

HOLOCENO MARINO EN LA PENÍNSULA POTTER, ISLA 25 DE MAYO, ANTÁRTIDA

Rodolfo A. del VALLE¹, Diego MONTALTI¹, Moshe INBAR² y Elisabetta BOARETTO³

¹ Instituto Antártico Argentino, Cerrito 1248, 1010 Buenos Aires, E-mail: delvalle@dna.gov.ar

² University of Haifa, Mount Carmel, Haifa 31905, Israel.

³ Weizmann Institute of Science, 76100 Rehovot, Israel.

RESUMEN

La sucesión sedimentaria del Holoceno temprano expuesta en la terraza marina de 3,77 m s.n.m. en la costa sur de la caleta Potter (Isla 25 de Mayo/King George Island, islas Shetland del Sur, Antártida) contiene invertebrados marinos, algas y huesos de foca y pingüino. Dataciones por radiocarbono de huesos de pingüino obtenidos en esta sucesión dieron edades de 7.562 a cal AP (años calibrados antes del Presente) y 7.414 a cal AP. Las dataciones indican que los huesos están entre los restos de vertebrados más antiguos del Holoceno hallados en las Islas Shetland del Sur, y pueden ser consideradas como edades mínimas de ocupación por estas aves de las costas de las islas en el Holoceno temprano. Esto indica condiciones interglaciales en esa época, con situación clima/hielo marino similar a la presente y condiciones marinas estacionalmente abiertas

Palabras clave: *Holoceno, depósitos marinos elevados, restos de pingüinos, nivel del mar, fluctuación de glaciares, Islas Shetland del Sur.*

ABSTRACT: *Marine sediments of the early Holocene in the Potter Peninsula, King George Island, Southern Shetland, Antarctica.* The early Holocene sedimentary succession exposed at the 3.77 m-high marine terrace on the south coast of Potter Cove (King George Island/Isla 25 de Mayo, South Shetland Islands, Antarctica) contains marine invertebrates, seaweed and bones of seals and penguins. Radiocarbon dating on penguin bones from this succession yielded 7,562 cal yr BP and 7,414 cal yr BP. These dates suggest that the bones are among the oldest remains of Holocene vertebrates found in South Shetland Islands, and may be considered as minimum ages of penguin occupation of coastal areas on the islands during the early Holocene. This indicates interglacial conditions in this time, with climate/sea ice situation similar to the present and seasonally open marine conditions.

Keywords: *Holocene, raised marine deposits, penguin bones, sea level, glacier fluctuations, South Shetland Islands.*

INTRODUCCIÓN

La transición entre la glaciación Wisconsin y el Holoceno interglacial en la Península Antártica se completó aproximadamente hace unos 8.000-6.000 años antes del presente (8-6 ka BP) (e.g. Ingólfsson *et al.* 1998). La edad de deglaciación de las áreas costeras de la península actualmente libres de hielo puede ser acotada mediante edades mínimas obtenidas por dataciones por radiocarbono efectuadas sobre fósiles marinos: conchillas de moluscos, huesos de pingüino, mamíferos marinos, algas, etc., obtenidos en depósitos de playas marinas ascendidas, sedimentos deltaicos, depósitos de turba y restos de pingüinos hallados en colonias abandonadas de estas aves. Las edades más antiguas obtenidas por el método del radiocarbono proveen una edad mínima para la fase inicial de la deglaciación de c. 9-8 ka BP en la Isla 25 de Mayo/King George Island (Sugden y John 1973, Mäusbacher

1991) (Fig. 1), donde los glaciares estuvieron dentro de sus límites actuales c. 6 ka BP (Martinez Macchiavello *et al.* 1996).

Muchas de las playas marinas ascendidas en el norte de la Península Antártica son posteriores al último máximo glacial (e.g. Ingólfsson *et al.* 1998, Berkman *et al.* 1998). Retracciones del volumen del hielo y ascensos isostáticos durante el Holoceno permitieron la progresiva formación de niveles de playas ascendidas en áreas costeras de la Península e islas cercanas. Estudios realizados sobre pingüineras fósiles sugieren que la exposición progresiva de nuevas áreas costeras emergidas permitió que un gran número de pingüinos descendiera desde los altos acantilados previamente colonizados hacia las áreas costeras más bajas que emergían progresivamente (Tatur *et al.* 1997). La colonización y la ubicación de las pingüineras están determinadas por factores dependientes del clima, como la disponibilidad de áreas costeras libres de hielo adecuadas para

anidar, ausencia de persistente hielo marino, facilidades para el acceso a aguas marinas abiertas durante la temporada de anidaje y la disponibilidad de alimento (Baroni y Orombelli 1991, 1994). La historia de la ocupación de la costa por pingüinos es una buena aproximación paleoecológica y paleobiológica de la edad mínima de la deglaciación y de una situación clima/hielo marino similar a la actual. En la Península Antártica, las dataciones de restos orgánicos obtenidos en pingüineras de bahía Margarita (68 30'S, 68 30'O) sugieren que la colonización inicial ocurrió en el período 6,5-5,5 ka AP (Emslie 1995, 2001), confirmando las edades mínimas para la deglaciación de 7-6 ka AP provistas por estudios de geología marina. Zale (1994a, b) estudió la historia de la ocupación por pingüinos de bahía Esperanza (63 23'S, 57 00'O), y dató la primera colonización en 5,5 ka AP, unos 0,8 ka AP después de la deglaciación de esa comarca. Los huesos de pingüino contenidos

