

MORFOMETRÍA Y GÉNESIS DE LOS FIORDOS DE ISLA DE LOS ESTADOS, TIERRA DEL FUEGO

Juan Federico PONCE¹, Jorge RABASSA^{1,2} y Oscar A. MARTÍNEZ³

¹ Centro Austral de Investigaciones Científicas (CADIC, CONICET), Bernardo Houssay 200, 9410, Ushuaia, Tierra del Fuego.

² Universidad Nacional de la Patagonia-San Juan Bosco, Sede Ushuaia. Darwin y Cagna, 9410, Ushuaia. Email: jfponce@cadic.gov.ar

³ Universidad Nacional de la Patagonia-San Juan Bosco, Esquel.

RESUMEN

La isla de los Estados se encuentra ubicada en el extremo sur de Argentina, formando parte de la provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur. Se sitúa entre los paralelos 54°38'S y 54°55'S y los meridianos 63°48'O y 64°46'O. Isla de los Estados presenta la particularidad de ser el único lugar de Argentina cuyas costas están en su mayoría ocupadas por fiordos, es decir, geofor- mas compuestas por artesas glacia- rias inundadas por el mar en ascenso luego de la glaciación. En el presente trabajo se procedió a la confección de un detallado inventario de dichos fiordos, incluyendo su posición geográfica, dimensiones, superficie, orientación, pro- fundidad máxima, sustrato litológico y estructuras geológicas asociadas. El número total de fiordos relevados es de 18.

Palabras clave: *Geomorfología, Fiordos, Isla de los Estados, Tierra del Fuego, Patagonia.*

ABSTRACT: *Fjords in Staaten Island: morphometric description and genesis of the only fjords found in Argentine Patagonia.* Staaten Island (Isla de los Estados) is located at the southernmost end of Argentina, forming part of the province of Tierra del Fuego, Antarctica and South Atlantic Islands. It is found between latitude 54°38' and 54°55' S and longitude 63°48' and 64°46' W. Staaten Island is the only place of Argentina whose coastal areas are mostly occupied by fjords, i.e., landforms composed of glacial valleys flooded by the ascending sea after the glaciación. In this work, a detailed inventory of the fjords has been prepared, including their geographical location, morphometric parameters, areal surface, orientation, maximum depth, bedrock lithology and as- sociated geological structures. The total number of surveyed fjords is 18.

Keywords: *Geomorphology, Fjords, Staaten Island, Tierra del Fuego, Patagonia.*

INTRODUCCIÓN

La isla de los Estados se encuentra ubica- da en el extremo sur de Argentina, for- mando parte de la provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur. Esta isla debe su nombre a Wilhelm Schouten y Jakob Le Maire, exploradores holandeses quienes la descubrieron en 1616 y la denominaron en honor de los "Estados Holandeses", es decir, los secto- res de la sociedad que estaban representa- dos en esa época en el Parlamento de los Países Bajos (Canclini 1980). Se sitúa entre los paralelos 54°38'S y 54°55'S y los meri- dianos 63°48'O y 64°46'O. Esta isla forma parte del archipiélago fueguino, ubicán- dose inmediatamente al este de la isla Gran- de de Tierra del Fuego, de la cual se en- cuentra separada por el estrecho de Le Maire, de unos 30 km de anchura prome- dio (Fig. 1). La isla de los Estados tiene una superficie de 520 km², una longitud máxi- ma de 75 km en el sentido E-O, y una an-

chura promedio de 6 km en sentido N-S, con un mínimo de solamente 550 m, entre los puertos Cook y Vancouver, y un máxi- mo de 17 km, entre los cabos San Antonio y Kempes (Fig. 2). Constituye el extremo SE emergido de la Cordillera Andina.

La isla de los Estados presenta la particu- laridad de ser el único lugar de Argentina cuyas costas están en su mayoría ocupadas por fiordos. Fiordo es un término norue- go (*fjord*) universalmente adoptado para un brazo de mar de cierta extensión, ca- racterizado por una disposición más o menos rectilínea, laderas rocosas empina- das y grandes profundidades (Fairbridge 1968, Evans 2004). Se trata en todos los casos de artesas glaciales fuertemente so- breexcavadas, inundadas por el mar luego del ascenso glacioeustático postglacial, abiertas al mar solamente por su extremo topográficamente menos elevado, donde se encuentra habitualmente un umbral ro- coso sumergido, mientras que hacia su ex- tremo interior se desarrolla frecuentemen-

te una pared rocosa muy abrupta. Los fiordos se encuentran exclusivamente a lo largo de costas marinas de relieve elevado moldeadas por glaciaciones pleistocenas. La relación de los fiordos con antiguas áreas englazadas condicionan que su ubi- cación en la actualidad esté vinculada sola- mente a altas latitudes: Noruega, Escocia, Groenlandia, Islandia, Canadá, Alaska, Ka- mchatka, Patagonia Chilena, isla Sur de Nueva Zelanda, Tasmania, Antártida y ar- chipiélagos como las islas Kerguelen, Georgias del Sur, Shetland del Sur, y otros grupos menores (Syvitski y Shaw 1995). El término sueco *fjärd* hace referencia a entradas costeras asociadas con glaciacio- nes en tierras bajas (Ahlmann 1919, Em- bleton y King 1975, Klemsdal 1982, Sy- vitski *et al.* 1987). Los *fjårds* se distinguen de los fiordos por presentar formas irre- gulares y carecen de relieve elevado y per- files transversales en forma de U, caracterís- ticos de los fiordos (Fairbridge 1968). En el presente trabajo se procedió a la



Figura 1: Mapa de ubicación de isla de los Estados en el Archipiélago Fueguino.

confección de un detallado inventario de los fiordos presentes en isla de los Estados, cuyos datos se presentan en el Cuadro 1. De cada uno de ellos se determinó su posición geográfica, dimensiones, superficie, profundidad máxima, orientación, sustrato litológico y estructuras geológicas asociadas. El presente inventario constituye parte de la tesis doctoral del primer autor (Ponce 2008).

