

# CONDICIONANTES AMBIENTALES DE COMUNIDADES DE FORAMINÍFEROS BENTÓNICOS DURANTE EL PLEISTOCENO MEDIO EN EL ATLÁNTICO SUDOCCIDENTAL

Cecilia LAPRIDA<sup>1</sup>, Natalia GARCÍA CHAPORI<sup>1</sup>, Josefina RAMÓN MERCAU<sup>1</sup>, Silvia WATANABE<sup>2</sup>, Violeta TOTAH<sup>2</sup>, Susana MARCOLINI<sup>3</sup> y Roberto VIOLANTE<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Estudios Andinos “Don Pablo Groeber” (IDEAN), Universidad de Buenos Aires-Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

<sup>2</sup> Museo de Ciencias Naturales “Bernardino Rivadavia”. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

<sup>3</sup> Departamento de Geología Marina, Servicio de Hidrografía Naval. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

## RESUMEN

El océano Atlántico Sur es clave en la distribución de masas de agua profunda hacia otros océanos. Dado el papel que juega la circulación termohalina en el clima, el reconocimiento de variaciones en su distribución durante los ciclos glaciales/interglaciales reviste gran interés. Los foraminíferos bentónicos son utilizados como herramientas de reconstrucción paleoceanográfica, y la existencia de especies asociadas a masas de agua fue utilizada para definir cambios en la circulación oceánica profunda. Sin embargo, la relación entre foraminíferos bentónicos y masas de agua es controversial. Con el objetivo de determinar si las asociaciones de foraminíferos bentónicos reflejan la distribución de las masas de agua profunda durante un evento glacial del Pleistoceno Medio, se analizó un testigo ubicado en el límite entre dos masas de agua profunda: la *North Atlantic Deep Water* y la *Circumpolar Deep Water*. En las asociaciones se hallaron especies consideradas indicadoras de ambas masas de agua, aunque algunas especies asociadas a la *Circumpolar Deep Water* presentan abundancias relativas mayores, siendo *Uvigerina peregrina* dominante en ciertos niveles. Sin embargo, la escasa abundancia de *Globocassidulina subglobosa*, asociada a la *Circumpolar Deep Water*, y la constancia en el porcentaje de especies consideradas indicadoras de la *North Atlantic Deep Water* impiden atribuir la dominancia de *Uvigerina peregrina* a una mayor influencia de la *Circumpolar Deep Water*. El hecho de que esta especie está asociada a flujos elevados de materia orgánica y que su mayor dominancia coincida con aumentos en la abundancia de *Globigerina bulloides* indica que la productividad superficial fue el factor determinante en la estructuración de las asociaciones de foraminíferos bentónicos en el talud norbonaerense durante el Pleistoceno Medio.

**Palabras clave:** *Foraminíferos bentónicos, Atlántico Sudoccidental glacial, Pleistoceno Medio*

## ABSTRACT

*Environmental constraints on benthic foraminifera communities during Middle Pleistocene from the southwest South Atlantic Ocean*

The southern South Atlantic is crucial in the distribution of deep water masses towards other ocean basins. Given the role of the thermohaline circulation in the climatic system, insights into its variations during glacial/interglacial cycles is of great interest. Benthic foraminifera are used in paleoceanographic reconstructions, tracking changes in deep oceanic circulation by means of the distribution of indicator species associated with certain water masses. However, the relationship between benthic foraminifera and water masses is controversial. A sediment core drilled at the North Atlantic Deep Water-Circumpolar Deep Water limit was surveyed for benthic foraminifera in order to determine whether assemblages reflect patterns of deep water-masses distribution during a Middle Pleistocene glaciation event. The assemblages recovered comprised species indicative of both water types, with Circumpolar Deep Water-indicator species being slightly more abundant due to *Uvigerina peregrina* dominance. In spite of this, the low abundance of other Circumpolar Deep Water-indicator species such as *Globocassidulina subglobosa* coupled with the evenness in the relative abundance of North Atlantic Deep Water indicator-species preclude the interpretation of *Uvigerina peregrina*'s dominance in terms of a greater influence of Circumpolar Deep Water at the expense of North Atlantic Deep Water. The latter species, also an indicator of high organic matter fluxes, increases its relative abundance jointly with those of *Globigerina bulloides*, which suggests that surface productivity influenced deep benthic foraminifera assemblages in the Buenos Aires talus during Middle Pleistocene glaciations.

**Keywords:** *Benthic foraminifera, glacial South Atlantic, Middle Pleistocene*

## INTRODUCCIÓN

El ambiente marino profundo, que comienza en el límite exterior de la plataforma continental (~100 m) e incluye al talud continental y la emersión (~ 4000 m), cubre alrededor del 60 % de toda la superficie terrestre. En términos hidrográficos suele considerarse como la región por debajo de la termoclina permanente, donde las condiciones físico-químicas son más uniformes y estables (Gage y Tyler 1991). Los foraminíferos bentónicos (Granuloreticulosa, Foraminifera) habitan el ambiente marino, desde los ambientes marino-marginales hasta el océano profundo. Son los organismos que dominan las actuales comunidades meibentónicas y los que se preservan en mayor proporción en el registro fósil. Su distribución en ambientes marinos profundos depende de diferentes parámetros físico-químicos tales como temperatura, salinidad, oxígeno disponible y saturación de carbonatos. Otros factores tales como la energía hidráulica en la interfase agua-sedimento y la disponibilidad de recursos alimenticios, en términos de calidad y cantidad de materia orgánica biodisponible, también cumplen un papel esencial en su distribución y abundancia, aunque su rol en los ambientes profundos es menos determinante.

Los foraminíferos fueron utilizados desde mediados de 1980 como indicadores de masas de agua oceánica. Las masas de agua son entidades físicas caracterizadas por su oxigenación y densidad, y su ordenamiento define la estratificación vertical de las aguas de los océanos dando lugar a la circulación termohalina. En el Atlántico Sur, las asociaciones actuales y fósiles han sido utilizadas para el reconocimiento y reconstrucción de la distribución horizontal y vertical de masas de agua superficiales y profundas (Boltovskoy y Totah 1987, 1988, Hodell *et al.* 1983, Johnson 1983, Mackensen *et al.* 1993).

Desde comienzos de 1970, fue tomando gradualmente mayor fuerza la idea de que la distribución de los foraminíferos bentónicos podría estar determinada por los flujos de materia orgánica proveniente de la productividad primaria en aguas

superficiales más que por las características físico químicas de las masas de agua (*cf.* Jorissen *et al.* 2007). Es a partir de los trabajos de Herguera y Berger (1991) y Berger y Herguera (1992) que los foraminíferos bentónicos comenzaron a ser utilizados como *proxies* de paleoproduktividad superficial y de oxigenación del fondo oceánico profundo (Fariduddin y Loubere 1997, Schmiedl y Mackensen 1997, Fontanier *et al.* 2002, Sun *et al.* 2006, Smart 2008). Sin embargo, en el océano Atlántico Sudoccidental estos estudios son aún escasos. Sólo recientemente, de Mello y Sousa *et al.* (2006) y Burone *et al.* (2011) analizaron los factores ecológicos que determinan la distribución de foraminíferos bentónicos actuales en la plataforma y talud superior y medio del margen continental Brasileiro, proponiendo que la productividad primaria es uno de los factores determinantes. Pero la controversia respecto de si las masas de agua, la productividad primaria o una combinación de ambas determinan la distribución y estructura de las comunidades de foraminíferos en ambientes marinos profundos, aún persiste (Mackensen *et al.* 1993), sobre todo porque las mismas especies han sido consideradas, alternativamente bajo los distintos paradigmas, indicadoras de productividad primaria o de masas de agua (ver Jorissen *et al.* 2007 para una discusión detallada).

El océano Atlántico Sudoccidental es un sitio ideal para testear estas hipótesis, debido a que presenta una estructura hidrográfica que involucra masas de agua de distinto origen a distintas profundidades y es una zona altamente productiva. Es sabido que las variaciones climáticas asociadas a los ciclos glaciales/interglaciales del Cuaternario han determinado la distribución de las masas de aguas superficiales y profundas en el océano Atlántico Sudoccidental (Hodell *et al.* 1983, Vergnaud Grazzini *et al.* 1984, Wefer *et al.* 1996). Si las masas de agua y sus características dinámicas determinan la estructura de las comunidades de foraminíferos bentónicos, entonces las variaciones pasadas en la distribución de las masas de agua se verían reflejadas en cambios en la

estructura de las paleocomunidades. Pero si la composición de las asociaciones está determinada por los patrones de productividad, podría existir una reestructuración de las masas de agua profunda sin que ésta se manifieste como cambios en la estructura de las comunidades bentónicas.

El objetivo del presente trabajo es analizar las asociaciones de foraminíferos bentónicos del testigo SP1251 (38° 29,7'S - 53° 40,7'O, talud inferior, 3400 metros de profundidad) de modo de reconocer si los cambios en la estructura hidrográfica profunda (>3000 m) acontecidos durante el Pleistoceno Medio impactaron en la composición de las asociaciones mencionadas. El testigo se halla en el límite actual entre la *North Atlantic Deep Water* y la *Lower Circumpolar Deep Water* (Henrich *et al.* 2003), de manera que si la distribución vertical de las masas de agua determina la distribución de los foraminíferos bentónicos, cualquier pequeña modificación debería verse reflejada en la contribución de las especies consideradas indicadoras.

