

Caracterización ambiental de montes submarinos del Mar de Alborán a partir del estudio de los sedimentos y las asociaciones de foraminíferos bentónicos

Environmental characterization of seamounts in the Alboran Sea using an approach based on sediments and benthic foraminiferal assemblages

Miguel García-Muñoz¹, Nieves López-González², José L. Rueda², Desirée Palomino², Juan-Tomás Vázquez², Víctor Díaz-del-Río² y M. Carmen Fernández-Puga¹

¹ Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Universidad de Cádiz, Avda. República Saharaui s/n, 11510 Puerto Real, Cádiz, España. miguel.gar.mu@gmail.com, mcarmen.fernandez@uca.es

² Instituto Español de Oceanografía, Centro Oceanográfico de Málaga, Puerto Pesquero s/n, 29640 Fuengirola, Málaga, España. nieves.lopez@ma.ieo.es, jose.rueda@ma.ieo.es, desiree.palomino@ma.ieo.es, juantomas.vazquez@ma.ieo.es, diazdelrio@ma.ieo.es

ABSTRACT

Studies on seamounts from the Djibouti Banks (Alboran Sea) are very scarce. The special interest of these seamounts is their location between Atlantic and Mediterranean water masses and the peculiar hydrodynamic, physicochemical and sedimentological characteristics. The granulometric and geochemical analyses as well as the benthic foraminiferal assemblages of sediments from Herradura and Avempace seamounts (collected during the project DEEPER-IEO) have allowed characterizing the environment of these seamounts summits. In general, both seamounts show similar environmental conditions of low hydrodynamism and muddy to clayey sand sediments with large proportion of biogenic and, probably, fine-sized particles from coastal areas and Saharan dust. Benthic foraminiferal assemblages are also very similar in both seamounts and dominated by species of families Uvigerinidae, Cibicidae and Textulariidae. The interdisciplinary approach of this study is reliable for effective analysis of habitats with threatened species of high ecological and economical value.

Key-words: Benthic foraminifera, sediments, geochemistry, Djibouti Banks

Geogaceta, 52 (2012), 165-168.
ISSN 2173-6545

Introducción

El Mar de Alborán, situado en la zona más occidental del Mar Mediterráneo, posee unas condiciones oceanográficas y sedimentológicas muy singulares debido a la mezcla de masas de agua procedentes del Océano Atlántico y el Mar Mediterráneo. En él se encuentran un conjunto de montes submarinos conocidos como los Bancos de Djibouti, los cuales albergan interesantes hábitats y comunidades que son suscepti-

bles de ser alteradas debido a las frágiles condiciones ambientales de estos montes y a los impactos de la pesca de arrastre (Gil et al., 2010). La información sobre la sedimentología y las comunidades biológicas de estos montes es muy escasa, por lo que este trabajo pretende realizar una aproximación preliminar de las posibles relaciones entre las características sedimentológicas y geoquímicas con las asociaciones de foraminíferos bentónicos, que nos permitan inferir las condiciones ambientales en la cima de

RESUMEN

Los estudios sobre los montes submarinos de los Bancos Djibouti (Mar de Alborán) son muy escasos. El interés especial de estos montes es su ubicación entre las masas de agua atlántica y mediterránea, su peculiar hidrodinámica y características físico-químicas y sedimentológicas. Los análisis granulométricos y geoquímicos así como las asociaciones de foraminíferos bentónicos en los sedimentos de los montes submarinos Herradura y Avempace (recogidos durante el proyecto DEEPER-IEO), han permitido caracterizar sus cumbres. En general, presentan condiciones ambientales similares de bajo hidrodinamismo y sedimentos de tipo fango a arena arcillosa, con gran proporción de partículas biogénicas y, probablemente, y finos procedentes de áreas costeras y polvo sahariano. Las asociaciones de foraminíferos bentónicos son también muy similares, dominando las especies de las familias Uvigerinidae, Cibicidae y Textulariidae. El enfoque interdisciplinar de este estudio es aconsejable para el análisis eficaz de los hábitats con especies amenazadas de alto valor ecológico y económico.

Palabras clave: Foraminíferos bentónicos, sedimentos, geoquímica, Bancos de Djibouti.

Fecha de recepción: 10 de febrero de 2011

Fecha de revisión: 26 de abril de 2012

Fecha de aceptación: 25 de mayo de 2012

los montes submarinos Avempace y Herradura, teniendo en cuenta su proximidad geográfica.

