*Revista Española de Micropaleontología,* 41 (1-2), 2009, pp. 0-0
©Instituto Geológico y Minero de España
ISSN: 0556-655X

# Foraminíferos bentónicos del Holoceno del Golfo Nuevo, Argentina: inferencias paleoclimáticas

Emiliana Bernasconi[1], Gabriela Cusminsky[2] y Eduardo A. Gómez[3]

[1, 2] Centro Regional Universitario Bariloche, Universidad Nacional del Comahue-INIBIOMA, Quintral 1250, Bariloche CP (8400) Río Negro, Argentina/Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina. emibernasconi@yahoo.com.ar, bernasconi@crub.uncoma.edu.ar; gcusmins@crub.uncoma.edu.ar

[3] Instituto Argentino de Oceanografía, Florida 4500, 8000 Bahía Blanca, Argentina/ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Bahía Blanca. gmgomez@criba.edu.ar

## Resumen

Se analizaron los foraminíferos bentónicos de un testigo correspondiente al Holoceno reciente del Golfo Nuevo. La fauna recuperada fue bentónica y las especies predominantes fueron *Buccella peruviana* f. *campsi* (Boltovskoy), *Buliminella elegantissima* (d'Orbigny) y *Bulimina patagonica* d'Orbigny. Los análisis cualitativos y cuantitativos confirman condiciones marinas marginales con menor oxigenación que las actuales. Ello sería la consecuencia de un desmejoramiento climático que por su magnitud y persistencia habría llegado a invertir el sentido de la actual circulación termohalina del golfo, representando entonces una probable consecuencia de la denominada Pequeña Edad de Hielo.

**Palabras clave:** Foraminíferos bentónicos, Pequeña Edad de Hielo, Golfo Nuevo, paleoecología, plataforma continental argentina.

## Abstract

[*Benthic Foraminifera of the Holocene core from Golfo Nuevo, Argentine: paleoclimatical inferences*]. Benthic Foraminifera from a recent Holocene core from Golfo Nuevo were analyzed. The fauna recovered was benthonic, and the predominant species were *Buccella peruviana* f. *campsi* (Boltovskoy), *Buliminella elegantissima* (d'Orbigny) and *Bulimina patagonica* d'Orbigny. Qualitative and quantitative analyses confirmed marginal marine conditions with lower oxygenation levels than under present-day conditions. This may have been a consequence of deterioration in climate which, due to its magnitude and persistence could have inverted the direction of the gulf's current thermohaline circulation, in which case it would represent a probable consequence of the so-called Little Ice Age.

**Keywords:** Benthic Foraminifera, Golfo Nuevo, Little Ice Age, paleoecology, Argentinean continental shelf.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los foraminíferos bentónicos del Océano Atlántico Sudoccidental se hallan ampliamente estudiados, sin embargo en áreas engolfadas se puede mencionar sólo el trabajo de Boltovskoy (1954) quien analizó los foraminíferos del golfo San Jorge y más recientemente los trabajos de Bernasconi y Cusminsky (2005) y Bernasconi (2006) quienes estudiaron los foraminíferos provenientes de los golfos San Matías y Nuevo, tanto de sedimentos superficiales como de sedimentos correspondientes a testigos de fondo.

Los golfos San Matías, Nuevo y San José forman parte de la región de los Golfos Nordpatagónicos y constituyen una de las regiones oceanográficas más importantes de la plataforma continental Argentina, siendo cuencas con similares características morfológicas (Parker *et al.*, 1996; Tonini *et al.*, 2007).

Oceanográficamente, una cuenca es una depresión que es llenada con aguas del mar y que está parcialmente separada por barreras submarinas del océano abierto, con el cual posee una comunicación horizontal restringida a profundidades menores que la mayor profundidad en la cuenca. La máxima profundidad de entrada desde el océano abierto a la cuenca es llamada umbral y se halla en su boca (Panzarini, 1984).

La circulación en la región de los golfos Norpatagónicos está forzada por mareas excepcionales, vientos y un importante intercambio de calor y humedad con la atmósfera (Tonini *et al*., 2007). Desde el punto de vista hidrológico, estas cuencas se clasifican según la forma en que se produce la entrada de agua desde el mar abierto hacia el interior de la cuenca o bien por la manera en que se produce la salida del agua. Es así que la entrada de agua puede darse por la superficie (cuenca con carga a nivel de la superficie) o a nivel del umbral y la salida a nivel del umbral o bien a nivel de la superficie (Sverdrup *et al*., 1942).

La dinámica del flujo del agua de cada cuenca se ve reflejada en su biología y en su geología (Mouzo, 1996). Las cuencas con carga al nivel de la superficie muestran mayor salinidad, mayor evaporación y consecuentemente una mayor densidad del agua en la cuenca que en del exterior. Hay un intercambio de agua muy importante, produciéndose corrientes convectivas que llegan a las aguas profundas, las que contienen oxígeno y no sulfuro de hidrógeno en los sedimentos, sugiriendo que hay vida bentónica profunda (Mouzo, *op. cit*.) (Fig. 1.1). En cambio, en las cuencas con carga a nivel del umbral la renovación del agua se hace lentamente, su salinidad es baja en superficie y regular en la profundidad y su contenido de oxígeno es alto en la superficie y pobre en la profundidad, y consecuentemente el contenido de sulfuro de hidrógeno en el fondo es alto (Panzarini, 1984; Mouzo, 1996) (Fig. 1.2).

En la actualidad, el golfo Nuevo se comporta como una cuenca con carga a nivel de la superficie, es decir que posee altas concentraciones de oxígeno en el fondo dadas por una buena ventilación o renovación del agua profunda y por lo tanto se caracteriza por poseer una abundante vida bentónica (Mouzo, op. cit.).

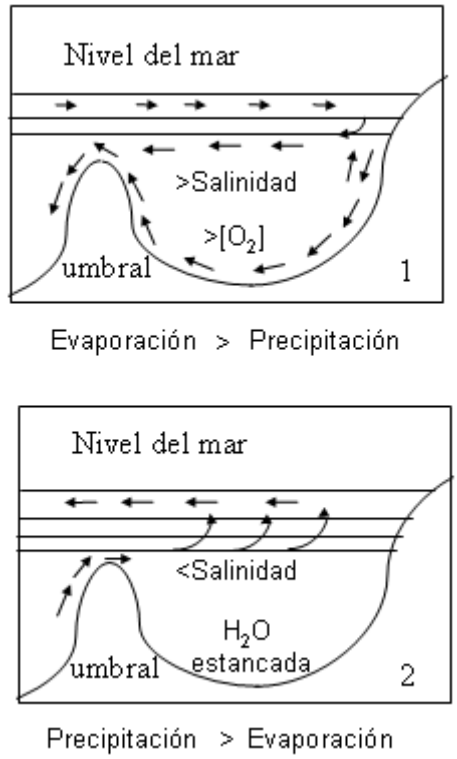



Figura 1. 1, Modelo de cuenca con carga a nivel de la superficie. 2, Modelo de cuenca con carga a nivel del umbral.

*Figure 1. 1, Model of basin with inflow of water across the surface. 2, Model of basin with inflow of water across the sill.*

Como consecuencia de sus características fisiográficas, los ambientes engolfados podrían ser sensibles a los cambios de las condiciones ambientales, haciendo posible realizar inferencias palaeocológicas. Es por ello, que el estudio de ambientes semicerrados, sobre la base de su contenido foraminiferológico, podría brindar mucha información en el área bajo análisis.

## 2. ÁREA DE ESTUDIO

El golfo Nuevo se encuentra entre los 42° y 43° de latitud Sur y los 64 y 65° 10′ de longitud Oeste, plataforma continental Argentina (Fig. 2.1). Su forma es elíptica con el eje mayor de 67 km en dirección OSO-ENE y su eje menor de 48 km orientado al NNO-SSE. La superficie del golfo es de 2.500 km$^2$ y su profundidad máxima de 184 m superando a la profundidad de la plataforma continental adyacente (Mouzo *et al*., 1978; Mouzo, 1996).

