

# Regeneración ambiental de marismas a partir de ocupaciones antrópicas de zonas costeras: interés de su estudio en el escenario actual de ascenso marino

*Saltmarsh environmental regeneration from anthropogenic reclaimed coastal areas: interest of their study under current sea-level rise scenario*

Ane García-Artola <sup>(1)</sup>, Alejandro Cearreta <sup>(1)</sup>, Eduardo Leorri <sup>(2)</sup> y María Jesús Irabien <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Micropaleontología, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco/EHU, Apartado 644, 48080 Bilbao. ane.garcia@ehu.es, alejandro.cearreta@ehu.es.

<sup>(2)</sup> Department of Geological Sciences, East Carolina University, Graham Building, Room 103b, Greenville, NC 27858-4353, USA. leorrie@ecu.edu.

<sup>(3)</sup> Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco/EHU, Apartado 644, 48080 Bilbao. mariajesus.irabien@ehu.es.

## ABSTRACT

The process of saltmarsh natural regeneration in the Basque coast is studied on the basis of microfaunal and geochemical determinations and historical data. After the abandonment of agricultural soils in estuarine areas during the 20th century, the entrance of brackish water rapidly transformed these areas with deposition of increasing amounts of sand and benthic foraminifera at a very high sedimentation rate. This rapid regeneration process is of great interest for environmental management of modern coastal areas particularly under the current scenario of accelerating sea-level rise when scientifically-sound adaptation measures should be implemented.

**Key-words:** Saltmarshes, human occupation, natural regeneration, environmental management, sea-level rise.

Geogaceta, 50-2 (2011), 161-164.  
ISSN:2173-6545

## Introducción

La preocupación actual por el ascenso del nivel marino global asociado con el calentamiento antropogénico del océano y la atmósfera ha generado un creciente interés por los cambios ambientales del pasado reciente registrados en los medios costeros. Se ha estimado una tasa de ascenso del nivel marino global de 19 cm en el siglo XX a partir del registro de alta resolución proporcionado por los mareógrafos (Bindoff *et al.*, 2007), tres veces mayor que en el siglo anterior (Jevrejeva *et al.*, 2008). Más recientemente, a partir de la altimetría por satélite se han realizado incluso estimaciones de ascenso del nivel marino global de unos 3 mm año<sup>-1</sup> (Leuliette *et al.*, 2004), sugiriendo una aceleración mayor durante las últimas décadas.

El análisis del registro instrumental en

los mareógrafos más cercanos a la costa cantábrica oriental con un registro suficientemente dilatado muestra una velocidad de ascenso marino para los últimos 60 años de  $2,08 \pm 0,33$  mm año<sup>-1</sup> (Santander y San Juan de Luz, periodo 1943-2004). Con un registro temporal más extenso, la información geológica en las marismas de la costa vasca señala un cambio de tendencia en la tasa de ascenso del nivel marino durante la primera década de 1900, y proporciona una estimación de ascenso de 1,9 mm año<sup>-1</sup> durante el siglo XX, frente a un incremento prácticamente nulo durante los tres siglos anteriores (Leorri y Cearreta, 2009; García-Artola *et al.*, 2009).

Bajo el actual escenario climático de calentamiento global y ascenso del nivel marino, el estudio de humedales regenerados naturalmente durante la segunda mitad del siglo XX en respuesta a la inundación ma-

## RESUMEN

En función de su contenido microfaunístico y geoquímico, además de la información histórica disponible, se estudia el proceso de regeneración natural de las marismas en la costa vasca. Tras el abandono durante el siglo XX de suelos agrícolas en zonas estuarinas, la entrada de agua salobre transformó rápidamente estas áreas marismas debido al creciente depósito de arena y foraminíferos bentónicos con unas tasas de sedimentación muy elevadas. Este rápido proceso de regeneración es de gran interés para la gestión ambiental de zonas costeras, particularmente bajo el escenario actual de ascenso marino ya que deberían de implementarse medidas de adaptación que cuenten con una firme base científica.

