

El registro de fitolitos del testigo MD95-2043 entre 20000 y 5000 años: nuevos datos sobre la evolución climática del mar de Alborán

The phytolith record from the oceanic core MD95-2043 from 20000 to 5000 years: new data on the climatic evolution of the Alboran Sea

Elena Garrachón Gómez¹, Elena Colmenero Hidalgo¹ y María Ángeles Bárcena Pernía²

¹ Área de Geodinámica Externa, Departamento de Geografía y Geología. Universidad de León. Campus de Vegazana, s/n – 24071 León, España. egarr00@estudiantes.unileon.es, e.colmenero@unileon.es

² Área de Paleontología, Departamento de Geología. Universidad de Salamanca. Plaza La Merced, s/n – 37008 Salamanca, España. mbarcena@usal.es

ABSTRACT

This study focuses on the analysis and study of phytoliths preserved in 37 sediment samples, corresponding to the period from the Last Glacial Maximum and the mid-Holocene (20000-5000 cal ka BP), from the oceanic core MD95-2043, recovered in the Alboran Sea (Western Mediterranean) in 1995. After identifying the different phytolith morphologies present in the samples, the relative abundance of each of them and the total concentrations of this group of siliceous microfossils were calculated. The study of the environmental conditions required by plants (C3 or C4) that originated each type of phytoliths allows us to relate their presence and/or abundance to changes in the continent's environmental conditions over time. The results show the existence of certain oscillations (more or less gradual) in some parameters such as vegetation or climatic and edaphic humidity. For this reason, these type of indicators of continental origin are a very useful tool for paleoclimatic reconstructions based on the analysis of sedimentary records.

Key words: phytoliths, Alboran Sea, deglaciation, global changes, core MD95-2043.

Geogaceta, 68 (2020), 11-14
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Introducción

La Península Ibérica se localiza en una posición intermedia entre los regímenes climáticos fríos de altas latitudes y los tropicales de latitudes bajas, además de entre la región atlántica y la mediterránea. Las masas de agua que bañan el margen continental peninsular reflejan esta variabilidad, y muestran una gran sensibilidad a los cambios climáticos de distinta frecuencia sucedidos durante el Cuaternario, tal y como muestran distintos registros sedimentarios recuperados en diferentes puntos de la región (por ejemplo, Cacho *et al.*, 1999; Martrat *et al.*, 2004). En los últimos 20 cal ka BP (calibrated kiloannus BP) se han sucedido varios de estos cambios climáticos, como

el Último Máximo Glacial o *Last Glacial Maximum* (LGM, 21-18 cal ka BP), los eventos fríos Heinrich 1 (H1, 17,5-16 cal ka BP) y Younger Dryas (YD, 12,9-11,6 cal ka BP), separados por el evento cálido Bølling-Allerød (BA, 14,5-12,9 cal ka BP), y el comienzo del Holoceno (hace 11,7 cal ka BP). Durante estos eventos, las temperaturas han oscilado considerablemente, provocando cambios en los ecosistemas continentales y marinos que, posteriormente, pueden ser identificados en los testigos sedimentarios gracias a variaciones en la abundancia de distintos organismos o partículas, como por ejemplo los fitolitos (Bárcena *et al.*, 1997; Barboni *et al.*, 2007).

Los fitolitos son partículas sólidas de sílice opalina (SiO₂ x nH₂O) que son pre-

RESUMEN

Este estudio se centra en el análisis y estudio de los fitolitos preservados en 37 muestras de sedimentos, correspondientes al periodo comprendido entre el Último Máximo Glacial y mediados del Holoceno (20000-5000 cal ka BP), procedentes del testigo oceánico MD95-2043, recuperado en el mar de Alborán (Mediterráneo occidental) en 1995. Tras identificar las distintas morfologías de fitolitos presentes se calculó la abundancia relativa de cada una de ellas y las concentraciones totales de este grupo de microfósiles silíceos. El estudio de las condiciones ambientales requeridas por las plantas (C3 o C4) que originaron cada tipo de fitolito permite relacionar su presencia y/o abundancia con cambios en las condiciones ambientales del continente a lo largo del tiempo. Los resultados muestran la existencia de oscilaciones (más o menos graduales) en algunos parámetros como la vegetación o la humedad climática y edáfica. Por este motivo este tipo de indicadores de origen continental son una herramienta de gran utilidad para las reconstrucciones paleoclimáticas basadas en el análisis de registros sedimentarios.