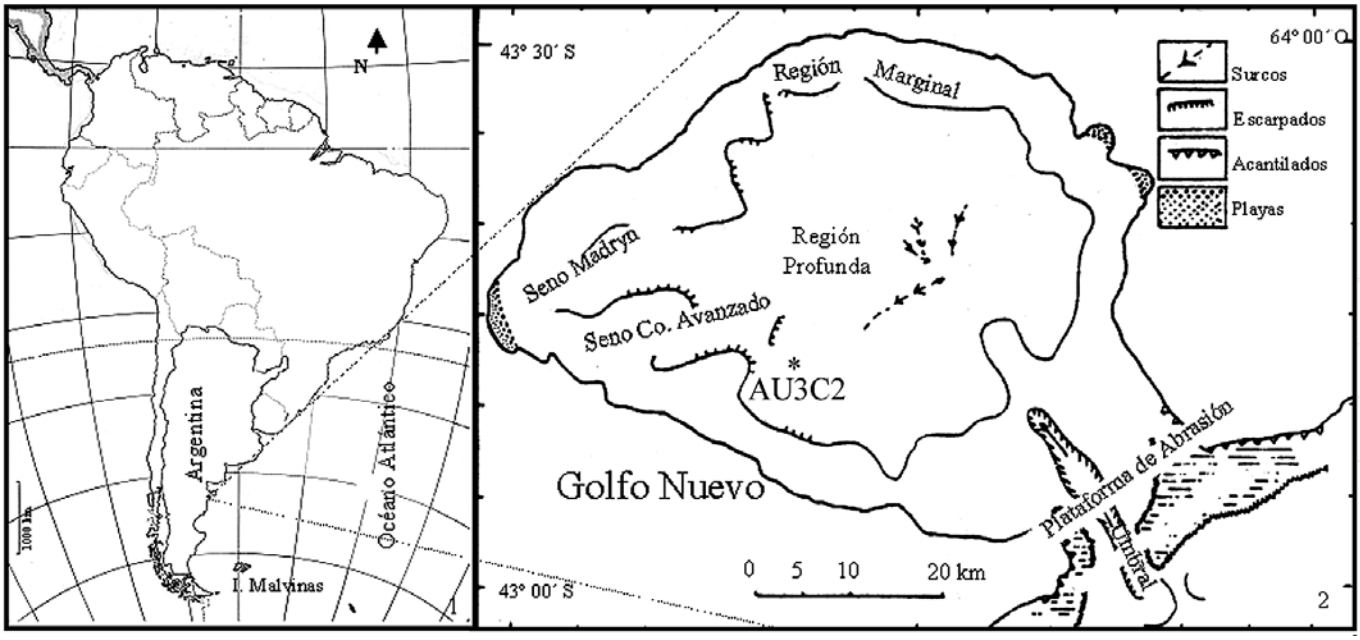



Figura 2. 1, Localización del golfo Nuevo. 2, Morfología del golfo (modificado de Mouzo *et al*., 1978) y ubicación geográfica del testigo.

*Figure 2. 1, Location of Nuevo Gulf. 2, Morphology of Nuevo Gulf (modified from Mouzo* et al.*, 1978) and location map showing the position of the core.*

Desde el punto de vista geomorfológico, el golfo Nuevo es una depresión semicerrada por barreras submarinas. El agua interior sólo puede comunicarse libremente con el mar a través de un angosto estrecho, el cual posee una profundidad de 75 m, muy inferior a las mayores profundidades alcanzadas dentro del golfo (Mouzo *et al*., 1978; Mouzo, 1996; Parker *et al*., 1996). En función de la batimetría, en el golfo se diferencian dos regiones: una periférica llamada Marginal que se extiende desde la costa hasta aproximadamente los 100 m de profundidad y otra central denominada Profunda de profundidades mayores. La región Marginal es de relieve rugoso y está cubierta por sedimentos gruesos, arenas, rodados, fragmentos de conchillas y afloramientos de la roca de base, correspondiente a sedimentos marinos y continentales del Terciario. La región Profunda posee un relieve suave y está constituida por sedimentos arcillosos entre los que se encuentran capas de arena estratificada y bancos de rodados de matriz arenosa (Mouzo *et al*., 1978) (Fig. 2.2).

La distribución de los sedimentos se encuentra en relación con la batimetría, pudiéndose diferenciar tres zonas. La primera zona está constituida casi totalmente por arena con gravas y conchillas, abarca desde la costa hasta profundidades de 50-70 m e incluye a la región del estrecho, donde hay profundidades algo mayores. La otra zona es paralela a la anterior y posee arenas limosas y limos arenosos, extendiéndose hasta profundidades de 100-120 m. Por último y con profundidades mayores a los 120 m, se encuentra la zona central que está cubierta por arcillas limosas o limos arcillosos (Mouzo *et al*., 1978).

El golfo se halla bajo la influencia de las aguas costeras argentinas que se desplazan desde el Sur hacia el Norte y se ubican entre la región costera occidental y la corriente Patagónica que tiene su origen en aguas subantárticas (Boltovskoy *et al*., 1980). La cuenca evoluciona desde un estado de mezcla casi completa, en otoño e invierno, hasta uno estratificado que alcanza sus máximos valores de estabilidad hacia fines del verano (Rivas y Ripa, 1989). Estos autores mencionan que el golfo está fuertemente estratificado en verano alcanzando los 18ºC en la superficie y 11ºC en el fondo, en enero y bien mezclado en invierno con temperaturas que llegan a los 12ºC tanto en la superficie como en el fondo, en julio y a los 10ºC en septiembre.

Actualmente, el golfo Nuevo muestra las características de una cuenca con carga a nivel de la superficie (Sverdrup *et al*., 1942; Mouzo, 1996). En esta cuenca se pro-

duce un aumento de la densidad superficial que se origina en invierno por enfriamiento y por el aumento de la salinidad causado por la evaporación. La salinidad es siempre superior dentro del golfo aumentando desde abril a septiembre provocando corrientes convectivas que alcanzan el fondo de la cuenca (Rivas y Ripa, 1989; Rivas y Beier, 1990). El efecto de los procesos convectivos que remueven las aguas, aportando un alto contenido de oxígeno al fondo y elevando las aguas más frías y ricas en nutrientes hacia la superficie, ha sido observado reiteradamente (Esteves *et al*., 1992 y Esteves y De Vido, 1980 en Mouzo, 1996).

De los datos disponibles para el golfo Nuevo surge que los tenores de oxígeno determinados en las aguas profundas son altos, cercanos a los valores de saturación (Piola, comunicación personal).

## 3. MATERIALES Y MÉTODOS

Se estudió el testigo AU3C2 de 428 cm de largo, ubicado a los 42° 48′ 5″ LS y a los 64° 37′ 6″ LO, extraído a 143 m de profundidad (Fig. 2.2). Se obtuvo con un extractor tipo Ewing a pistón de media tonelada con el buque oceanográfico ARA El Austral, durante la campaña realizada por el Instituto Argentino de Oceanografía (IADO) entre 1970 y 1973.

El testigo AU3C2 está constituido por arcillas limosas gris oliva, con una reducida cantidad de arena fina y restos de organismos marinos, representando depósitos marinos relativamente modernos (Mouzo *et al*., 1978). Para este trabajo se utilizó el tramo 10-230 cm, no disponiéndose de material entre los niveles 50-80 cm y 110-150 cm.

El testigo fue muestreado a intervalos de 15 cm, aproximadamente. Se procesaron 40 gramos de sedimento mediante los métodos convencionales ponderándose la cantidad de individuos presentes en 1 gramo de sedimento. La clasificación sistemática a nivel genérico se basó en Loeblich y Tappan (1988). Para la identificación de las especies se siguió a Boltovskoy (1954), Boltovskoy *et al*. (1980), Bertels *et al*. (1982), Cusminsky (1992), Laprida (1998), Laprida y Bertels-Psotka (2003) y Malumián (1972), entre otros.

Se determinó la abundancia total (A total) y la riqueza específica (S). Se fotografiaron los ejemplares más representativos mediante el microscopio electrónico de barrido (Philips, Modelo SEM 515). Estos ejemplares se encuentran depositados en el laboratorio de Micropaleontología del Museo de La Plata bajo el número MLP-Mi 1699 al 1710.