Antecedentes

No existen fiordos en las costas patagónicas argentinas debido a que los hielos pleistocenos alcanzaron la posición de la línea de costa actual y avanzaron sobre la actual plataforma submarina solamente al sur del valle del río Gallegos, en la provincia de Santa Cruz, y en la isla Grande de Tierra del Fuego (Caldenius 1932, Rabassa 2008). En cuanto al estrecho de Magallanes, cuyo origen glaciogénico fue claramente demostrado por Caldenius (1932), se trata de un sistema de arquetas glaciales interconectadas inundadas por el mar du-

rante la transgresión postglacial, abierto en diferentes direcciones, que vincula los océanos Atlántico y Pacífico, careciendo de las características morfológicas propias de los fiordos. El canal Beagle, de indudable origen glacial (Caldenius 1932), tiene también apertura al mar en sus dos extremos por lo que no se ajusta a la definición de fiordo. De todas maneras, Isla *et al.* (1999) describieron un comportamiento estuarino de las aguas del canal Beagle, con procesos físico-químicos similares a los que se producen en los fiordos. En algunas oportunidades se ha hecho referencia a las costas de las islas Malvinas como ocupadas por fiordos. Sin embargo, este concepto es erróneo ya que el origen de la configuración actual de estas costas ha sido explicado por Clapperton (1993), quien reconoció que la glaciación pleistocena en este archipiélago estuvo restringida exclusivamente a los circos de las cumbres e identificó la presencia de un sistema de drenaje con un nivel de base muy por debajo del nivel del mar actual. Se descar-

ta así un origen glacial para las geoformas presentes en ella, tratándose en cambio de rías y estuarios.

Gordillo *et al.* (1993) propusieron la existencia de un paleofiordo a lo largo del valle del Lago Roca-Bahía Lapataia ($54^{\circ}50'S$; $68^{\circ}34'O$), ubicado en la costa norte del canal Beagle, isla Grande de Tierra del Fuego. Este valle habría adquirido la configuración de fiordo por última vez hacia los *ca.* 7.500-8.000 años ^{14}C A.P., manteniendo estas características por alrededor de 3.500-4.000 años, durante el máximo de la trasgresión holocena y hasta que la elevación sismo-tectónica de la costa fueguina separó el paleofiordo de las aguas del canal Beagle, reemplazando gradualmente las aguas marinas por aguas de fusión nivoglacial y de precipitación atmosférica. Las únicas referencias geomorfológicas acerca de isla de los Estados son los trabajos realizados por Caminos y Nullo (1979), García (1986) y más recientemente, Ljung y Ponce (2006) y Ponce (2008). En los dos primeros trabajos se descri-

ben los principales rasgos geomorfológicos de la isla, dividiéndola en dos regiones principales: una montañosa, centro oriental, y otra occidental, de morfología más plana.

Ljung y Ponce (2006) analizaron rasgos periglaciales en San Juan del Salvamento, en el extremo este de la isla. Estos rasgos fueron observados por encima de la actual línea de bosque (400 m s.n.m), a aproximadamente 500 m s.n.m. Por último, Ponce (2008) realizó una caracterización de las principales geoformas erosivas glaciales presentes en isla de los Estados mediante un análisis morfométrico de las mismas, con la elaboración de un modelo atemporal de englazamiento.

Son escasos los trabajos geológicos realizados hasta el momento en isla de los Estados. El primero de ellos fue realizado por Harrington (1943), quien distinguió las dos unidades litoestratigráficas principales que afloran en la isla. De ellas, a la más antigua la llamó "Serie Porfírica" y a la más moderna la denominó "Serie Pizarreña", asignadas ambas al Jurásico superior. Dalziel *et al.* (1974a) modificaron algunos de los conceptos estratigráficos de Harrington y dieron una distinta interpretación de las estructuras. Años más tarde, Caminos y Nullo (1979) presentaron una estratigrafía completa del lugar.

Recientemente, Ponce y Martínez (2007) dieron a conocer el hallazgo de depósitos sedimentarios de posible edad paleógena sobre la costa de bahía Crossley (NO de isla de los Estados).

Otros trabajos disponibles (Dalziel y Elliot 1973, Dalziel *et al.* 1974 b, 1975) se relacionan con la isla de los Estados en lo que respecta a su posición geotectónica dentro del arco de Scotia.

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

La unidad geológica más antigua aflorante en isla de los Estados es la Formación Lemaire, un complejo estratificado volcánico-sedimentario formado por tobas y lavas ácidas intercaladas con tufitas, areniscas tobáceas, limo-arcilitas, lutitas ne-

CUADRO 1: Inventario de los fiordos mapeados en isla de los Estados

Fiordo	Nombre	Área (km ²)	Largo (km)	Ancho mín-máx (km)	Latitud	Longitud	Profundidad máx (m)	Orientación	Litología	Estruc-geológica asociada
F1	Pto Parry	5,1	7,1	0,2-1,3	54°46'26"	64°22'33"	188	N 350°	Tobas y lavas, Fm. Lemaire,	No se observa
F2	Pto Basil Hall	8,4	5,2	1-1,7	54°45'30"	64°09'12"	126	N 324°	idem	idem
F3	Pto Año Nuevo	6,5	4	0,5-1,8	54°44'37"	64°05'16"	89	N 70°	Lavas, tobas, areniscas y lutitas	Falla y cuña sedimentaria
F4	Pto Cook	6	5,3	0,15-1,2	54°45'52"	64°02'02"	42	N 25°	Tobas y lavas, Fm. Lemaire,	Falla supuesta
F5	Pto S.J.S	5,3	5	0,35-0,8	54°44'48"	63°51'51"	44	N 38°	Tobas, lavas y sedimentitas Fm. Lemaire	Falla y cuña sedimentaria
F6	Pto Back	1	1,7	0,18-1,05	54°47'12"	63°52'59"	55	N 218°	idem	idem
F7	Bahía Blossom	3,7	3,3	0,4-1,6	54°46'54"	63°58'37"	80	N 212°	Tobas y lavas, Fm. Lemaire	Plegamiento
F8	Pto Vancouver	2,2	2,9	0,1-1,5	54°47'31"	64°03'53"	53	N 193°	idem	Falla supuesta
F9	Pto Lobo	3,1	3	0,26-1,8	54°47'38"	64°14'31"	46	N 193°	idem	Fallamiento
F10	Pto Celular	1,8	1,8	0,35-1,5	54°47'37"	64°17'39"	44	N 144°	idem	Plegamiento
F11	Ba. C. Cánepa	8,2	6,3	0,5-2,2	54°50'51"	64°29'46"	153	N 222°	idem	No se observa
F12	Caleta Paso	0,55	1	0,32-0,65	54°47'48"	63°57'18"	64	N 250°	Tobas, lavas y sedimentitas Fm. Lemaire	Cuña sedimentaria, plegamiento
F13	Primera Bahía	2,4	2,15	0,27-2,25	54°49'27"	64°07'30"	44	N 200°	Tobas y lavas, Fm. Lemaire	No se observa
F14	Bahía Grant	1	0,9	0,5-0,95	54°50'05"	64°12'02"	38	N 180°	idem	idem
F15	Pto Heredia	0,5	0,75	0,44-0,97	54°47'45"	64°16'16"	27	N 186°	idem	idem
F16	Ba. Toriaschi	1,5	1,4	0,4-1,6	54°49'53"	64°23'23"	49	N 145°	idem	idem
F17	Cal. Llanos	0,4	1,1	0,2-0,7	54°50'37"	64°24'10"	11	N 88°	Sedimentitas, Fm. Lemaire	Cuña sedimentaria, plegamiento
F18	Pto Hoppner	2,1	1,9	0,55-1,5	54°45'52"	64°25'02"	100	N 322°	Tobas y lavas, Fm. Lemaire	No se observa