Palabras clave: fitolitos, mar de Alborán, deglaciación, cambios climáticos, testigo MD95-2043.

Fecha de recepción: 30/01/2020
Fecha de revisión: 23/04/2020
Fecha de aceptación: 29/05/2020

cipitadas por algunos grupos de plantas a partir del silicio absorbido por estas del agua intersticial. Las partículas de ópalo precipitan en y/o entre las células de las regiones epidérmicas de las plantas (Biswas *et al.*, 2016). Están presentes en varias familias de plantas (Piperno, 1988), pero son característicos de la familia *Poaceae* Barnhat. (gramíneas) (Twiss *et al.*, 1969; Twiss, 1992). Según su morfología, se les puede agrupar en tres categorías, relacionadas a su vez con tres subfamilias de gramíneas (Twiss *et al.*, 1969): 1) *Pooideae* Benth., de formas rectangulares / circulares / elípticas (Figs. 1b y c); 2) *Chloridoideae* Herter., con forma de silla de montar (Fig. 1a); y 3) *Panicoideae* Braun., con formas de mancuernas / en forma de cruz.

De esta manera, el objetivo de esta investigación es analizar el registro de fitolitos presente en los sedimentos del testigo MD95-2043, clasificar las diferentes morfologías y relacionarlas con las subfamilias de plantas que las producen, con el fin de aportar nuevos datos acerca de las condiciones ambientales y cambios de vegetación ocurridos alrededor del mar de Alborán en los últimos 20000 años.

Contexto oceanográfico

El mar de Alborán, localizado entre el sureste de la Península Ibérica y el norte de África, en la parte más occidental del mar Mediterráneo (Fig. 2), posee unas condiciones oceanográficas y sedimentológicas muy singulares debido a la mezcla de masas de agua procedentes del océano Atlántico y el mar Mediterráneo.

Por él circulan tres masas principales de agua (Fig. 2): las Aguas Superficiales del Atlántico Norte (*Atlantic Surface Water - ASW*), que ocupan desde la superficie hasta los 150-200 m de profundidad y fluyen mediante 2 giros desde el estrecho de Gibraltar hacia el interior del Mediterráneo cambiando su nombre a Aguas Atlánticas Modificadas (*Modified Atlantic Waters - MAW*); las Aguas Intermedias Levantinas (*Levantine Intermediate Water - LIW*), que circulan hacia el oeste a una profundidad comprendida entre 200 y 600 m tras formarse en el Mediterráneo oriental; y las Aguas Profundas del Mediterráneo Occidental (*Western Mediterranean Deep Water - WMDW*), que se forman en el golfo de León y fluyen hacia el Atlántico ocupando desde los 600 m hasta el fondo de la cuenca (Parrilla *et al.*, 1986; Bárcena y Abrantes, 1998).

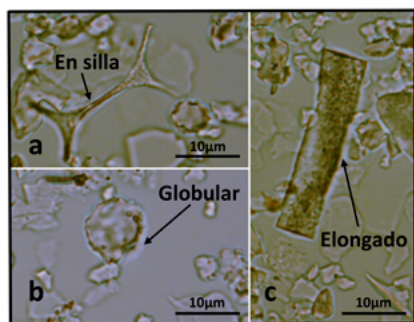


Fig. 1.- Fitólitos del testigo MD95-2043. a) En silla. b) Globular. c) Elongado. Ver figura en color en la web.

Fig. 1.- Phytoliths from core MD95-2043. a) Saddle. b) Globular. c) Elongate. See color figure in the web.

Material y métodos

El testigo elegido para realizar este estudio fue el MD95-2043 (36° 8,6'N, 2° 37,3'O), recuperado en el mar de Alborán a 1841 m de profundidad durante la campaña oceanográfica IMAGES-1 (Fig. 2).