Se calcularon los índices de diversidad de Shannon-Wiener (H′) (Buzas y Gibson 1969) y $\propto$ de Fisher (Fisher *et al*., 1943; Murray 1991), que tienen gran utilidad en la determinación de paleoambientes.

Para ello se usó el paquete estadístico TILIA Versión 2.1 (Grimm, 1991). Este análisis se basó en las especies que alcanzaron el 2 % o más de abundancia relativa en al menos 2 niveles del testigo. Se empleó la transformación de datos por estandarización a media 0 y desviación típica 1.

Se efectuaron dos análisis con el fin de inferir las condiciones de paleooxigenación del Golfo Nuevo. Se calculó el índice de Kaiho o BFOI (Índice de oxigenación basado en foraminíferos bentónicos) para todas las muestras. Para ello, se dividieron los foraminíferos bentónicos calcáreos recuperados en tres grupos de indicadores: disóxicos, subóxicos y óxicos, tomando como base la relación entre sus características morfológicas específicas, los niveles de oxígeno y sus microhábitats (Kaiho, 1994, 1999). Complementariamente, se obtuvo el índice mediante la siguiente ecuación matemática: $BFOI = \{[O /(O + D)] \times 100\}$, donde O y D número de especímenes óxicos y disóxicos respectivamente. En las muestras donde el número de especímenes óxicos fue nulo, $O = 0$ y $D + S > 0$, donde S es la suma de número de individuos subóxicos; se aplicó la expresión $BFOI =\{[S / (S + D)] - 1\}\times 50$. Los valores del BFOI permitieron determinar las condiciones de paleoxigenación; cuando el índice del Kaiho es –55 (0-0,1 ml/l) la condición es anóxica; entre –50 y –40 (0,1-0,3 ml/l) la condición es disóxica; entre –40 y 0 (0,3-1,5 ml/l) la condición es subóxica; entre 0 y 50 (1,5 – 3,0 ml/l) la condición es óxica baja y entre 50 y 100 (3,0 - +6,0 ml/l) la condición es óxica alta (Kaiho, 1994, 1999).

Por otro lado, se determinó la relación de individuos infaunales-epifaunales calculándose el porcentaje de especies infaunales (Corliss, 1985; Corliss y Chen, 1988), para cada muestra de los testigos de Golfo Nuevo.

A fin de poder ubicar cronológicamente el testigo se efectuó una datación radimétrica de $C^{14}$ AMS (Acceleration Mass Spectrometry) en la Australian Nuclear Science y Technology Organization (Ansto). Para ello se separaron caparazones de foraminíferos bentónicos sin retrabajo.

## 4. RESULTADOS

Se recuperaron individuos representantes de los Subórdenes Rotaliina (98 %), Lagenina (2 %) y Miliolina (0,01 %).

En general, la abundancia total fue mayor en los niveles inferiores del testigo decreciendo un poco en los niveles medios, aunque se registró un pico máximo de abundancia en el nivel 80 cm. La abundancia de los niveles superiores fue mucho menor. Las curvas de la riqueza específica S y del índice de diversidad de Shannon-Wiener (H´) tuvieron un comportamiento general coincidente a excepción de los niveles 160 cm y 80 cm que se comportaron en forma opuesta. La riqueza específica fue muy variable a lo largo de todo el testigo. En la curva de diversidad H' se determinaron valores relativamente homogéneos hasta el nivel 180 cm, a partir de allí hasta el nivel 150 cm los valores decrecen, siendo más altos hacia el tope del testigo (Fig. 3). Los valores del índice α de Fisher varió entre 1,5 y 5 en los niveles 100 cm y 30 cm, respectivamente (Fig. 4).

A lo largo del testigo analizado se reconoció un predominio de la especie *Buccella peruviana* f. *campsi* (Boltovskoy) (12-79 %). Además se encontraron bien representadas *Buliminella elegantissima* (d´Orbigny) (2-71 %), *Bulimina patagonica* d´Orbigny (7-30 %), *Bolivina pseudoplicata* Heron-Allen y Earland (2-17 %), *Bolivina ordinaria* Phleger y Parker (2-16 %), *Bulimina marginata* d´Orbigny (1-11 %) y *Cibicides dispars* (d´Orbigny) (1-9 %). En los niveles superiores se destacaron pequeños máximos de abundancia de *Nonionella auris* (d´Orbigny) (1-23 %), *Nonion depressulus* (Walker y Jacob) (2-9%) y *Bulimina gibba* Fornasini (1-9 %). El resto de las especies registraron proporciones menores al 5 % (Fig. 5).

Los valores del índice de Kaiho variaron entre -7 y 36 y el contenido de oxígeno disuelto estimado varió entre 1,3 y 2,5 ml/l en los niveles 50 cm y 220 cm, respectivamente.

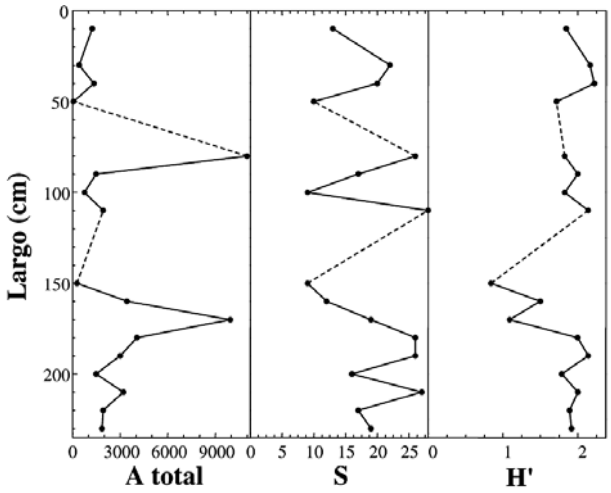



Figura 3. Abundancia total (A total), riqueza específica (S) e índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') para el testigo AU3C2.

*Figure 3. Total abundance (Total A), Specific richness (S) and Shannon-Wiener diversity (H´) for core AU3C2.*

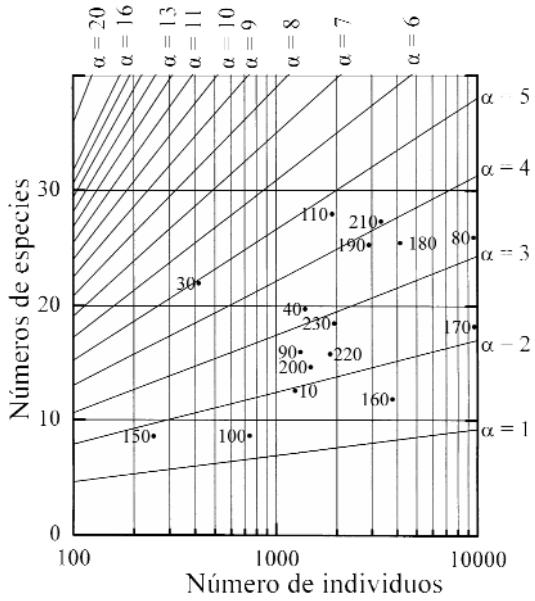



Figura 4. Valores del índice α de Fisher.

*Figure 4. Values of Fisher's index (α).*

Esto estaría describiendo una fauna de foraminíferos calcáreos constituida fundamentalmente por indicadores disóxicos, subóxicos y pocos indicadores óxicos sugiriendo una condición de oxígeno óxica baja (1,5-3,0 ml/l); los niveles 150 cm y 50 cm estarían compuestos de indicadores disóxicos y altos valores de indicadores subóxicos sugiriendo una condición de oxígeno subóxica (0,3-1,5 ml/l), (Fig. 6.1).

Los porcentajes de los ejemplares infaunales variaron entre 21 % en el nivel 150 cm y 87 % en el nivel 170 cm (Fig. 6.2).