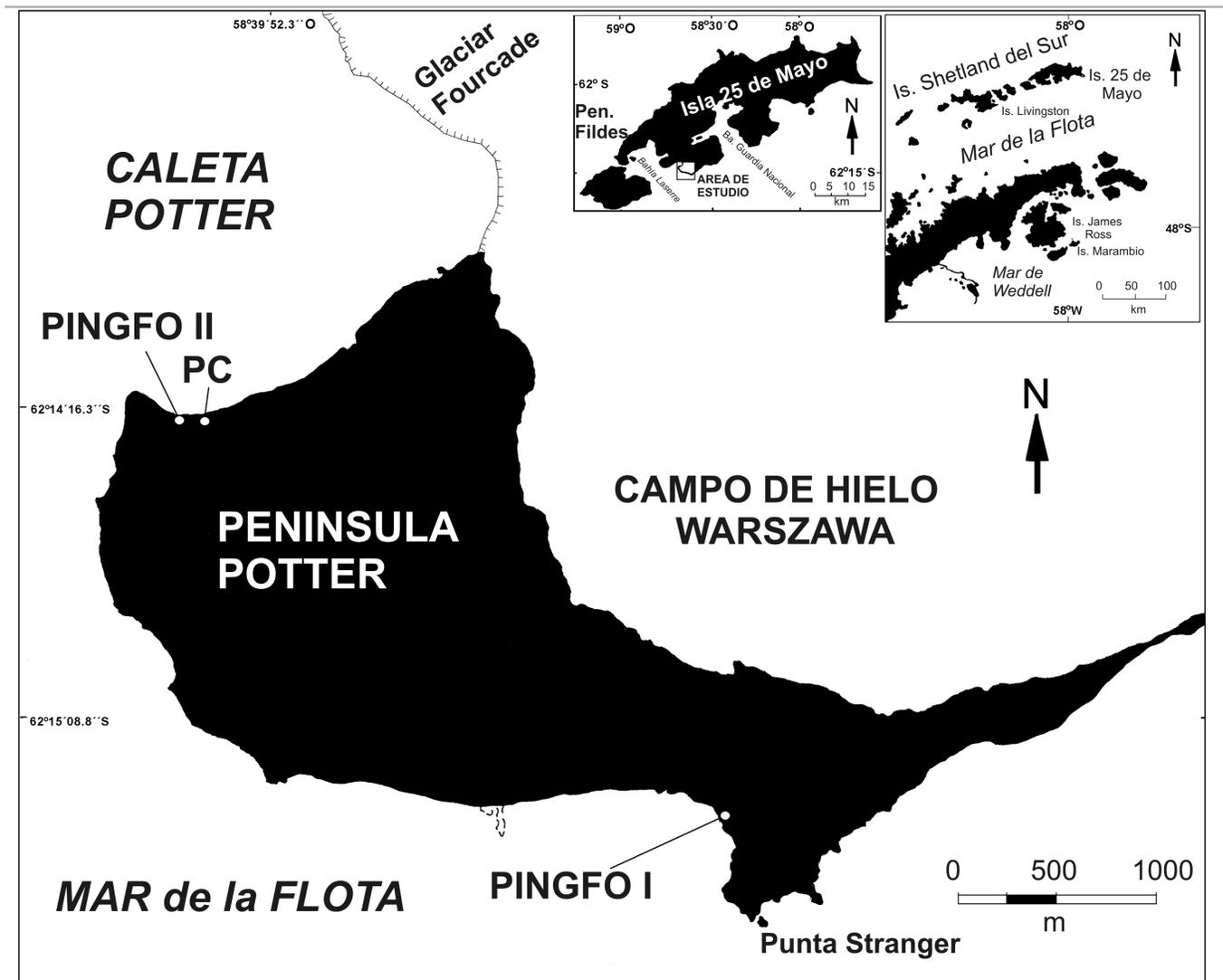


Figura 1: Mapa de la Península Potter, isla 25 de Mayo (*King George Island*), islas Shetland del Sur. PINGFO I: localidad donde están expuestos sedimentos de playas marinas ascendidas del Holoceno medio (del Valle *et al.* 2002). PINGFO II: localidad donde está expuesta la sección sedimentaria del Holoceno temprano estudiada en este trabajo. PC: localidad investigada por John y Sugden (1971). A: ubicación de la península Potter en la isla 25 de Mayo. B: ubicación de las islas Shetland del Sur

en sedimentos de playas marinas ascendidas pueden proveer valiosa información para completar las bases de datos provenientes de pingüineras abandonadas.

Antes del presente estudio la ocupación por pingüinos más antigua de la isla 25 de Mayo había sido datada en 5,8-5,3 ka AP (Barsch y Mäusbacher 1986) y en 6.401-6.486 a cal AP (Pallàs *et al.* 1997). Los autores del presente trabajo hallaron un grupo de fósiles del Holoceno temprano, bien preservados, que incluyen restos de pingüinos, algas y mamíferos marinos, contenidos en sedimentos de playas marinas ascendidas 2,17-2,77 m sobre el nivel del mar (s.n.m.) en la localidad denominada "Pingfo II" ($62^{\circ}14'$

$20.73''S$, $58^{\circ}40'21.00''O$) sobre la costa sur de la caleta Potter (Isla 25 de Mayo, islas Shetland del Sur, Antártida) (Fig. 1). Este estudio examina la tafonomía y edad de estos depósitos de playa marina ascendida e identifica los vertebrados fósiles a nivel de especie cuando es posible, contribuyendo con nuevos datos para acotar la edad mínima de ocupación por pingüinos de las áreas costeras de la península Potter.

MÉTODOS

Los huesos subfósiles informados en este trabajo fueron hallados *in situ* durante la campaña antártica 2002/2003 organizada

por el Instituto Antártico Argentino-Dirección Nacional del Antártico, cuando la localidad fue informalmente denominada "Pingfo II" y posicionada mediante el sistema satelital GPS. Las elevaciones fueron obtenidas con precisión centimétrica mediante nivelación referida al actual nivel local del mar determinado por el Servicio de Hidrografía Naval de Argentina, y medidas de mareas realizadas por Schöne *et al.* (1998) en la Caleta Potter. Huesos de pingüino provenientes de niveles arenosos fueron enviados al *Weizmann Institute of Science*, Rehovot (Israel), donde se realizaron dataciones AMS por radiocarbono. Asimismo los valores de edades por radiocarbono de