**Palabras clave:** Marismas, ocupación humana, regeneración natural, gestión ambiental, ascenso del nivel marino.

Fecha de recepción: 14 de Febrero de 2011

Fecha de revisión: 28 de Abril de 2011

Fecha de aceptación: 27 de Mayo de 2011

real proporciona una información clave para predecir futuras tendencias de evolución costera, y permite determinar la velocidad y características del proceso de transformación ambiental de estos ecosistemas. Se analiza este proceso geomorfológico costero estudiando una marisma recientemente regenerada en la costa vasca y comparando su evolución ambiental con la de otras marismas de la misma zona geográfica, contribuyendo así a establecer un posible modelo evolutivo regional.

## Zona de estudio

En la costa vasca, de naturaleza fundamentalmente acantilada, existen pequeños estuarios donde se desarrollan marismas de dimensiones reducidas. Durante el siglo XVIII comenzó el deterioro de estas zonas húmedas, inicialmente debido a su ocupa-

ción con fines agrícolas y ganaderos, y posteriormente para asentar el crecimiento urbano e industrial. Según Rivas y Cendrero (1991), la ocupación de marismas y otras zonas intermareales puede considerarse el principal proceso de evolución geomorfológica en la costa cantábrica oriental durante los dos últimos siglos. A mediados del siglo XX, las zonas desecadas se abandonaron como consecuencia de la emigración hacia las ciudades (Cearreta *et al.*, 2002). Este abandono y la falta de mantenimiento de los diques facilitaron la entrada de corrientes de marea y su regeneración natural.

El estuario de Plentzia (Vizcaya) está constituido por la parte final del río Butrón sometida a la influencia mareal. Presenta un área de 115 ha, 7 km de longitud y una anchura media de 20 m. Es un estuario mesomareal donde la variación media del nivel de marea es 2,5 m (rango mareal entre +1,2 y +3,7 m), mientras que la variación mínima es 1 m y la máxima 4,5 m (Leorri *et al.*, 2008). La marisma de Isuskiza se localiza en la orilla izquierda del estuario superior (Fig. 1) y ha experimentado una regeneración natural muy reciente a partir de una extensa superficie estuarina ocupada con fines agrícolas hacia el año 1860 (Hormaza, 1998). Actualmente está caracterizada por una vegetación halófila dominada por *Halimione portulacoides* (L.) Aellen, pero aún son visibles las parcelaciones agrícolas originales (Fig. 1).

**Materiales y Métodos**

En Octubre 2006 se perforó un sondeo de 50 cm de longitud en la marisma de Isuskiza (core ISKZ; X: 506695.48, Y: 4804823.87; Z: 3,11 m). La compactación del sedimento durante el muestreo fue inapreciable debido a su carácter mineralogénico y al gran diámetro del tubo utilizado. Dos tubos de PVC (12,5 cm de diámetro) fueron insertados en el sedimento con el fin de obtener suficiente material para determinar el tamaño de grano, el contenido en foraminíferos bentónicos y las características geoquímicas. El sondeo fue descrito y fotografiado antes de ser muestreado en secciones de 1 cm de espesor. Asimismo, fue determinada la elevación topográfica de la zona perforada (GPS Leica de doble frecuencia, RTK; error: ±0,035 m) y esta información se presenta en relación al nivel 0 regional (bajamar más extrema del Puerto de Bilbao, 27 Septiembre 1878;