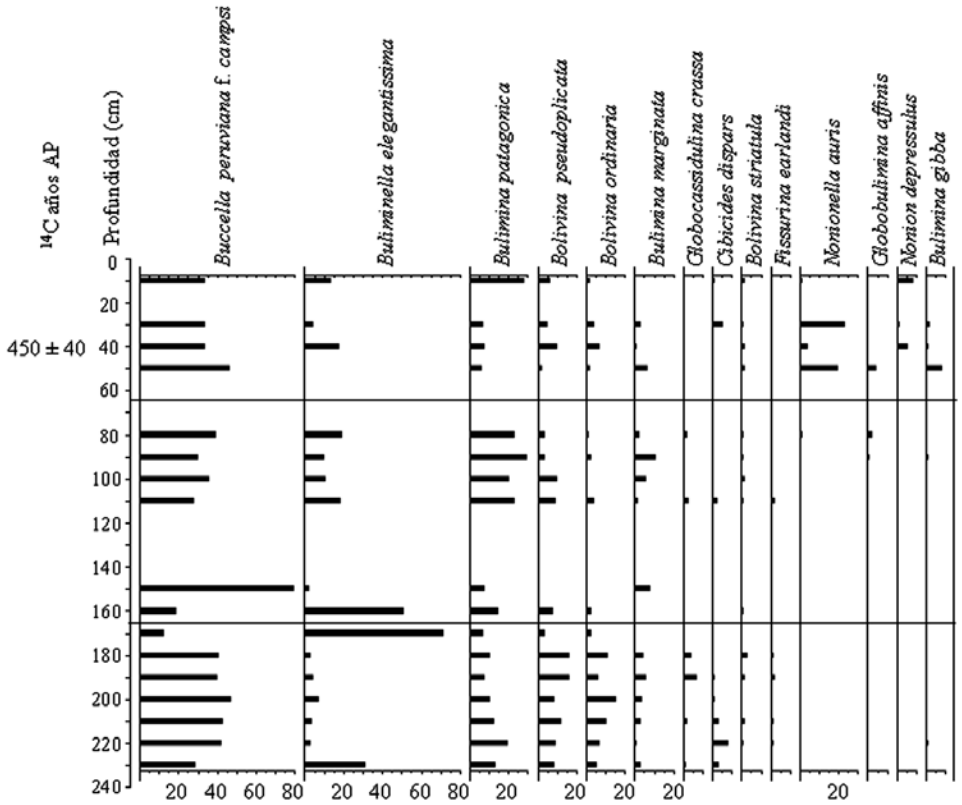



Figura 5. Distribución específica de los foraminíferos en el testigo AU3C2.
*Figure 5. Foraminiferal distribution in core AU3C2.*

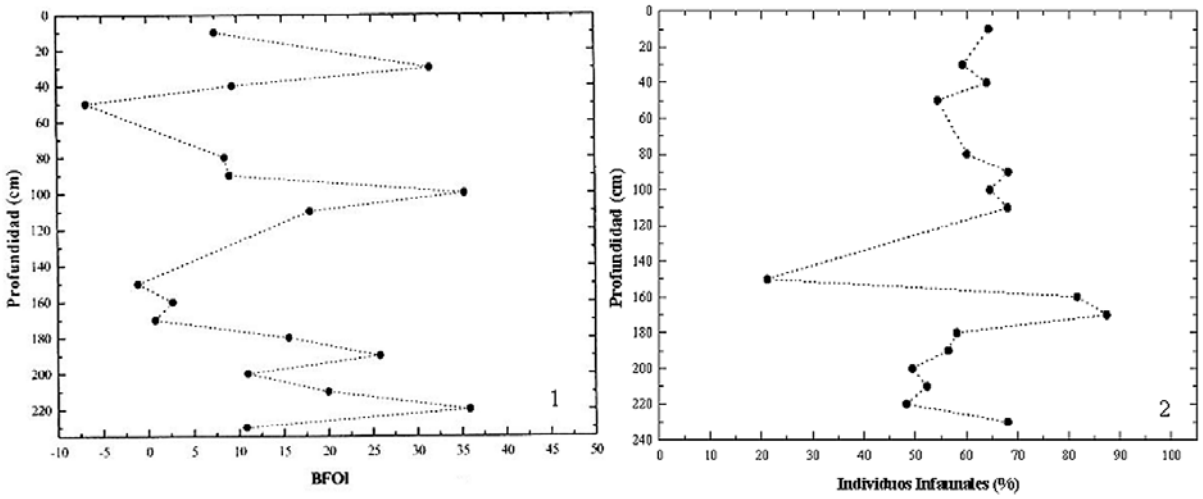



Figura 6. 1, Valores del índice de Kaiho (BFOI). 2, Porcentajes de individuos infaunales.
*Figure 6. 1, Values of Kaiho's index (BFOI). 2, Percent of infaunal individuals.*

## 5. EDAD DE LOS SEDIMENTOS

La edad del nivel 40 cm fue de 450±40 años AP (Edad convencional radiocarbónica). Sin embargo, los organismos que obtienen su C del mar presentan generalmente un envejecimiento aparente variable que se denomina Efecto de Reservorio (ER), por el que es necesario efectuar una corrección previa a fin de poder obtener finalmente la edad sideral o calendario de la muestra en cuestión, ya que la producción de 14C en la atmósfera no se ha mantenido constante a lo largo del tiempo. Si bien para la costa atlántica de la Patagonia el valor de ER previo a las pruebas nucleares en la atmósfera es desconocido, se cuenta con las estimaciones posnucleares obtenidas por Cordero *et al*. (2003). Estos autores presentan dos mediciones del ER posnuclear para el golfo Nuevo, por lo que se empleó su valor promedio (230 años) como corrección por ER. Una vez efectuada esta corrección, mediante el programa CALIB 5. 0.2 (http://calib.qub.ac.uk/calib/) y considerando la base de datos para Sudamérica (SHCal04, McCormac *et al*., 2004), se obtiene un rango de edad calendario de 311-142 AP a 1 σ.

## 6. CONSIDERACIONES PALEOECOLÓGICAS Y DISCUSIÓN

La asociación de especies estuvo caracterizada fundamentalmente por *Buccella peruviana* f. *campsi, Buliminella elegantissima* y *Bulimina patagonica*. *Buccella peruviana* f. *campsi* está ampliamente distribuida a lo largo de la plataforma continental argentina (Boltovskoy, 1976, 1979), mientras que el género *Buliminella* es reconocido como un género infaunal (Murray, 1991; Corliss y Chen, 1985; Kaiho, 1994). *Buliminella elegantissima* fue mencionada como una especie predominante en áreas confinadas bajo condiciones de stress (Páez y Zúñiga, 2001). Esta especie estaría adaptada a ambientes o subambientes en condiciones disóxicos o anóxicos (Vilela, 2003; Vilela *et al*., 2002). Su ocurrencia y abundancia confirmarían su utilidad como una especie bioindicadora (Vilela *et al*., 2003; 2004). Además, se registró la asociación de especies del género *Bulimina* tales como *B. gibba, B. marginata* y *Globobulimina affinis*, como así también una asociación de especies del género *Bolivina* como ser *B. pseudoplicata, B. ordinaria* y *B. striatula* (Fig. 7).

*Bulimina* es descripta como infaunal con dudas y *Bolivina* como infaunal-epifaunal por Murray (1991), sin embargo otros autores citan a estos dos últimos géneros como infaunales (Severin, 1983; Corliss, 1985; Corliss y Chen, 1988; Kaiho, 1994).

Siguiendo los criterios de Corliss y Chen (1988) y otros investigadores, se reconoce en los sedimentos analizados, un predominio de las formas infaunales. Según Sen Gupta y Machain-Castillo (1993), la distribución de estas especies estaría reflejando un ambiente con bajo contenido de oxígeno. Dado que cuando los niveles de oxígeno comienzan a volverse un factor limitante las primeras especies afectadas en abundancia son las especies epifaunales mientras que las especies infaunales son más tolerantes a prevalecer por largos períodos (Smart, 2002). Por ejemplo *Buliminella elegantissima* y *Bulimina marginata* han sido consideradas como oportunistas, o sea capaces de habitar zonas con bajo contenido en oxígeno Alve (1995), Silva *et al*. (1996), Bernhard (1996), Sen Gupta *et al*. (1997) y Malumián y Caramés (2002).

