- De Buen, R. (1916): Estudio batilitológico de la Bahía de Palma de Mallorca. *Mem. Inst. Esp. Oceanog.*, I (IV): 1-132.
- De Falco, G., Ferrari, S., Cancemi, G., Baroli, M. (2000): Relationship between sediment distribution and *Posidonia* seagrass. *Geo-Marine Letters*, 20: 50-57.
- Díaz, J.I., Alonso, B., Farrán, M., Giró, S., Maldonado, A. y Vázquez, A. (1984): Tipos morfológicos en las plataformas continentales de los márgenes pasivos del Mediterráneo español. *I Congreso Español de Geología*. Tomo I, 313-325.
- Díaz, J.I. and Maldonado, A. (1990): Transgressive sand bodies on the Maresme continental shelf, western Mediterranean sea. *Marine Geology*, 91: 53-72.
- Díaz del Río, V. y Rey, J. (1987): La tectónica reciente en la bahía de Palma (Baleares) y sus implicaciones morfoestructurales. *Boletín Geológico y Minero*. 98: 342-348.
- Díaz del Río, V. y Somoza, L. (1994): Geomorfología de los fondos marinos españoles. En: M.C. Gutierrez (Editor), *Geomorfología de España*. Ed. Rueda, Madrid, 471-493.
- Díaz del Río, V., Somoza, L., Goy, J. L., Zazo, C., Rey, J. Hernández Molina, F. J. y Mateu, G. (1993): Mapa Fisiográfico de la Bahía de Palma y memoria explicativa. *Instituto Español de Oceanografía, Publ. Esp.*, nº 16, 39 pp.
- Donda, F., Gordini, E., Rebesco, M., Pascucci, V., Fontolan, G., Lazzari, P., Mosetti, R. (2008): Shallow water sea-floor morphologies around Asinara Island (NW Sardinia, Italy). *Continental Shelf Research*, 28: 2550-2564.
- Fernández-Salas, L.M. (2008). *Los depósitos del Holoceno Superior en la plataforma continental del Sur de la Península Ibérica: Caracterización morfológica y estratigráfica*. Tesis Doctoral. Universidad de Cádiz. 217 pp.
- Gracia, E., Granata, T. C., & Duarte, C.M. (1999). An approach to measurement of particle flux and sediment retention within seagrass (*Posidonia oceanica*) meadows. *Aquatic Botany* 65(1-4), 255-268.
- García-García, A., García-Gil, S., Vilas, F., 2004. Echo characters and recent sedimentary processes as indicated by high-resolution subbottom profiling in Ría de Vigo (NW Spain). *Geo-Mar. Lett.* 24 (1), 32-45.
- Gazeau, F., Duarte, C.M., Gattuso, J.P., Barrón, C., Navarro, N., Ruiz, S., Prairie, Y.T., Calleja, M., Delille, B., Frankignoulle, M. and Borges, A.V. (2005): Whole-system metabolism and CO₂ fluxes in a Mediterranean Bay dominated by seagrass beds (Palma Bay, NW Mediterranean). *Biogeosciences*, 2: 43-60.
- Gelabert, B. y Sábat, F. (2004): Mallorca y Cabrera: Unidades geológicas y estructura. En: Geología de España (J.A: Vera, Ed.), *SGE-IGME*, Madrid, 450-452.
- González-Hernández, F.M., Goy, J.L., Zazo, C., Silva, P.G. (2001): Tectónica Cuaternaria en la cuenca de Palma (Isla de Mallorca): Análisis geomorfológico y geotectónico de la falla de Enderrocat. *V REQUI/I CQPLI*, 41-44.
- Goy, J.L., Zazo, C. y Cuerda, J. (1997): Evolución de las áreas margino-litorales de la costa de Mallorca (I. Baleares) durante el Último y Presente Interglacial: nivel del mar holoceno y clima. *Boletín Geológico y Minero*, Vol. 108-4 y 5, pp. 455-463.
- Hernández-Molina, F.J., Gracia, F.J., Somoza, L. y Rey, J. (1994): Geomorfología submarina de la plataforma y talud continental del margen noroccidental del Mar de Alborán. En: J.M., Arnáez, J.M., García-Ruiz y A. Gómez-Villar (Editores), *Geomorfología en España*. *Sociedad Española de Geomorfología*, 391-404.