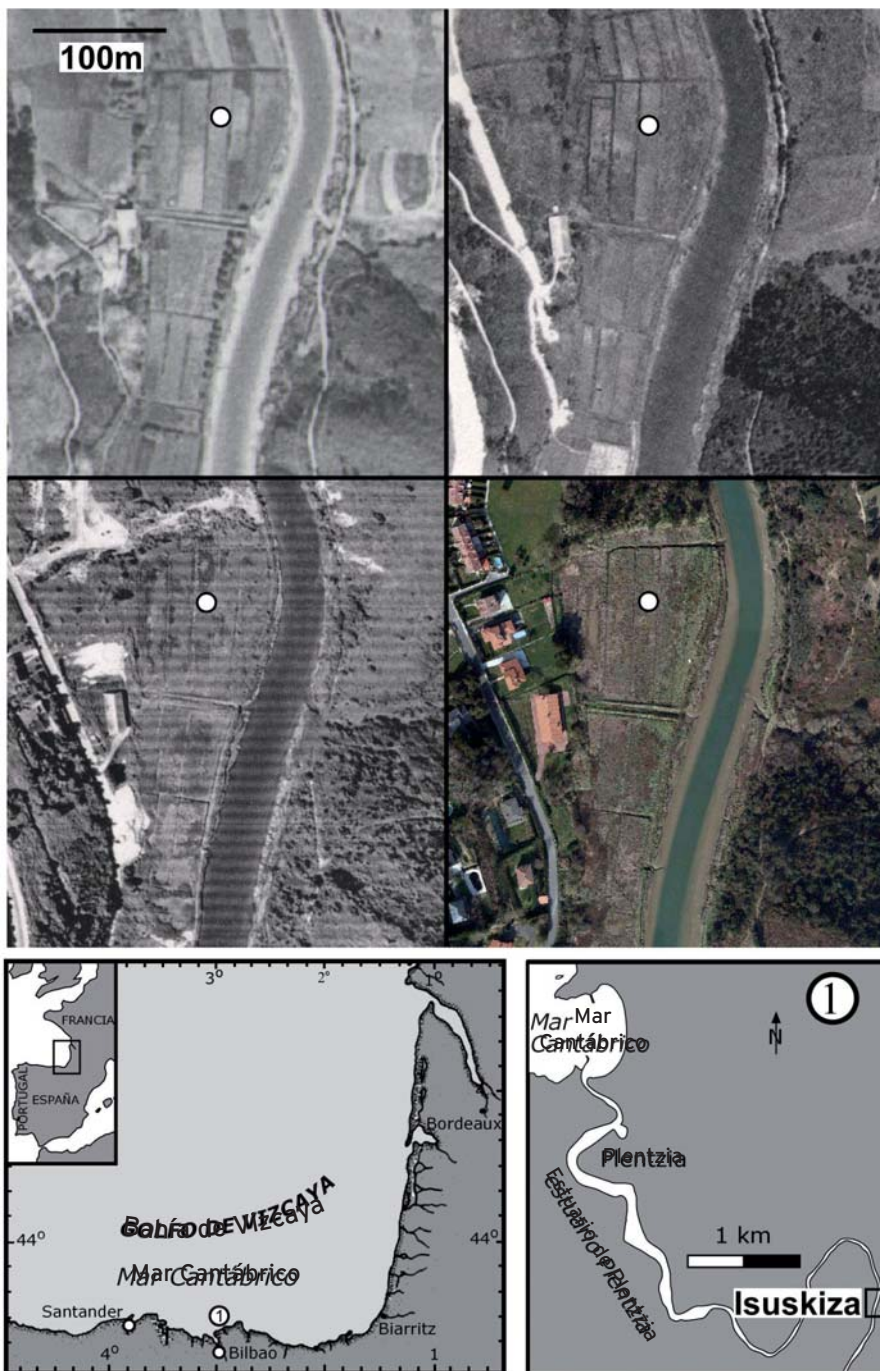


Fig. 1.- Localización geográfica de la marisma de Isuskiza (estuario de Plentzia), mostrando la posición del core ISKZ en fotografías aéreas históricas (1956, arriba izquierda; 1973, arriba derecha; 1984, abajo izquierda) y actuales (2006; abajo derecha).

Fig. 1.- Geographic location of the Isuskiza saltmarsh (Plentzia estuary), showing position of the ISKZ core in both historical (1956, top left side; 1973, top right side; 1984, bottom left side) and modern (2006; bottom right side) aerial photographs.

situado 1,73 m por debajo del nivel marino en Alicante).

Con el objetivo de analizar el contenido en foraminíferos bentónicos, las muestras fueron levigadas con agua utilizando tamices de 1 mm (para eliminar fragmentos orgánicos grandes) y 63 micras (para eliminar los materiales de tamaño limo y arcilla), y posteriormente secados a 50 °C. Los forami-

níferos fueron concentrados por flotación con tricloroetileno. Se recogieron caparazones de microfósiles hasta obtener un número representativo superior a 300 individuos para cada muestra. En caso de no ser posible, se recogió el máximo número de individuos disponible por muestra y se examinaron bajo una lupa estereoscópica binocular de luz reflejada.