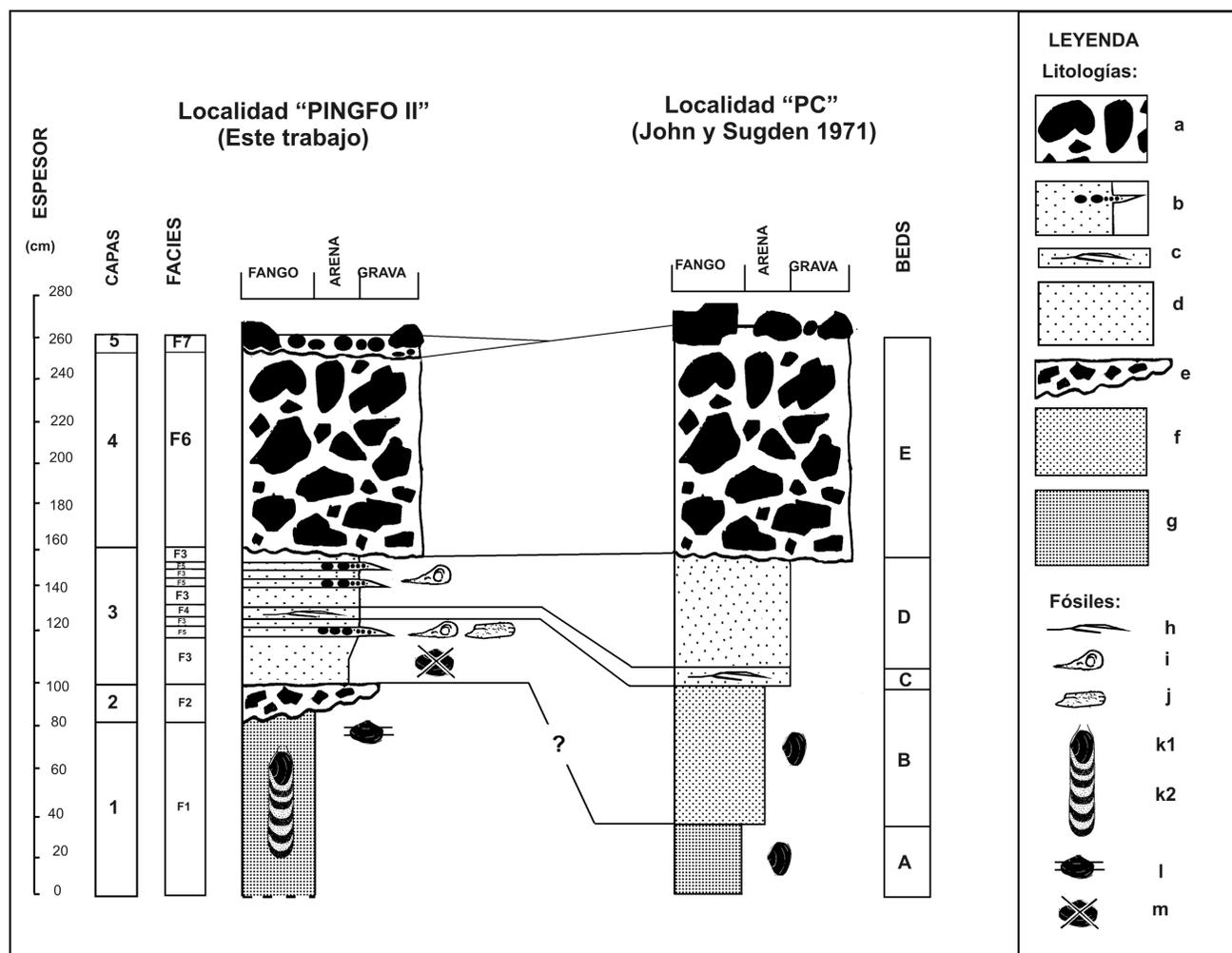


Figura 2: Perfil sedimentario a través de la sucesión del Holoceno temprano y medio expuesta en la localidad "Pingfo II", y su correlación con la secuencia sedimentaria informada por John y Sugden (1971) de la localidad "PC" (Fig. 1). a) till glacial; b) grava de grano fino; c) arena rica en algas marinas; d) arena; e) sedimentos glaciomarinos; f) arena limosa; g) arena fangosa; h) fragmentos de algas marinas; i) huesos de pingüinos; j) hueso de foca; k1) *Laternula elliptica*; k2) estructuras de escape de *L. elliptica*; l) conchillas aplastadas de *L. elliptica*; m) fragmentos de *L. elliptica*. Conchillas de almejas antárticas de los Beds A+B, y fragmentos de algas marinas de la capa C fueron recalibradas en 9.600 a cal AP y 7.470 a cal AP, respectivamente (Cuadro 3). Huesos de pingüino de la capa 3 fueron datados por radiocarbono y calibrados en 7.562 a cal AP y 7.414 a cal AP (Cuadro 3).

diferentes playas ascendidas de la península Potter obtenidas por John y Sugden (1971) y del Valle *et al.* (2002) fueron recalibrados para unificar las escalas de comparación y correlacionar los mismos. El sitio Pingfo II fue objeto de detallado relevamiento geológico y excavado en febrero de 2003, cuando se obtuvieron muestras de sedimentos y fósiles en cada estrato. Las playas marinas ascendidas fueron identificadas por sus capas formadas por arenas volcanoclasticas y gravas finas, expuestas en el frente de las terrazas costeras. Las excavaciones se completaron mediante túneles horizontales de 1 m de largo y 1 m² de superficie en cada capa investigada, de las cuales se obtuvieron

muestras de restos orgánicos (e.g. invertibrados, huesos, algas). Un perfil litológico se obtuvo de los sedimentos expuestos. Al finalizar los estudios, los túneles fueron rellenados con los materiales remanentes. Las muestras sedimentarias fueron estudiadas bajo microscopio petrográfico, determinándose la composición mineralógica y el tamaño del grano. Los huesos microfósiles fueron muestreados en dos niveles (Fig. 2). El material paleontológico fue examinado e identificado a nivel de especie cuando fue posible (Cuadro 1), y preservado para futuros estudios paleontológicos detallados. Análisis morfométricos (Feduccia 1996) fueron realizados usando calibres (0,01 mm).

Los huesos fueron comparados con material de referencia del Departamento Biología, Aves del Instituto Antártico Argentino y del Museo de Ciencias Naturales de La Plata (Argentina). Las interpretaciones paleogeográficas y paleoambientales se realizaron sobre la base de datos geológicos, sedimentológicos y paleontológicos originales obtenidos durante las investigaciones presentes.

SEDIMENTOS HOLOCENOS EN LA COSTA AUSTRAL DE LA CALETA POTTER

En una terraza de 3,77 m snm en la costa

sur de la caleta Potter de la isla 25 de Mayo, en la localidad Pingfo II (62°14'20.73"S, 58°40'21.00"O) (Fig. 1), está expuesta una sucesión sedimentaria del Holoceno temprano y medio, de 2,6 m de espesor, compuesta por arenas limosas y escasas gravas de grano fino (1,6 m), cubiertas por sedimentos glaciares (0,9 m) y gravas de playas marinas (0,1 m) (Fig. 2). Restos de invertebrados marinos y algas fueron hallados dentro de pingüinos y focas fueron hallados dentro de los sedimentos, y no se hallaron microfósiles en los sedimentos glaciares (Cuadros 1 y 2). Dentro de esta sucesión holocena (Fig. 2) se identificaron siete facies sedimentarias que se describen en el cuadro 2, y se correlacionan con la sección estudiada por John y Sugden (1971) en la localidad "PC" (Figs. 1 y 2), donde sólo se informaron algas e invertebrados marinos, pero ningún vertebrado.

Tradicionalmente la formación de playas ascendidas ha sido datada por medio del método del radiocarbono aplicado a huesos fósiles, conchillas y materiales orgánicos obtenidos en sedimentos marinos ascendidos (e.g. Pallàs *et al.* 1997). Fragmentos de costillas y tres huesos de la pata de pingüino, provenientes de la capa 3 (Fig. 2, Cuadro 1: Facies 3 y 5) fueron datados por el método AMS de radiocarbono en el *Weizmann Institute of Science* (Rehovot, Israel). Las muestras PF2-3 (Lab No. RTT 4388) y PF2-4 (Lab No. RTT 4389), obtenidas a diferentes niveles ubicados por encima y por debajo de la capa rica en algas marinas (Facies 4), fueron datadas en 7.600 ± 80 a AP y 7780 ± 60 a AP, respectivamente. Estas fechas C14 fueron calibradas usando el *Radiocarbon Calibration Program* Rev. 4.3 de la *University of Washington*, basado en Stuiver y Reimer (1993), y dieron 7.414 a cal AP y 7.562 a cal AP, respectivamente (Cuadro 3). La misma calibración se aplicó a las dataciones por radiocarbono de la península Potter obtenidas por Sugden y John (1973) sobre *Laternula elliptica* y fragmentos de algas, y huesos de pingüino, aves voladoras y foca informadas por del Valle *et al.* (2002) (Cuadro 3).

