

Respuesta del registro sedimentario a la ciclicidad solar en el estrecho de Gerlache (península Antártica)

Sedimentary response to Solar Cyclicity in the Gerlache Strait (Antarctic Peninsula)

M. A., Bárcena ⁽¹⁾, J. Sesma ⁽¹⁾, E. Isla ⁽²⁾ y A. Palanques ⁽²⁾

⁽¹⁾ Departamento de Geología, Universidad de Salamanca. Plaza La Merced, S/N - 37008 Salamanca, España. mbarcelona@usal.es

⁽²⁾ Institut de Ciències del Mar (CSIC). Passeig Marítim de la Barceloneta, 37-49, 08003, Barcelona, España. isla@icm.csic.es , albertp@icm.csic.es

ABSTRACT

The Gerlache Strait (Antarctic Peninsula) is a semi-enclosed basin that acts as a giant sedimentary trap collecting large amounts of material. Previous biogenic and glacial deposits are the main suppliers of sediments. The basin is also an area of high sea-surface productivity, mostly restricted to the summer months of December and January. In this study we present micropaleontological and geochemical data obtained from a set of four sediment cores obtained by the Spanish research vessel Hespérides during the Fruela-96 expedition. The cores were collected using a multiple corer allowing recovery of up to eight replicates, with core lengths ranging between 32 and 34 cm. The stratigraphic framework of the cores, based in ²¹⁰Pb activity, shows that there has been a continuous sedimentation in the sites during the last 220 years BP.

The diatom assemblage varies between absolute values of 0.9 to 240 x 10⁸ valves/g of dry sediment. Chaetoceros RS are the main contributor showing values from 66 to 90 %. The Thalassiosira antarctica group and Sea-ice taxa, mainly Fragilariopsis curta, are secondary contributors.

The total abundance of diatoms and the content of biogenic silica are interpreted as paleoproductivity proxies. In this sense, a progressive reduction in paleoproductivity is observed towards the core top, with a sharp minimum around 100 yr B.P. Moreover an increase of Sea-ice Taxa is observed for the last 100 yr. These changes could be related to the onset of a neoglacial event during this period.

In order to evaluate the cyclicity record, Spectral analyses (Multi-Tapered Method) were performed on different parameters (TOC, Opal, total diatom abundance, Sea-ice Taxa and T. antarctica). The time series study shows two main types of cyclicities, 80-90 and 20-30 years in two cores, G4 and G5, both recovered from central Gerlache Strait. This cyclicity seems to be in agreement with the Hale (22 years) and the Gleissberg (83 years) Solar Cycles. Both cycles are related to strong solar eruptive activity, which modulate the amplitude of the 11-year sunspot cycle (Schawe Cycle); this cycle was also recognised in our record.

Key words: Holocene, Gerlache Basin, Diatoms, Geochemistry, Sunspot cyclicity.

Geogaceta, 38 (2005), 179-182
ISSN: 0213683X

Introducción

El Holoceno es un periodo que se caracteriza por rápidas fluctuaciones climáticas reconocidas en ambos hemisferios, tanto en registros continentales como marinos (Domack y Mayewski, 1999). El registro inter-hemisférico de eventos neoglaciales apunta hacia patrones astronómicos como responsables de estos cambios climáticos, que serían los responsables de teleconexiones entre el sistema atmósfera-hidrosfera-criosfera. Muchos son ya los estudios que han propuesto la actividad solar, y la variación en el número e intensidad de las manchas solares, con un ritmo de 250 años, como responsables de estas oscilaciones climáticas.

Las cuencas adyacentes a la península Antártica son áreas altamente sensibles a los cambios climáticos y oceanográficos. Estudios previos muestran una tendencia

general hacia una reducción en la productividad primaria (Bárcena *et al.*, 1998 y 2002; Domack, 2001). A esta tendencia se le solapa una oscilación de alta frecuencia que se corresponde con los ciclos de 250 años de la actividad solar, ciclos que se han reconocido en parámetros como susceptibilidad magnética, contenido en carbono orgánico, sílice biogénica, nitrógeno y microfósiles silíceos. Estos cambios en la productividad están controlados principalmente por la extensión banquisa de hielo y la estabilidad de la columna de agua, la hidrografía, la productividad primaria y su duración a lo largo del año. Las variaciones inducidas por estos cambios permiten inferir la evolución climática del área. Buenos ejemplos de estos eventos son los que se han reconocido en los estrechos de Bransfield y Gerlache en la península Antártica (Leventer *et al.*, 1996; Bárcena *et al.*, 1998 y 2002).