La preparación de las muestras se efectuó siguiendo el procedimiento descrito por Flores y Sierro (1997) para nanofósiles calcáreos, adaptado para poder aplicarlo a las partículas silíceas de este estudio mediante la adición de 35 ml de agua oxigenada (H₂O₂) y ácido clorhídrico (HCl) para eliminar la materia orgánica y el carbonato cálcico, respectivamente.

El recuento y análisis de fitolitos de las 37 muestras se llevó a cabo con un microscopio óptico biológico Leitz DRMB, que cuenta con un objetivo de inmersión de 100x y con el que se puede conseguir

Resultados

Se han contabilizado un total de 359 fitolitos, 104 elongados, 25 en silla y 230 globulares. Aunque aparecen a lo largo de todo el periodo estudiado (Fig. 3), no lo hacen de manera homogénea, oscilando su número entre los 2 y los 22 ejemplares por muestra.

Los fitolitos elongados son mayoritarios durante el LGM (21-18 *cal ka BP*, 70%) y la primera mitad de la Deglaciación (17,5-14,6 *cal ka BP*, 50%) pero a partir del YD prácticamente desaparecen. Los fitolitos en silla aparecen únicamente entre 13,5 y 9,3 *cal ka BP* sin llegar a dominar la asociación en ningún intervalo del registro (0-40%). Su valor más alto de abundancia relativa se produce al final del YD (11,8 *cal ka BP*, 40%). Y, por último, los fitolitos globulares están presentes entre

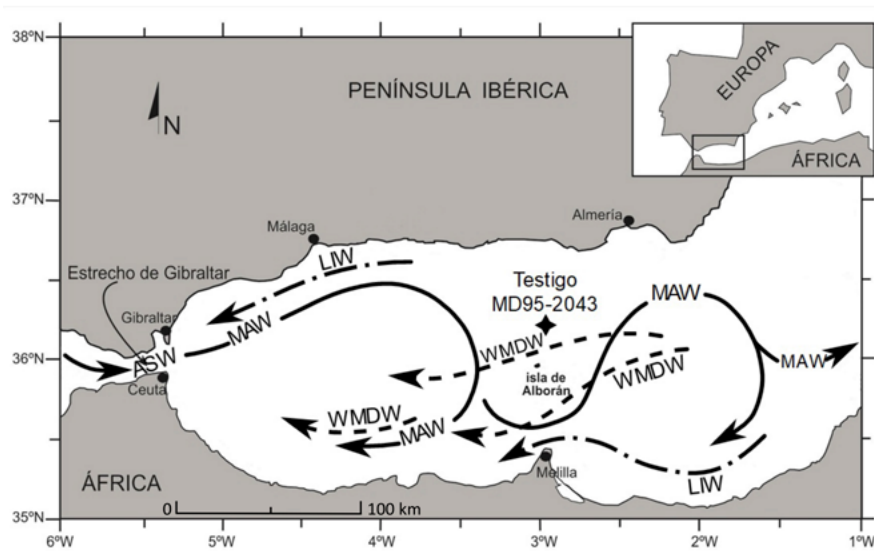


Fig. 2.- Circulación oceánica y localización del testigo oceánico MD95-2043 en el mar de Alborán.

Fig. 2.- Oceanic circulation and location of the oceanic core MD95-2043 in the Alboran Sea.

un aumento de hasta 1000x. Se examinaron como mínimo, 250 campos visuales/muestra, lo que equivale aproximadamente a 8 mm²/muestra.

Las muestras proceden del intervalo de profundidad 8,50 a 1,60 m, correspondientes a su vez a un periodo comprendido entre los 20000 y los 5000 años aproximadamente, siguiendo el modelo de edad establecido por Cacho *et al.* (1999) para este registro sedimentario.

Para identificar y clasificar las distintas morfologías se aplicó el Código Internacional para la Nomenclatura de Fitólitos (Madella *et al.*, 2005).

20652 y 8504 *cal ka BP*. Dominan la asociación durante el Holoceno (con valores que oscilan entre 50-100% y con un valor promedio del 75%), y representan más de la mitad de la misma durante la segunda mitad de la Deglaciación (con valores promedio del 57% entre 14,6-11,7 *cal ka BP*), a pesar de desaparecer al comienzo del BA y disminuir drásticamente al final del YD (Fig. 3).