Área de estudio

La zona de estudio se centra en los montes submarinos Avempace y Herradura (Fig. 1), localizados en el sector central del margen continental ibérico del Mar de Alborán, que se agrupan en el conjunto conocido como los Bancos de Djibouti (Váz-

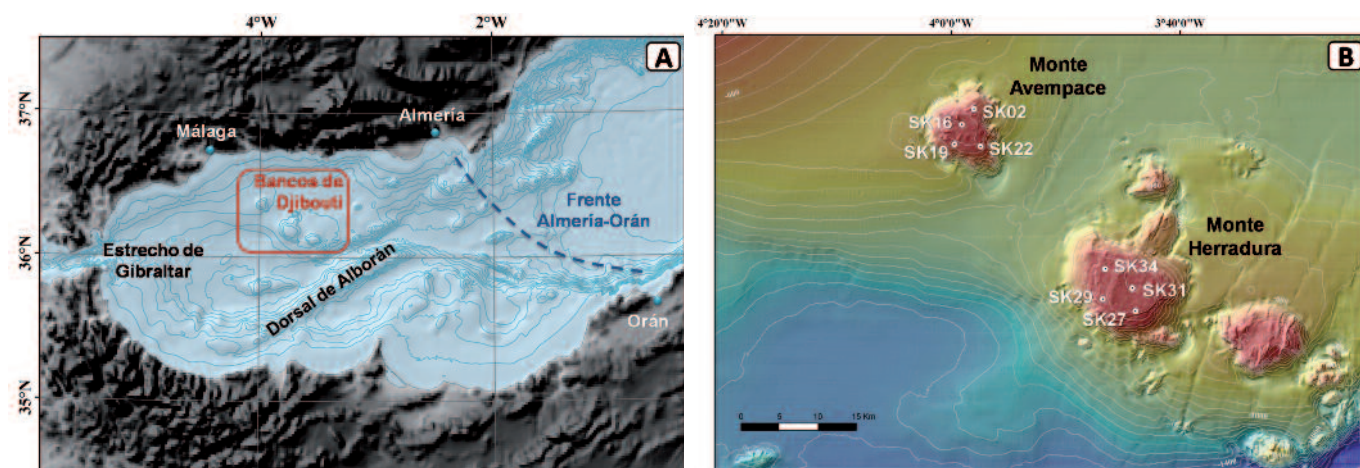


Fig. 1.- Localización general del área de estudio (A) y de los puntos de muestreo (B).

Fig. 1.- General location of the study area (A) and the sampling points (B).

quez, 2005). El monte Avempace se encuentra a unos 45 km de la ciudad de Málaga y abarca una superficie aproximada de 83 km² (Palomino *et al.*, 2011). Tiene una profundidad mínima de 260 m y una altura máxima de unos 700 m. Su cima se caracteriza por la presencia de montículos aislados y dorsales de forma elongada y está cubierta por sedimentos de naturaleza arenofangosa con un alto contenido en foraminíferos planctónicos (Gil *et al.*, 2009). El monte Herradura se sitúa a unos 60 km de la localidad de La Herradura (Granada) y comprende un área de 202 km² (Palomino *et al.*, 2011). La cima se encuentra a unos 275 m de profundidad y tiene una altura de 700 m. Presenta una geometría semicircular en planta y en su cima destaca la presencia de dorsales y afloramientos rocosos con una orientación dominante NE-SW, con alturas de 100 m y hasta 10 km de longitud. En los sectores SE y SO de este monte se han observado varios deslizamientos (Palomino *et al.*, 2009) que ponen de manifiesto una actividad tectónica reciente asociada a la intensa actividad sísmica que afecta a esta zona (Vázquez *et al.*, 2008; Vegas *et al.*, 2008).

Desde un punto de vista oceanográfico, las masas de agua que caracterizan esta zona son principalmente tres (Parrilla *et al.*, 1986): el Agua Atlántica, que fluye desde el Estrecho de Gibraltar y circula desde la superficie hasta los 150-200 m de profundidad; el Agua Levantina Intermedia, que se forma en el Mediterráneo oriental y circula hacia el oeste a una profundidad comprendida entre 200 y 600 m; y el Agua Mediterránea Profunda Occidental, que se forma

en el Golfo de León y se extiende desde los 600 m hasta el fondo de la cuenca.