En este sentido, el principal objetivo de este estudio es poner de manifiesto si los ciclos solares de mayor frecuencia relacionados con la actividad eruptiva solar, han podido dejar su impronta en sedimentos marinos de las cuencas antárticas, empleando registros sedimentarios inalterados y con tasa de sedimentación elevada que puedan aportar información secular.

Marco oceanográfico y sedimentario

El estrecho de Gerlache es una cuenca estrecha y semi-cerrada limitada al sur por la península Antártica y al norte por el archipiélago Palmer (Fig. 1). La cuenca varía en profundidad, entre 200 y 1000 m. Oceanográficamente la cuenca de Gerlache está controlada por una corriente superficial que se sitúa en la zona central del Estrecho y que se desplaza hacia el estrecho de Bransfield en dirección noreste. Adicionalmente

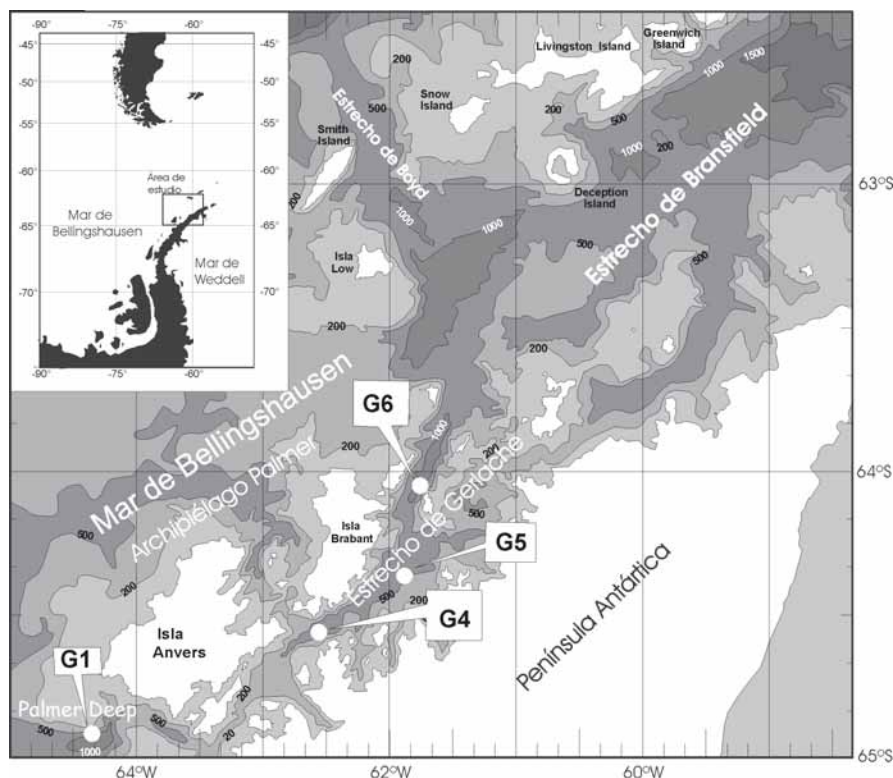


Fig. 1.- Área de estudio y localización de los testigos en el estrecho de Gerlache (península Antártica).

Fig. 1.- Study area and core location at Gerlache Strait (Antarctic Peninsula).

se han registrado remolinos en el margen sur de la cuenca, relacionados con las bahías de la península Antártica (Zhou *et al.*, 2002). La cuenca actúa como una trampa de sedimento gigantesca que colecta grandes cantidades de material en suspensión, siendo el material biogénico y de origen glacial los principales aportes sedimentarios. La cuenca de Gerlache es un área de alta productividad biológica, si bien ésta está restringida a los meses de diciembre y enero, aunque buena parte de la productividad superficial generada es transportada hacia el estrecho de Bransfield por la corriente superficial central. Los cálculos de la tasa de sedimentación obtenidos a partir de datos de ¹⁴C y ²¹⁰Pb apuntan valores elevados, en torno a 0.17-0.31 cm/año (Isla *et al.*, 2002).

Materiales y Métodos

En este estudio se presentan los datos geoquímicos y micropaleontológicos obtenidos del estudio de cuatro testigos de sedimento recuperados durante la campaña «Fruela-96» a bordo del BIO-Hespérides que se desarrolló en los estrechos de Gerlache y Bransfield.