En cuanto a las concentraciones totales de fitolitos, tienden a subir durante los eventos fríos H1 y YD, alcanzándose el máximo al comienzo del YD (máximo de 230000 fitolitos/g en 12,7 *cal ka BP*),

mientras que disminuyen al inicio del periodo cálido BA y a partir de 9 cal ka BP (Fig. 3).

Discusión

Las mayores concentraciones de fitolitos se registran en la Deglaciación, especialmente en los periodos fríos, coincidentes con condiciones climáticas áridas en las que aumentó el transporte eólico (Bárcena *et al.*, 1997; Fletcher y Sánchez Goñi, 2008). Los valores, comprendidos entre los 0-230000 fitolitos/g (Fig. 3), son muy bajos si se comparan con otros registros del mismo periodo como el testigo CAMEL-1, recuperado frente a las costas de África ecuatorial, en el que Bárcena *et al.* (1997) obtuvieron entre 0-1500000 fitolitos/g, y Formariz Bernabé (2016) máximos de hasta 1800000 fitolitos/g. Estas diferencias pueden ser debidas, entre otros factores, a la menor influencia de la Zona de Convergencia Intertropical (*Intertropical Convergence Zone* - ITCZ). La ITCZ regula la intensidad y dirección de los vientos con su migración estacional y, por lo tanto, parece haber ejercido más influencia sobre la llegada de sedimentos al océano en África ecuatorial que al norte del continente (Cramp y O'Sullivan, 1999).

El morfotipo de fitolito dominante en cada intervalo permite obtener información acerca del clima imperante, ya que las características morfológicas, estrechamente relacionadas con las subfamilias de gramíneas, permiten la identificación de la ruta fotosintética típica (C3 o C4). Las plantas que siguen la ruta C3 suelen estar presentes en suelos de latitudes altas, bastante húmedos y que retienen bien la humedad, debido a la elevada pérdida de agua por transpiración. Por el contrario, las plantas C4 pierden menos agua por transpiración y están mejor adaptadas a situaciones de aridez (latitudes tropicales y subtropicales; Twiss, 1992).

Así, los fitolitos elongados (Fig. 1c) son producidos por todas las subfamilias de gramíneas (Barboni *et al.*, 2007), por lo que no se puede determinar la ruta fotosintética de sus plantas de origen. Los globulares (Fig. 1b) proceden de la subfamilia de gramíneas *Pooideae* (ruta C3; Madella *et al.*, 2005), e indican climas fríos y húmedos (Formariz Bernabé, 2016). La forma en silla (Fig. 1a) se asocia a la subfamilia *Chloridoideae* (Madella *et*