### Masas de agua profunda e indicadores en el Océano Atlántico Sudoccidental

La dinámica oceánica del océano Atlántico Sudoccidental ha sido objeto de diversos estudios (Peterson y Stramma 1991, Boltovskoy 1981, Boltovskoy *et al.* 1996, Henrich *et al.* 2003, Chiessi *et al.* 2007, Toledo *et al.* 2007). En el mismo se identifican diversas masas de agua, tanto intermedias como profundas: la *South Atlantic Central Water* (SACW), la *Antarctic Intermediate Water* (AAIW), la *Circumpolar Deep Water* (CDW), la *North Atlantic Deep Water* (NADW) y la *Antarctic Bottom Water* (AABW). En superficie se reconoce además un frente dinámico caracterizado por el encuentro de dos grandes corrientes: la corriente cálida de Brasil, que se dirige hacia el sur, y la corriente fría de Malvinas, que se dirige hacia el norte. Este frente se conoce como Convergencia Brasil-Malvinas (CBM) (Gordon 1981, Peterson y Stramma 1991, Stramma y England 1999). En este trabajo nos concentraremos en las masas de agua profunda presentes en el área de estudio (~38°S- 54°O, Fig. 1)

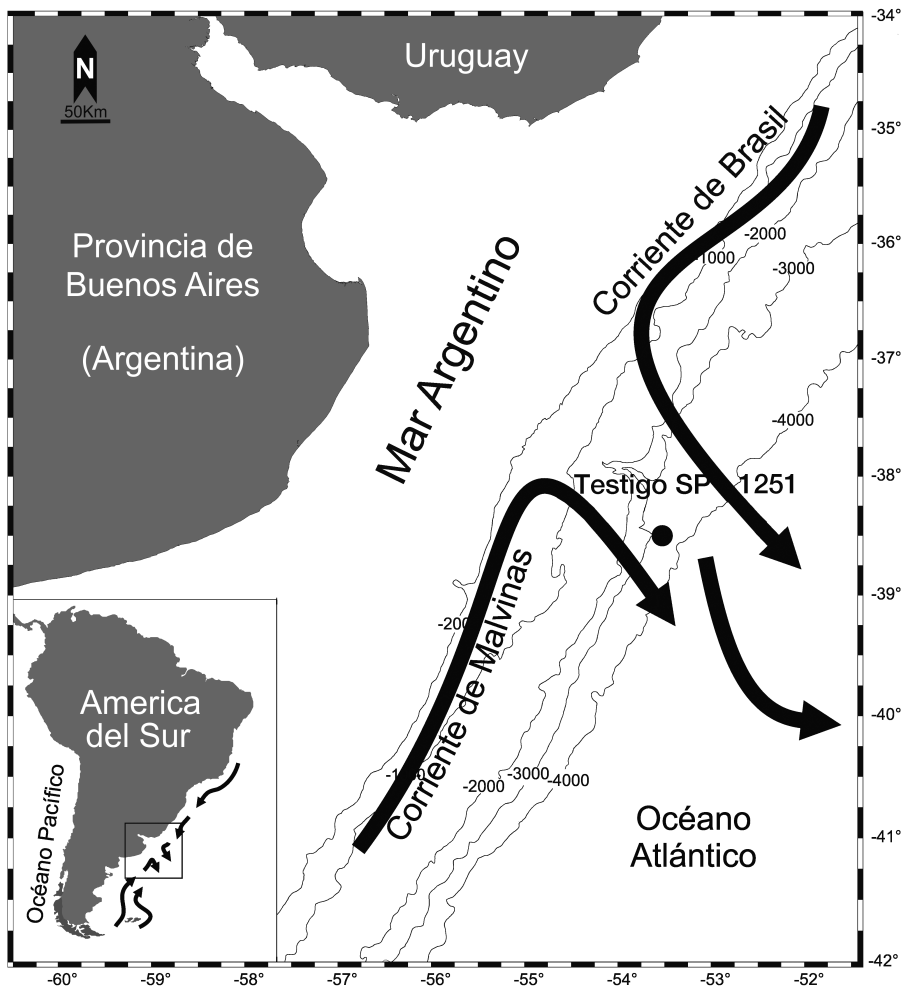


Figura 1: Mapa de ubicación del testigo SP1251 con las principales corrientes superficiales.

entre los 2000-4000 m: la *North Atlantic Deep Water*, la *Circumpolar Deep Water* y la *Antarctic Bottom Water* (Henrich *et al.* 2003). Al norte de la CBM, la *North Atlantic Deep Water* fluye hacia el sur entre los 2000 y los 4000 metros de profundidad; al sur de la CBM se topa con la *Circumpolar Deep Water* que se dirige hacia el norte, y la divide en dos corrientes, una suprayacente (*Upper Circumpolar Deep Water*) y una subyacente (*Lower Circumpolar Deep Water*). Por debajo de los 4000 metros de profundidad sólo se registra la *Antarctic Bottom Water* (Frenz *et al.* 2003). La *North Atlantic Deep Water* es una masa de agua relativamente más oxigenada, cálida y salobre ( $O_2 \sim 250 \mu\text{mol kg}^{-1}$ ,  $S \sim 34,9$  psu;  $\theta \sim 3^\circ \text{C}$ ) que la *Circumpolar Deep Water* ( $O_2 < 200 \mu\text{mol kg}^{-1}$ ,  $S < 34,8$  psu,  $\theta < 2,9^\circ \text{C}$ ) y que la *Antarctic Bottom Water* ( $O_2 \sim 225 \mu\text{mol kg}^{-1}$ ,  $\theta < 0^\circ \text{C}$ ). Adicionalmente, tanto la *Circumpolar Deep*

*Water* como la *Antarctic Bottom Water* se caracterizan por ser masas de agua ricas en nutrientes (Alleman *et al.* 2001, Piola y Matano 2001).

Murray (1995) establece que existe sólo un limitado número de asociaciones de foraminíferos bentónicos que habitan los ambientes marinos profundos, y la presencia y abundancia de ciertas especies está determinada por la presencia de masas de agua específicas. Así, en el océano Atlántico Sudoccidental, la presencia y/o dominancia de *Epistominella exigua* y *Oridorsalis umbonatus* ha sido asociada a la presencia de la *North Atlantic Deep Water*; la de *Globocassidulina subglobosa* y *Uvigerina peregrina* ha sido considerada indicadora de la *Circumpolar Deep Water*; y *Nuttalides umbonifera*, indicadora de la *Antarctic Bottom Water* (Hodell *et al.* 1983, Johnson 1983). De acuerdo a estos autores, los cambios en la abun-

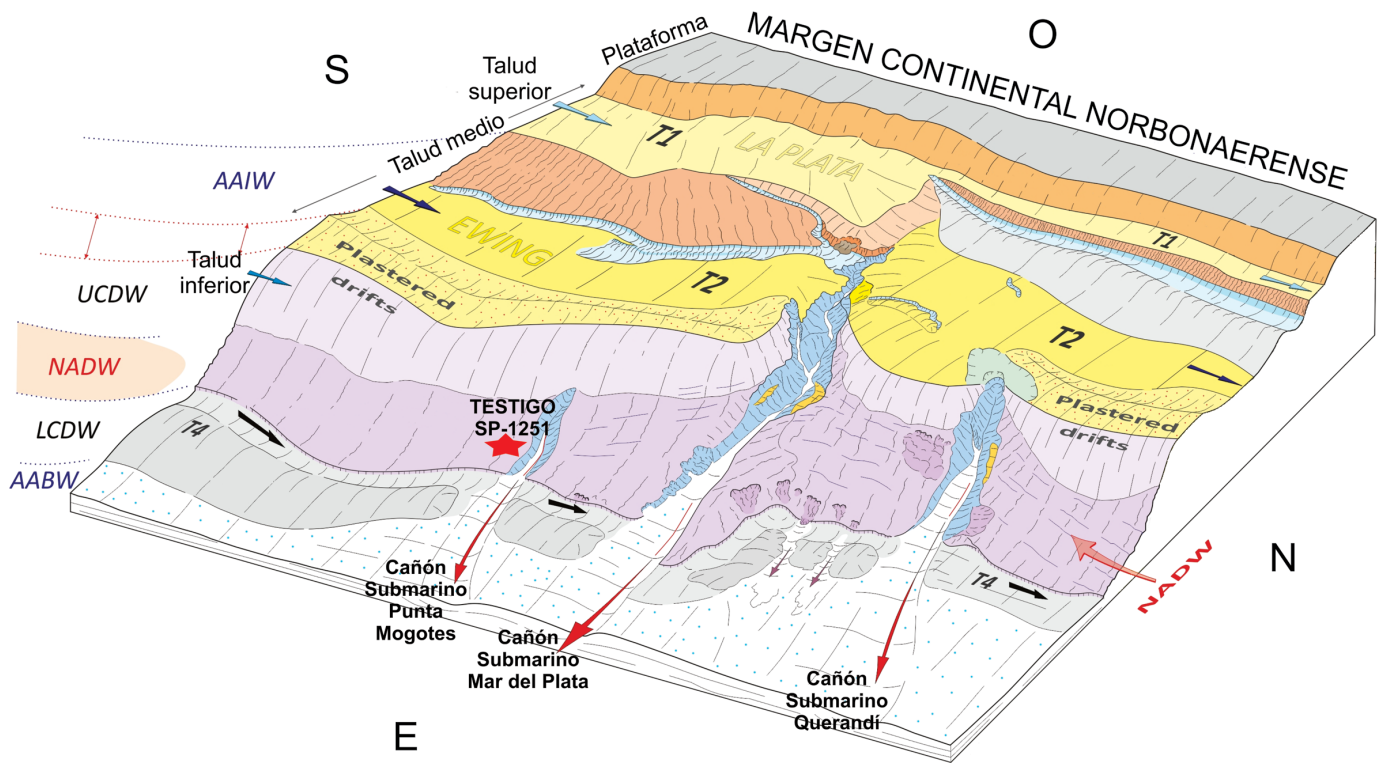
dancia de las especies mencionadas son el resultado de variaciones en la estructura oceanográfica vertical del océano Atlántico Sur a lo largo del Pleistoceno.

### Contexto fisiográfico

El área de estudio se encuentra en el sector bonaerense del talud continental argentino (Fig. 1). El talud continental se desarrolla entre los 120 y 3500-4000 metros de profundidad. Su geomorfología (Fig. 2) se encuentra genéticamente asociada a la circulación de corrientes de contorno tanto de origen antártico como subtropical. La presencia de terrazas a distintas profundidades conforman el gran sistema contornítico que caracteriza al sector bonaerense del talud (Hernández-Molina *et al.* 2009, 2010, 2011, Violante *et al.* 2010, Preu *et al.* 2012). Los procesos erosivo-depositacionales en la interfase entre las diferentes masas de agua y el fondo oceánico provocaron la formación de terrazas (Fig. 2): la terraza La Plata (T1), desarrollada alrededor de los 500 m; la terraza Ewing (T2 de Hernández-Molina *et al.* 2011), desarrollada entre los 1200-1500 m (Preu *et al.* 2012, Bozzano *et al.* 2011, Violante *et al.* 2010); y la terraza Necochea (T4), ubicada al pie del talud inferior ( $\sim 3500$  m de profundidad).