Los testigos de sedimento se recuperaron mediante la técnica de saca-testigos múltiple que permite la obtención de sedimento físicamente inalterado. La longitud de los testigos varía entre 34 y 32 cm (Tabla I). Los testigos se muestrearon a intervalos variables, cada 0,5 cm los 10 cm superiores del testigo, cada 1,0 cm entre el 10 y 30 cm, y cada 2,0 cm hasta la base del testigo.

Para la observación y recuento de

diatomeas se siguió el procedimiento rutinario que consiste en limpieza ácida y H₂O₂ en caliente y distribución homogénea sobre cubreobjetos. En los recuentos se ha considerado un número entre 400-1200 valvas, de tal modo que en aquellas muestras en las que las esporas (RS) de *Chaetoceros* eran muy elevadas (más del 75 %) se ha considerado un número mínimo de 100 especímenes por muestra para el resto de la asociación. Se empleó un microscopio Leica DM con contraste de fases a 1000x.

El Carbono Orgánico Total (TOC) fue medido en un analizador Leco CN-2000, y para la sílice biogénica se siguieron las rutinas propuestas por Mortlock y Froelich (1989).

Para el análisis espectral se ha empleado la herramienta denominada Multi-Tapered Method (MTM) accesible en el programa informático AnalySeries 1.1 (Paillard *et al.*, 1996). Esta técnica es capaz de detectar oscilaciones de baja amplitud en series temporales cortas con un grado alto de fiabilidad estadística; además el MTM tiene la ventaja de que el significado del componente periódico no depende del poder espectral.

Resultados

Para la obtención de un modelo de edad se siguió la propuesta de tasa de sedimentación continua obtenida por Isla *et al.* (2002) a partir de datos radiométricos de actividad del ²¹⁰Pb. Así, la tasa de sedimentación varía entre 1.57 y 3.11 mm/año (Tabla I) y la edad calculada para la base de los testigos oscila entre 100 y 200 años B.P.

La asociación de diatomeas presenta valores elevados que oscilan entre 0.9 x 10⁸ valvas/g en el testigo G4 a 240 x 10⁸ valvas/g de sedimento seco en G1 (Fig. 2). El principal componente de la asociación de diatomeas es *Chaetoceros* RS, con valores medios entre el 66 y el 90,4 % (Tabla I); el grupo de especies de mar helado (GMH) y *Thassiosira antarctica*, forma relacionada con condiciones de océano abierto, presentan valores va-

Testigo	Latitud (S)	Longitud (W)	Profundidad (m)	Longitud (cm)	Tasa sedimentación (cm/año)	Carbono orgánico %	Sílice biogénica %	Valvas/g (x10 ⁸)	<i>Chaetoceros</i> RS %	GMH %	<i>T. antarctica</i> %
G1	64° 54'	64°27'	714	34	0,17	1,0	23,4	127,0	66,0	8,5	9,3
G4	64°33'	62°33'	830	32	0,31	1,2	17,4	2,8	87,4	7,5	20,0
G5	64°22'	61°53'	553	34	0,16	1,0	15,0	2,6	90,0	2,2	4,8
G6	64°03'	61°45'	1008	32	0,18	1,0	17,2	2,4	90,4	2,3	3,4

Tabla I.- Posición, profundidad, longitud de los testigos, tasa de sedimentación, contenido medio en carbono orgánico del testigo, sílice biogénica, abundancia total de diatomeas, abundancia relativa de *Chaetoceros* RS, GMH y *T. antarctica*.

Table I.- Location, water depth, core length, sedimentation rate, average organic carbon content of core, biogenic silica, total diatom abundance, relative abundance of *Chaetoceros* RS, GMH, and *T. antarctica*.