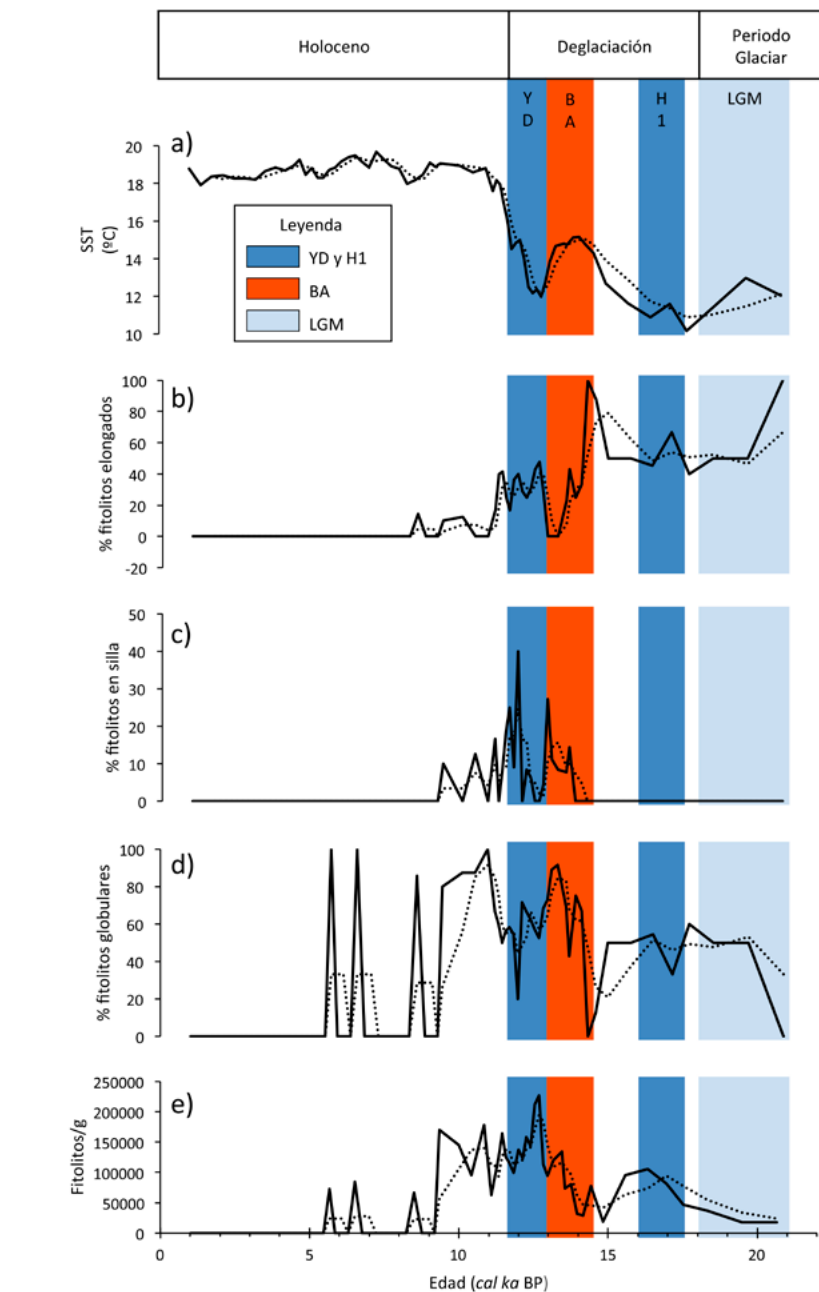


Fig. 3. a) Curva de SST de alquenonas del testigo MD95-2043 (Cacho *et al.*, 1999) añadida como referencia. b) c) y d) Abundancias relativas de fitolitos elongados, en silla, y globulares, respectivamente (líneas continuas: valores reales; líneas punteadas: suavizado de 3 puntos realizado con Microsoft Excel (2013)). e) Evolución de las concentraciones totales de fitolitos a lo largo del periodo estudiado. Ver figura en color en la web.

Fig. 3. a) Alkenone SST curve from the core MD95-2043 (Cacho et al., 1999) added as a reference. b) c) and d) Relative abundances of elongated, saddle, and globular phytoliths, respectively (solid lines: real values; dotted lines: 3-point smoothing performed with Microsoft Excel (2013)). e) Evolution of the total concentrations of phytoliths throughout the studied period. See color figure in the web.

et al., 2005; Gao *et al.*, 2018), cuyas plantas siguen la ruta fotosintética C4 y se consideran indicadores de condiciones cálidas y secas, tanto a nivel climático como edáfico (Formariz Bernabé, 2016).

De esta manera, la bajada de formas globulares en los eventos fríos H1 y YD, coincidente con aumentos de concentraciones totales, indica posiblemente condiciones áridas, que se manifiestan también en el registro de polen (Fletcher

y Sánchez Goñi, 2008). Por el contrario, tanto el BA como el comienzo del Holoceno se caracterizarían por condiciones más húmedas. Al comienzo del BA el registro de fitolitos pasa de ser dominado por las formas elongadas a dominar las globulares con presencia de formas en silla, indicando posiblemente la transición de un clima seco a un aumento de la humedad en paralelo con la subida de la temperatura de la superficie del mar

(*Sea Surface Temperature* – SST). Este cambio es simultáneo a cambios en las asociaciones de polen, que muestran una tendencia similar (Fletcher y Sánchez Goñi, 2008). En el inicio del Holoceno la situación sería parecida, y la alta concentración de fitolitos podría deberse a un aumento en la masa vegetal (Fletcher y Sánchez Goñi, 2008). La reconstrucción efectuada permite además proponer que las formas elongadas observadas en este estudio responden positivamente a condiciones de aridez, como muestra su mayor abundancia durante el Periodo Glacial y la primera mitad de la Deglaciación, aumentando de nuevo durante el YD y desapareciendo del registro al comienzo del Holoceno. Su parecido a indicadores polínicos de aridez (Fletcher y Sánchez Goñi, 2008) parecen corroborar esta interpretación.