El testigo SP1251 ( $38^\circ 29.7'S - 53^\circ 40.7'O$ , 3400 metros de profundidad) fue extraído del talud inferior en el límite actual entre la *North Atlantic Deep Water* y la *Lower Circumpolar Deep Water* (Henrich *et al.* 2003), al sur de la zona de influencia de los cañones submarinos Mar del Plata y Querandí, en el límite con la zona de emersión (Fig. 2). La extracción se realizó mediante un *piston corer* a bordo del Buque Oceanográfico Puerto Deseado (CONICET-MinDef) en el marco de las campañas Pistón de la Comisión de Plataforma (COPLA). En el área, las terrazas presentan un patrón de apilamiento progradante agradacional (Preu *et al.* 2012) que representa la transición entre la zona de deriva con relieve suave y los *plastered drifts* (depósitos aplastados opuestos a la pendiente), los cuales se hallan típicamente relacionados a condiciones de flujo moderado a débil.

El Cañón Submarino Mar del Plata es el



**Figura 2:** Mapa fisiográfico del sector norte del margen continental Argentino con ubicación del testigo SP1251 y las principales masas de agua intermedias y profundas. (Modificado de Preu *et al.* (2012). T1: terraza La Plata; T2: terraza Ewing; T4: terraza Necochea; AAIW: Antarctic Intermediate Water; UCDW: Upper Circumpolar Deep Water; NADW: North Atlantic Deep Water; LCDW: Lower Circumpolar Deep Water; AABW: Antarctic Bottom Water.

más importante del área. Atraviesa perpendicularmente el talud continental y se extiende sobre los sectores superiores de la zona de emersión (Fig. 2). Su cabecera comienza alrededor de los 500 metros de profundidad, de modo que no tiene conexión directa con la plataforma exterior. La parte superior del cañón (~500-1200 m) conforma una amplia y muy suave depresión con forma de anfiteatro de unos 50 km de largo y 40 km de ancho, cuyo desnivel llega a ser de 100 a 200 m. A partir de los 1200 m, el cañón adquiere una típica morfología de profundo valle en V, de 700 a 1000 m de desnivel, con flancos muy empinados. A profundidades mayores a 3700-3800 m, el cañón va perdiendo progresivamente su configuración morfológica, abriéndose progresivamente para comenzar a confundirse con el relieve de la emersión (Violante *et al.* 2010, Fig. 2). Según Ewing y Lonardi (1971) el Cañón Submarino Mar del Plata constituye un rasgo esencial en la caracterización morfo-sedimentaria del margen continental

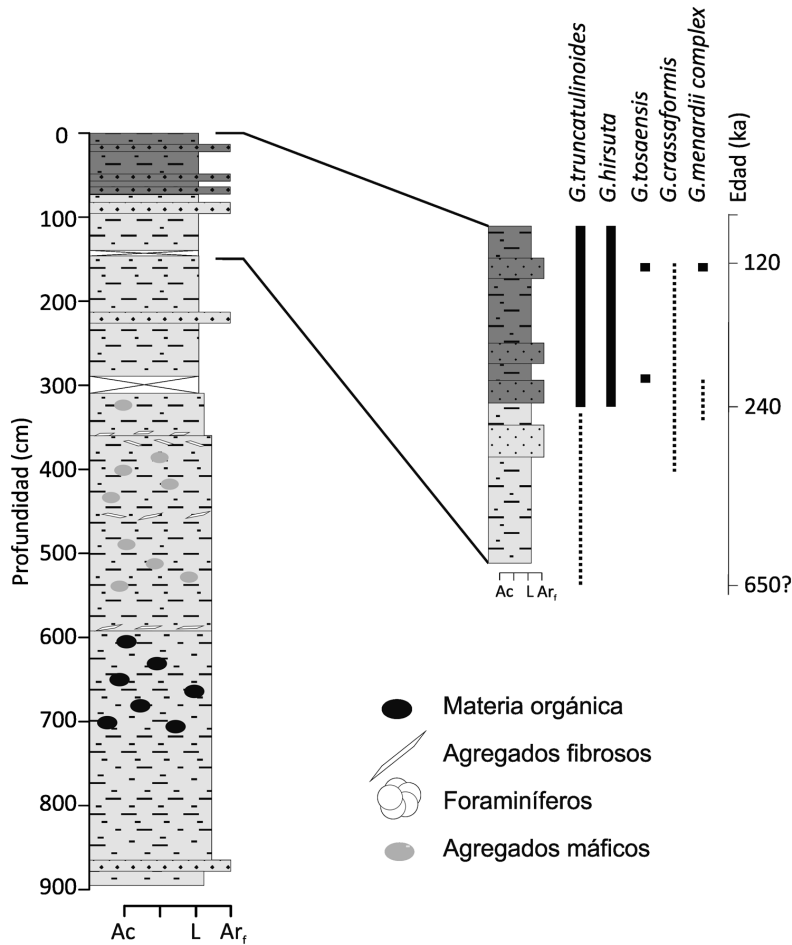
bonaerense debido a que las áreas situadas al norte y sur del mismo manifiestan características diferentes.

## MÉTODOS

El testigo SP1251 (897 cm, Fig. 3) fue abierto y descrito en el Departamento de Geología Marina del Servicio de Hidrografía Naval. Se efectuó en primera instancia un estudio prospectivo de 10 muestras a una equidistancia 80-100 cm abarcando la totalidad del testigo con el objetivo de identificar las secciones fértiles. A partir de estos resultados preliminares se intensificó el muestreo en los 200 cm superiores, tomándose muestras cada 5 cm en los primeros 20 cm y luego cada 20 cm. Una muestra con un notable incremento en el contenido de arena fue intercalada a los 96 cm. De esta manera se obtuvo un total de 19 muestras. Las muestras fueron secadas mediante estufa a una temperatura constante  $\leq 50$  °C y pesadas en balanza analítica. Luego fueron lava-

das con agua corriente sobre un tamiz de 63  $\mu\text{m}$  y la fracción remanente fue secada y pesada nuevamente para el cálculo de abundancias. Todos los foraminíferos de toda la muestra fueron extraídos bajo lupa binocular. Para la identificación de la fauna bentónica se tuvieron en cuenta los criterios de Loeblich y Tappan (1988) y Boltovskoy (1970, 1973, 1976).

La disolución puede afectar selectivamente el ensamble de foraminíferos y desvirtuar las conclusiones a las que se arriban a partir de sus análisis cuali- y cuantitativos. Con el objetivo de analizar la incidencia de los efectos de disolución se analizó en primera instancia la relación entre foraminíferos planctónicos y bentónicos (P/B) y el porcentaje relativo de los foraminíferos aglutinados, calcáreos hialinos y calcáreos porcelanáceos. Los foraminíferos planctónicos poseen una mayor susceptibilidad a la disolución como consecuencia de la mayor porosidad de sus paredes, por lo cual valores bajos de la relación P/B indican disolución



**Figura 3:** Esquema del testigo SP1251. La columna de la derecha representa el sector fértil analizado con el esquema bioestratigráfico propuesto por Laprida *et al.* (2011). Ac: arcilla; L: limo; Ar<sub>r</sub>: arena fina.

(Kucera 2007). Por otra parte, en ambientes marinos profundos con fuerte disolución, las asociaciones residuales suelen estar dominadas por foraminíferos aglutinados (Alve *et al.* 2011). Esto es de particular importancia por cuanto los fenómenos de disolución en el océano Atlántico Sudoccidental están fuertemente extendidos como consecuencia de la operatividad de las aguas corrosivas de origen antártico, en particular de la *Antarctic Bottom Water* (Dittert y Henrich 2000).

Una vez identificada la fauna a nivel específico, se analizaron los patrones de abundancia y porcentaje de las especies consideradas indicadoras de masas de agua profunda presentes en el océano Atlántico Sudoccidental, en particular la *North Atlantic Deep Water*, la *Circumpolar Deep Water* y la *Antarctic Bottom Water* según el criterio propuesto por Hodell *et al.* (1983). Adicionalmente se realizaron análisis de

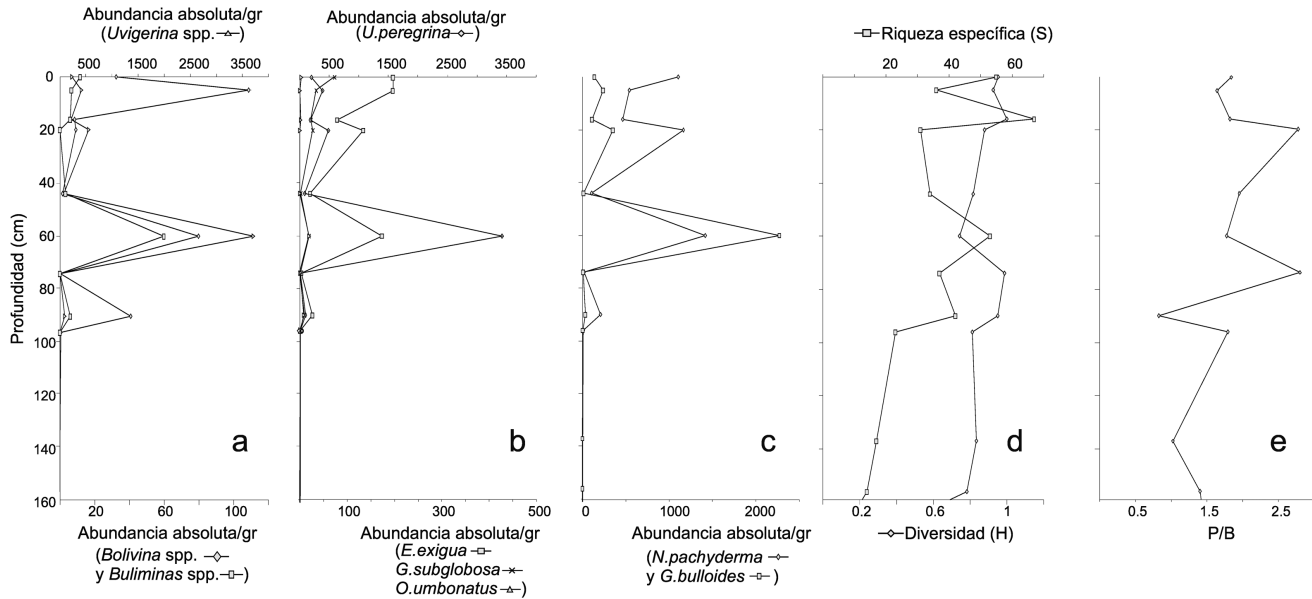
abundancia (número de individuos por gramo de sedimento bruto) y diversidad (índice de Shannon-Wiener y riqueza específica definida como el número de especies presentes en toda la muestra). Adicionalmente se calculó la abundancia de infauna profunda asociada a alto contenido de materia orgánica (*Bolivina* spp., *Bulimina* spp. y *Uvigerina* spp.), como uno de los factores potenciales que afectan la distribución de la meiofauna bentónica. La selección de las especies fue basada en los criterios ecológicos establecidos por Lutze y Coulbourn (1984), Corliss *et al.* (1986), Mackensen *et al.* (1993), Schmiedl y Mackensen (1997), Schmiedl *et al.* (1997), Smart (2002, 2008), Smart *et al.* (1994), Thomas *et al.* (1995), Gooday (1993, 2003), Loubere y Faridudin (1999) y Jorissen *et al.* (2007), y en estudios recientes efectuados para el margen continental Brasileiro (de Mello e Sousa *et al.*

2006, Burone *et al.* 2011).