gras y conglomerados finos. El conjunto alcanza un espesor de 10.000 m, se encuentra plegado y presenta metamorfismo regional (Caminos y Nullo 1979). Los afloramientos de esta formación componen el cordón montañoso de la isla y las costas del flanco sur (Caminos y Nullo 1979).

El contacto superior con la Formación Beauvoir es transicional y aflora únicamente en el sector sudoeste de bahía Flinders (Dalziel *et al.* 1974a). Caminos y Nullo (1979) asignaron una edad jurásica media a superior para esta formación.

Las rocas de la Formación Beauvoir afloran en el sector noroeste de la isla de los Estados (Fig. 2), en las islas Año Nuevo

y en la costa este de la isla Grande de Tierra del Fuego (Dalziel *et al.* 1974a). Esta unidad está constituida por lutitas y limolitas pizarrosas de color negro grisáceo, grauvacas finas de igual color, areniscas cuarzosas macizas, limonitas calcáreas, calizas micríticas de color gris oscuro y lutitas negro-azuladas, carbonosas y piritíferas. Dalziel *et al.* (1974a) asignaron a esta formación una edad jurásica tardía-cretácica temprana.

Sobre la costa de bahía Crossley (54°48'16"S y 64°41'03,8"O), en la porción noroeste de la isla de los Estados, afloran rocas sedimentarias tentativamente asignadas por Ponce y Martínez (2007) al Paleógeno. Los depósitos están constituidos por



REFERENCIAS

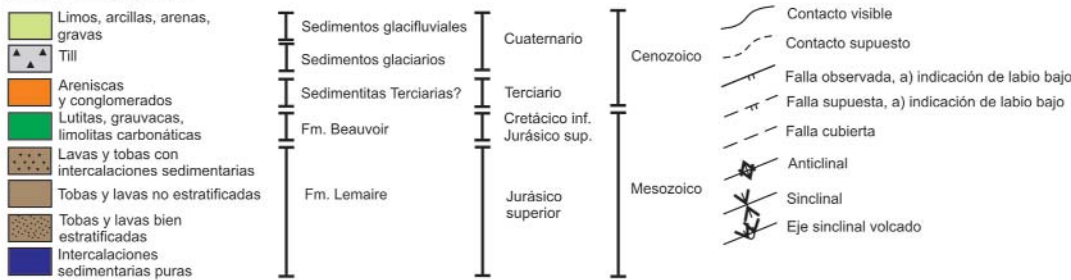


Figura 2: Mapa geológico y unidades litoestratigráficas de isla de los Estados.

conglomerados y areniscas que se disponen en forma horizontal a subhorizontal sobre los estratos plegados de la Formación Beauvoir (Jurásico Superior-Cretácico Inferior) por medio de una discordancia angular (Ponce y Martínez 2007).

Los depósitos del Cenozoico tardío están constituidos por acumulaciones de till de edad pleistocena y por limos, arcillas, arenas y gravas holocenas (Caminos y Nullo 1979).

ESTRUCTURA

La estructura principal de la isla es el plegamiento conjunto de las formaciones Lemaire y Beauvoir en un gran sinclinal (Fig. 2), cuyo eje describe una gran S de rumbo general este-oeste (Caminos y Nullo 1979). La intensidad del plegamiento aumenta de este a oeste. En el sector este de la isla el pliegue es asimétrico y apretado,

el cual se encuentra volcado hacia el sur, de tal manera que las capas del flanco suroriorienta aparecen en posición invertida. En la porción central el pliegue es más suave y abierto, algo asimétrico, disminuyendo su intensidad hacia el oeste. En este sector el pliegue también se presenta volcado hacia el sur con alto ángulo. En el extremo oeste el plegamiento desaparece y las capas se presentan en posición subhorizontal (Dalziel *et al.* 1974a).

Numerosos pliegues menores, secundarios, están contenidos dentro de la estructura mayor. El rumbo de la cadena montañosa central y el alargamiento mismo de la isla son paralelos al rumbo de la estructura plegada (Caminos y Nullo 1979). La edad del plegamiento es asignada por estos autores a la parte media del Cretácico, entre el Albiano superior y Coniaciano.

Las fallas encontradas por los distintos au-

tores no están relacionadas con la estructura de plegamiento. Estas fracturas son directas e inversas, de alto ángulo, probablemente más jóvenes que el plegamiento (Caminos y Nullo 1979).

Existen dos juegos de fallas transversales de rumbo noreste-suroeste y noroeste-sureste respectivamente, oblicuos a los ejes de plegamiento. Varias fallas longitudinales corren a lo largo del flanco septentrional del plegamiento. Asimismo, Caminos y Nullo (1979) interpretaron la Bahía Franklin como una depresión tectónica limitada al norte y al sur por fallas longitudinales.