DISCUSIÓN

La síntesis de cambios ambientales en la

CUADRO 1: Huesos de pingüinos y mamíferos marinos hallados dentro de sedimentos de playas marinas en la localidad Pingfo II.

Huesos de pingüinos	Facies 5 (interestratificada dentro de la parte superior de la facies 3) (Fig. 2, Cuadro 2)	Facies 3 (parte inferior de la capa, asociada a la facies 5 inmediatamente por arriba y debajo de la facies 4) (Fig. 2, Cuadro 2)
Humerus(i)	2 del mismo lado (2 individuos)	2 del mismo lado, y 1 distal del otro lado (2 individuos)
Sternum	1 fragmentado	1 completo
Tibiotarsus(i)	2 partes distales de diferentes tamaños, y 3 fragmentos (2 individuos)	2 del mismo lado (2 individuos)
Femur	1	1
Vertebrae	-	5
Sinsacrum	-	2 fragmentos
Clavícula	-	1
Scapula	-	2 del mismo lado (2 individuos)
Coracoides	-	5 fragmentos (3 individuos)
Falanges	1	4
Mandíbula	-	1 fragmento
Cistillas	-	Fragmentos
Fibula	-	1
Carpometacarpi	-	2 del mismo lado
Huesos del ala	-	2 de diferentes lados
Hueso largo	1 fragmento	-
Cráneo	-	1 fragmento
Hueso de elefante marino (<i>Mirounga leonina</i>)	-	2 fragmentos

Península Antártica desde el último máximo glacial propuesta por Hjort *et al.* (2003) sugiere que muchas de las áreas actualmente libres de hielo se deglaciaron probablemente antes de 8-6 ka AP, y la ocupación de las colonias de pingüinos se completó cerca de 6 ka AP, y fue seguida por avances y retrocesos de glaciares y de barreras de hielo durante el Holoceno medio.

La litología, estructuras sedimentarias y la presencia de numerosos individuos de *Laternula elliptica* en posición de vida sugieren que la capa 1 (Fig. 2, localidad Pingfo II) se depositó por debajo del nivel mar entre 2-12 m de profundidad. John y Sugden (1971) dataron estos depósitos ricos en bivalvos en 9.670 230 a AP (9.600 a cal AP, Cuadro 3). La correlación entre las facies identificadas en la sección de la localidad Pingfo II de este trabajo y las capas de la localidad PC informadas por John y Sugden (1971), se muestran en la figura 2: la capa 1 corresponde a las *Beds A+B*, la capa 3 corresponde a las *Beds C+D*, y la capa 4 corresponde a la *Bed E*, en las localidades Pingfo II y PC (Fig. 1), respectivamente. Las capas 2 y 5 (Fig. 2) de la localidad Pingfo II no fueron informadas por John y Sugden

(1971) para la localidad PC (Fig. 1). Las facies 2 y 5 que forman las capas homónimas, se describen en el cuadro 2.

Las *Beds A+B* descritas en John y Sugden (1971) son equivalentes a la capa 1 (Fig. 2) compuesta por la *Facies 1* que se describe en el cuadro 1. Estos sedimentos se formaron en condiciones de fiordo abierto (Birkenmajer 1998). Según Pallàs *et al.* (1997) el máximo nivel del mar en el área de Bahía Laserre (Maxwell Bay) (Fig. 1) durante el Holoceno temprano, c. 10-9 ka AP, fue de c. 25-30 m sobre el nivel del mar (s.n.m.). Esta profundidad está de acuerdo con el rango de profundidad preferido por *Laternula elliptica* que es de 3-40 m (Ahn 1994), y sugiere que la facies 1 pudo haberse depositado durante la transgresión marina del Holoceno temprano sobre las costas australes de la isla 25 de Mayo propuesta por Birkenmajer (1981, 1998).

La composición litológica, estructuras sedimentarias y contenido paleontológico de la facies 1, descritos en el cuadro 2, sugiere que los bivalvos infaunales (*Laternula elliptica*) vivieron en el fondo de un fiordo abierto (por ejemplo Birkenmajer 1998) aproximadamente 9.600 a cal AP (Cuadro 3),

CUADRO 2: Facies sedimentarias de la sección del Holoceno medio expuesta en la localidad Pingfo II, costa sur de la caleta Potter, isla 25 de Mayo (Fig. 1).