Con el fin de reconocer los condicionantes que afectaron la estructura de las comunidades bentónicas se efectuó un análisis de agrupamiento (*cluster analysis*) delimitado por la ubicación estratigráfica de las asociaciones mediante el método denominado CONISS (Grimm 1987), el que utiliza el algoritmo de ligamiento de Ward. Se empleó la distancia euclídea sobre datos porcentuales sin transformar recalculando los totales una vez omitidas las especies con una abundancia menor al 3%. Como criterio de corte para la definición de los grupos se consideraron tanto la bisectriz de la mayor distancia entre nodos como el 50% de la suma de cuadrados totales.

Con el objetivo de reconocer cambios en la estructura oceánica y la productividad mediante indicadores independientes, se analizó la abundancia de especies de foraminíferos planctónicos claves de la fracción de sedimento mayor 150  $\mu\text{m}$ , en particular *Neogloboquadrina pachyderma (sinistra)*, especie indicadora de aguas superficiales de origen subpolar y por lo tanto de la reestructuración oceanográfica, y *Globigerina bulloides*, especie indicadora de alta productividad primaria (Thomas *et al.* 1995). Para su identificación se tuvieron en cuenta los criterios de Kennett y Srinivasan (1983), Saito *et al.* (1981) y Kettle-von Mücke y Hemleben (1999).

La edad del testigo fue determinada previamente a partir del análisis bioestratigráfico de foraminíferos planctónicos (García Chapori y Laprida 2009, Laprida *et al.* 2011). El intervalo estudiado corresponde al Pleistoceno Medio, probablemente entre los 240-120 ka AP. La reconstrucción de temperaturas superficiales del mar efectuadas en Laprida *et al.* (2011) indican que la sucesión corresponde a un momento glacial, de modo que el mismo puede asignarse al MIS 6. De acuerdo al el modelo de Martinson *et al.* (1987) y la reconstrucción efectuada en Laprida *et al.* (2011), la sección analizada correspondería a los OIE 6.4-6.2 por lo que abarcaría, a lo sumo, entre los 160 ka AP y los 140 ka AP (García Chapori 2013), esto es, la parte cuspidal del Pleistoceno Medio.



**Figura 4:** Abundancias absolutas de especies indicadoras del testigo SP1251 calculadas como número de individuos por gramo de sedimento. a) Abundancias absolutas de foraminíferos infaunales profundos. b) Abundancias absolutas de foraminíferos bentónicos indicadores de masas de agua profunda en el Atlántico Sudoccidental. c) Abundancias absolutas de los foraminíferos planctónicos *N. pachyderma* (s) y *G. bulloides*. d) Riqueza específica e Índice de Diversidad de Shannon-Wiener H(S). e) Relación entre la abundancia absoluta de foraminíferos planctónicos y bentónicos (P/B).

## RESULTADOS

El testigo (Fig. 3) está compuesto por fangos de color gris oliva (5Y 3/2) y gris oliva claro (5Y 5/2). Se trata de sedimentos silicoclásticos con abundantes radiolarios y espículas de esponjas. No se observaron rastros de bioturbaciones ni estructuras internas, o algún tipo de nódulo de manganeso, los que han sido frecuentemente descritos en testigos de la región (cf. Ewing y Lonardi 1971). Entre los 306 cm y los 294 cm no se recuperó material.

Basado en criterios litológicos, el testigo fue dividido en 4 intervalos separados por contactos graduales. En el nivel 1 (897-597 cm) se reconoce arena muy fina limosa, homogénea, de color gris oliva claro (5Y 5/2). A partir de los 878 cm presenta intercalaciones poco definidas de arena fina, gradando a arenas finas con menor porcentaje de limos hacia el techo (Fig. 3). Entre los 715 cm y los 600 cm se observa un moteado negro, de orden centimétrico, relacionado a una mayor concentración de materia orgánica. El nivel 2 (597-306 cm) está constituido por arenas finas limosas en la base que gradan a fangos arenosos en el techo (Fig. 3), de color gris oliva claro (5Y 5/2). A lo largo de toda la

sección se observa un moteado centimétrico de agregados de minerales máficos tamaño arena fina de color gris oscuro a rojizo o castaño. En niveles discretos de la parte inferior del nivel (590 cm, 463 cm, 372 cm y 368 cm) se observan agregados fibroso-aciculares blancos. El nivel 3 (294-73 cm) está constituido por fango homogéneo de color gris oliva claro (5Y 5/2). Este tramo se caracteriza por su bajo porcentaje de arena fina (~10%), a excepción de los niveles 210 cm y 96 cm, donde el porcentaje de arena supera el 80% (Fig. 3). El nivel 4 (73-0 cm) consta de fango con intercalaciones de material arenoso de color gris oscuro (5Y 3/2) en los niveles 73 cm, 68 cm y 20-22 cm.

De las 19 muestras analizadas micropaleontológicamente solo 11 correspondientes a los primeros 156 cm resultaron fértiles. En ellas, se reconocieron 130 especies de foraminíferos bentónicos pertenecientes a 41 géneros. El número de ejemplares indeterminables fue siempre inferior al 10 %. El número de individuos recuperados fue altamente variable, oscilando entre ~20 y ~6500 individuos g<sup>-1</sup>. La asociación está dominada por foraminíferos calcáreos hialinos (>90 %), estando los calcáreos porcelanáceos y los aglutinados

muy subordinados. En la figura 5 pueden apreciarse que solo 20 especies superan el 3 % en al menos un nivel. La distribución de las frecuencias de las especies que presentan porcentajes superiores al 5 % en al menos un nivel se muestra en el cuadro 1. Entre ellas, *Uvigerina peregrina* domina la asociación total, aunque en algunos niveles es superada por *Alabaminella weddellensis*. En los ensambles se hallaron especies consideradas indicadoras de la *North Atlantic Deep Water* (*Epistominella exigua* y *Oridorsalis umbonatus*), cuyas abundancias promedio fueron 5 % y 0,4 % respectivamente, y especies consideradas indicadoras de la *Circumpolar Deep Water* (*Globocassidulina subglobosa* y *Uvigerina peregrina*), cuyas abundancias promedio fueron 3,4 % y 14 % respectivamente. Notablemente no se registró *Nutallides umbonifera* que se considera indicadora de la *Antarctic Bottom Water*. Como puede apreciarse, las especies consideradas indicadoras de la *Circumpolar Deep Water* presentan una abundancia mayor a las de la *North Atlantic Deep Water*, en particular en algunos niveles en los que domina *Uvigerina peregrina*. Por ejemplo, en el nivel 60 cm *Uvigerina peregrina* representa el 52,5 %, mientras que *Epistominella exigua* representa el 2,6 %. Sólo en el te-

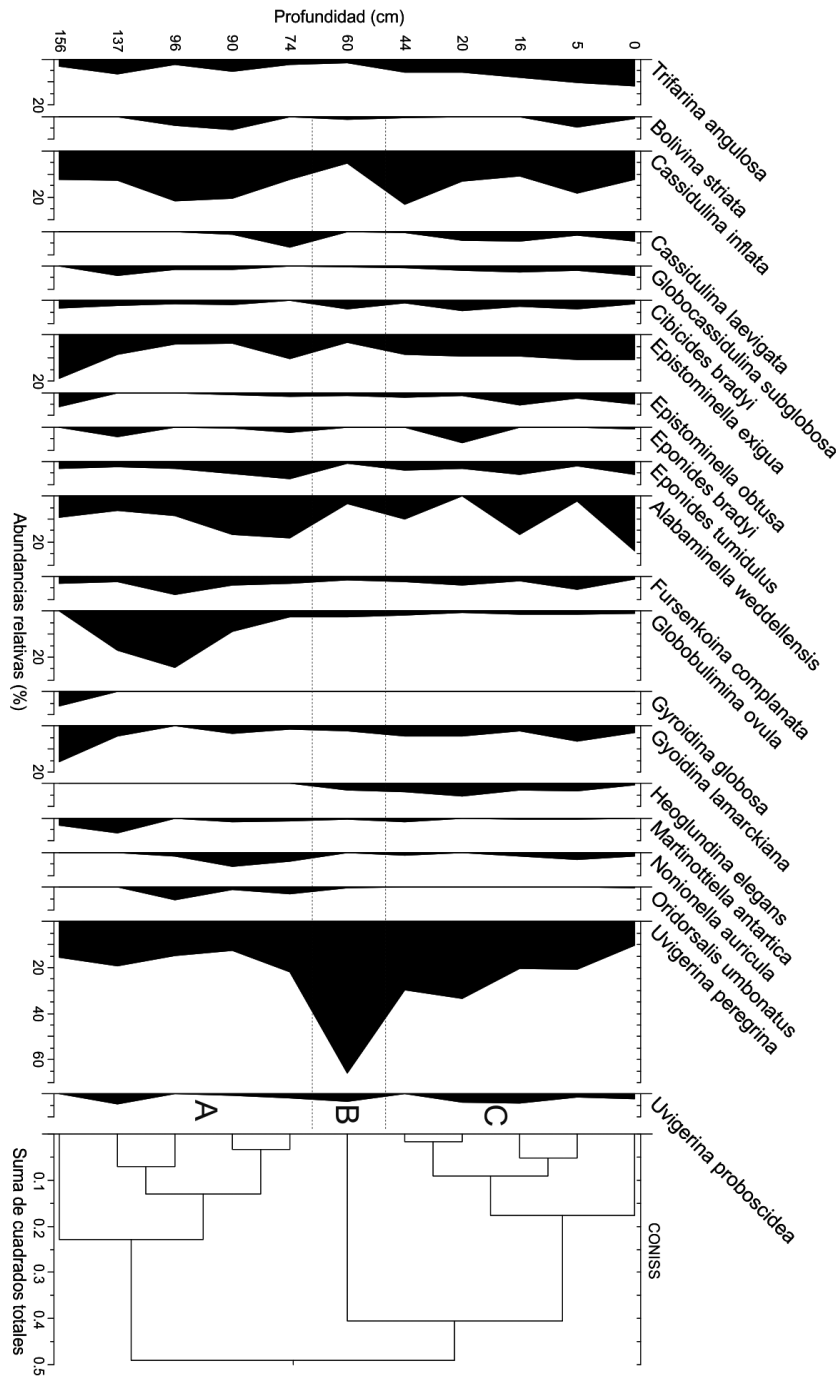


Figura 5: Abundancias relativas de las especies de foraminíferos bentónicos del testigo SP1251 con una abundancia mayor al 3 % en al menos una muestra y análisis de agrupamiento.