Materiales y métodos

En este trabajo se han analizado 8 muestras de sedimento en la cima de estos montes (4 de cada monte, Fig. 1B) recogidas mediante la utilización de una draga shipek, a profundidades comprendidas entre 284 y 379 m. Para la caracterización granulométrica, se ha tomado una submuestra de 100 g que se separó mediante un tamizado húmedo en 2 fracciones, utilizando un tamiz de 63 µm de malla. La fracción gruesa (>63 µm) se tamizó en seco mediante una columna de tamices, mientras que la fracción fina (<63 µm) se concentró por centrifugación y se analizó mediante Sedigraph III 5120. El análisis geoquímico del sedimento se realizó en los laboratorios Acme (Acme Analytical Laboratories Ltd., Canadá), mediante una extracción química a partir de la mezcla de 4 ácidos (HF, HClO₄, HNO₃, HCl). La determinación analítica del contenido en elementos mayores y traza se ha realizado mediante espectrometría óptica (ICP-OES) y de masas (ICP-MS), en función de los límites de detección para cada elemento. La relación entre los parámetros sedimentológicos y geoquímicos se realizó con el programa XLStat 5.1 para Excel, aplicando una matriz de correlación de Pearson y diagramas bivariantes. Además, se ha aplicado un análisis de componentes principales (PCA) para obtener los factores que permitan explicar la mayor parte de la varianza del sistema. Para la caracterización de las asociaciones de foraminíferos se tomó, ale-

atoriamente, 1 g de sedimento de la fracción >250 µm de cada muestra y se separaron al azar 200 foraminíferos bentónicos bajo lupa binocular, que se identificaron hasta el nivel taxonómico más bajo posible. Mediante el Software PRIMER se calcularon para cada muestra los índices de equirrepartición (J), diversidad de Shannon-Wiener (H'), riqueza específica (S) y dominancia de cada especie de foraminífero (%D). El tratamiento multivariante se realizó mediante el software PRIMER a partir de Clusters, Mds, ANOSIM y SIMPER usando el índice de disimilitud de Bray y Curtis (1957) y los datos de abundancia relativa de cada especie de foraminífero en cada muestra.

Resultados y discusión

Caracterización sedimentológica y geoquímica. El sedimento superficial de la cima de los dos montes presenta una textura muy similar, constituida por arena fango-arcillosa con un máximo en la fracción de arena fina, aunque el valor medio de la distribución corresponde a la fracción limo grueso. El grado de selección de las muestras es muy pobre (*sorting* de 3,05 a 4,03) mostrando distribuciones desde unimodales a trimodales, con asimetrías muy positivas (0,51-0,74) y morfologías desde mesocúrticas a muy leptocúrticas (1,04-2,62).

Los sedimentos finos podrían haber sido transportados en forma de materia en suspensión desde zonas continentales, principalmente relacionadas con aportes fluviales y atmosféricos, que posteriormente serían redistribuidos por las corrientes super-

ficiales hasta los montes. Por otro lado, la fracción arena de los montes contiene una gran cantidad de esqueletos calcáreos (>70%) que forman parte, en su mayoría, del caparazón de foraminíferos planctónicos, los cuales habrían sedimentado desde la columna de agua (*cascading* o flujo vertical de partículas), o bentónicos.

A partir del análisis de componentes principales (PCA) realizado con el conjunto de todas las muestras, se han podido establecer dos factores que explicarían el 89% de la varianza total del sistema (Fig. 2). El factor 1 (61% de la varianza) permite diferenciar dos grupos de elementos, por un lado, el contenido en Ca, Sr, S y la fracción correspondiente a arena muy gruesa a media (2-0,25 mm), que estaría relacionado con la elevada concentración de foraminíferos observada en estas fracciones. Por otro lado, el grupo formado por el contenido en Fe, el índice K/Mg y la fracción de arena muy fina, parece estar relacionado con la presencia de glauconita observada en estos sedimentos. La mayor parte de los autores coincide en que su génesis tiene lugar en la zona de halmirólisis, en la interfase sedimento-agua, durante etapas de baja tasa de sedimentación y de aporte terrígeno (Abad, 2007). Algunos de los factores implicados en el proceso de glauconitización son: la presencia de un microambiente reductor, el tipo de sustrato (principalmente los ricos en kaolinita y/o carbonatos), una baja turbulencia de las aguas, la temperatura, el aporte de Fe y K, y el tiempo de residencia en el fondo de las partículas previo al enterramiento (Odin, 1982; Hughes y Whitehead, 1987).