Facies sedimentarias (Fig 2)	Espesor (m)	Descripción / Interpretación	Edades calibradas (a cal AP)
Facies 1	0,85	Arena muy fina fangosa rica en bivalvos. Laminación paralela o irregular con capas muy delgadas dominante. Abundantes conchillas articuladas de la almeja Antártica <i>Laternula elliptica</i> , la mayoría en posición de vida. Intensa bioturbación por alimentación y frecuentes estructuras de escape de los bivalvos infaunales. Contacto inferior de la capa no expuesto. Contacto superior erosionado. En la parte superior de esta Facies abundan masas aisladas de c. 10 cm de diámetro, formadas por grava fangosa de la facies 2 (ver más adelante). Interpretación: la abundancia de sedimentos finos laminados y bioturbados con restos de bivalvos infaunales en posición de vida sugiere que estos sedimentos se depositaron por decantación en el lecho marino lejos de la influencia del oleaje.	c. 9.600 (1)
Facies 2	0,15	Grava de grano fino con matriz fangosa. Grava fangosa, castaño-rojiza con mala selección granulométrica, forma una capa irregular de 0,15 m de espesor. Los clastos (5-0,5 cm) son completamente angulosos, compuestos por rocas basálticas, presentan estructura caótica, esqueleto abierto y matriz areno-limosa. Límite inferior de la capa es irregular. Clastos mayores penetran en las capas superiores de la infrayacente facies 1. Conchillas aplastadas de <i>Laternula sp.</i> son localmente abundantes en la base. Interpretación: la mala selección granulométrica junto al contenido paleontológico, y la abundancia de fango y clastos mayores interpretados como dropstones, sugiere que estos sedimentos se formaron por flujos densos subácueos de materiales provenientes del frente de glaciares o desde témpanos que descargaban en el mar.	
Facies 3	0,60	Arena fina a mediana con guijarros bien redondeados. Arena castaño-rojiza con buena selección granulométrica. Escasa matriz limosa disminuye hacia la parte superior (Fig. 2). Estratificación paralela o irregular con capas finas. Clastos mayormente sub-esféricos y redondeados, compuestos por rocas basálticas, con granos de feldspatos y cuarzo, y bioclastos (fragmentos de conchillas y algas) localmente importantes. Rodados (6-3 cm) bien redondeados, de rocas volcánicas, aislados y escasos (<5%). Pequeños bivalvos no identificados y conchillas rotas de <i>Laternula sp.</i> , yaciendo paralelas a las superficies de estratificación, frecuentes en la parte inferior de la facies 3. Huesos de pingüino y fragmentos de huesos de foca abundan en la parte superior de la capa 3 (Cuadro 3), donde hay lentes de arenas ricas en algas y gravas finas de las facies 4 y 5, respectivamente (Fig. 2). Interpretación: la abundancia de arena bien seleccionada junto a guijarros redondeados, restos de algas y bioclastos de origen marino, sugiere que estos sedimentos se depositaron en una playa marina por encima del nivel de olas.	c. 7.562 (2)
Facies 5	0,05	Grava de grano fino. Gravas finas clasto-soportadas y moderadamente seleccionadas forman capas delgadas (5-2 cm) y lentes de 50 cm de longitud, intercalados dentro de la facies 3 en la parte superior de la capa 3 (Fig. 2). Clastos (3-0,3 cm), en su mayoría están bien redondeados y compuestos por rocas basálticas. La matriz está formada por arena gruesa bien seleccionada. Huesos no erosionados de pingüinos y conchillas de 0 bivalvos no identificados comúnmente presentes (Cuadro 3). Interpretación: la buena redondez de los clastos junto al contenido paleontológico y la estructura lenticular de los depósitos, sugieren que los mismos se acumularon en una playa marina lejos de la influencia del oleaje fuerte.	c. 7.414 (2)
Facies 6	0,9	Till. Grava de grano grueso no seleccionada, con estructura caótica, esqueleto abierto y abundante matriz limo-arenosa de color castaño grisácea. Contacto inferior y superior de la capa fuertemente erosivo. Clastos (50-5 cm) angulosos formados por rocas basálticas. No se hallaron fósiles. Inmediatamente por debajo de esta facies, la estratificación de la parte superior de la capa 3 presenta fuerte deformación irregular. Interpretación: la mala selección granulométrica junto a la estructura interna caótica, el contacto inferior erosivo y la deformación de las capas infrayacentes, sugieren que estas gravas fueron depositadas directamente por un glaciar.	
Facies 7	0,1	Gravas con rodados bien redondeados y bloques angulosos. Grava de grano grueso, mayormente bien seleccionada, con clastos (0,5-5 cm) bien redondeados junto a escasos bloques (50-5 cm) subangulosos, similares a los de la Facies 6, retrabajados y aislados en escasa matriz arenosa. No se hallaron fósiles. Interpretación: la existencia de rodados redondeados junto a bloques subangulosos sugiere que el retrabajo de los materiales de la facies 6 ocurrió en una playa marina.	Holoceno medio (3)

(1) Datos C14 tomados de John y Sugden (1971), calibrados usando el *Radiocarbon Calibration Program Rev. 4.3* de la *University of Washington* basado en Stuiver y Reimer (1993).

(2) Este trabajo (Cuadro 1). Datos C14 AMS obtenidos por el *Weizmann Institute of Science* (Rehovot, Israel), calibrados usando el *Radiocarbon Calibration Program Rev. 4.3* de la *University of Washington* basado en Stuiver y Reimer (1993).

(3) Birkenmajer (1998).

poco tiempo después de la desglaciación inicial de las áreas internas de plataforma, fiordos y bahías en la región de la isla 25 de Mayo. Las gravas de la facies 2, descritas

en el cuadro 2, son interpretadas como de origen marino, depositadas sobre los limos arenosos de la facies 1 enterraron a los bivalvos infaunales contenidos en la facies

1. La respuesta de las almejas fue desplazarse hacia arriba, y esto originó las estructuras de escape que quedaron impresas bajo las conchillas articuladas (Fig. 2). Por su parte,

CUADRO 3: Valores de edades de sedimentos de playas marinas ascendidas sobre la costa de la península Potter.

Muestra/ capa	Nivel (m sobre el nivel del mar)	Especies	Material	Dataciones por por C ¹⁴ (años antes del as) (a cal AP)	Edad Rango calibrado -(edad promedio)-(años calibrados AP)
Localidad "Pingfo I" (62°15'26.483"S, 58°37'08.530"W, 17.3 m s.n.m.) (Fig. 1):					
PF1-5	16.3 / 16.7	Pygoscelis sp.	Hueso de pingüino	5750 ± 40 (1a)	5.570 -(5.430)- 5.270 (1b)
PF1-3	15.39 / 15.7	Pygoscelis sp.	Hueso de pingüino	5840 ± 40 (1a)	5.610 -(5.510)- 5.320 (1b)
Localidad "Pingfo II" (62°14'20.73" S, 58°40'21.00" W, 3.77 m s.n.m.) (Fig. 1):					
PF2-4	2.57	Pygoscelis sp.	Hueso de pingüino	7.780 ± 60 (2)	7.678 -(7.562)-7.422
PF2-3	2.37	Pygoscelis sp.	Hueso de pingüino	7.600 ± 80 (2)	7.567 -(7.414)- 7.242
Localidad "PC" (Fig. 1):					
Bed C (Fig. 2)	c. 3.9 / 4.5	Seaweed	fragmento	7.683 ± 80 (3a)	7.640 -(7.470)- 7.310 (3b)
Beds A+B (Fig. 2)	c. 3.3 / 3.9	Laternula sp.	conchilla	9.670 ± 230 (3a)	10.260 -(9.600)- 8.950 (3b)

(1) del Valle *et al.* (2002).

(1a) Nuevas calibraciones de datos publicados en del Valle *et al.* (2002).

(2) Este trabajo. Edades radiocarbon: Muestras PF2-4 y PF2-3 = Muestras de laboratorio RTT 4388 y RTT 4389, respectivamente, datadas por el Weizmann Institute of Science, Rehovot (Israel).

(3a) John y Sugden (1971).

(3b) Nuevas calibraciones de datos publicados en John y Sugden (1971)

Nota: Las fechas C¹⁴ fueron calibradas usando el Programa de la *University of Washington Radiocarbon Calibration Program Rev. 4.3* basado en Stuiver y Reimer (1993). Las edades C¹⁴ y las fechas C¹⁴ calibradas en el rango 2 sigma (95% de confianza en años calendario antes del presente) se refieren a dos muestras (PF1-5 y PF1-3) de las playas marinas ascendidas sobre la costa SE de la Península Potter (localidad "Pingfo I": del Valle *et al.* 2002), y cuatro muestras (PF2-4 and PF2-3: este trabajo, y dos muestras informadas por John y Sugden 1971) de la costa sur de la Caleta Potter (localidad "Pingfo II" y localidad "PC") (Fig. 1).

las conchillas aplastadas por clastos de la grava reflejan la rápida sedimentación de la facies 2 que fue depositada por flujos densos subácuos de sedimentos provenientes desde el frente de glaciares o témpanos. Dropstones y pequeñas masas de grava incluidas en la parte superior de la facies 1 sugieren que el balsaje (*rafting*) sobre témpanos fue un activo proceso de transporte de material sedimentario. La ausencia de clastos redondeados en las gravas del banco 2 indica que el área de aporte de la facies 2 estuvo probablemente libre de depósitos gravosos de playa.