cho del testigo *Epistominella exigua* supera apenas en abundancia a *Uvigerina peregrina* (Cuadro 1). El análisis de agrupamiento permitió el reconocimiento de tres grupos claramente definidos en el tramo fértil del testigo (Fig. 5). El grupo A abarca el intervalo de muestras entre los 156-74 cm. Se caracteriza por la alta abundancia relativa

de *Globobulimina ovula*, *Cassidulina inflata*, *Alabaminella weddellensis* y baja abundancia relativa de *Uvigerina peregrina*. En esta zona se observa muy baja abundancia general (<200 individuos g<sup>-1</sup>, Fig. 4) y esto incluye también tanto a las especies consideradas indicadoras de masas de agua profunda, la infauna profunda (*Uvigerina* spp., *Bolivina* spp. y *Bulimina* spp.) y los foraminíferos

planctónicos *Neogloboquadrina pachyderma* (s) y *Globigerina bulloides* (Fig. 4). Los valores de diversidad y riqueza específica también son relativamente bajos (S = 15-41; H(S) = 0,7-1, Fig. 4) aunque tienden a aumentar levemente hacia los niveles superiores. La relación P/B también es baja, y muestra la misma tendencia (Fig. 4). Dentro de esta tendencia generalizada, en el nivel 90 cm se verifica un incremento de la abundancia, de la diversidad y de la riqueza específica, una disminución de la relación P/B y la mayor contribución de *Epistominella exigua* y de *Bolivina* spp. (Cuadro 1, Fig. 4), en coincidencia con un muy leve incremento en *Globigerina bulloides* y uno más marcado de *Neogloboquadrina pachyderma* (s) (Fig. 4).

El grupo B está conformado exclusivamente por la muestra 60 cm (Fig. 5), que se caracteriza por un muy conspicuo aumento en la abundancia relativa de *Uvigerina peregrina* y mínimos valores de *Cassidulina inflata*. Se observa un marcado incremento en la abundancia, que se verifica también en las especies consideradas indicadoras de la *Circumpolar Deep Water* y de la infauna profunda. En ambos casos, los picos se relacionan al brusco incremento de *Uvigerina peregrina*, que alcanza los 3500 individuos g<sup>-1</sup> (Fig. 4). Si bien la abundancia de las especies consideradas indicadoras de la *North Atlantic Deep Water* también aumenta, lo hacen en comparación muy levemente. En este nivel se observa un máximo en la riqueza específica, que notablemente coincide con un descenso en la diversidad (Fig. 4). La abundancia de *Globigerina bulloides* y de *Neogloboquadrina pachyderma* (s) se incrementa notablemente (Fig. 4), lo que contrasta con la relación P/B, que presenta una notable caída con respecto al nivel previo.

El grupo C incluye el intervalo de muestras 44-0 cm (Fig. 5) y se caracteriza por una moderada abundancia relativa de *Uvigerina peregrina* y el aumento en la abundancia de *Cassidulina inflata* y *Trifarina angulosa*. Se observa un aumento de la abundancia de las especies consideradas indicadoras de la *North Atlantic Deep Water*, en particular de *Epistominella exigua*. Sin embargo, la abundancia de especies indicadoras de la

*Circumpolar Deep Water* también aumenta, aunque en menor proporción. No obstante, como a lo largo de todo el testigo, la dominancia de *Uvigerina peregrina* por sobre *Epistominella exigua* sigue siendo marcada (Fig. 4). En lo que respecta a la riqueza específica, la misma tiende a ser menor que en la zona precedente, a excepción del nivel 16 cm que supera las 60 especies. La diversidad es baja, comparable a la calculada para los niveles basales (Fig. 4). La infauna profunda, por su parte, presenta valores bajos en relación al nivel anterior, observándose una marcada contribución en el nivel 5 cm del género *Bolivina* (Fig. 4).

## DISCUSIÓN

A pesar de que la constancia en la composición específica de las asociaciones recuperadas parece indicar que las condiciones durante la depositación de los niveles fértiles habrían sido relativamente constantes, la discriminación que efectúa el análisis de agrupamiento y la variación en los valores de abundancia, diversidad y riqueza específica (Fig. 4) permiten inferir que existió algún factor que condicionó cambios en la estructura de las asociaciones fósiles analizadas. Los mismos podrían estar vinculados a procesos tafonómicos tales como disolución, la que podría haber afectado diferencialmente las asociaciones, condicionado su estructura por efectos de su modificación *post-mortem*. Sin embargo, la constancia en los valores P/B (Fig. 4) y en los porcentajes de aglutinados, calcáreos hialinos y calcáreos porcelanáceos, así como la presencia de especies planctónicas susceptibles a la disolución tales como *Turborotalita quinqueloba* (Malmgren 1983) indican que la disolución no ha afectado a las asociaciones. Esto brinda un marco de mayor confiabilidad a las inferencias que puedan hacerse a partir de su estudio, y habilitan a las interpretaciones paleoceanográficas que se efectúen sobre ellas.

La fauna bentónica presente en el testigo SP1251 es característica de ambientes de talud. En el océano Atlántico Sudoccidental esta fauna suele estar dominada por especies de distribución mundial ta-

**CUADRO 1:** Muestras analizadas y abundancias relativas de las especies de foraminíferos bentónicos del testigo SP1251 con una abundancia mayor al 5 % en al menos una muestra.

Profundidad (cm)	<i>Alabaminella weddellensis</i>	<i>Epistominella exigua</i>	<i>Globobulimina ovula</i>	<i>Oridorsalis umbonatus</i>	<i>Uvigerina peregrina</i>	Abundancia total
0	18.46	8.19	3.06	0.73	7.95	2406
5	1.92	9.30	1.60	1.28	17.95	2117
16	13.05	7.19	2.10	1	16.15	1097
20	0	7.46	1.49	0.50	26.87	1798
44	8.57	7.14	0.57	1.43	25.14	302
60	2.66	2.66	0.30	1.92	52.52	6511
74	12.70	7.19	0	1.69	15.24	38
90	13.58	2.94	1.13	7.24	10.18	902
96	7.13	3.24	1.30	20.73	12.31	20
137	5.45	7.27	3.64	14.55	16.36	3
156	8.33	16.67	0	0	13.89	2
182	0	0	0	0	0	0
210	0	0	0	0	57.14	7
220	0	0	0	0	0	1
245	0	0	0	50	0	0
360	0	0	50	0	0	3
570	0	0	0	0	0	2
720	0	0	0	0	0	0
870	0	0	0	0	0	0

les como *Bulimina rostrata*, *Cibicides bradyi*, *Cibicides kullebergi*, *Cibicides muellerstorfi*, *Globocassidulina subglobosa*, *Melonis affine*, *Pullenia bulloides*, *Pullenia osloensis*, *Uvigerina peregrina*, *Uvigerina proboscidea*, *Uvigerina pigmea* y *Oridorsalis umbonatus* (Boltovskoy 1980, 1984), todas las cuales se encuentran en el testigo SP1251 (Cuadro 1).

El testigo SP1251 corresponde a un momento glacial del Pleistoceno Medio (MIS 6). Las temperaturas superficiales del mar reconstruidas a partir de funciones de transferencia son de 4° a 6° C más frías que las actuales para idénticas latitudes (Laprida *et al.* 2011). Los altos valores de abundancia de *Neogloboquadrina pachyderma* (s) y de especies subantárticas (*Neogloboquadrina pachyderma* (d), *Globigerina bulloides*, *Globigerinita uvula*, *Globorotalia truncatulinoides*, *Globorotalia scitula* y *Turborotalita quinqueloba*) confirman estas reconstrucciones e indican la dominancia de aguas superficiales de origen subpolar (Laprida *et al.* 2011). Esto corrobora que durante los ciclos glaciales-interglaciales, la estructura hidrológica del océano Atlántico Sudoccidental ha sufrido importantes reorganizaciones (Wefer *et al.* 1996). Estas reorganizaciones involucran necesariamente a toda la masas de agua, tanto superficiales

como profundas.