Se observó pirita sustituyendo la materia orgánica de los caparazones, otorgándoles un aspecto metálico, indicando propiedades hidrodinámicas distintas siendo menos susceptibles a una redistribución postmorten cobrando importancia en estudios paleoecológicos (Murray, 1968). La piritización en los caparazones de foraminíferos no es un indicador directo de aguas anóxicas sino más bien de microambientes con bajas concentraciones de oxígeno (Ferrero, 2006), razón por la que se procedió a calcular el índice de Kaiho. Este índice, denotó poca variabilidad en el testigo, determinando una condición de oxígeno baja bastante homogénea, entre 1,3 y 2,5 ml/l. Los niveles con menor contenido de oxígeno fueron los 170 cm, 160 cm y 80 cm, donde predominaron los morfotipos disóxicos y subóxicos, reconociéndose en particular en los niveles 170 cm y 160 cm un predominio de *Buliminella elegantissima*.

Desde el punto de vista de los análisis cuantitativos, los bajos valores del ∝ de Fisher, menores a 5, indicarían un ambiente marino marginal (Murray, 1991); mientras que

los valores de H´, menores a 2,5, reflejarían además condiciones de alta inestabilidad (Buzas y Gibson, 1969; Bertels, 1994) (Fig. 8).

Teniendo en cuenta las características de las asociaciones registradas, se infiere que uno de los factores que determinaron dicha composición faunística habría sido el oxígeno como se señala en trabajos precedentes (Bernhard, 1986; Vilela, 1995; Smart, 2002; Sagasti y Ballent, 2002). Ello indica que durante la depositación de estos sedimentos habrían prevalecido condiciones de menor oxigenación qua las actuales. Es así que la presencia de ambientes o microambientes con bajos contenidos de oxigenación puede inferirse no sólo a partir de la presencia de pirita en parte del material sino también del hecho de que proporciones importantes de las asociaciones presentaron afinidad con ambientes pobres en oxígeno, como lo hallado por Ferrero (2006) para el Sudeste de la provincia de Buenos Aires.

Entonces las asociaciones faunísticas y los resultados de los análisis cuantitativos indican, que en el pasado, en el golfo Nuevo habrían prevalecido condiciones de poca oxigenación, comportándose éste como una cuenca con carga a nivel del umbral. Ello estaría entonces evidenciando un cambio en la dinámica circulatoria de este golfo, el cual probablemente se haya debido a la ocurrencia de un desmejoramiento climático persistente que condujo una disminución en la evaporación, un aumento en las precipitaciones y probablemente al incremento en la descarga fluvial adentro del golfo Nuevo.

Desde el punto de vista climático originalmente se pensó que el Holoceno era estable pero existen registros paleoclimáticos bien datados que muestran que el clima holoceno estuvo caracterizado por muchos eventos fríos (de Menocal, 2001). Estudios paleoustáticos y paloambientales del Holoceno sugieren fuertemente la ocurrencia de desmejoramientos climáticos de escala global causados por oscilaciones en la radiación del sol que se agrupan siguiendo un período del orden de los 2300 años (Gómez, 2004; Gómez *et al.,* 2005a y b, 2006). Dentro de este ciclo, el último máximo frío se correspondería con la denominada Pequeña Edad de Hielo (PEH), evento que esta muy bien documentado principalmente en el hemisferio Norte y que aconteció entre los 1300 y 1870 años DC (650 y 80 años AP), aproximadamente.

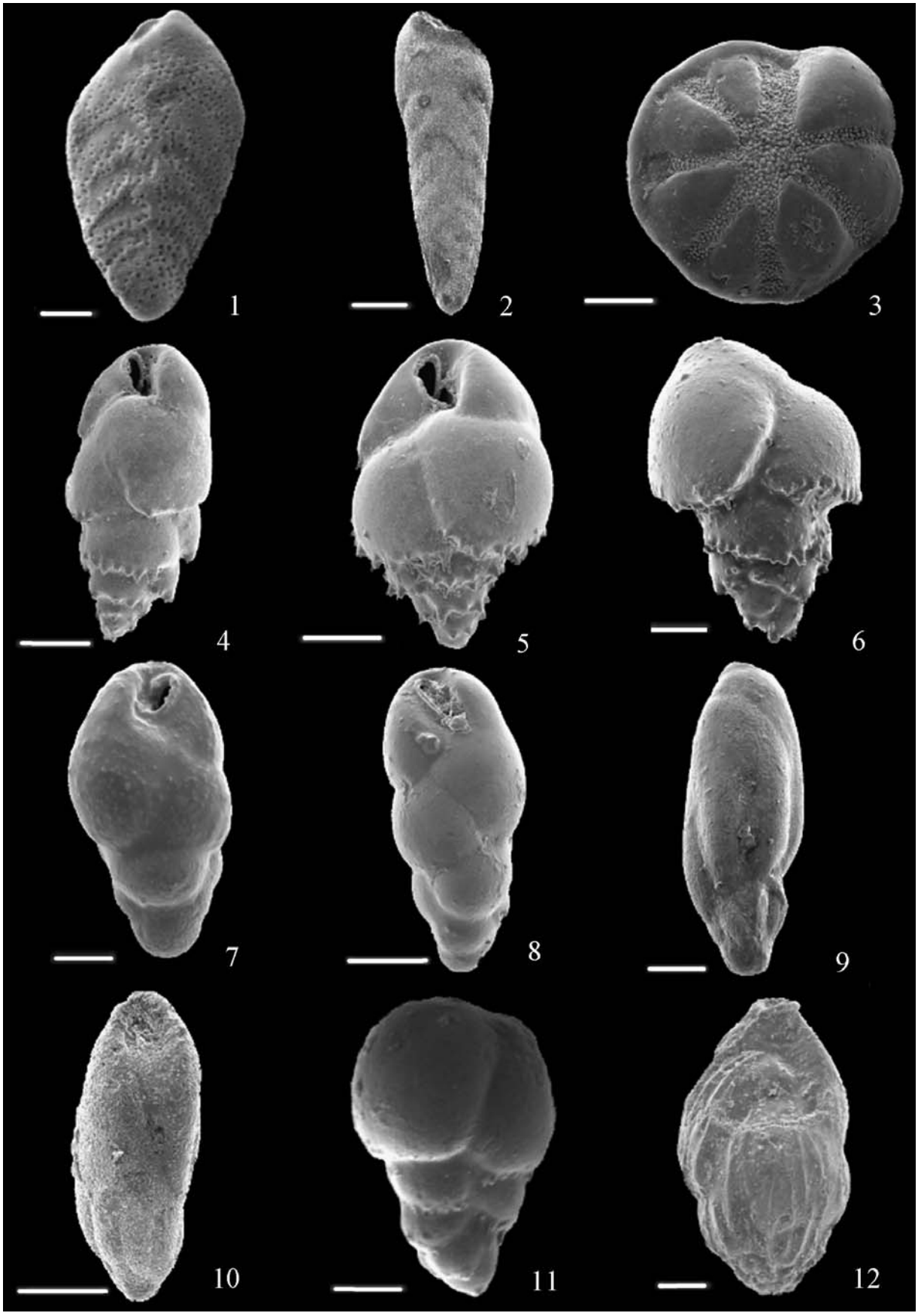
En Argentina, se han desarrollado varias investigaciones que muestran desmejoramientos climáticos coincidentes con la PEH. Estudios dendrocronológicos en los bosques Fueguinos permitieron reconocer períodos fríos alrededor de los 1750-1780, 1820, 1875-1880, 1900-1945 y 1950 años A.D, representando las primeras aproximaciones ambientales al desarrollo de la PEH en el extremo sur de Sudamérica (Rabassa *et al.*, 1986, 1992; Planas *et al.*, 2002).

Para la provincia de Buenos Aires Rabassa *et al*. (1985), en base a evidencias geológicas, históricas y arqueológicas, mencionan la ocurrencia de un evento árido durante los siglos 17 a 19 que se correlaciona con la PEH definida para el hemisferio Norte. Martínez *et al*. (2000) hallaron evidencias sedimentológicas, geomorfológicas y edáficas de la PEH en ambientes sedimentarios del Sudeste Bonaerense comprendidos entre Santa Clara y Mar Chiquita.