El análisis geoquímico (metales pesados) de las muestras requería su cribado a través de un tamiz de 1 mm, el secado de las mismas a 45 °C y su envío al Activation Laboratories Ltd. de Ontario (Canadá) donde fueron analizadas. Tras una digestión en agua regia durante 2 h a 95 °C, fueron determinadas las concentraciones elementales utilizando Inductively Coupled Plasma–Optic Emission Spectrometry (ICP-OES). Los límites más bajos de detección fueron 0,01% para el Al, 1 mg kg<sup>-1</sup> para el Zn, Cu y Ni y 2 mg kg<sup>-1</sup> para el Pb. Los resultados se presentan normalizados a la concentración de aluminio para reducir el potencial efecto granulométrico (Skowronek *et al.*, 1994).

Además, se llevó a cabo el análisis radiométrico del sondeo en la Consolidated Radioisotope Facility de la Universidad de Plymouth (Dr. William H. Blake). Sin embargo, los resultados geocronológicos obtenidos no se discuten en este trabajo por ser incoherentes con la información micro-paleontológica y de fotografía histórica.

## Resultados y Discusión

El número de foraminíferos bentónicos presentes en el sondeo de Isuskiza es elevado en los primeros centímetros superiores y va disminuyendo hasta desaparecer completamente en los centímetros más inferiores. En total, se han obtenido alrededor de 4.000 caparazones en las 36 muestras examinadas. Aunque de forma algo irregular, los resultados muestran un incremento en la abundancia de foraminíferos hacia techo. Se han identificado un total de 19 especies de foraminíferos en este sondeo, aunque *Jadammina macrescens* (Brady), *Trochammina inflata* (Montagu), *Miliammina fusca* (Brady), *Ammonia tepida* (Cushman), *Haynesina germanica* (Ehrenberg) y *Criboelphidium oceanensis* (d'Orbigny) son las formas más abundantes. Se observan tres intervalos en función de la profundidad (DI) dentro del sondeo en términos de presencia, abundancia y dominancia de las especies de foraminíferos (Fig. 2). Los 9 cm basales (DI3) se caracterizan por la ausencia total de foraminíferos y bajos contenidos de arena (media 12, rango 7,5-25%). Parece representar un depósito antropogénico depositado durante el periodo de ocupación agrícola.

Los siguientes 34 cm están caracterizados por el intervalo DI2 y exhiben una baja

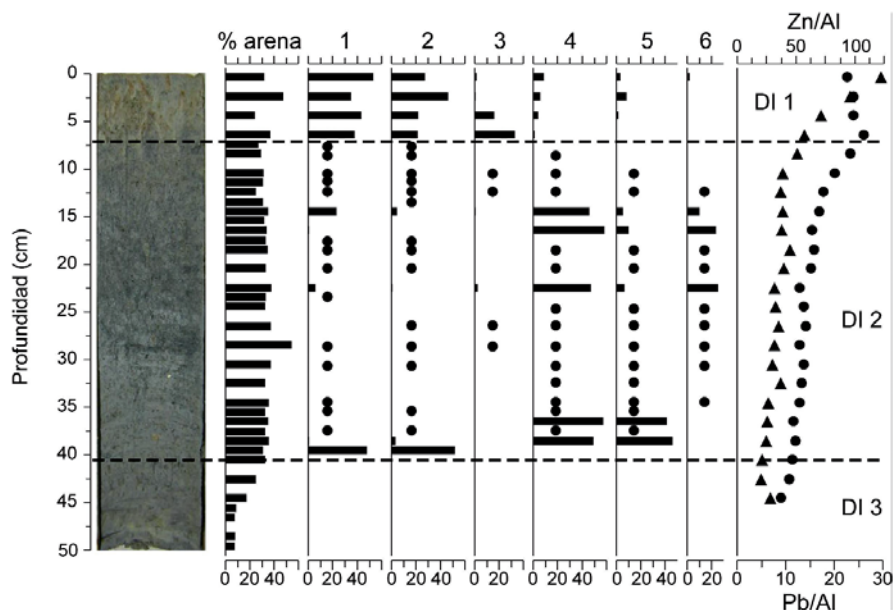


Fig. 2.- Fotografía, contenido en arena (%), principales especies de foraminíferos (1: *J. macrescens*; 2: *T. inflata*; 3: *M. fusca*; 4: *A. tepida*; 5: *H. germanica*; 6: *C. oceanensis*) y distribución de metales Al-normalizados (puntos: Zn; triángulos: Pb) en función de la profundidad (cm) en el core ISKZ de la marisma de Isuskiza (estuario de Plentzia). Los puntos negros en la distribución de los foraminíferos representan la presencia de escasos caparazones. DI: intervalos de profundidad definidos.