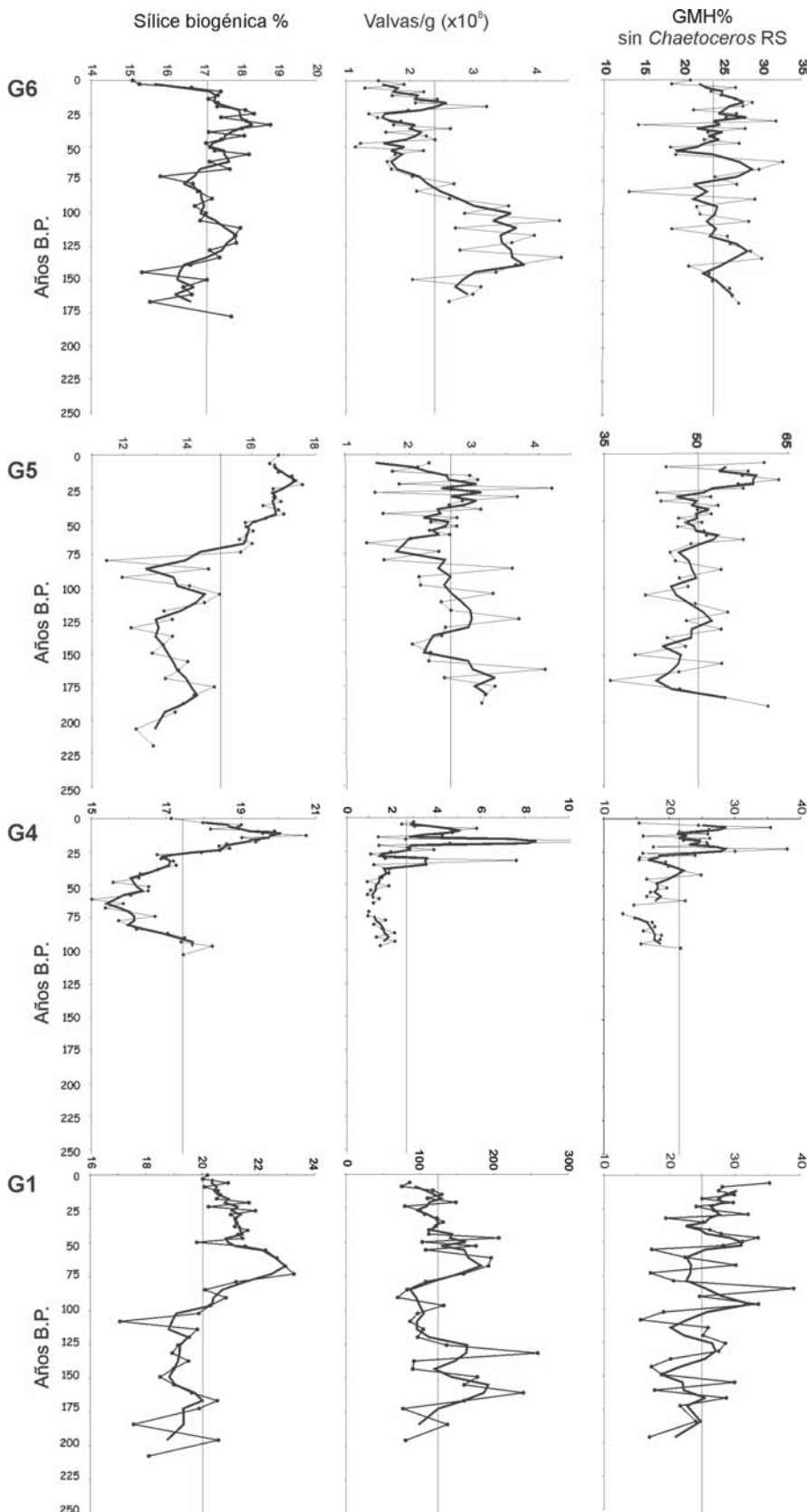


Fig. 2.- Datos geoquímicos y micropaleontológicos obtenidos en los cuatro testigos analizados. Se presentan datos referentes al contenido en Sílice Biogénica (%), Abundancia absoluta de valvas de diatomeas/g de sedimento seco, así como datos relativos del grupo de mar helado (GMH).

Fig. 2.- Geochemical and micropaleontological data from the four cores studied. Data are referred to Biogenic silica content (in %), total abundance of diatoms (valves/g dry sediment) and relative abundance of Sea-ice taxa (GMH).

riables (Tabla I). Lo más significativo de la asociación de diatomeas es, por un lado la reducción progresiva hacia techo del número de valvas/g de sedimento, y por otro un incremento en el número de formas de mar helado (Fig. 2). Además cabe reseñar una brusca caída de la abundancia de diatomeas hacia la parte media de los testigos, coincidiendo el mínimo en abundancia en torno a 100-75 años B.P. (Fig. 2). De este mínimo hacia techo, se observa un nuevo incremento. Este patrón que se pone de manifiesto en todos los testigos.

Los valores de sílice biogénica siguen una pauta próxima a la de las diatomeas. Además de la tendencia general, hay que resaltar una variabilidad interna para cada uno de los parámetros analizados; así por ejemplo en el GMH se observa una cierta ciclicidad en su registro sedimentario (Fig. 2), de tal manera que pueden observarse tres máximos en abundancia de este grupo en todos los testigos, de base a techo: Mx1 en torno a 125 años B.P., Mx2 entre 70-80 años, y un Mx3 desde 30 años hacia techo.