El rango de edad calendario obtenido para la parte superior del testigo AU3C2 (311-142 años AP) corresponde a la finalización de la Pequeña Edad de Hielo (PEH). Es por ello que aunque aun no se cuente con otras mediciones radiocarbónicas del testigo, sería posible suponer que los sedimentos ubicados por debajo del nivel de 40 cm se depositaron mayoritariamente durante el transcurso de tal desmejoramiento climático global. Es así que la inversión circulatoria del golfo Nuevo, evidenciada por una menor oxigenación que la que ocurre en la actualidad, habría sido consecuencia de la PEH, siendo estos por lo tanto los

Figura 7. ***1***, *Bolivina ordinaria* Phleger y Parker, MLP-Mi. 1699. ***2***, *Bolivina striatula* Cushman, MLP-Mi.1700; 3, *Buccella peruviana* f. *campsi* (Boltovskoy), vista umbilical, MLP-Mi. 1701. ***4***, *Bulimina marginata* d'Orbigny, MLP-Mi. 1702. ***5***, *B. marginata*, MLP-Mi. 1703. ***6***, *B. marginata*, MLP-Mi. 1704. ***7***, *Bulimina patagonica* d'Orbigny, MLP-Mi. 1705. ***8***, *B. patagonica*, MLP-Mi. 1706. ***9***, *Buliminella elegantinssima* (d´Orbigny), MLP-Mi. 1707. ***10***, *B. elegantinssima*, MLP-Mi. 1708. ***11***, *Globobulimina affinis* (d´Orbigny), MLP-Mi. 1709. ***12***, *Uvigerina peregrina* Cushman, MLP-Mi. 1710. Escala = 50 µm (figuras 1, 6, 8, 10, 11, 12); 100 µm (figuras 2, 3, 4, 5, 7, 9).

*Figure 7*. **1,** Bolivina ordinaria *Phleger y Parker, MLP-Mi. 1699*. **2**, Bolivina striatula *Cushman, MLP-Mi.1700*. **3**, Buccella peruviana *f.* campsi *(Boltovskoy), umbilical view, MLP-Mi. 1701*. **4**, Bulimina marginata *d'Orbigny, MLP-Mi. 1702*. **5**, B. marginata, *MLP-Mi. 1703*. **6**, B. marginata, *MLP-Mi. 1704*. **7**, Bulimina patagonica *d'Orbigny, MLP-Mi. 1705*. **8**, B. patagonica, *MLP-Mi. 1706*. **9**, Buliminella elegantinssima *(d´Orbigny), MLP-Mi. 1707*. **10**, B. elegantinssima, *MLP-Mi. 1708*. **11**, Globobulimina affinis *(d´Orbigny), MLP-Mi. 1709*. **12**, Uvigerina peregrina *Cushman, MLP-Mi. 1710. Scale = 50 µm (figures 1, 6, 8, 10, 11, 12); 100 µm (figures 2, 3, 4, 5, 7, 9).*


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12

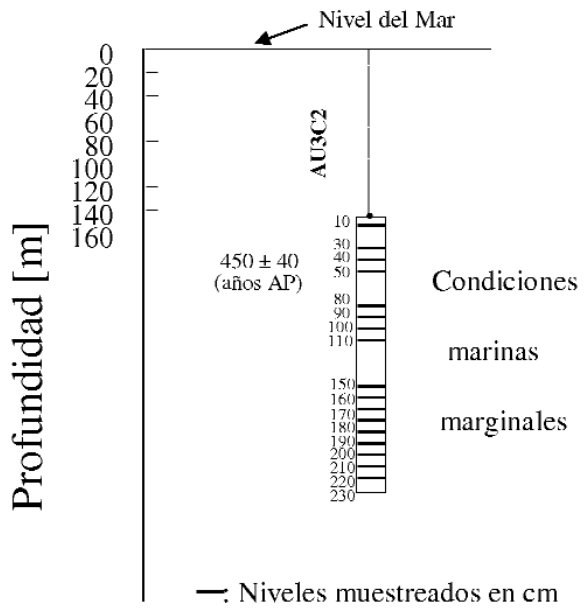



Figura 8. Posición relativa del testigo respecto del nivel del mar con los niveles en cm, edad de los sedimentos en años A.P y la interpretación paleoambiental.

*Figure 8. Relative position with regard to the sea level (levels in cm, ages in yrs. B.P. and paleoambiental interpretation).*

primeros indicios de la influencia de este desmejoramiento climático global en el ambiente marino en Sudamérica.

## 7. CONCLUSIONES

Los análisis cualitativos y cuantitativos de los foraminíferos bentónicos provenientes del golfo Nuevo confirman condiciones de ambientes marinos marginales como así también una circulación inversa a la actual que habría dado condiciones de menor oxigenación que en el presente. Ello obedecería a la ocurrencia de un desmejoramiento climático persistente que habría conducido a una disminución en la evaporación, a un aumento en las precipitaciones y a un posible incremento en la descarga fluvial en el golfo Nuevo. La edad radiocarbónica obtenida en el testigo AU3C2 indica que tal desmejoramiento climático se correspondería con la denominada Pequeña Edad de Hielo, por lo que estos resultados serían entonces los primeros indicios de su influencia en el ambiente marino de Sudamérica.

## 8. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó en el Departamento de Ecología del Centro Regional Universitario Bariloche- INIBIOMA, Universidad Nacional del Comahue y constituye una contribución a los proyectos: 1201/OC- AR PICT 07-09659, ANCYT FONCYT 03 Nº 07-14653 y 14652, CONICET PIP 2000/02040, UNComa B940 y B001. Los autores desean agradecer al Lic. M. Tonini por las sugerencias y lectura crítica del manuscrito; y muy especialmente al Instituto Argentino de Oceanografía (IADO) por haber facilitado el testigo analizado.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

Alve, E.1995. Benthic foraminiferal responses to estuarine pollution: a review. *Journal of Foraminiferal Research*, 25, 190-203.

Bernasconi, E. 2006. *Los foraminíferos del Holoceno de testigos de la plataforma continental argentina (40º 30´-42º 48´LS y 59º 25´-64º 40´LO).* Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Comahue, Argentina, 210 pp.

Bernasconi, E. y Cusminsky, G. 2005. Distribución de *Nonionella auris* (d'Orbigny) Orden Foraminiferida en el golfo San Matías, Provincia de Río Negro, Argentina. *Ameghiniana*, 42, 167-174.

Bernhard, J. 1986. Characteristic assemblages y morphologies of benthic foraminifera from anoxic, organic-rich deposits: Jurassic through Holocene. *Journal of Foraminiferal Research*, 16, 207-215.

Bernhard, J. 1996. Microaerophilic and facultative anaerobic benthic foraminifera: a review of experimental and ultrastructural evidence. *Revue de Paleobiologie*, 15 (1), 261-275.

Bertels, A. 1994. Foraminifers (Protozoa) y paleoambientes de las Lutitas de Río Foyel (Oligoceno medio bajo), Cuenca de Ñirihuau-Ñorquinco-Cushamen, Provincia de Río Negro, República Argentina. *Revista Española de Micropaleontología*, 26, 99-123.

Bertels, A., Kotzian, S., Madeira-Falcetta, M. 1982. Micropaleontología (Foraminifers y Ostrácodos) del Cuaternario de Palmares Do Sul (Formacióin Chui) Brasil. *Ameghiniana*, 19, 125-156.

Boltovskoy, E. 1954. Foraminíferos del Golfo San Jorge. *Revista Instituto Nacional Investigaciones Naturales y Museo Argentino Bernardino Rivadavia Ciencias Geológicas*, 3, 85-246.

Boltovskoy, E. 1966. *Los Foraminíferos recientes*. Ed. Universitaria de Buenos Aires, 510 pp.

Boltovskoy, E. 1976. Distribution of Recent Foraminifera of the South American Region. *Foraminifera*, 2, 171-236.

Boltovskoy, E. 1979. Palaeoceanografia del Atlántico Sudoccidental desde el Mioceno, según estudios foraminiferológicos. *Ameghiniana*, 16, 357-389.

Boltovskoy, E., Giussani, G., Watanabe, S., Wright, R. 1980. *Atlas of benthic shelf foraminifera of the southwest Atlantic*. W. Junk. Publishers, The Hague, 147 pp.