El factor 2 (28% de la varianza) permite establecer un grupo formado por el contenido en Ti y la fracción de sedimento de tamaño inferior a 0,24 m (aerosoles). Esto se ha interpretado como la decantación de material litogénico procedente del polvo Sahariano (D'Almeida, 1987; Prospero, 1999), que debido a su pequeño tamaño, es capaz de ser transportado largas distancias por el viento y las corrientes superficiales. De forma adicional, se pueden diferenciar otros dos grupos, el primero formado por el contenido en Pb y la fracción de limo muy fino a arcilla (8-0,24 m), y el segundo constituido por el contenido en P y arena fina (0,25-0,125 mm), con una dependencia intermedia de ambos factores. La presencia de Pb en estas fracciones, se ha interpretado como el depósito de sedi-

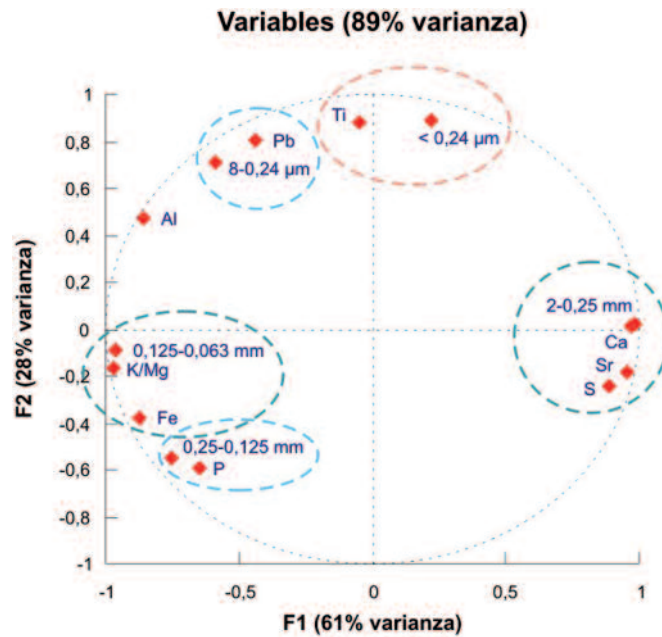


Fig. 2.- Representación gráfica del análisis de componentes principales, usando datos sedimentológicos y geoquímicos.

Fig. 2.- Principal component analysis using sedimentological and geochemical data.

mentos de procedencia continental en los que puede existir cierta influencia antrópica, a pesar de la distancia de los montes a la costa.

Caracterización de las asociaciones de foraminíferos. En total se han estudiado e identificado 1600 individuos de foraminíferos bentónicos (200 individuos por muestra), que corresponden a 43 especies y a 22 familias. El número de especies fue similar en Herradura (38 spp.) y Avempace (34 spp.), compartiéndose 29 spp. entre ambos montes. Sólo 5 especies han sido encontradas en el monte Herradura y no en Avempace, como son *Osangularia* sp.2, *Textularia* sp. y *Marginulina similis* (d'Orbigny, 1846), mientras que en el monte de Avempace se han encontrado 8 spp., como son *Bulimina elongata* (d'Orbigny, 1826), *Pyrgo* cf. *Depressa* y *Bulimina striata* (d'Orbigny, 1826) entre otras y que no han sido encontradas en Herradura. Esto indica una alta similitud en las asociaciones de foraminíferos de cada monte, al igual que ocurría con la composición sedimentológica. De forma similar, Gil *et al.* (2010) han observado leves diferencias en la comunidad bentónico-demersal de cada monte submarino. Estas similitudes están probablemente favorecidas por la cercanía entre los montes, la similitud sedimentológica y la hipótesis de un bajo y similar hidrodinamismo sobre la cima de estos montes.