Fig. 2.- Core photograph, sand content (%), main foraminiferal species (1: *J. macrescens*; 2: *T. inflata*; 3: *M. fusca*; 4: *A. tepida*; 5: *H. germanica*; 6: *C. oceanensis*) and Al-normalized metals distribution (dots: Zn; triangles: Pb) with depth (cm) in the Isuskiza saltmarsh core (Plentzia estuary). Black dots in the foraminiferal distribution represent presence of scarce tests. DI: defined depth intervals.

e irregular abundancia de individuos (media 61, rango 0-135 caparazones/muestra) y de especies (media 5, rango 0-10), en comparación con el intervalo superior DI1. Las especies calcáreas *A. tepida* (media 52, rango 46-59%), *H. germanica* (media 22, rango 6-46%) y *C. oceanensis* (media 20, rango 10-26%) son las formas dominantes en las muestras que contienen suficientes caparazones, mientras que las especies aglutinantes *J. macrescens* y *T. inflata* son secundarias. Sin embargo, el contenido en arena (media 34, rango 25-55%) es muy similar al encontrado en el intervalo superior DI1 (media 35, rango 24-48%). La clara dominancia de las especies hialinas calcáreas (media 88, rango 66-100%), no específicas de un ambiente de marisma, frente a las especies aglutinantes (media 12, rango 1-100%) y el elevado contenido en arena, podrían indicar que este intervalo representa una zona topográficamente baja. Ya que las fotografías históricas demuestran que el abandono de la actividad agrícola en esta zona se produjo entre 1975 y 1983 (Fig. 1), un primer cálculo aproximativo proporcionaría unas tasas de sedimentación a partir de entonces en torno a 13-18 mm año<sup>-1</sup>, valores lo suficientemente altos para obtener rápida-

mente la elevación necesaria para la formación de una marisma (intervalo DI1). Por tanto, las características de este intervalo medio parecen ser coherentes con un proceso de regeneración ambiental a partir del suelo agrícola anterior (DI3). De hecho, en estudios previos se han relacionado elevadas tasas de sedimentación durante el proceso de regeneración ambiental de marismas con una baja elevación topográfica (Goodman *et al.*, 2007).

En cuanto al intervalo superior de 7 cm (DI1), está dominado por las especies aglutinantes *J. macrescens* (media 42, rango 35-53%), *T. inflata* (media 29, rango 22-46%) y *M. fusca* (media 13, rango 1-33%). Las especies hialinas *A. tepida* y *H. germanica* aparecen en este intervalo como formas secundarias. El elevado contenido en arena, la discreta diversidad de especies (media 11, rango 9-12) y la aparición de especies hialinas calcáreas no exclusivas de marisma podría indicar que esta zona representa actualmente una marisma baja regenerada.

En cuanto a la evolución temporal en la composición de los sedimentos, el intervalo DI3 y la mayor parte del DI2 se caracterizan por la presencia de bajas concentraciones de Zn (41-73 mg kg<sup>-1</sup>), Pb (19-30 mg kg<sup>-1</sup>), Cu (10-23 mg kg<sup>-1</sup>) y Ni (13-24 mg kg<sup>-1</sup>).

Estos valores son muy similares a las definidos como referencia de fondo geoquímico regional en el vecino estuario del Nervión (Cearreta *et al.*, 2000). En cambio, los 10 cm superficiales del sondeo muestran un incremento en Pb y Zn (Fig. 2), si bien los niveles máximos alcanzados ( $172 \text{ mg kg}^{-1}$  de Zn y  $38 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb) se mantienen significativamente por debajo de los determinados por Cearreta *et al.* (2002) en otras dos marismas de este mismo estuario. En ese trabajo se observó que los sedimentos superficiales de zonas vegetadas mostraban concentraciones más elevadas de metales, por lo que este aumento podría estar relacionado con un creciente protagonismo de la vegetación recolonizadora en la captación de metales.