Buzas, M.A. y Gibson, T.G. 1969. Species diversity: Benthonic foraminifera in the Western North Atlantic. *Science*, 163, 72-75.

Cordero, R.R., Panarello, H., Lanzelotti, S. y Favier Dubois, C. 2003. Radiocarbon age offsets between living organisms from the marine and continental reservoir in coastal localities of Patagonia (Argentina). *Radiocarbon*, 45 (1), 9-15.

Corliss B.H. 1985. Microhabitats of benthic foraminifera within deep-sea sediments. *Nature*, 314, 435-438.

Corliss, B.H. y Chen, C. 1988. Morphotype patterns of Norwegian Sea deep-sea benthic foraminifera and ecological implications. *Geology*, 16, 716-719.

Cusminsky, G. 1992. Foraminifers bentónicos provenientes de testigos del océano Atlántico Sudoccidental austral. *Revista Española de Micropaleontología*, 24, 5-32.

De Menocal, P. Ortiz, J., Guilderson, T. y Sarnthein, M. 2001. Coherent High-and Low-Latitude Climate Variability During the Holocene Warm Period. *Science*, 288, 2198-2202.

Ferrero, L. 2006. *Micropaleontología y Paleoecología del Cuaternario del sudeste de la provincia de Buenos Aires*. Tesis Doctoral, 371 pp. (Inédito).

Fisher, R.A., Corbet, A., S. y William, C.B. 1943. The relation between the number of species y the number of individuals in a random sample of an animal population. *Journal Animal Ecology*, 12, 42-58.

Gómez, E.A., 2004. Sea Level Oscillations Related to Past Global Climatic Changes. *Inter-American Institute for Global Change Research, IAI News Letter*, 36, 11-13.

Gómez, E.A., Martínez, D.E., Borel, C.M., Guerstein, G.R. y Cusminsky, G.C. 2005a. Submarine evidence of Holocene sea-level fluctuations in the Bahía Blanca Estuary, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 20 (1-2), 135-155.

Gómez, E.A., Martínez, D.E. y Cusminsky, G.C. 2005b. A cycle in solar irradiance as trigger of abrupt Holocene global climatic changes and negative sea level oscillations. Proceedings of *Holocene environmental catastrophes in South America: From the lowlands to the Andes, ICSU Dark Nature – IGCP 490, third Joint Meeting*. Laguna Mar Chiquita, Córdoba, 25-26.

Gómez, E.A., Martínez, D., Borel, C.M., Guerstein, G.R. y Cusminsky, G.C. 2006. Negative sea-level oscillation at the Bahía Blanca Estuary related to a ca. 2650 yr BP global climatic change. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 39, 181-185.

Grimm, E. 1991. Tilia State Museum. *Research Collection Center*, Springfield.

Kaiho, K. 1994. Benthic foraminiferal dissolved-oxygen index and dissolved-oxygen levels in the modern ocean. *Geology*, 22, 719-722.

Kaiho, K. 1999. Effect of organic carbon flux and dissolvedoxygen on the benthic foraminiferal oxygen index (BFOI). *Marine Macropaleontology*, 37, 67-76.

Laprida, C. 1998. Micropaleontological assemblages (Foraminiferida y Ostracoda) from Late Quaternary marginal marine environments (Destacamento Río Salado Formation), Salado Basin, Argentina. *Revue Paleobiologie*, 17, 461-478.

Laprida, C. y Bertels-Psotka, A. 2003. Benthic foraminifers y paleoecology of. A Holocene shelly concentration, Salado Basin, Argentina. *Geobios*, 36, 559-572.

Loeblich A. y Tappan, H. 1988. *Foraminiferal Genera y their Classification*.Van Nostrand Reinhold, (New York), 2 vol., 969 pp. y 847 láms.

Malumián, N. 1972. Foraminíferos del Oligoceno y Mioceno del subsuelo de la provincia de Buenos Aires. *Ameghiniana*, 9, 97-137.

Malumián, N. y Caramés, A. 2002. Foraminiferos de sedimentitas ricas en carbono orgánico Formación La Barca, Paleoceno Superior, Tierra del Fuego, República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 57, 219-231.

McCormac, F.G., Hogg, A.G., Blackwell, P.G., Buck, C.E., Higham, T.F.G. y Reimer, P.J. 2004. SHCal04 Southern Hemisphere Calibration 0-11.0 cal kyr BP. *Radiocarbon*, 46, 1087-1092.

Martínez, G., Osterrieth, M.L. y Borrelli, N. 2000. Registro de la Pequeña Edad de Hielo en ambientes sedimentarios del Sudeste bonaerense, Argentina. *2º Congreso Latinoamericano de Sedimentología-8ª Reunión Argentina de Sedimentología*, (Mar del Plata), Resúmenes, 113.

Mouzo, F.H. 1996. Los golfos patagónicos renuevan sus aguas. *Petrotecnia,* 72-84.

Mouzo, F.H. Garza, M.L., Izquierdo, J.F.y Zibecchi, R.O. 1978. Rasgos de la geología submarina del golfo Nuevo (Chubut). *Acta Oceanográfica Argentina*, 2, 69-91.

Murray, W. 1968. *The living Foraminiferida of Christchurch Harbour, England*. Heinemann Educational Books, London, 271 pp.

Murray, W. 1991. *Ecology and Paleoecology of Benthic Foraminifera*. Longman, London, 397 pp.

Páez, M. y Zúñiga, O. 2001. Foraminifers recientes en el área del Río Loa (21° 25'S; 70° 04'W). Chile. *Estudio Oceanológico*, 20, 3 -12.

Panzarini, R. 1984. Introducción a la Oceanografía. In: *Distribución de las propiedades de las masas de agua, 1*. Ed. Universitaria de Buenos Aires, 55-72.

Parker, G., Violante, R. y Paterlini, M. 1996. Fisiografía de la Plataforma Continental. In: Ramos, V., Turic, A. (Eds.), Geología y Recursos Naturales de la Plataforma Continental Argentina. *Relatorio del XIII Congreso Geológico Argentino y 3er Congreso de Exploración de Hidrocarburos*, Buenos Aires, 1, 1-16.

Planas, X., Ponsa, A., Coronato, A. y Rabassa, J. 2002. Geomorphological evidence of diffent glacial stages in the Martial cirque, Fuegian Andes, southernmost South America. *Quaternary International*, 87, 19-27.

Rabassa, J., Heusser, C. y Stuckenrath, R. 1986. New Data on Holocene Sea Transgresion in the Beagle Channel: Tierra del Fuego, Argentina. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, 4, 291-309.

Rabassa, J., Brnadani, A., Politis, G. y Salemnme, M. 1985. La pequeña edad del Hielo (siglos 16 a 19) y su posible influencia en la aridización de áreas marginales de la pampa húmeda (provincia de Buenos

Aires). *1ras Jornadas Geológicas Bonaerenses*, Tandil, Resúmenes, 559-577.

Rabassa, J., Bujalesky, G.G., Meglioli, A., Coronato, A., Gordillo, S., Roig, C. y Salemme, M. 1992. The Quaternary of Tierra del Fuego, Argentina: the status of our knowledge. *Sveriges Geologiska Undersökning,* 81, 249-256.

Rivas, A. y Beier, E. 1990. Temperature and slainity fields in the Northpatagonic Gulfs. *Oceanológica acta*, 13, 15-20.

Rivas, A. y Ripa, P. 1989. Variación estacional de la estructura term-halina del Golfo Nuevo, Argentina. *Geofísica Internacional*, 28, 3-24.

Sagasti, G. y Ballent, S. 2002. Caracterización microfaunística de una trangresión marina: Formación Agrio (Cretácico Inferior), Cuenca Neuquina, Argentina). *Geobios*, 13.

Sen Gupta, B. y Machain-Castillo, M.L. 1993. Benthic foraminifera in oxygen-poor habitats. *Marine Micropaleontology*, 20: 183-201.

Sen Gupta, B., Platon, E., Bernhard, M.J. y Aharon, P. 1997. Foraminiferal colonization of hydrocarbon-seep bacterial mats y underlyng sediment, gulf o Mexico slope. *Journal of Foraminiferal Research*, 27, 299-300.