En el océano Atlántico se han definido tres modos de circulación oceánica: estadal o glacial, interstadial o moderno, y un modo Heinrich (Clark *et al.* 2002). En el modo glacial, la *North Atlantic Deep Water* se forma por convección en mar abierto al sur de Islandia, en el Atlántico Norte, por lo que durante los momentos glaciales como el registrado en el testigo SP1251, la formación de la *North Atlantic Deep Water* se vería reducida, afectando la distribución de la masas de agua profunda en todo el Atlántico (Boyle 1992, Oppo y Lehman 1993). Las consecuencias de estos cambios son aún controversiales (Clark *et al.* 2002), pero los modelos de circulación oceánica general establecen que tanto la *North Atlantic Deep Water* como la *Antarctic Bottom Water* se habrían ubicado a batimetrías menores durante el Último Máximo Glacial (Otto Bliesner *et al.* 2007). Por su parte, Hodell *et al.* (1983) establecieron que durante los períodos glaciales habría habido una disminución en la formación de la *North Atlantic Deep Water* y de la *Antarctic Bottom Water*, permitiendo el desplazamiento hacia mayores y menores profundidades de la *Circumpolar Deep Water* en el océano Atlántico Sudoc-



cidental. En contraposición, Vergnaud Grazzini *et al.* (1984) establecieron que durante los períodos glaciales hubo en el océano Atlántico Sudoccidental una intensificación de la *Antarctic Bottom Water* y de la *Circumpolar Deep Water*, desplazándose ambas hacia menores profundidades. Considerando los modos de circulación atlántica glacial y la ubicación batimétrica del testigo SP1251, es de esperar que las asociaciones de foraminíferos bentónicos indiquen una dominancia de la *Circumpolar Deep Water* o bien de la *Antarctic Bottom Water*, en desmedro de los indicadores de la *North Atlantic Deep Water*. Sin embargo, el análisis cuantitativo de los ensambles bentónicos del testigo SP1251 no representa ninguno de los escenarios paleoceanográficos propuestos. No se hallaron especies consideradas indicadoras de la *Antarctic Bottom Water* aun cuando su influencia a la profundidad del testigo en este sector del margen continental Argentino debió haber sido notable durante los períodos glaciales de acuerdo a los modelos de Vergnaud Grazzini *et al.* (1984) y Otto Bliesner *et al.* (2007). De hecho, la ausencia de fauna calcárea en los niveles basales del testigo SP1251 ha sido asignada a la disolución del carbonato como consecuencia de la operatividad de la *Antarctic Bottom Water* durante los momentos más fríos de la glaciación a la profundidad del testigo (Laprida *et al.* 2011). Sin embargo, en los tramos fértiles del testigo, no se hallaron especies indicadoras de su influencia.

En contraposición a la conspicua ausencia de especies indicadoras de la *Antarctic Bottom Water*, se hallaron especies que han sido consideradas indicadoras de la *Circumpolar Deep Water* y de la *North Atlantic Deep Water*, con una mayor proporción de las primeras. Sin embargo, el análisis detallado de las abundancias relativas de las especies dentro cada uno de los grupos definidos por el análisis de agrupamiento permite establecer que la composición de especies en cada uno de los grupos no coincide con los ensambles propuestos por Hodell *et al.* (1983) y Johnson (1983). Si bien el grupo B se caracteriza por una muy marcada dominancia de *Uvigerina pe-*

*regrina*, asociada a la *Circumpolar Deep Water*, las especies dominantes en el grupo A no corresponden a las consideradas como indicadoras de masas de agua reconocidas en la región, mientras que en el grupo C, dos de las especies más abundantes, *Uvigerina peregrina* y *Epistominella exigua*, han sido consideradas indicadoras de diferentes masas de agua. Adicionalmente, algunas de ellas han sido recientemente mencionadas como abundantes en el dominio de influencia de aguas intermedias (la *Antarctic Intermediate Water*) en el margen continental brasilero, por encima de los 2000 m (de Melo e Sousa *et al.* 2006, Burone *et al.* 2011), por lo cual no podrían ser utilizadas como indicadores de masas de agua profunda en el Atlántico Sudoccidental.

En resumen, y contrariamente a lo esperado de acuerdo a los modelos de Hodell *et al.* (1983), en el testigo no se observa una dominancia de las especies consideradas indicadoras de la *Circumpolar Deep Water* en desmedro de las especies consideradas indicadoras de la *North Atlantic Deep Water*; la dominancia de las especies indicadoras de la *Circumpolar Deep Water* es aparente y debida exclusivamente a la abundancia de *Uvigerina peregrina*, y no a un ensamble de especies que indique su dominancia a la profundidad del testigo como consecuencia de su somerización durante los períodos glaciales. La constancia en las proporciones de especies consideradas indicadoras de la *North Atlantic Deep Water* y la baja abundancia de *Globocassidulina subglobosa* (Fig. 4) hacen difícil atribuir la alta abundancia de *Uvigerina peregrina* a una mayor influencia de la *Circumpolar Deep Water* en desmedro de la *North Atlantic Deep Water*. Esto indica que el factor estructurante de las comunidades de foraminíferos bentónicos no fue la estructura vertical de las masas de agua, sino algún otro factor que determinó específicamente la abundancia de *Uvigerina peregrina*. Por otra parte, la conspicua ausencia de especies consideradas indicadoras de la *Antarctic Bottom Water* indicaría que el modelo de Vergnaud Grazzini *et al.* (1984), que establece una somerización de la *Antarctic Bottom Water* durante los momentos glaciales, tampoco explica la

distribución de los foraminíferos bentónicos en el testigo SP1251.

La discrepancia entre los resultados obtenidos en el presente trabajo y los presentados por Hodell *et al.* (1983) y Vergnaud Grazzini *et al.* (1984) puede deberse a un inadecuado conocimiento de la distribución actual de los foraminíferos en el océano Atlántico Sudoccidental. De acuerdo a estudios efectuados sobre muestras superficiales extraídas en la zona de la actual influencia de la *Circumpolar Deep Water* (Boltovskoy y Totah 1988), la abundancia relativa de especies consideradas indicadoras de la *North Atlantic Deep Water* y la *Circumpolar Deep Water* suelen ser semejantes. Pero aun considerando esta situación de paridad como indicadora de la dominancia de la *Circumpolar Deep Water*, si las masas de agua profunda fueran las que determinaron la participación en las asociaciones fósiles de las especies consideradas indicadoras, podrían plantearse dos escenarios: uno en el cual la participación de las especies consideradas indicadoras de la *North Atlantic Deep Water* y de la *Circumpolar Deep Water* son semejantes, lo que estaría indicando la dominancia de la *Circumpolar Deep Water*; y otro en el que la participación de las especies consideradas indicadoras de la *North Atlantic Deep Water* es mayor a las de la *Circumpolar Deep Water*, lo que estaría indicando la dominancia de la *North Atlantic Deep Water*. Ninguno de estos escenarios posibles coincide con las observaciones efectuadas en el testigo SP1251. De acuerdo a lo expuesto, la dominancia de *Uvigerina peregrina* en las muestras analizadas no puede ser explicada como consecuencia de la dominancia de la *Circumpolar Deep Water* durante los momentos glaciales, sino por otro factor que determina específicamente su abundancia. *Uvigerina peregrina* ha sido asociada a flujos elevados y constantes de materia orgánica hacia el fondo oceánico (Gooday 2003), por lo que entonces tal vez sea la calidad trófica del ambiente bentónico la que condicione su gran abundancia. Junto con la infauna profunda en general, constituye una de las principales especies de foraminíferos bentónicos indicadoras de alta produc-

tividad (Schmiedl *et al.* 1997). La contribución de la infauna profunda (Fig. 4) se correlaciona con la de *Uvigerina peregrina*, y su incremento coincide con un aumento en la abundancia de *Globigerina bulloides*, indicador de elevada productividad superficial (Thomas *et al.* 1995) y de riqueza específica, y un mínimo en la diversidad (Fig. 4).

Una elevada productividad primaria y la presencia de abundante materia orgánica en los fondos oceánicos parece ser el factor que estructura las comunidades bentónicas. La dominancia de *Epistominella exigua*, especie considerada indicadora de la *North Atlantic Deep Water*, sobre *Globocassidulina subglobosa*, considerada indicadora de la *Circumpolar Deep Water*, parece confirmar esta hipótesis, ya que *Epistominella exigua* ha sido asociada también a pulsos de fitodetritos asociada a alta productividad primaria de superficie (Gooday 2003, Smart *et al.* 1994, Smart 2008).

Estos hallazgos confirman la propuesta de Mackensen *et al.* (1993) quienes establecieron que en el sector atlántico del océano Austral, el patrón de distribución de las asociaciones de foraminíferos bentónicos puede estar asociado tanto a las masas de agua profunda como al flujo de materia orgánica. En áreas de alta productividad primaria, como el margen continental Argentino, la “señal de masas de agua” estaría sobrescrita por la “señal de productividad”, por lo que la distribución de las asociaciones de foraminíferos bentónicos depende principalmente de procesos superficiales del océano que gobiernan el suministro de alimento.

#### Origen de la materia orgánica

Si la cantidad y calidad de la materia orgánica es la que estructura las comunidades bentónicas en el océano glacial, es de interés determinar su procedencia. Si bien la mayor parte de los organismos depositivos en los ambientes marinos profundos utilizan para alimentarse materia orgánica derivada de la productividad primaria de superficie (fitodetritos), hay líneas de evidencia que indican que estos organismos pueden también utilizar exitosamente materia orgánica sedimentaria como

recurso alimentario (Murray 2006). Dado que el talud norbonaerense no es un ámbito particularmente productivo (como sí lo es el margen patagónico), es probable que la materia orgánica sedimentaria haya sido un recurso alimentario importante para las comunidades bentónicas.

Dada la ubicación del testigo, la materia orgánica sedimentaria pudo haber sido lateralmente advectada desde el sur por corrientes de contorno desde el productivo margen continental patagónico y, dado que los cañones submarinos son lugares de transporte selectivo de grano fino hacia las cuencas oceánicas (Fontanier *et al.* 2002), verticalmente canalizada hacia el talud inferior a través del sistema de cañones submarinos.

Actualmente, el material particulado procedente tanto de Patagonia como de la región Pampeana es transportado por el viento hacia el océano Atlántico Sudoccidental (Prospero *et al.* 2002). De acuerdo con Bozzano *et al.* (2011), el sector sur de la región Pampeana y el sector norte de la región Patagónica son las principales fuentes de sedimentos hacia el talud continental mediante procesos de advección lateral. Durante los periodos glaciales, como el representado por el testigo SP1251, la exposición de amplias áreas de la plataforma habría incrementado los flujos de sedimentos hacia el océano Atlántico Sudoccidental y con ellos, el de materia orgánica parcialmente degradada y refractaria de origen continental. Esta materia orgánica pudo haber sido distribuida por las corrientes de contorno hacia el norte a lo largo del talud, siendo el transporte hacia el talud inferior favorecido por los procesos gravitatorios que pudieron tener lugar en el sistema de cañones submarinos.