EL CANAL BEAGLE E ISLA DE LOS ESTADOS DURANTE EL ÚLTIMO MÁXIMO GLACIAL

Durante el Último Máximo Glacial (UMG,

24 ka cal. A.P.; Rabassa 2008), el glaciar del Canal Beagle alcanzó su máximo espesor en tiempos recientes, cubriendo la totalidad del paisaje desde las cumbres en las sierras de Carbajal, de Martial y de Sorondo (Argentina), por el norte, y las islas Navarino (Chile) por el sur (Rabassa y Clapperton 1990). El glaciar del Beagle provenía del oeste, del campo de hielo de montaña de la Cordillera Darwin (Chile), como glaciar de montaña encajonado en un profundo valle, excavado durante las glaciaciones anteriores y recibiendo aporte de un gran número de glaciares tributarios a lo largo de gran parte de su trayectoria. En isla de los Estados, muchas de las geoformas glaciares erosivas presentes parecen estar relacionadas a glaciaciones más antiguas (Gran Glaciación Patagónica, GGP, u otras anteriores al Último Máximo Glacial), aunque un gran número de ellas parecen haber sido reocupadas durante este estadio (Ponce 2008). En todos los casos, los glaciares que la moldearon habrían tenido un origen local, alimentados por circos y mantos de hielo locales. Varios de estos glaciares de valle excavaron sus artesas siguiendo la posición de lineamientos tectónicos, como fallas, pliegues y contactos intraformacionales. Desde las zonas de alimentación los lóbulos que cubrían gran parte de la isla se encauzaban siguiendo varios ejes principales, tales como San Juan del Salvamento, Bahía Blossom, Puerto Cook-Puerto Vancouver, Puerto Basil Hall, Puerto Roca, Bahía Colnett, Puerto Parry, Bahía Capitán Cánepa y Bahía Crossley (Ponce 2008). Durante el Último Máximo Glacial el nivel del mar se posicionó entre 120 y 140 m por debajo de su nivel actual (Uriarte Cantolla 2003).

Ponce (2008) propuso diferencias en el tipo de englazamiento de las costas norte y sur de isla de los Estados durante los distintos eventos glaciares. En el sector sur de la isla, los glaciares habrían entrado rápidamente en contacto con el mar, terminando en un proceso de ablación de tipo *calving*. Los glaciares de la costa norte habrían fluido encajonados en profundos valles hasta alcanzar una extensa planicie ubicada al norte de las nacientes.

Allí habrían terminado en forma de glaciares de piedemonte, en un proceso de ablación por simple derretimiento de sus porciones terminales.

METODOLOGÍA

La confección del inventario de los fiordos presentes en isla de los Estados se basó fundamentalmente en la fotointerpretación de pares estereoscópicos a escala 1:40.000 tomados por el Servicio de Hidrografía Naval en el año 1971; en el análisis de imágenes satelitales Spot referenciadas Isla de los Estados 5563-13, 14, 7 y 5566-18, tomadas el 23 de marzo de 1995, con una resolución espacial de 20 x 20 m y modelos de elevación digital del terreno del sensor *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*, S55W065 y S55W064 con un pixel de 90 x 90 m de resolución y *W100S10.BATHYMETRY.SRTM* y *W060S10.BATHYMETRY.SRTM*, con un pixel de 1 x 1 km de resolución.

Las mediciones altimétricas y planimétricas de los fiordos relevados, tales como longitud, desnivel relativo, orientación, pendientes, alturas absolutas y relativas, profundidades, etc., entre otras, así como mapas batimétricos, topográficos y perfiles transversales fueron realizados a través del programa *Global Mapper 7* y controlados con las cartas topográficas y batimétricas de isla de los Estados.

DESCRIPCIÓN MORFOMÉTRICA DE LOS FIORDOS

Se procedió a la confección de un detallado inventario de dichos fiordos, cuyos datos se presentan en el cuadro 1 y su ubicación en la figura 2. El número total de fiordos relevados es de 18. Las dimensiones son variadas, presentando una longitud promedio de 3,1 km, con un máximo de 7,1 km (Puerto Parry) y un mínimo de 0,75 km (Puerto Heredia). La superficie promedio que presentan es de 3,32 km². Puerto Basil Hall es el fiordo de mayor extensión areal con 8,4 km² de superficie. Los fiordos más extensos se desarrollan

en la costa norte de la isla, posiblemente relacionado con la existencia de una amplia plataforma submarina actual, que durante la última glaciación constituía un relieve emergido más plano y extenso en este sector, favoreciendo el desarrollo longitudinal de los valles glaciares. Los perfiles transversales de estos fiordos muestran formas de amplias artesas con paredes laterales muy abruptas, cuyas alturas varían entre 150-400 m s.n.m (Fig. 3).

Bahía Crossley y Caleta Lacroix (extremo O de la isla, Fig. 2) presentan características geomorfológicas propias de *fjård*. Ambas entradas marinas son someras, presentando bahía Crossley una profundidad máxima de 20 m y caleta Lacroix de 50 m. Estas geoformas se desarrollan en un área de relieve relativamente bajo. La altura de las laderas en ambos casos varían entre 50 y 100 m s.n.m.; bahía Crossley presenta una superficie de 2,8 km², con 2 km de largo y 1,8 km de anchura máxima y caleta Lacroix presenta una superficie de 2,5 km², con 2,1 km de longitud y 1,6 km de anchura. Estas dimensiones son menores comparadas con las presentadas por los fiordos descritos en este trabajo. La orientación de los fiordos a lo largo de isla de los Estados muestra en general un marcado control estructural (Fig. 2). En la porción oeste de la isla el rumbo es claramente NE, en la zona central la dirección se torna N y hacia el este los fiordos adquieren nuevamente una orientación NE, la cual es coincidente con el rumbo del eje del pliegue principal que cruza la isla y del sistema de fallas (Caminos y Nullo 1979). Puerto Cook (Fig. 4b), Puerto Vancouver (Fig. 4a) y Puerto Año Nuevo están claramente asociados a fallas de rumbo NE y N. Puerto Lobo se desarrolla a lo largo de una falla inversa normal de rumbo N. El desarrollo de la artesa de Puerto San Juan del Salvamento (Fig. 4c) está relacionado a la presencia de una cuña sedimentaria delimitada por fallas de rumbo NE. Su orientación también coincide con el eje del anticlinal volcado principal en el extremo este de la isla. A pesar de no haber fallas descritas en Puerto Parry y Puerto Hoppner, el rum-