Severin, K. 1983. Test morphology of benthic Foraminifera as a discriminator of biofacies. *Marine Micropaleontology*, 8, 65-76.

Silva, K., Corliss, B., Rathburn, A. y Thunell, R. 1996. Seasonality of living benthic formaminifera from the San Pedro basin, California Borderland. *Journal of Foraminiferal Research*, 26, 71-93.

Smart, C. 2002. Environmental Applications of Deep-Sea Benthic Foraminifera. In: Haslett (Ed.), *Quaternary Environmental Micropaleontology*, 3, 14-58.

Sverdrup, H., U., Johnson, M., W. y Fleming, R. 1942. *The Oceans, their Physics, Chemistry, General Biology*. Prentice Hall, Inc., (New York), 2º Printing, 1946, 1087 pp.

Tonini, M., Palma, E. y Rivas, A. 2007. Simulación numérica de la circulación y frentes térmicos en los golfos Norpatagónicos. *Mecánica Computacional* 26, 3757-3768.

Vilela, C. 1995. Ecology of Quaternary benthic foraminiferal assemblages on the Amazon shelf, northern Brazil. *Geo-Marine Letters*, 15, 199-203.

Vilela, C. 2003. Diagnóstico ambiental da Baia Da Guanabara e Regioes adjacentes. *9 Congresso da Associacao Brasileira de estudos do Quaternario-II congreso do Quaternário de países de línguas ibéricas-II congreso sobre plaejamento e gestáo da zona costeira dos países de expressao portuguesa*, (Brasil) 3 pp.

Vilela, C., Baptista, D., Baptista-Neto, A., Crapez, M. y Mcallister, J. 2004. Anais da Academia Brasileira de Ciencias. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, 76 (1), 161-171.

Vilela, C., Baptista-Neto, A., Mendonca-Filho, J., Sanjinés, A., Batista, D. y Barbosa, C. 2002. Benthic foraminifer's occurrence in subenvironments on Guanabara Bay, Río de Janeiro, southeast Brasil. *Forams: Intenational Symposium Perth on Foraminifera western Australia, Volume of Abstracts*, 7.

Vilela, C., Sanjinés, E., Ghiselli, R., Mendonca-Filho, J., Baptista-Neto, A., Barbosa, C. 2003. Search for Bioindicators of Pollution in the Guanabara Bay: Integrations of Ecologtic Pattersns. *Anuário do Instituto de Geociéncias- UFRJ*, 26, 26-35.

Manuscrito Recibido: 10 de noviembre, 2008

Manuscrito Aceptado: 16 de marzo, 2009

## APÉNDICE: LISTA DE ESPECIES

Orden FORAMINIFERIDA Eichwald, 1830

*Quinqueloculina seminulum* (Linné) = *Serpula seminulum* Linné, 1758.

*Amphicoryna scalaris* (Batsch) = *Nautilus* (Orthoceras) *scalaris* Batsch, 1791.

*Lenticulina limbosa* (Boltovskoy) = *Robulina limbosa* Reuss, 1863.

*Lenticulina reniformis* (d' Orbigny) = *Cristellaria reniformis* d' Orbigny, 1846.

*Neolenticulina peregrina* (SchwageR) = *Cristellaria peregrina* Schwager, 1866.

*Lagena aspera* Reuss = *Lagena aspera* Reuss, 1861.

*Lagena caudata* (d' Orbigny) = *Oolina caudata* d' Orbigny, 1839.

*Lagena clavata* (d' Orbigny) = *Oolina clavata* d' Orbigny, 1846.

*Lagena laevis* (Montagu), f. *tenuis* = *Ovulina tenuis* Bornemann, 1855.

*Lagena laevis* (Montagu), f. *typica* = *Vermiculum laeve* Montagu, 1803.

*Lagena substriata* Williamson = *Lagena substriata* Williamson, 1848.

*Lagena sulcata* (Walker y Jacob) f. *lyellii* = *Serpula sulcata* Walker y Jacob, 1798.

*Fissurina earlandi* Parr = *Fissurina earlandi* Parr, 1950.

*Fissurina laevigata* Reuss = *Fissurina laevigata* Reuss, 1850.

*Fissurina quadricostulata* (Reuss) = *Lagena quadricostulata* Reuss, 1870.

*1Bolivina compacta* Sidebottom = *Bolivina robusta* Brady var. *compacta* Sidebottom, 1905.

*Bolivina ordinaria* Phleger y Parker = *Bolivina simplex* Phleger y Parker, 1950.

*Bolivina pseudoplicata* Heron-Allen y Earland = *Bolivina pseudoplicata* Heron-Allen y Earland, 1930.

*Bolivina striatula* Cushman = *Bolivina striatula* Cushman, 1922.

*Bolivina variabilis* (Williamson) = *Textularia variabilis* Williamson, 1858.

*Brizalina difformis* (Williamson) = *Textularia variabilis* var. *difformis* Williamson, 1858.

*Cassidulina carinata* Silvestri = *Cassidulina laevigata* d´ Orbigny var. *carinata* Silvestri, 1896.

*Globocassidulina crassa* (d' Orbigny) = *Cassidulina crassa* d' Orbigny, 1839.

*Globocassidulina subglobosa* (Brady) = *Cassidulina subglobosa* Brady, 1881.

*Bulimina elongata* d´ Orbigny = *Bulimina elongata* d' Orbigny, 1826.

*Bulimina gibba* Fornasini = *Bulimina gibba* Fornasini, 1902.

*Bulimina marginata* d' Orbigny = *Bulimina marginata* d' Orbigny, 1826.

*Bulimina patagonica* d' Orbigny = *Bulimina patagonica* d' Orbigny, 1839.

Género *Globobulimina* Cushman, 1925

*Globobulimina affinis* (d´ Orbigny) = *Bulimina affinis* d' Orbigny, 1839.

*Buliminella elegantissima* (d´Orbigny) = *Bulimina elegantissima* d´ Orbigny, 1839.

*Uvigerina peregrina* Cushman = *Uvigerina peregrina* Cushman var. *Parvula* Cushman, 1923.

*Angulogerina angulosa* f. *occidentalis* (Cushman) = *Uvigerina occidentalis* Cushman, 1923.

*Furksenkoina schreibersiana* (Czjzek) = *Virgulina schreibersiana* Czjzek, 1848.

*Discorbis peruvianus* (d'Orbigny) *Rosalina peruviana* d' Orbigny, 1839.

*Discorbis williamsoni* (Chapman y Parr) = *Rotalina nitida* Williamson, 1858.

*Discorbis malovensis* Heron-Allen y Earland = *Discorbis malovensis* Heron-Allen y Earland, 1932.

*Discorbinella bertheloti* (d' Orbigny) = *Rosalina bertheloti* d' Orbigny, 1839.

*Cibicides dispars* (d' Orbigny) = *Truncatulina dispars* d' Orbigny, 1839.

*Cibicides fletcheri* Galloway y Wissler = *Cibicides fletcheri* Galloway y Wissler, 1927.

*Nonion depressulus* (Walker y Jacob) = *Nautilus depressulus* Walker y Jacob, 1798.

*Nonionella auris* (d' Orbigny) = *Valvulina auris* d' Orbigny, 1839.

*Astrononion pussilum* Hornibrook = *Astrononion pussilum* Hornibrook, 1961.

*Melonis affine* (Reuss) = *Nonionina affinis* Reuss, 1851.

*Buccella peruviana* f. *campsi* (Boltovskoy) = *Eponides peruvianus* f. *campsi* Boltovskoy, 1954.

*Elphidium articulatum* (d' Orbigny) = *Polystomella auriculata* d' Orbigny, 1839.

*Elphidium discoidale* (d' Orbigny) = *Polystomella discoidalis* d' Orbigny, 1839.

*Elphidium excavatum* (Terquem) = *Polystomella excavata* Terquem, 1876.

*Elphidium incertum* (Williamson) = *Polystomella umbilicatula*, var. *incerta* Williamson, 1858.

*Elphidium magellanicum* Heron-Allen y Earland = *Elphidium* (Polystomella) *magellanicum* Heron-Allen y Earland, 1932