La litología, estructuras sedimentarias y contenido paleontológico de la Facies 3 en la parte superior de la capa 3 (Fig. 2, Cuadro 2) sugiere que su sedimentación ocurrió en un ambiente marino somero y restringido de playa arenosa o gravosa, que inclinaba suavemente hacia mar abierto, y estaba pro-

tegido de la acción del oleaje fuerte por sobre el nivel de olas.

En la parte superior de la capa 3 la alternancia de arenas ricas en algas y gravas de playa marina, facies 4 y facies 5, respectivamente (Fig. 2, Cuadro 2), indica que ocurrieron cambios significativos en el ambiente de sedimentación después de la formación de la facies 2 (Fig. 2, Cuadro 4). La abundancia de algas marinas en la facies 5 sugiere la probable existencia de un substrato marino rocoso favorable a la fijación de flora. La facies 3 es pobre en conchillas de bivalvos, muchas de las cuales están rotas y consisten en unos pocos fragmentos que yacen con sus caras mayores paralelas a las superficies de estratificación. Los niveles de gravas arenosas de la Facies 5 están ausentes en la parte inferior de la capa 3 (Fig. 2), mientras que son frecuentes en la parte superior de esta capa, indicando que la introducción de sedi-

mentos de playa se incrementó con el progreso de la sedimentación de la capa 3 (Fig. 2). Esto refleja la progresiva somerización (*shallowing*) del ambiente marino, la cual acompañó a la recuperación isostática de la costa durante el Holoceno temprano como consecuencia de la desglaciación del área propuesta por Birkenmajer (1998). Durante el descenso relativo del nivel del mar, los sedimentos de fondo de fiordo del Holoceno temprano, de la facies 1 quedaron expuestos o cerca del nivel del mar, antes de la sedimentación de las facies 3, 4 y 5 en un ambiente de playa marina (Fig. 2). Esta superposición de sedimentos litorales sobre depósitos de fondo de fiordo sugiere una progradación costera en una secuencia de somerización.

Arenas de playa ricas en algas (Fig. 2: Bed C), homólogas a la facies 4 (Fig. 2: Capa 3), fueron datadas por John y Sugden (1971) en 7.683 ± 80 a AP (7.470 a cal AP: Cuadro 3). Por arriba y debajo de estas arenas ricas en algas, los autores encontraron huesos de pingüino y foca asociados a la facies 5 (Fig. 2, Capa 3). Los huesos de pingüino fueron datados en 7.414 a cal AP y 7.562 a cal AP (Fig. 2, Cuadro 3), lo cual sugiere que están entre los restos de vertebrados más antiguos del Holoceno hallados en las islas Shetland del Sur.

CUADRO 4: Rasgos sedimentarios y cambios relativos del nivel mar registrados en la costa sur de la caleta Potter

Facies (Fig. 2, Cuadro 2)	Profundidad inferida durante la depositación	Edad (a cal AP)	Ambiente sedimentario
F1	-25 m bajo el nivel mar	c. 9600	Fondo de fiordo
F2	?	entre 9.600-7.500	Glaciomarino
F3-F4-F5	c. nivel del mar	c. 7.500	Playa marina
F6	sobre el nivel del mar	pos-7.500	Till glacial
F7	c. nivel del mar	entre 7.500-5.500	Playa marina

CUADRO 5: Sucesión de rasgos marinos ascendidos y eventos glaciarios del Holoceno en la península Potter (basados en John y Sugden 1971, Birkenmajer 1998, del Valle et al. 2002, y este trabajo).

Rasgo	Evento	Edad / referencias
Morenas y terrazas kame recientes (1)	Avances y retrocesos glaciales "Potter Cove" (ARGPC) (1)	Holoceno tardío: c. 500 a AP - Reciente (1)
Terrazas marinas ascendidas 7,5-12 m s.n.m. y playas marinas ascendidas 2-16 m s.n.m. (1)	Recuperación isostática de la costa (1)	Holoceno tardío a medio (1)
Playas marinas ascendidas 15,4-16,7 m s.n.m. (localidad "Pingfo I", Fig. 1) (2)	Recuperación isostático de la costa	Holoceno medio: c. 5.510-5.430 a cal AP (2)
Morenas antiguas (1)	Avances y retrocesos glaciales Punta Baliza (AGPB) (1)	Holoceno medio (1)
El nivel del mar mundial alcanzó su nivel actual (7)	Nivel del mar global aproximadamente en su nivel actual (7)	5.000-6.000 a cal AP (7)
Sedimentos de playa marina con restos de algas (Fig. 2, localidades "PC" y "Pingfo II": Bed C y parte media de capa 3, respectivamente) y huesos de vertebrados (Fig. 2, localidad "Pingfo II", Capa 3)	Nivel del mar aproximadamente en su nivel actual (4)	Holoceno medio: c. 7470 a cal AP (3) - c. 7500 a cal AP (4)
Sedimentos glaciomarineros (Fig. 2, localidad "Pingfo II", Capa 2)	Episodio local y de corta duración de sedimentación glaciomarina (4)	Entre 9.600-7.500 a cal AP (4)
Sedimentos marinos de fiordo abierto con restos de <i>Laternula elliptica</i> (Fig. 2, localidades "PC" y "Pingfo II": Beds A+B y capa 1, respectivamente)	Estadio marino de nivel alto (1)	Holoceno temprano: c. 9.600 a cal AP (3)
Límite marino del Holoceno en 25-30 m de altura s.n.m. (5) - c. 30 m s.n.m. (6)	Transgresión marina. Ascenso del nivel relativo del mar debido a depresión isostática de la costa	Holoceno temprano: 10-9 ka AP (5)
El Glaciar Fourcade se retiró de Caleta Potter	Retroceso de glaciares (1)	Holoceno temprano (1) y (8)

(1) Birkenmajer (1998)

(2) Edades corregidas por reservorio de C¹⁴ y calibradas sobre la base de datos originales de del Valle *et al.* (2002).

(3) Edades corregidas por reservorio de C¹⁴ y calibradas sobre la base de datos originales de John y Sugden (1971).

(4) Este trabajo.

(5) Bahía Laserre (Maxwell Bay) Isla 25 de Mayo (King George Island): Pallàs *et al.* (1997).

(6) Alrededor de Antártida: Berkman *et al.* (1998)

(7) Lambeck y Chappel (2001)

(8) John y Sugden (1971)

La descripción de la facies 6 (Cuadro 2) sugiere que estos depósitos son de origen glacial. La parte superior de la capa 3 está considerablemente deformada por el flujo del hielo. De acuerdo con Birkenmajer (1998) estos sedimentos glaciales se formaron durante el denominado avance glacial Punta Baliza que es el evento glacial más antiguo del Holoceno en la península Potter (Cuadro 5).