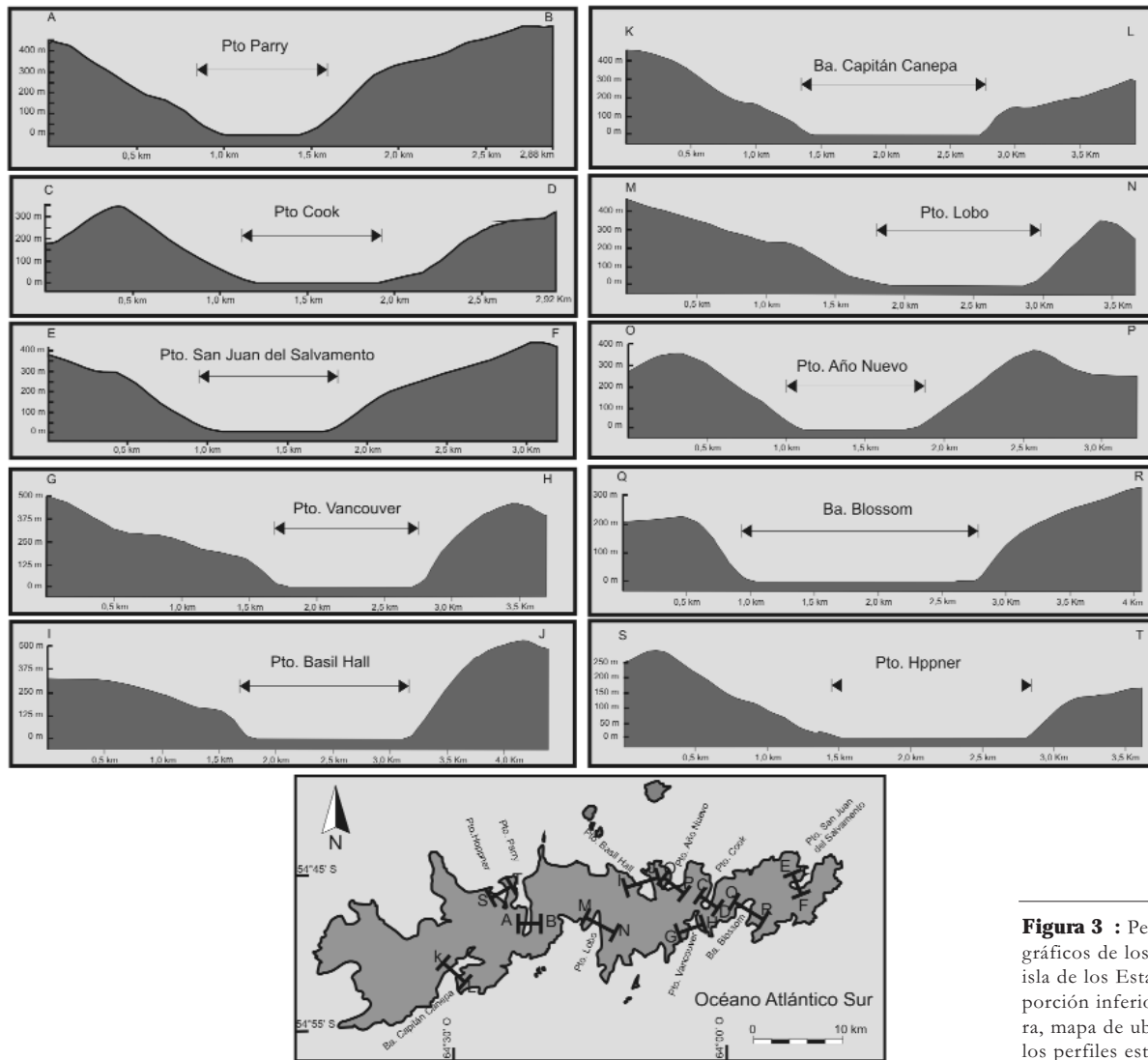


Figura 3 : Perfiles topográficos de los fiordos de isla de los Estados. En la porción inferior de la figura, mapa de ubicación de los perfiles estudiados.

bo N de estos fiordos y su extensión hacen pensar en la existencia de algún tipo de fractura, similar a la presente en Puerto Lobo, en el centro de la isla. Bahía Capitán Cánepa al oeste, al igual que bahía Blossom (Fig. 4d) en el sector este, parecen estar relacionadas al rumbo del plegamiento principal. En general, la relación entre fiordos y estructura geológica en el sector oeste no es tan clara como en el resto de la isla.

La extensión longitudinal de los fiordos por debajo del nivel marino actual, según el análisis de las cartas batimétricas disponibles y modelos digitales de elevación del terreno (Figs. 5, 6 y 7), llega a un máximo de 6,2 km y a una profundidad de 180 m, como se observa en bahía Blossom, ubi-

cada en la costa S de la isla (Fig. 2). Las profundidades máximas de los pisos de los fiordos varían entre 188 m (Puerto Parry) y 11 m (Caleta Llanos) (Cuadro 1).

No se observan importantes variaciones en cuanto a los tipos litológicos sobre los cuales se han desarrollado los fiordos. Se trata principalmente de tobas y lavas macizas no estratificadas de la Formación Lemaire. Únicamente Puerto Año Nuevo, puerto San Juan del Salvamento y caleta Llanos presentan litologías diferentes. Estos tres fiordos siguen el desarrollo de cuñas formadas por intercalaciones puramente sedimentarias también correspondientes a la Formación Lemaire. Los *fjårds* Bahía Crossley y Caleta Lacroix se desarrollan casi exclusivamente sobre lutitas

de la Formación Beauvoit.

DISCUSIÓN

En la costa sur de la isla Grande de Tierra del Fuego, el canal Beagle presenta similares características geomorfológicas a las observadas en isla de los Estados. Luego del Último Máximo Glacial (*ca.* 24 ka cal. A.P.; Rabassa 2008), el ascenso glacioeustático permitió alcanzar condiciones netamente marinas en el Canal Beagle hacia 8,0 ¹⁴C ka AP. (Rabassa *et al.* 1986). Si bien aún no se han hallado depósitos marinos de esta edad en la isla de los Estados, es altamente probable que la formación de los fiordos por ascenso glacioeustático tuviera lugar aproximada-