Las especies dominantes, mostradas en la figura 3A, fueron muy parecidas en ambos montes y con valores similares de dominancia. En el monte de Herradura la especie dominante fue *Cibicides* cf. *lobatulus* (13,4%) seguida de *Uvigerina* cf. *peregrina* (10,6%), *Uvigerina* cf. *mediterranea*

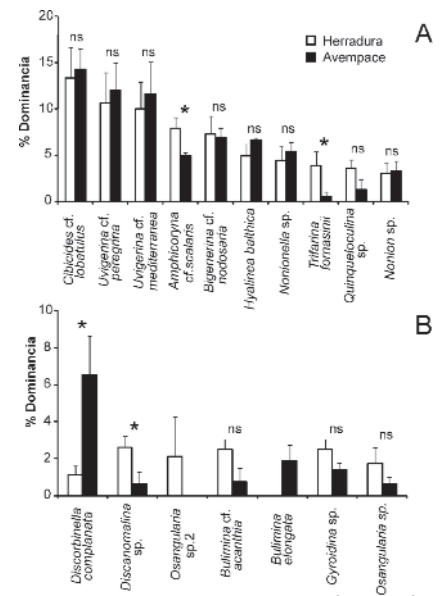


Fig. 3.- Dominancia de especies de foraminíferos bentónicos en Herradura (blanco) y Avempace (negro). Leyenda: ns: no significativa en base a t-student, *Diferencias significativas (p<0,05).

Fig. 3.- Dominant species of benthic foraminifera in Herradura (white) and Avempace (black). Legend: ns: non significant based on t-student, *Significant differences (p < 0.05).

(10,0%) y *Amphicoryna cf. scalaris* (7,9%). En Avempace la especie dominante fue *Cibicides cf. lobatulus* (14,3%), seguida de *Uvigerina cf. peregrina* (12%), *Uvigerina cf. mediterranea* (11,6%), *Bigennerina cf. nodosaria* (6,9%) y *Hyalinea balthica* (Schröter, 1783) (6,6%). Las diferencias entre los montes vienen dadas por una mayor dominancia de *Amphicoryna cf. scalaris*, *Trifarina fornasinii* (Selli, 1948), *Discanomalina sp.*, *Osangularia sp.2* en Herradura y de las especies *Discorbinella complanata* (Sidebottom, 1918) y *Bulimina elongata* en Avempace. La abundante presencia en ambos montes de especies pertenecientes a la familia Uvigerinidae se relacionaría con zonas de alta productividad, sedimentos compuestos por arena fina, baja concentración de oxígeno y bajo hidrodinamismo (Gooday, 1994).

La riqueza específica osciló en torno a 25 spp. muestra⁻¹ en ambos montes, no encontrándose diferencias significativas entre ambos ($t/ = 0,56$; $F = 1,92$; $df = 6$; $p > 0,05$). La equirrepartición tampoco mostró diferencias significativas e indicando un reparto muy similar de los efectivos en torno a 0,87 ($t/ = 0,43$; $F = 1,22$; $df = 6$; $p > 0,05$). Los valores de diversidad de Shannon-Wiener (H') fueron mayores en el monte Herradura ($4,06 \pm 0,14$) que en Avempace ($3,97 \pm 0,28$), pero estas diferencias no fueron significativas ($t/ = 0,58$; $F = 4,33$; $df = 6$; $p > 0,05$).

El cluster (Fig. 4) no registra agrupaciones de las muestras pertenecientes al mismo monte, aunque el MDS muestra cierta segregación de muestras de cada monte en lados opuestos. El análisis ANOSIM mostró que las diferencias en la composición y estructura de las asociaciones de los foraminíferos de cada monte no eran significativas ($R_{ANOSIM} = 0,208$; $p > 0,05$). El análisis estadístico SIMPER indica que las especies con un mayor peso en la diferenciación del monte Avempace son *Discorbinella complanata* y *Hyalinea balthica*, mientras que para el monte Herradura son *Trifarina fornasinii*, *Quinqueloculina sp.* y *Osangularia sp.2*. (Fig. 3 A y B).

Las escasas diferencias observadas en las asociaciones de foraminíferos de cada monte podrían estar ligadas a cambios puntuales en las características ambientales locales, la situación del giro anticiclónico superficial de agua atlántica en el Mar de Alborán y su efecto en el hidrodinamismo, la

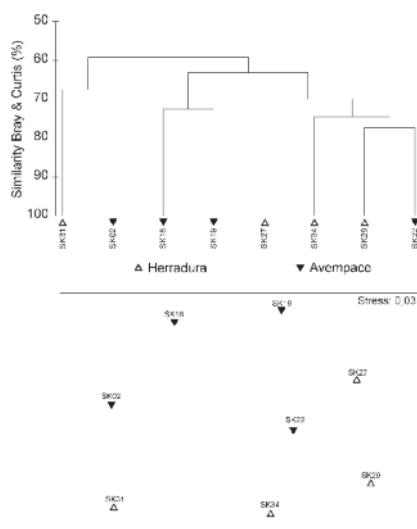


Fig. 4.- Cluster y MDS en base a datos cuantitativos para contrastar asociaciones de foraminíferos bentónicos en ambos montes.