La estructura de los ensambles de foraminíferos bentónicos del testigo SP1251 confirma este escenario ya que coincide con la que fuera descrita para ensambles asociados a sistemas de cañones submarinos por Fontanier *et al.* (2005). En estos casos se encuentran ensambles de foraminíferos bentónicos dominados por especies infaunales profundas y poco profundas, tales como *Uvigerina peregrina*, pero empobrecidos en especies epifauna-

les que se alimentan preferencialmente de fitodetritos, tales como *Epistominella exigua* (Fontanier *et al.* 2005). Considerando la baja proporción de los indicadores de productividad superficial, la materia orgánica advectada pudo haber sido la principal fuente de alimento de las comunidades bentónicas en este sector del talud durante los momentos glaciales. Adicionalmente, es razonable suponer que la dinámica del Cañón Submarino Mar del Plata ha sido mayor durante etapas de nivel del mar bajo, cuando la línea de costa se ubicaba mucho más cerca de su cabecera, favoreciendo la advección vertical de materia orgánica sedimentaria proveniente de la plataforma hacia profundidades mayores (Violante *et al.* 2010).

#### CONCLUSIONES

La estructura de las asociaciones de foraminíferos bentónicos del talud norbonaerense durante el Pleistoceno Medio no refleja los cambios en la estructura hidrográfica de acuerdo al modelo de circulación termohalina glacial, en la cual debería existir en el océano Atlántico Sudoccidental una expansión de la *Circumpolar Deep Water* (Hodell *et al.* 1983) y/o de la *Antarctic Bottom Water* (Vergnaud Grazzini *et al.* 1984) en desmedro de la *North Atlantic Deep Water*. Si bien existe en el testigo analizado una neta dominancia de las especies consideradas indicadoras de la *Circumpolar Deep Water*, ésta está definida exclusivamente por la dominancia de *Uvigerina peregrina*, cuya abundancia estaría determinada por la existencia de elevados flujos de materia orgánica al lecho marino durante los momentos glaciales y por una mayor advección lateral y vertical de materia orgánica sedimentaria durante los momentos de mar bajo. Este hecho estaría avalado por un incremento leve en indicadores planctónicos de alta productividad superficial en aquellos niveles en los cuales *Uvigerina peregrina* es netamente dominante. En consecuencia, la variación vertical en la distribución de las masas de agua profunda asociadas a los ciclos glaciales-interglaciales juegan un rol menor en la estructuración de las comunidades

de foraminíferos bentónicos del margen continental Argentino, y la aplicación del concepto de “especies indicadoras de masas de agua” debería ser utilizado a la luz de las improntas que la productividad superficial y la advección lateral y vertical de materia orgánica dejan en las comunidades bentónicas. La estructura de las asociaciones bentónicas del talud bonaerense durante los períodos glaciales del Pleistoceno Medio estaría determinada principalmente por el flujo de materia orgánica, y las variaciones en la distribución de las masas de agua profunda jugarían un rol menor en su estructuración.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado conjuntamente por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (PIP 2142001100100014) y por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Técnica (PICT 0953/2010). Queremos agradecer a la tripulación del Buque Oceanográfico Puerto Deseado (MinCyT- CONICET) por su abnegada entrega en el mar, al Dr. José Cuitiño y a un revisor anónimo por sus constructivas críticas que, sin duda alguna, contribuyeron a mejorar sustancialmente la versión original del manuscrito. Esta es la contribución IDEAN N° R120.

#### TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Alleman, L.Y., Church, T.M., Ganguli, P., Veron, A.J., Hamelin, B. y Flegal, A.R. 2001. Role of oceanic circulation on contaminant lead distribution in the South Atlantic. *Deep-Sea Research Part 2* 48: 2855-2876.
- Alve, E., Murray, J.W. y Skei, J. 2011. Deep-sea benthic foraminifera, carbonate dissolution and species diversity in Hardangerfjord, Norway: an initial assessment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 92: 90-102.
- Berger, W.H. y Herguera, J.C. 1992. Reading the sedimentary record of the ocean's productivity. En Falkowski, P.G. y Woodhead, A.D. (eds.) *Primary Productivity and Biogeochemical Cycles in the Sea*, Plenum Press: 455-486, New York.
- Boltovskoy, E. 1984. Oligocene to Quaternary bathyal foraminifera of worldwide distribution. *Second International Symposium on Benthic Foraminifera, Benthos '83*: 6-85. Pau y Bordeaux.
- Boltovskoy, E. 1970. Masas de agua (características, distribución, movimientos) en la superficie del Atlántico sudoeste, según indicadores biológicos - Foraminíferos. *Publicación del Servicio de Hidrografía Naval Argentina H 643*: 1-99. Buenos Aires.
- Boltovskoy, E. 1973. Estudio de testigos submarinos del Atlántico Sudoccidental. *Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia"*, *Ciencias Geológicas* 7: 215-340.
- Boltovskoy, E. 1976. Distribution of Recent foraminifera of the South American region. En Hedley, R.H. y Adams, C.G. (eds.) *Foraminifera*, Academic Press Vol. 2: 171-236, London.
- Boltovskoy, E. 1980. Benthonic Foraminifera of the bathyal zone from Oligocene through Quaternary. *Revista Española de Micropaleontología* 12: 283-304.
- Boltovskoy, E. 1981. Masas de agua en el Atlántico Sudoccidental. En Boltovskoy, D. (ed.) *Atlas de Zooplancton del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino*, INIDEP: 227-236, Mar del Plata.
- Boltovskoy, E. y Totah, V.I. 1987. Relación entre masas de agua y foraminíferos bentónicos en el Pacífico Sudoriental. *Physis* 45: 37-46.
- Boltovskoy, E. y Totah, V.I. 1988. Masas de agua y foraminíferos bentónicos en el cono sur de América Meridional. *Revista Española de Micropaleontología* 20: 445-450.
- Boltovskoy, E., Boltovskoy, D., Correa, N. y Brendini, F. 1996. Planktic foraminifera from the southwestern Atlantic (30°-60°S): species-specific patterns in the upper 50 m. *Marine Micropaleontology* 28: 53-72.
- Boyle, E. A. 1992. Cadmium and  $\delta^{13}\text{C}$  paleochemical ocean distributions during the Stage 2 Glacial Maximum. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 20: 245-287.
- Bozzano, G., Violante, R. A. y Cerredo M. E. 2011. Middle slope contourite deposits and associated sedimentary facies off NE Argentina. *Geo-Marine Letters*, DOI 10.1007/s00367-011-0239-x.
- Burone, L., Mello y Sousa, S. H., Mahiques, M. M., Valente, P., Ciotti, A. y Yamashita, C. 2011. Benthic foraminiferal distribution on the southeastern Brazilian shelf and upper slope. *Journal Marine Biology* 158: 159-179.
- Chiessi, C.M., Ulrich, S., Mulitza, S., Pätzold, J. y Wefer, G. 2007. Signature of the Brazil-Malvinas Confluence (Argentine Basin) in the isotopic composition of planktonic foraminifera from surface sediments. *Marine Micropaleontology* 64: 52-66.
- Clark, P.U., Pisias, N.G., Stocker, T.F. y Weaver, A.J. 2002. The role of the thermohaline circulation in abrupt climate change. *Nature* 415: 863-869.
- Corliss, B., Martinson, D. y Keffer T. 1986. Late Quaternary deep-ocean circulation. *Geological Society of America Bulletin*, 97, 1106-1121.
- de Mello e Sousa, S.H., Passos, R.F., Fukumoto, M., Almeida da Silveira, I.C., Lopes Figueira, R.C., Koutsoukos, W.E.A.M., de Mahiques, M.M. y Rezende, C.E. 2006. Mid-lower bathyal benthic foraminifera of the Campos Basin, Southeastern Brazilian margin: Biotopes and controlling ecological factors. *Marine Micropaleontology* 61: 40-57.
- Dittert, N. y Henrich, R. 2000. Carbonate dissolution in the South Atlantic Ocean: evidence from ultrastructure breakdown in Globigerina bulloides. *Deep Sea Research Part 1 Oceanographic Research Papers* 47: 603-620.
- Ewing, M. y Lonardi, A.G. 1971. Sediment transport and distribution in the Argentine basin. Sedimentary structure of the Argentine margin, basin, and related provinces. En Ahrens L. (ed.) *Physics and Chemistry of the Earth*, 8: 125-251, Pergamon Press, Oxford.
- Fariduddin, M. y Loubere, P. 1997. The surface ocean productivity response of deeper water benthic foraminifera in the Atlantic Ocean. *Marine Micropaleontology* 32: 289-310.
- Fontanier, C., Jorissen, F. J., Licari, L., Alexandre, A., Anschutz, P. y Carbonel P. 2002. Live benthic foraminiferal faunas from the Bay of Biscay: faunal density, composition, and microhabitats, *Deep-Sea Research I* 49: 751-785.
- Fontanier, C., Jorissen, F. J., Chaillou, G., Anschutz, P., Grémare, A. y Griveaud C. 2005. Live foraminiferal faunas from a 2800 m deep lower canyon station from the Bay of Biscay: faunal response to focusing of refractory organic matter. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 52: 1189-1227.
- Frenz, M., Höppner, R., Stuetz, J.-B.W., Wagner, T. y Henrich, R. 2003. Surface sediment bulk geochemistry and grain size composition related to the oceanic circulation along the South American continental margin in the Southwest Atlantic. En Wefer, G., Mulitza, S.