El análisis espectral, por su parte, arroja datos muy interesantes. El testigo G4 muestra como todos los parámetros analizados varían con una periodicidad de 22 años. Por su parte la abundancia absoluta de diatomeas y *T. antarctica* también oscilan con periodicidad de 11 años (Fig. 3). El testigo G5 presenta unas variaciones de 80-90 años en todos los parámetros, a la vez que otra de 30-20 años en los parámetros micropaleontológicos (Fig. 3). Los testigos G1 y G6, localizados en ambos extremos de la cuenca, no arrojan valores coherentes en cuanto a ciclicidad.

Discusión

Existen claras evidencias de que la actividad eruptiva solar afecta de manera determinante sobre el clima del planeta (Hodell *et al.*, 2001; Neff *et al.*, 2001). Por su parte, la relación entre patrones de sedimentación y la actividad de las manchas solares (ciclos de 250 años) en el margen occidental de la península Antártica ha sido puesta de manifiesto por Leventer *et al.* (1996) y Bárcena *et al.* (1998 y 2002). Desde entonces, el interés por estas cuencas marginales ha ido creciendo. No obstante, si esta ciclicidad de baja frecuencia está bien documentada, los ciclos de mayor frecuencia no son tan evidentes en estas áreas o no se han encontrado sedimentos inalterados con tasas de sedimentación lo suficientemente altas como para registrarlos.

Estudios sedimentológicos realizados por Isla *et al.* (2004) sobre los testigos analizados han puesto de manifiesto el posible origen de las partículas sedimentadas. Para estos autores los testigos localizados en el centro de la cuenca de Gerlache (G4 y G5) son un reflejo de la productividad primaria

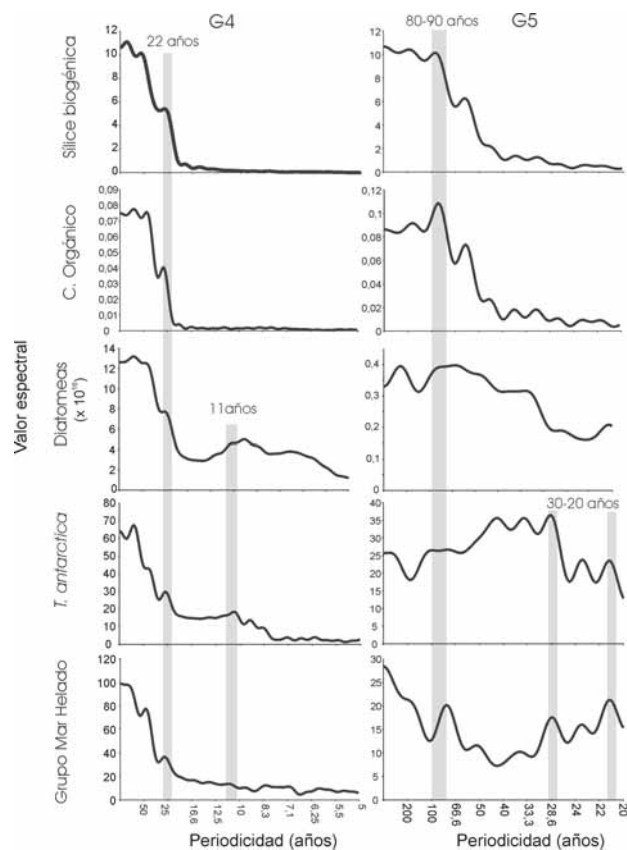


Fig. 3.- Análisis espectral (MTM) del contenido en sílice biogénica, carbono orgánico, abundancia total de diatomeas, abundancia relativa de la especie *Thalassiosira antarctica*, así como del GMH, realizado sobre los testigos de la zona central del estrecho de Gerlache.

Fig. 3.- Spectral analyses (MTM) of Biogenic silica, Organic carbon, total diatom abundance, relative abundance of *T. antarctica* and Sea-ice taxa (GMH) on cores G4 and G5 from the central Gerlache Strait.

producida en las aguas superficiales, mientras que a los testigos G1 y G6 hay que sumarles el transporte y la acumulación de materiales procedentes del Mar de Bellingshausen, en el caso de G1, y desde la propia cuenca de Gerlache en el caso de G6. Así pues, el hecho de que no se haya encontrado una ciclicidad coherente para los testigos G1 y G6 podría ser explicado por el origen mixto de las partículas que se están sedimentando en estos sectores de la cuenca, que aunque no muestren una ciclicidad marcada sí ponen de manifiesto cambios paleoceanográficos significativos (Fig. 2). Por el contrario, el centro de la cuenca recoge lo que se produce en sus aguas superficiales, y por lo tanto registra de un modo más directo los cambios climáticos y oceanográficos que tuvieron lugar, como pone de manifiesto la ciclicidad inferida.