Las terrazas marinas ascendidas entre 3,75-6 m s.n.m. están cortadas por morenas atribuidas al avance glacial Punta Baliza, y son cubiertas por capas formadas por clastos glaciales retrabajados junto a rodados bien redondeados de playas marinas, lo cual indica altos niveles relativos del mar post-avance glacial Punta Baliza (Cuadro 5). Estos niveles altos del nivel relativo del mar son confirmados por la evidencia sedimentológica y paleontológica obtenida por del Valle *et al.* (2002) en la localidad Pingfo I (Fig. 1). Allí se hallaron restos de vertebrados del Holoceno medio, incluyendo huesos de pingüinos, aves voladoras, focas y algas marinas, dentro de sedimentos de playas marinas ascendidas entre 14,7-16,7 m

s.n.m., depositados entre c. 5.510-5.430 a cal AP (Cuadro 3). Estos sedimentos de playa son posteriores al avance glacial Punta Baliza del Holoceno medio, y anteceden a los avances y retrocesos glaciales del Holoceno tardío denominados *Potter Cove* (Avance glacial *Potter Cove*, Birkenmajer 1998) (Cuadro 5).

Las dataciones por radiocarbono (7.562-7.414 a cal AP) realizadas sobre huesos de pingüino provenientes de la localidad Pingfo II, informadas en el presente trabajo, indican que estas aves ocuparon las costas de la isla 25 de Mayo por lo menos 1.000 años antes de lo previamente supuesto (6.486-6.401 a cal AP) por Pallàs *et al.* (1997). La ocupación de esta costa por pingüinos en el Holoceno temprano y medio sugiere que en esas épocas las condiciones del clima y el hielo marino fueron similares a las presentes. Muchas de las costas estaban libres de hielo y disponibles para los pingüinos, por ejemplo en la península Potter, donde había disponibilidad de alimento y acceso estacional a aguas abiertas. Los cambios desde la facies 1 a la facies 5 que se muestran en el perfil de la sucesión

holocena expuesta en la localidad Pingfo II (Fig. 2), reflejan la progradación costera y el ascenso del área costera de la caleta Potter después de 9.600 a AP (Cuadro 4). Este ascenso fue seguido por el avance glacial registrado por la depositación del *till* de la facies 6 (Fig. 2), el cual es atribuido al avance glacial Punta Baliza (Birkenmajer 1998) del Holoceno medio (Cuadro 5). Las playas marinas ascendidas alrededor de la Antártida reflejan los ascensos isostáticos producidos por variaciones de volúmenes de hielo mucho mayores que los actuales. Depósitos de playa posteriores al último máximo glaciario fueron identificados en la mayoría de las áreas libres de hielo de la Península Antártica e islas adyacentes (e.g. John y Sugden 1971, del Valle *et al.* 2002). La contracción del volumen del hielo en el Holoceno temprano produjo una depresión isostática acompañada por un ascenso eustático del nivel mar que se reflejó en el límite marino elevado entre 8-30 m s.n.m. alrededor de la Antártida durante el Holoceno temprano (Berkman *et al.* 1998), y entre 20-30 m en las islas Shetland del Sur (Pallàs *et al.* 1997). Este nivel alto del mar se correla-

ción con la transgresión marina del Pleistoceno tardío-Holoceno temprano sobre la península Potter y la costa SE de la bahía Guardia Nacional (Fig. 1), donde fue denominada transgresión marina Flandrian (Birkenmajer 1998). Esta transgresión fue seguida por el ascenso glacio-isostático de las islas Shetland del Sur durante el Holoceno, cuando se formaron muchas playas marinas ascendidas sobre la costa de la isla 25 de Mayo (e.g. John y Sugden 1971).

Hay una buena correlación entre los cambios isostáticos del nivel relativo del mar y las fluctuaciones glaciales en la península Potter propuestas por Birkenmajer (1998) (Cuadro 5). Por otra parte, existe una discrepancia entre el ascenso de la costa en las islas Shetland del Sur durante el Holoceno temprano propuesto por Pallàs *et al.* (1997) y la emersión observada por los autores en la costa sur de la caleta Potter c. 7,5 ka AP (este trabajo). Los sedimentos de playa marina ascendida a 2,17-2,77 m datados en c. 7.500 a cal AP (Cuadro 3, localidad Pingfo II) muestran un ascenso de c. 2,5 m que es mucho menor que la emersión mínima propuesta de c. 15 m para la región en ese mismo tiempo (Pallàs *et al.* 1997, fig. 5). Nuestros datos no coinciden con el modelo teórico de curvas del nivel relativo del mar en la bahía Laserre durante el Holoceno temprano, propuesto por Pallàs *et al.* (1997). Esto sugiere que se requieren más observaciones geológicas y del nivel relativo del mar durante el Holoceno temprano en la isla 25 de Mayo para ajustar el modelo y/o asignar las diferencias a neotectónica (por ejemplo Codignotto *et al.* 1992).

CONCLUSIONES

Las litofacies exhibidas en la parte inferior (0-1,6 m) de la sucesión sedimentaria expuesta en la localidad Pingfo II (Fig. 2) reflejan la emersión de la costa sur de la caleta Potter durante el Holoceno temprano, producido por un ascenso glacio-isostático. La parte superior (1,6-2,6 m) de la sucesión representa un avance glacial y el subsecuente ascenso del nivel relativo del mar. La altura y edad de este ascenso del nivel relativo del mar: 2,37-2,57 m, 7.562-7.414 a cal AP (Cuadro 3), observadas en la costa sur de la caleta Potter acotan el límite míni-

mo del mar en la costa SO de la isla 25 de Mayo durante el Holoceno temprano. Asimismo, estos datos son similares a los informados por Sugden y John (1973) para la cercana localidad PC (Fig. 1).

Las dataciones por radiocarbono realizadas sobre huesos de pingüino de la localidad Pingfo II informadas en este trabajo (7.562 a cal AP y 7414 a cal AP), pueden ser consideradas como edades mínimas de la ocupación de la península Potter por la fauna costera durante el Holoceno temprano, incluyendo pingüinos y focas. Estos mamíferos y aves marinas habitaron la isla 25 de Mayo antes del óptimo climático en la Península Antártica (c. 4.000-3.000 a AP, Hjort *et al.* 2003, Fig. 2). Asimismo, el período de ocupación informado en este trabajo es anterior al breve período de enfriamiento ocurrido en la región de la Península Antártica c. 5.000 a AP y coincide con la desglaciación de la mayoría de las zonas internas de plataforma, fiordos, bahías y muchas de las áreas costeras libres de hielo (Hjort *et al.* 2003). Los sedimentos que forman las facies 3, 4 y 5 (Fig. 2, Capa 3) pueden asignarse a un ambiente sedimentario de playa marina, lo cual está de acuerdo con la interpretación de John y Sugden (1973) de facies similares (Fig. 2) en otra sección de la secuencia (Fig. 1: localidad PC). Asimismo nuestra asignación ambiental está incluida dentro de las condiciones marinas estacionalmente abiertas propuestas por Ingólfsson *et al.* (1998) para la región de la Península Antártica entre 8.000 y 4.000 a AP. La ocupación de esta faja costera por pingüinos en el Holoceno temprano y medio indica condiciones de clima y hielo marino similares a las que ocurren con aguas marinas estacionalmente abiertas. Muchas de las áreas costeras actualmente libres de hielo se mantuvieron sin hielo y disponibles para el anidaje de pingüinos sobre la costa sur de la caleta Potter, y las aves tuvieron disponibilidad de alimento y fácil acceso a mar abierto durante la temporada de anidaje y cría.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la generosa contribución del Weizmann Institute of Science de Rehovot (Israel) que permitió efectuar las dataciones por radiocarbono. Asimismo