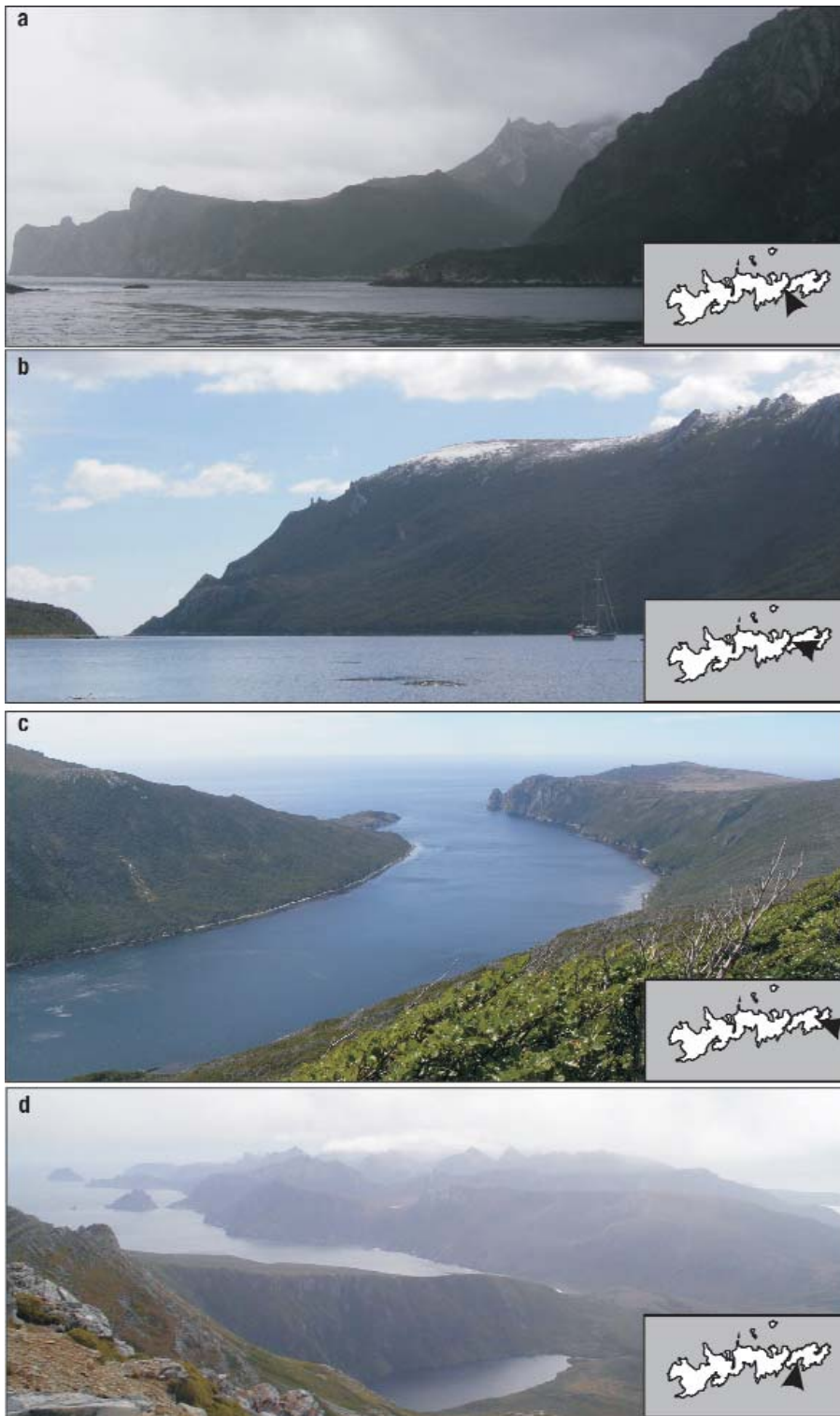


Figura 4: Fiordos típicos de isla de los Estados: a) Pto. Vancouver; b) Pto. Cook; c) Pto. San Juan del Salvamento; d) Ba. Blossom

mente en este mismo momento o poco antes. Es posible que el intenso desarrollo de los fiordos se haya visto favorecido además por un descenso tectónico regio-

nal. Estas condiciones tectónicas podrían estar sugeridas porque no se han hallado hasta el momento terrazas marinas holocenas elevadas en la isla de los Estados,

como las que existen en la isla Grande de Tierra del Fuego u otros ámbitos de Patagonia. Por otra parte, el análisis de la altura de los pisos de los circos (Ponce 2008) muestra que el 26% de éstos presentan una cota igual o menor a 200 m s.n.m. Rabassa *et al.* (2003) discutieron la existencia de un comportamiento tectónico diferencial para la costa sur de la isla Grande de Tierra del Fuego. Estos autores propusieron la presencia de bloques tectónicos con movimientos relativos ascendentes y descendentes que habrían tenido lugar a lo largo de fracturas regionales. Estas fracturas habrían estado activas especialmente en el Holoceno tardío, con la génesis de niveles de playas marinas elevadas hacia el sector occidental (al O de estancia Harberton y hasta el límite con Chile) y por el contrario, hacia el E, niveles marinos holocenos y restos de un bosque sumergido en bahía Sloggett que se ubican por debajo del nivel del mar actual (Rabassa *et al.* 2003). Esta situación podría repetirse en isla de los Estados, quizás con una magnitud aún mayor, lo que habría provocado la inundación de gran parte de las artesas con el consecuente desarrollo y aumento de la profundidad de los fiordos aquí descriptos.

La costa sur de isla de los Estados se encuentra a una distancia máxima de 4 km de la isobata de 140 m, correspondiente a la cota máxima del nivel del mar estimada para el Último Máximo Glacial (Uriarte Cantolla 2003) y muy cercana al talud continental (Fig. 8). El perfil topográfico desde la costa hacia el sur, pasando por el talud, muestra un desnivel de 1.500 m en tan sólo 13 km de longitud. La situación geológica de la porción S de isla de los Estados implica que, durante los eventos glaciales conocidos para el sur de Patagonia, la línea de costa no se habría alejado demasiado de su posición actual y no se habría extendido más allá del comienzo del talud continental. De esta manera, los glaciares desarrollados en este sector habrían tenido una alta influencia marina, y posiblemente de la corriente circumpolar antártica, aportando un elevado contenido de humedad, mayor frecuencia de pre-