Por último, cabe señalar que en un estudio previo realizado en el estuario próximo de Urdaibai (Cearreta *et al.*, 2011) el análisis de tres marismas regeneradas llevó a la identificación de los tres ambientes señalados: el suelo agrícola reclamado, la marisma en proceso de regeneración y la marisma regenerada. Mostrando unas características muy similares a las determinadas en Isuskiza, esos registros sedimentarios exhibían un incremento importante en el contenido de arena como consecuencia de la entrada de sedimento del medio estuarino durante el proceso de regeneración. Igualmente, el contenido en foraminíferos aglutinantes y calcáreos aumentaba durante la regeneración ambiental a partir del suelo agrícola en el que estaban ausentes. Asimismo, la tasa de sedimentación en las marismas de Urdaibai mostró un valor muy alto ( $14\text{-}18 \text{ mm año}^{-1}$ ) durante el proceso de re-

generación, comparable al registrado en la marisma estudiada en este trabajo.

## Conclusiones

La rápida regeneración ambiental de ecosistemas litorales previamente reclamados con fines agrícolas es de gran interés para la gestión ambiental de zonas costeras bajo el escenario actual de cambio climático. Este proceso es muy importante en la costa vasca donde existen amplias zonas reclamadas antrópicamente que podrían ser fácilmente restauradas mediante la eliminación de sus diques de aislamiento (*managed realignment*). Esta medida de adaptación contribuiría así a hacer frente al ascenso del nivel marino en curso favoreciendo la evolución natural de las marismas ya que estas acrecerían sedimento muy rápidamente hasta alcanzar su equilibrio con el prisma mareal.

## Agradecimientos

Financiado por los proyectos TANYA (MICINN, CGL2009-08840), K-Egokitzen II (Cambio Climático: Impacto y Adaptación, Eortek 2010) y Harea-Grupo de Investigación en Geología Litoral (80IT365-10). AG-A ha recibido una ayuda predoctoral del Gobierno Vasco para la formación de investigadores (BF108.180) y EL una Ralph E. Powe Junior Faculty Enhancement Award. Contribución al IGCP Project 588 (Preparing for Coastal Change) y NW Europe INQUA Commission on Coastal and Marine Processes. Se agradece la revisión de 2 evaluadores anónimos. Trabajo #6 de la Unidad de Investigación Geo-Q (Laboratorio Joaquín Gómez de Larena).

## Referencias

- Bindoff, N.L., Willebrand, J., Artale, V., Cazenave, A., Gregory, J., Gulev, S., Hanawa, K., Le Quére, C., Levitus, S., Nojiri, Y., Shum, C.K., Talley, L.D. y Unnikrishnan, A. (2007). En: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis* (S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor y H.L. Miller, Eds.). Cambridge University Press, 385-432.
- Cearreta, A., García-Artola, A., Leorri, E., Irabien, M.J. y Masque, P. (2011). *Journal of Marine Systems*, doi:10.1016/j.jmarsys.2011.07.013
- Cearreta, A., Irabien, M.J., Leorri, E., Yusta, I., Croudace, I.W. y Cundy, A.B. (2000). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 50, 571-592.
- Cearreta, A., Irabien, M.J., Ulibarri, I., Yusta, I., Croudace, I.W. y Cundy, A.B. (2002). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 54, 863-886.
- García-Artola, A., Cearreta, A., Leorri, E., Irabien, M.J. y Blake, W.H. (2009). *Geogaceta*, 47, 109-112.
- Goodman, J.E., Wood, M.E. y Gehrels, W.R. (2007). *Marine Geology*, 242, 109-121.
- Hormaza, J.M. (1998). En: *Plasentia de Butrón-Plencia-Plentzia. Apuntes II* (Ayuntamiento de Plentzia/ Fundación BBK, Eds.), 99-117.
- Jevrejeva, S., Moore, J.C., Grinsted, A. y Woodworth, P.L. (2008). *Geophysical Research Letters*, 35, L08715.
- Leorri, E. y Cearreta, A. (2009). *Scientia Marina*, 73, 287-296.
- Leorri, E., Cearreta, A. y Horton, B.P. (2008). *Geobios*, 41, 787-797.
- Leuliette, E., Nerem, R. y Mitchum, G. (2004). *Marine Geodesy*, 27, 79-94.
- Rivas, V. y Cendrero, A. (1991). *Journal of Coastal Research*, 7, 491-507.
- Skowronek, F., Sageman, J., Stenzel, F. y Schultz, H.D. (1994). *Environmental Geology*, 24, 223-232.