- y Ratmeyer, V. (eds.) *The South Atlantic in the Late Quaternary: Reconstruction of material budgets and current systems*, Springer-Verlag: 347-373, Berlin.
- Gage, J.D. y Tyler, P.A. 1991. *Deep-sea biology: A natural history of organisms at the Deep-sea floor*, Cambridge University Press: 493 p., Cambridge.
- García Chaporí, N.L. 2013. *Reconstrucción paleoceanográfica del talud bonaerense a partir de testigos cuaternarios*. Tesis doctoral 5300, Universidad Nacional de Buenos Aires (inédita), 222 p., Buenos Aires.
- García Chaporí, N. y Laprida, C. 2009. Testigo SP1251 (Atlántico SW): Nuevas evidencias para la determinación de su Edad. 4° Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, 12° Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário y 2° Reunión sobre el Cuaternario de América del Sur, Actas: 114-121, La Plata.
- Gooday, A. J. 1993. Deep-sea benthic foraminiferal species which exploit phytodetritus: characteristic features and controls on distribution. *Marine Micropaleontology* 22: 187-205.
- Gooday, A.J. 2003. Benthic foraminifera (Protista) as tools in deep-water paleoceanography: Environmental influences on faunal characteristics. *Advances in Marine Biology* 46: 1-90.
- Gordon, A. L. 1981. South Atlantic thermocline ventilation. *Deep-Sea Research* 28: 1239-1264.
- Grimm, E.C. 1987. CONISS: a FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computers and Geosciences* 13: 13-55.
- Henrich, R., Baumann, K.H., Gerhardt, M., Gröger, M. y Volbers, A. 2003. Carbonate preservation in deep and intermediate water masses in the South Atlantic: Evaluation and geological record (A review). In Wefer, G., Mulitza, S. y Ratmeyer, V. (eds.) *The South Atlantic in the Late Quaternary: Reconstruction of material budgets and currents systems*, Springer-Verlag: 645-670, Berlin.
- Herguera, J.C. y Berger, W.H. 1991. Paleoproductivity from benthic foraminifera abundance: Glacial to postglacial change in the west-equatorial Pacific. *Geology* 19: 1173-1176.
- Hernández-Molina, F.J., Paterlini, C.M. Violante, R.A. Marshall, P., de Isasi, M., Somoza, L. y Rebesco, M. 2009. A contourite depositional system on the Argentine Slope: an exceptional record of the influence of Antarctic water masses. *Geology* 37: 507-510.
- Hernández-Molina, F.J., Paterlini, M., Somoza, L., Violante, R.A., Arecco, M.A., de Isasi, M., Rebesco, M., Uenzelmann-Neben, G., Neben, S. y Marshall, P. 2010. Giant mounded drifts in the Argentine Basin: origins, global implications in the thermohaline circulation, and gas hydrate potential. *Marine and Petroleum Geology* 27: 1508-1530.
- Hernández-Molina, F.J., Preu, B. Violante, R.A., Piola, A.R. y Paterlini, C.M. 2011. Las terrazas contorníticas en el margen continental Argentino: implicaciones morfosedimentarias y oceanográficas. *Geogaceta* 50: 145-148.
- Hodell, D.A., Kennett, J.P. y Leonard, K.A. 1983. Climatically induced changes in vertical water mass structure of the Vema Channel during the Pliocene: evidence from DSDP Sites 516A, 517, and 518. En Barker, P.F., Carlson, R.L. y Johnson, D.A. (eds.) *Initial Reports DSDP 72*, U.S. Government Printing Office: 907-919, Washington.
- Johnson, D.A. 1983. Paleocirculation of the Southwestern Atlantic. En Barker, P.F., Carlson, R.L. y Johnson, D.A. (eds.) *Initial Reports DSDP 72*, U.S. Government Printing Office: 977-994, Washington.
- Jorissen, F.J., Fontanier, C. y Thomas, E. 2007. Paleooceanographical proxies based on deep-sea benthic foraminiferal assemblage characteristics. En Hillarie-Marcel, C. y De Vernal, A. (eds.) *Proxies in Late Cenozoic paleoceanography: Developments in Marine Geology* 1, Elsevier: 263-325, Amsterdam.
- Kemle-Von Mücke, S. y Hemleben, C. 1999. Foraminifera. En Boltovskoy, D. (ed.) *South Atlantic Zooplankton*: 43-73, Backhuys Publishers, Leiden.
- Kennett, J.P. y Srinivasan, M.S. 1983. Neogene planktonic foraminifera: A phylogenetic atlas, Hutchinson Ross, 265 p., New York.
- Kucera, M. 2007. Planktonic Foraminifera as tracers of past oceanic environments. En Hillarie-Marcel, C., y De Vernal, A. (eds.) *Proxies in Late Cenozoic Paleoceanography: Developments in Marine Geology* 1: 213-262, Elsevier, Amsterdam.
- Laprida, C., García Chaporí, N., Chiessi, C.M., Violante, R.A., Watanabe, S. y Totah, V. 2011. Middle Pleistocene sea surface temperature in the Brazil-Malvinas Confluence Zone: Paleooceanographic implications based on planktonic foraminifera. *Micropaleontology* 57: 183-195.
- Loeblich, A.R. y Tappan, H. 1988. *Foraminiferal genera and their classification*, Van Nostrand Reinhold, 970 p., New York.
- Loubere, P., y Fariduddin, M. 1999. Quantitative estimation of global patterns of surface ocean biological productivity and its seasonal variation on timescales from centuries to millennia. *Global Biogeochemical Cycles* 13:115-133.
- Lutze, G.F., y Coulbourn, W.T. 1984. Recent benthic foraminifera from the continental margin of northwest Africa: Community structure and distribution. *Marine Micropaleontology* 8:361-401.
- Mackensen, A., Fitterer, D.K., Grobe H. y Schmiedl, G. 1993. Benthic foraminiferal assemblages from the eastern South Atlantic Polar Front region between 35° and 57° S: distribution, ecology and fossilization potential. *Marine Micropaleontology* 22: 33-69.
- Malmgren, B.A. 1983. Ranking of dissolution susceptibility of planktonic foraminifera at high latitudes of the South Atlantic Ocean. *Marine Micropaleontology* 8:183-191.
- Martinson, D., Pisias, N.G., Hays, J.D., Imbrie, J. Moore Jr., T.C. y Shackleton, N.J. 1987. Age dating and the orbital theory of the Ice Ages: development of a high-resolution 0 to 300,000-years chronostratigraphy. *Quaternary Research* 27: 1-29.
- Murray, J.H. 1995. Microfossil indicators of ocean water masses, circulation and climate. En Bosence, D.W.J. y Allison, P.A. (eds.) *Marine paleoenvironmental analysis from fossils*, Geological Society Special Publication 83: 245-264, London.
- Murray, J.W. 2006. *Ecology and applications of benthic Foraminifera*. Cambridge University Press, 426 p., Cambridge.
- Oppo, D.W. y Lehman, S.J. 1993. Mid-depth circulation of the subpolar North Atlantic during the Last Glacial Maximum. *Science* 259: 1148-1152.
- Otto-Bliesner, B.L., Hewitt, C.D., Marchitto, T.M., Brady, E., Abe-Ouchi, A., Crucifix, M., Murakami, S. y Weber, S.L. 2007. Last Glacial Maximum ocean thermohaline circulation: PMIP2 model intercomparisons and data constraints. *Geophysical Research Letters* 34: L12706.

- Peterson, R.G. y Stramma, L. 1991. Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean. *Progress in Oceanography* 26: 1-73.
- Piola, A.R. y Matano, R.P. 2001. Brazil and Falklands (Malvinas). Currents. En Steele, J.H. (ed.) *Encyclopedia of Ocean Sciences*: 340-349, Academic Press, London.
- Preu, B., Schwenk, T., Hernández-Molina, F.J., Violante, R., Paterlini, M., Krastel, S., Tomasi, J. y Spieß, V. 2012. Sedimentary growth pattern on the northern Argentine slope: the impact of North Atlantic Deep Water on southern hemisphere slope architecture. *Marine Geology* 329-331: 113-125.
- Prospero, J.M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S.E. y Gill, T.E. 2002. Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust derived from the NIMBUS7 TOMS absorbing aerosol product. *Reviews of Geophysics* 40: 1-31.
- Saito, T.P., Thompson, R. y Berger, D. 1981. Systematic index of Recent and Pleistocene planktonic Foraminifera, 190 p., University of Tokyo Press, Tokyo.
- Schmiedl, G., Mackensen, A. y Miller, P.J. 1997. Recent benthic foraminifera from the eastern South Atlantic Ocean: Dependence on food supply and water masses. *Marine Micropaleontology* 32: 239-287.
- Schmiedl, G. y Mackensen, A. 1997. Late Quaternary paleoproductivity and deep water circulation in the eastern South Atlantic Ocean: Evidence from benthic foraminifera. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 130: 43-80.
- Smart, C.W., King, S. Gooday, A.J. Murray, J.W. y Thomas, E. 1994. A benthic foraminiferal proxy of pulsed organic matter paleofluxes. *Marine Micropaleontology* 23: 89-99.
- Smart, C.W. 2008. Abyssal NE Atlantic benthic foraminifera during the last 15 kyr: Relation to variations in seasonality of productivity. *Marine Micropaleontology* 69: 193-211.
- Smart, C.W. 2002. Environmental applications of deep-sea benthic foraminifera. En Haslett, S.K. (ed.) *Quaternary Environmental Micropaleontology*, Bath Spa University College: 14-58, London.
- Stramma, L. y England, M. 1999. On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean. *Journal of Geophysical Research* 104: 20863-20883.
- Sun, X., Corliss, B.H., Brown C.W. y Showers, W.J. 2006. The effect of primary productivity and seasonality on the distribution of deep-sea benthic foraminifera in the North Atlantic. *Deep-Sea Research* 1: 28-47.
- Thomas, E., Booth, L., Maslin, M. y Shackleton N.J. 1995. Northeastern Atlantic benthic foraminifera during the last 45,000 years: Changes in productivity seen from the bottom up. *Paleoceanography* 10: 545-562.
- Toledo, F.A.L., Costa, K.B., Pivel, M.A.G. y Campos, E.J.D. 2007. Tracing past circulation changes in the western South Atlantic based on planktonic foraminifera. *Revista Brasileira de Paleontologia* 11: 169-178.
- Vergnaud Grazzini, C., Grably, M., Pujol, C. y Duprat, J. 1984. Oxygen isotope stratigraphy and paleoclimatology of Southwestern Atlantic Quaternary sediments (Rio Grande Rise) at Deep Sea Drilling Project Site 517. *Initial Reports DSDP 72*: 871-884, U.S. Government Printing Office, Washington.
- Violante, R.A., Paterlini, C.M., Costa, I.P., Hernández Molina, J., Segovia, L.M., Cavallotto, J.L., Marcolini, S., Bozzano, G., Laprida, C. García Chapori, N., Bickert, T. y Spiess, V. 2010. Sismoestratigrafía y evolución geomorfológica del talud continental adyacente al litoral del este bonaerense, Argentina. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 17: 33-62.
- Wefer, G., Berger, W.H., Bickert, T., Donner, B., Fischer, G., Kemle Von Mücke, S., Meinecke, G., Müller, P.J., Mulitza, S., Niebler, H.S., Pätzold, J., Schmidt, H., Schneider, R.R. y Segl, M. 1996. Late Quaternary surface water circulation of the South Atlantic: The stable isotope record and implications for heat transport and productivity. En Berger, W.H., Wefer, G., Siedler, G. y Webb, D.J. (eds.) *The South Atlantic: Present and past circulation*, Springer: 461-502, Heidelberg.

Recibido: 15 de enero, 2014

Aceptado: 8 de agosto, 2014