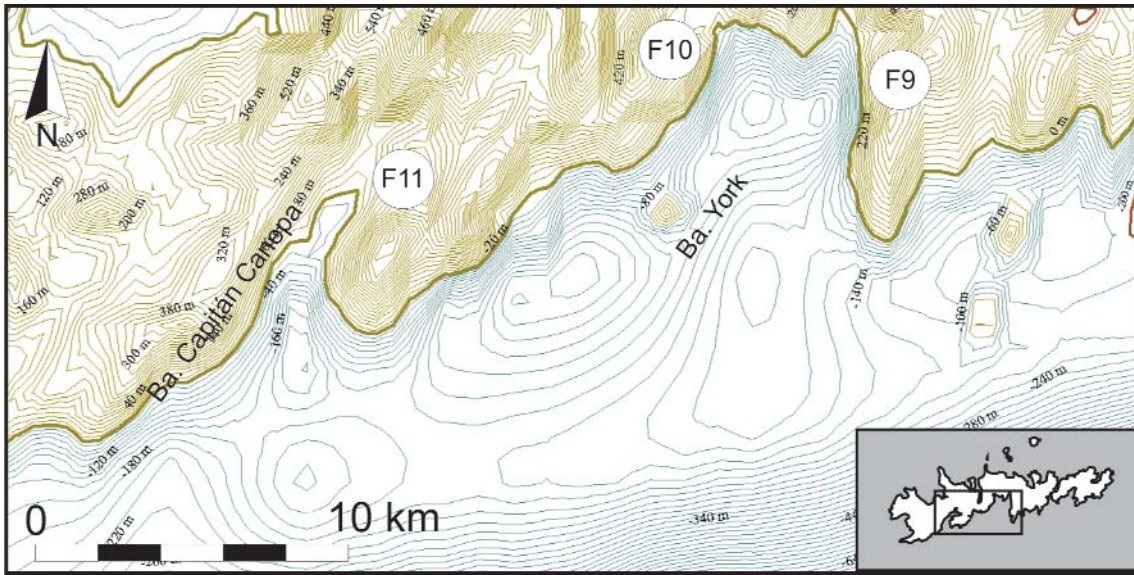


Figura 5: Mapa batimétrico Fiordo Bahía Capitan Canepa y Bahía York.

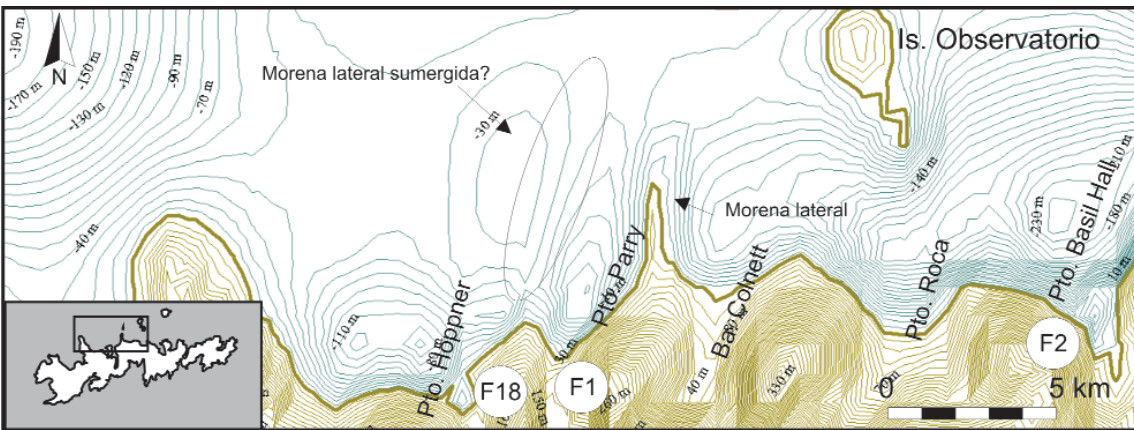


Figura 6: Mapa batimétrico Fiordos Pto. Hoppner, Pto. Parry, Pto. Roca y Pto. Basil Hall

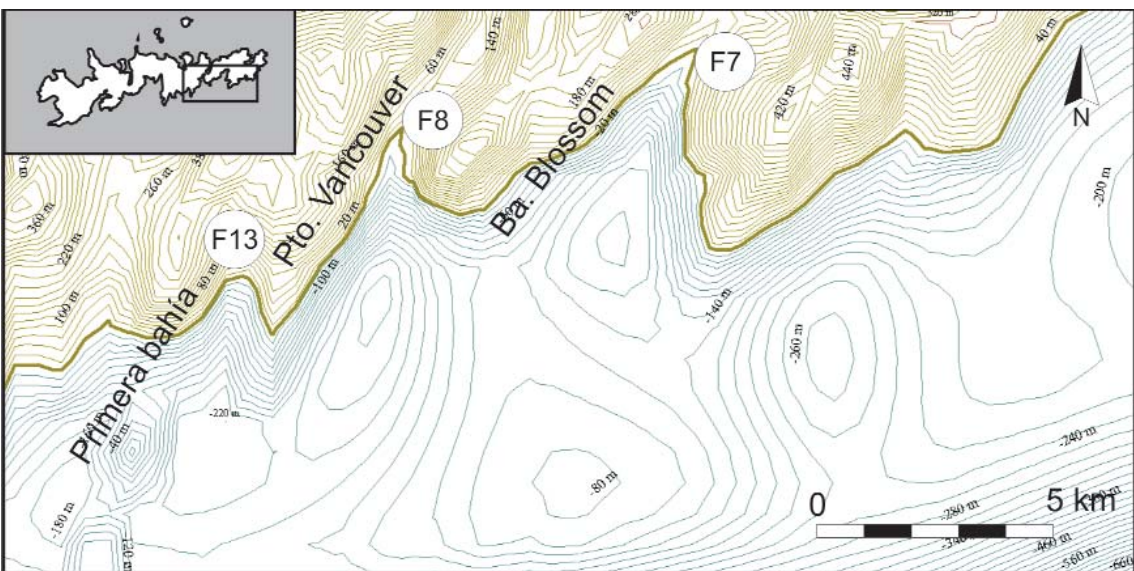


Figura 7: Mapa batimétrico Fiordos Primera Bahía, Bahía Blossom y Vancouver

cipitaciones y vientos muy fríos y constantes desde el sector antártico. Como consecuencia de esta situación climática, los

glaciares presentes en este sector habrían tenido un mayor desarrollo que en la porción norte de la isla, presentando mayor

espesor, una línea de nieves permanentes más baja, con una mayor acumulación de nieve en los circos y un mínimo derreti-

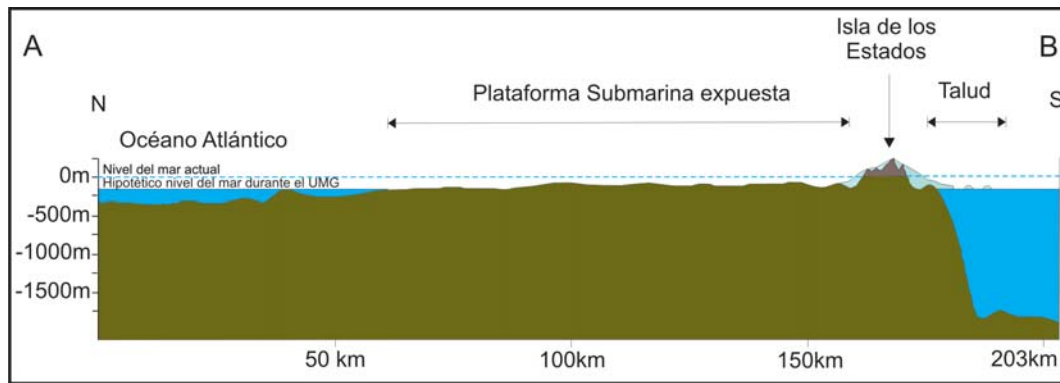


Figura 8: Perfil transversal de isla de los Estados de N a S mostrando la situación paleogeográfica de las costas N y S, con reconstrucción de las características de la glaciación pleistocénica.