agradecen a Alfonsina Tripaldi y Roberto Kokot por sus valiosas observaciones que contribuyeron a mejorar el manuscrito.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Ahn, I.-Y. 1994. Ecology of the Antarctic bivalve *Laternula elliptica* (King and Broderip) in Collins Harbour, King George Island: benthic environment and an adaptive strategy. *Memoirs of the National Institute of Polar Research Special Issue 50*: 1-100.
- Baroni, C. y Orombelli, G. 1991. Holocene raised beaches at Terra Nova Bay, Victoria Land, Antarctica. *Quaternary Research 36*: 157-177.
- Baroni, C. y Orombelli, G. 1994. Abandoned penguin rookeries as Holocene paleoclimatic indicators in Antarctica. *Geology 22*: 23-26.
- Barsch, D. y Mäusbacher, R. 1986. New data on relief development of the South Shetland Islands, Antarctica. *Interdisciplinary Science Review 11*: 211-218.
- Berkman, P.A., Andrews, J.T., Björck, S., Collhoun, E.A., Emslie, S., Goodwin, I.D., Hall, B.L., Hart, C.P., Hirakawa, K., Igarashi, A., Ingólfsson, O., López-Martínez, J., Lyons, W.B., Marbin, M.C.G., Quilty, P.G., Taviani, M., y Yoshida, Y. 1998. Circum-Antarctic coastal environmental shifts during the Late Quaternary reflected by emerged marine deposits. *Antarctic Science 10*: 345-362.
- Birkenmajer, K. 1981. Raised marine features and glacial history in the vicinity of H. Arctowski Station, King George Island (South Shetland Islands, West Antarctica). *Bulletin de l'Academie Polonaise des Sciences, Série des Sciences de la Terre 29* : 109-117.
- Birkenmajer, K. 1998. Quaternary Geology at Potter Peninsula, King George Island (South Shetland Islands, West Antarctica). *Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Earth Sciences 46*: 9-20.
- Codignotto, J., Kokot, R. y Marcomini, S. 1992. Neotectonism and sea-level changes in the zone of Argentina. *Journal of Coastal Research 8* (1): 125-133.
- del Valle, R.A., Montalti, D. y Inbar, M. 2002. Mid-Holocene vertebrates-bearing raised marine beaches at the Potter Peninsula, King George Island (South Shetland Islands). *Antarctic Science 14*: 263-269.
- Emslie, S.D. 1995. Age and taphonomy of abandoned penguin rookeries in the Antarctic

- Península region. *Polar Record* 31: 409-418.
- Emslie, S.D. 2001. Radiocarbon dates from abandoned penguin colonies in the Antarctic Peninsula region. *Antarctic Science* 13: 289-295.
- Feduccia A. 1996. The origin and evolution of birds. Yale University Press 420 p., New York.
- Hjort, C., Ingólfsson, Ó., Bentley, M.J. y Björck, S. 2003. The late Pleistocene and Holocene glacial and climate history of the Antarctic Peninsula region as documented by the land and lake sediment records - a review. *Antarctic Research Series* 79: 95-102.
- Ingólfsson, Ó., Hjort, C., Berkman, P., Björck, S., Colhoun, E., Goodwin, I.D., Hall, B., Hirakawa, K., Melles, M., Möller, P. y Prentice, M. 1998. Antarctic glacial history since the Last Glacial Maximum: an overview of the record on land. *Antarctic Science* 10: 326-344.
- John, B.S. y Sugden, D.E. 1971. Raised marine features and phases of glaciation in the South Shetland Islands. *British Antarctic Survey Bulletin* 24: 45-111.
- Lambeck, K. y Chappel, J. 2001. Sea level change through the last glacial cycle. *Science* 292 : 679-686.
- Martínez Macchiavello, J.C., Tatur, A., Servant-Vildary, S. y del Valle, R.A. 1996. Holocene environmental change in a marine-estuarine-lacustrine sediment sequence, King George Island, South Shetland Islands. *Antarctic Science* 8: 313-322.
- Mäusbacher, R. 1991. Die Jungkvartäre Relief- und Klimageschichte im Bereich der Fildeshalbinsel, Süd-Shetland-Inseln, Antarktis. *Heidelberger Geographische Arbeiten* 89, 207 p.
- Pallàs, R., James, T.S., Säbat, F., Vilaplana, J.M. y Grant, D.R. 1997. Holocene uplift in the South Shetland Islands: evaluation of tectonics and glacio-isostasy. En Ricci, C. (ed.) *The Antarctic region: geological evolution and processes*. Museo Nazionale dell' Antartide, 861-868, Siena.
- Schöne, T., Pohl, M., Zakrajsek, A.F. y Schenke, H.W. 1998. Tide gauge measurements: a contribution for long term monitoring of the sea level. En Wiencke, C., Ferryera, G., Arntz, W. y Rinaldi, C. (eds.) *The Potter Cove coastal ecosystem, Antarctica*. Bremerhaven: Alfred-Wegener-Institut für Polar und Meeresforschung. *Berichte zur Polarforschung* 299: 12-14.
- Stuiver, M. y Reimer, P.J. 1993. Extended 14C data base and revised CALIB 3.0 14C age calibration program. *Radiocarbon* 35: 215-230.
- Sugden, D.E. y John, B.S. 1973. The ages of glacier fluctuations in the South Shetland Island, Antarctica. En Zinderen Bakker, E.M. (ed.) *Palaeoecology of Africa, the surrounding islands and Antarctica*, A.A. Balkema, 141-159, Cape Town.
- Tatur, A., Myrcha, A. y Niedodzisz, J. 1997. Formation of abandoned penguin rookery ecosystems in the maritime Antarctic. *Polar Biology* 17: 405-417.
- Zale, R. 1994a. Changes in size of the Hope Bay Adélie penguin rookery as inferred from Lake Boeckella sediment. *Ecography* 17: 297-304.
- Zale, R. 1994b. 14C age correction in Antarctic lake sediments inferred from geochemistry. *Radiocarbon* 36: 173-185.

Recibido: 23 de marzo, 2006

Aceptado: 7 de julio, 2006