Fig. 4.- Cluster and MDS based on quantitative data to compare benthic foraminiferal assemblages in both seamounts.

productividad y el depósito de partículas sobre cada monte o incluso a la distancia que separa cada uno de los montes de la costa.

Conclusiones

La textura del sedimento de la cima de los montes submarinos Avempace y Herradura está constituida por arena fango-arcillosa, cuya procedencia está relacionada con varias fuentes de aporte. Las partículas de composición litogénica proceden de fuentes continentales, y han sido transportadas principalmente por el viento (polvo sahariano) y las corrientes superficiales. Las partículas de composición biogénica son el resultado de la decantación de organismos de esqueleto calcáreo desde la columna de agua y de aquellos de tipo bentónico.

La presencia de glauconita asociada a arenas finas y muy finas, parece estar relacionada con unas condiciones de bajo hidrodinamismo en la cima, relativamente estables en el tiempo, que favorecería la formación de este mineral en la cima de ambos montes.

La similitud entre las asociaciones de foraminíferos también refleja unas condiciones ambientales muy semejantes en ambos montes. Aunque las leves diferencias observadas en las características sedimentológicas y en las asociaciones de foraminíferos de cada monte podrían estar ligadas,

a pesar de su proximidad geográfica, a variaciones puntuales de la tasa de sedimentación, de las condiciones hidrodinámicas ó de la distancia de cada monte a la costa.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto DEEPER, del Instituto Español de Oceanografía, y el proyecto MONTERA (CTM2009-14157-C02). Los autores quieren agradecer al personal del proyecto DEEPER su disposición para la utilización de estos datos y al grupo de Geociencias Marinas la ayuda prestada para la realización de este estudio.

Referencias

Bray, J.R. y Curtis, J.T. (1957). *Ecological Monographs*, 27, 325-349.

D'Almeida, G.A. (1987). En: *NATO ASI Series C*, 282 (M. Leinen, M. Sarthein, Eds.), 311-338.

Gil, J., Bárcenas, P., Baro, J., Burgos, C., Canoura, J., Díaz del Río, V., Farias, C., Fernández-Salas, L.M., García, T., López-González, N., Palomino, D., Polonio, V., Serna-Quintero, J.M., Sawayago-Gil, M., Sobrino, I. y Vázquez, J.T. (2009). En: *II International Symposium in Marine Sciences*. Resúmenes, 260-261.

Gil, J., Rueda, J.L., Baro, J., Canoura, J., Palomino, D. y equipo Deeper (2010). En: *XVI Simposio Ibérico de Estudios de Biología Marina*. Resúmenes, 126.

Gooday, A.J. (1994). *Palaios*, 9, 14-31.

Hughes, A.D. y Whitehead, D. (1987). *Sedimentology*, 34, 825-835.

Muñoz, A., Ballesteros, M., Montoya, I., Rivera, J., Acosta, J. y Uchupi, E. (2008). *Marine and Petroleum Geology*, 25, 59-73.

Odin, G.S. (1982). *Numerical Dating in Stratigraphy*. J. Wiley and Sons Ltd., Chichester, 307-319.

Palomino, D., Díaz del Río, V., Vázquez, J.T., Fernández Salas, L.M. y López-González, N. (2009). En: *II International Symposium in Marine Sciences*. Resúmenes, 280-281.

Palomino, D., Vázquez, J.T., Ercilla, G., Alonso, B., López-González, N. y Díaz del Río, V. (2011). *Geo-Marine Letters*, 31(5-6), 465-479.

Parrilla, G., Kinder, T.H. y Preller, R.H. (1986). *Deep-Sea Research*, 33, 55-86.

Prospero, J.M. (1999). *Journal of Geophysical Research*, 104, 15917-15927.

Vázquez, J.T. (2005). *Memoria del Mapa Geomorfológico de España y del margen continental 1:1.000.000* (A. Martín Serrano, Ed.). IGME, 189-198 p.

Vázquez, J.T., Vegas, R. y Medialdea, T. (2008). *Geo-Temas*, 10, 595-598.

Vegas, R., Medialdea, T. y Vázquez, J.T. (2008). *Geo-Temas*, 10, 1535-1538.