Conclusiones

Los datos obtenidos, tanto de presencia como de abundancia de fitolitos procedentes de plantas con rutas fotosintéticas C3 y/o C4, indican que las condiciones de humedad y aridez en el mar de Alborán y sus alrededores han variado desde los 20000 hasta los 5000 años.

Las mayores concentraciones de fitolitos se dan durante la Deglaciación, sobre todo en los eventos fríos (H1 y YD) porque su transporte hacia el mar de Alborán se ve favorecido en periodos áridos.

Los 3 taxones de fitolitos identificados en este estudio responden a condiciones climáticas diferentes, determinadas por los requisitos de las plantas de las que proceden, y han de considerarse herramientas de gran utilidad para las reconstrucciones paleoclimáticas basadas en registros sedimentarios.

Agradecimientos

La realización de este estudio ha sido posible gracias al préstamo de láminas preparadas por el Grupo de Geociencias Oceánicas de la Universidad de Salamanca.

Las autoras también agradecen el tiempo dedicado por los revisores a mejorar la calidad del artículo con sus comentarios y sugerencias.

Referencias

- Barboni, D., Bremond, L. y Bonnefille, R. (2007). *Palaeo* 246, 454-470.
- Bárcena, M.A. y Abrantes, F. (1998). *Marine Micropaleontology* 35, 91-103.
- Bárcena, M.A., Sierro, J.F., Francés, G., Baraza, J., Ercilla, G. y Flores, J.A. (1997). *Geogaceta* 21, 35-38.
- Biswas, O., Ghosh, R., Kumar Paruya, D., Mukherjee, B., Kumar Thapa, K. y Bera, S. (2016). *Quaternary Science Reviews* 134, 114-132.
- Cacho, I., Grimalt, J.O., Pelejero, C., Canals, M., Sierro, F.J., Flores, J.A. y Shackleton, N. (1999). *Paleoceanography* 14, 698-705.

- Cramp, A. y O'Sullivan, G. (1999). *Marine Geology* 153, 11-28.
- Fletcher, W.J. y Sánchez Goñi, M.F. (2008). *Quaternary Research* 70, 451-464.
- Flores, J.A. y Sierro, F.J. (1997). *Micropaleontology* 43, 321-324.
- Formariz Bernabé, E. (2016). *Utilidad de los registros de material silicificado de testigos oceánicos en el estudio de la evolución climática de África noroccidental durante los últimos 40.000 años*. Trabajo Fin de Máster. Univ. de León, 39 p.
- Gao, G., Jie, D., Li, D., Li, N., Liu, L., Liu, H., Shi, J., Leng, C., Wang, J., Liu, B. y Li, P. (2018). *Quaternary Science Reviews* 201, 1-12.
- Madella, M., Alexandre, A. y Ball, T. (2005). *Annals of Botany* 96, 253-260.
- Martrat, B., Grimalt, J.O., López-Martínez, C., Cacho, I., Sierro, F.J., Flores, J.A., Zahn, R., Canals, M., Curtis, J.H. y Hodell, D.A. (2004). *Science* 306, 1762-1765.
- Parrilla, G., Kinder, T.H. y Preller, R.H. (1986). *Deep-Sea Research* 33, 55-86.
- Piperno, D.R. (1988). *Phytolith Analysis. An Archaeological and Geological Perspective*. Academic Press, New York, 280 p.
- Twiss, P.C. (1992). En: *Phytolith Systematics*. (G. Rapp Jr. y S.C. Mulholland, Eds.). Springer Science + Business Media, New York, 113-128.
- Twiss, P.C., Suess, E. y Smith, R.M. (1969). *Soil Science Society of America Proceedings* 33, 109-115.