Estos ciclos de 11, 20-30 y 80-90 años están claramente relacionados con la actividad eruptiva solar. Una mayor actividad solar implica una mayor velocidad en los vientos solares y ondas de choque que actúan como escudo protector magnético

contra los rayos cósmicos, influyendo directamente en el clima terrestre. De tal modo que una mayor actividad solar conduce a un incremento en las temperaturas, mientras que mínimos de actividad lleva a periodos más fríos. Los ciclos de 20-30 y 80-90 años se conocen como ciclos Hale y Gleissberg, respectivamente; ambos están relacionados con la actividad solar y son el resultado de la modulación en la amplitud del ciclo de 11 años (ciclo de Schawe). En este sentido, cabe destacar que el mínimo observado en todos parámetros y datado en torno a 100 años B.P. esta relacionado con una caída en la paleoproduktividad y probablemente influido por un mínimo en actividad solar coincidiendo con un mínimo Gleissberg. De igual modo, aunque sin influir directamente en la paleoproduktividad, las fluctuaciones observadas en el GMH podrían estar condicionadas por los ciclos de mayor frecuencia (ciclos Hale y Schawe), de tal modo que durante mínimos en la actividad solar se da una producción y un mayor tiempo de residencia de la banquisa en el estrecho de Gerlache, reflejándose en un incremento en el GMH.

Conclusiones

Las altas tasas de sedimentación de la cuenca de Gerlache han permitido reconocer fluctuaciones climáticas relacionadas con la actividad eruptiva solar.

Se han puesto de manifiesto ciclos de Schawe (11 años), de Hale (22 años) y de Gleissberg (83 años). Así, las variaciones en la paleoproduktividad superficial indican la presencia de un mínimo Gleissberg entre 75-100 años B.P. registrado a lo largo de toda la cuenca.

Mínimos de 11 y 22 años, coincidiendo con etapas más frías, se manifiestan mediante incrementos en la asociación de mar helado (GMH).

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia mediante el contrato Ramón y Cajal (nº contrato 13749957) y el proyecto REN2003-09622-C02-02. Los autores también agradecen a Jesús Roncero su ayuda en la preparación de muestras.

Referencias

- Bárcena, M.A., Gersonde, R., Ledesma, S., Fabrés, J., Calafat, A.M., Canals, M., Sierro, F.J. y Flores, J.A. (1998). *Antarctic Science*, 10, 269-285.
- Bárcena, M.A., Isla, E., Plaza, A., Flores, J.A., Sierro, F.J., Masqué, P., Sanchez-Cabeza, J.A. y Palanques, A. (2002). *Deep-Sea Research*, 49, 935-950.
- Domack, E.W. y Mayewski, P.A. (1999). *Holocene*, 9, 237-241.
- Hodell, D.A., Brenner, M., Curtis, J.H. y Guilderson, T. (2001). *Science*, 292, 1367-1370.
- Isla, E., Masqué, P., Palanques, A., Sanchez-Cabeza, J.A., Bruach, J.M., Guillen, J. y Puig, P. (2002). *Deep-Sea Research. Part 2. Topical Studies in Oceanography*, 49, 3275-3287.
- Isla, E., Masqué, P., Palanques, A., Guillen, J., Puig, P. y Sánchez-Cabeza, J.A. (2004). *Marine Geology*, 209, 265-277.
- Leventer, A., Domack, E., Ishman, S.E., Brachfeld, S., McClennen, C.E. y Manley, P. (1996). *Geological Society of America Bulletin*, 108, 1626-1644.
- Mortlock, R.A. y Froelich, P.N. (1989). *Deep Sea Research*, 36, 1415-1426.
- Neff, U., Burns, S.J., Mangini, A., Mudelsee, M., Fleitmann, D. y Matter, A. (2001). *Nature*, 411, 290-293.
- Paillard, D., Labeyrie, L. y Yiou, P. (1996). *Eos Transactions*, 77, 379.
- Zhou, M., Niiler, P.P., y Hu, J.H. (2002). *Deep Sea Research I*, 49, 267-280.