- Hernández-Molina, F.J., Llave, E., Ercilla, G., Maestro, A.,

- Medialdea, T., Ferrin, A., Somoza, L., Gracia, E., Masson, D.G., García, M., Vizcaino, A y León, R. 2008. Recent sedimentary processes in the Prestige site area (Galicia Bank, NW Iberian Margin) evidenced by high-resolution marine geophysical methods. *Marine Geology* 249, 21-45.
- Hernández-Molina, F.J. (1993): *Dinámica sedimentaria y evolución durante el Pleistoceno Terminal-Holoceno del margen noroccidental del Mar de Alborán. Modelo de estratigrafía secuencial de muy alta resolución en plataformas continentales*. Tesis Doctoral, Universidad de Granada, 617 pp.
- Llave, E., García, M., Pérez, C., Sayago, M., Farrán, M., Ercilla, G., Somoza, L., León, R., Maestro, A., Medialdea, T., Hernández-Molina, F.J., Alvarez, R., Durán, R., Mohamed, K. 2008. Morphological feature analyses of the Prestige half-graben on the SW Galicia Bank. *Marine Geology*, 249, 7-20.
- Lobo, F.J. (1995). *Estructuración y evolución morfosedimentaria de un sector del margen continental septentrional del Golfo de Cádiz durante el Cuaternario Terminal*. Tesis de Licenciatura, Universidad de Cádiz, 200 pp.
- Medialdea, J., Catafau, E., Díaz, J.I., Medialdea, T., San Gil, C., Vázquez, J.T. & Wandossell, J. (1990): Mapa Geológico de la plataforma Continental Española y Zonas Adyacentes. Escala 1:200.000 Memoria y Hojas nº 79 y 79E. (Murcia). *ITGE, Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria y Energía*, Madrid 147 pp.
- Micheli, C., Paganin, P., Peirano, A., Caye, G., Meinesz, A. y Bianchi, C.N. (2005): Genetic variability of *Posidonia oceanica* (L.) Delile in relation to local factors and biogeographic patterns. *Aquatic Botany*. 82: 210-221.
- Pomar, L., Esteban, M., Calvet, F. y Barón, A. (1983): La unidad arrecifal del Mioceno Superior de Mallorca. En: El terciario de las Baleares. *Guía de las excursiones del X Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca*, 26-30 de septiembre, 39-175.
- Pomar, L. y Ward, W.C. (1991): Características de las secuencias deposicionales de alta frecuencia en el sistema arrecifal del Mioceno superior de Mallorca. *Acta Geológica Hispánica*, 26,(3-4):181-194.
- Pratson, L.F. and Laine, E.P. (1989): The relative importance of gravity-induced versus current-controlled sedimentation during the Quaternary along the Mideast U.S. outer continental margin revealed by 3,5 kHz echo character. *Marine Geology*. 89: 87-126.
- Ramis, C., Jansá, A. and Alonso, S. (1990): Sea Breeze in Mallorca. A numerical study. *Meteor. Atm.* 42: 249-258.
- Rey, J. y Díaz del Río, V. (1985): Resultados preliminares de la campaña de Geología Marina «BAPAL-84» (Bahía de Palma, Baleares). *Inf. Téc. Inst. Esp. Oceanogr.*, 30, 77 pp.
- Romera, J., Estrany, J. y García, C. (2008): Transporte y producción de sedimento en suspensión durante eventos de elevada magnitud y baja frecuencia en el torrent Gros (Mallorca). Libro: En: J. Benavente y F. J. Gracia (Editores.): *Trabajos de Geomorfología en España, 2006-2008*, 187-190.
- Silva, P.G., González-Hernández, F.M., Goy, J.L., Zazo, C. (1998): Origen y desmantelamiento del Antiforme Plio-Cuaternario de Marratxí (Mallorca, España). *Geogaceta*, 23, 143-146.
- Swift, D.P.J., Oertel, G.F., Tillman, R.W. & Thorne, J.A. (eds.). (1991): Shelf Sand and Sandstone Bodies: Geometry, Facies and Sequences Stratigraphy. *Spec. Pubis Int. Ass. Sediment. IAS*, nº 14. 532 pp.
- Trabant, P.K. (1984): Applied High-Resolution Geophysical Methods. Offshore Geoengineering Hazard. *International Human Resources Development Corporation*, Boston, 265 pp.
- Vanney, J.R. (1977): Géomorphologie des plates-formes continentales. *DOIN* Editeurs, París, 300 pp.
- Vázquez, J.T. (2001): *Estructura del Margen Septentrional del Mar de Alborán*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 347 pp.

Manuscrito recibido el 29 de octubre de 2009
Aceptado el manuscrito revisado el 7 de enero de 2010