miento en verano, ya que la influencia del mar como moderador climático no permitiría una variación térmica importante durante todo el año. Sin embargo, salvo algunas excepciones (como bahía Capitán Canepa), los fiordos desarrollados a lo largo de esta costa no habrían alcanzado un desarrollo longitudinal tan importante como los presentes en la costa norte de la isla. Esto respondería a la existencia de un proceso de ablación de tipo *calving*, en los glaciares ubicados en este sector de la isla, es decir, por medio de la remoción física de bloques de hielo desde un frente glacial ubicado dentro de un cuerpo de agua profundo (Martini *et al.* 2001), en este caso, en el mar. De esta manera el poder erosivo del hielo hacia el sur estuvo limitado por la presencia del mar y el inicio del talud continental (Fig. 8).

La situación geológica de la costa norte es totalmente diferente, por limitar directamente con la extensa Plataforma Continental Argentina (Fig. 8). La línea de costa norte, de acuerdo con el modelo digital de elevación del terreno, se encontraba durante el Último Máximo Glacial a unos 100 km en línea recta, al norte de su posición actual. Durante los diferentes eventos glaciales ocurridos, gran parte de la plataforma submarina habría estado expuesta en reiteradas ocasiones, como consecuencia del descenso relativo del nivel del mar, desarrollándose una enorme planicie a lo largo de la costa este de la Pampa y Patagonia (Codignotto 1990, Rabassa *et al.* 2005). En consecuencia, estos glaciares habrían tenido un mayor desarrollo longitudinal, terminando sobre la porción proximal de una extensa planicie,

en un proceso de ablación por simple derretimiento de su sección terminal. Como resultado de esta situación paleogeográfica, los fiordos aquí desarrollados, alcanzaron una gran extensión longitudinal.

Los glaciares de isla de los Estados habrían presentado un espesor medio aproximado de 300 m en el eje central de flujo. Este cálculo se realizó promediando la altura en la cual se produce un cambio de pendiente en las laderas de fiordos y artesas. Hacia el norte, posiblemente la mayoría de los glaciares nunca se hayan extendido más allá de 7-8 km al norte de la línea de costa actual, debido a la presencia de una depresión submarina que se extiende longitudinalmente frente a la costa N, hasta la isla Observatorio. Esta depresión podría estar asociada al hundimiento tectónico relacionado a una zona de fallamiento paralela al eje del plegamiento principal de la isla (Caminos y Nullo 1979). Esta franja debió haber sido profundizada por exaración producida por los cuerpos de hielo emergentes desde el frente montañoso, al producirse un importante cambio de pendiente en sus cauces.

CONCLUSIONES

Del análisis morfométrico de los fiordos presentes en isla de los Estados surgen las siguientes conclusiones:

- Es altamente probable que la configuración actual de los fiordos por ascenso glacioeustático se haya alcanzado aproximadamente hacia 8,0 ^{14}C ka A.P., o poco antes, durante el milenio precedente.

- La orientación de los fiordos a lo largo de isla de los Estados muestra en general un marcado control estructural. En la porción oeste de la isla el rumbo es claramente NE, en la zona central la dirección se torna N y hacia el E los fiordos adquieren nuevamente una orientación NE, la cual es coincidente con el rumbo del eje del pliegue principal que cruza la isla y del sistema de fallas.

- Diferencias entre la situación geológica de las costas N y S de isla de los Estados habrían influido en las características de los fiordos desarrollados en ambas costas.
- Los glaciares ubicados en el sector sur de la isla habrían estado sometidos a un proceso de ablación de tipo *calving*. De esta manera el poder erosivo del hielo hacia el sur estuvo limitado por la presencia del mar y del inicio del talud continental.
- Los glaciares desarrollados sobre la costa norte habrían tenido un mayor desarrollo longitudinal, terminando sobre la porción proximal de una extensa planicie, en un proceso de ablación por simple derretimiento de su sección terminal. Como resultado de esta situación paleogeográfica, los fiordos aquí desarrollados alcanzaron una mayor extensión longitudinal.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por una beca doctoral de CONICET a J.F.P. y por la Agencia Nacional para la Promoción de la Ciencia y Tecnología (ANPCYT), subsidio PICTR 67/02 a J.R. El mismo fue realizado en el contexto de la Expedición Sueco/Argentina realizada entre el 28 de noviembre y el 16 de diciembre de 2005

(Pianzola 2006). Los autores expresan su agradecimiento al Dr. Svante Björck (Universidad de Lund, Suecia), director de la expedición, al resto de los participantes y a la Academia de Ciencias de Suecia por el financiamiento de los trabajos de campo. Así mismo se desea agradecer a Jorge Osvaldo Codignotto y a Enrique J. Schnack por su contribución mediante correcciones y sugerencias que ayudaron a mejorar este trabajo.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Ahlmann, H.W. 1919. Geomorphological Studies in Norway, *Geografiska Annaler* 1: 1-148, 193-252.
- Caldenius, C. 1932. Las Glaciaciones Cuaternarias en Patagonia y Tierra del Fuego. Ministerio de Agricultura de la Nación. Dirección General de Minas y Geología, Boletín 95, 148, Buenos Aires.
- Caminos, R. y Nullo, F. 1979. Descripción Geológica de la Hoja 67 e, Isla de los Estados. Territorio Nacional de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur. Servicio Geológico Nacional, Boletín 175, 52 p.
- Canclini, A. 1980. Historia de Tierra del Fuego. Plus Ultra, 137 p., Buenos Aires.
- Clapperton, C. 1993. Quaternary Geology and Geomorphology of South America. Elsevier, 779 p., Amsterdam.
- Codignotto, J.O. 1990. Evolución en el Cuaternario Alto del Sector de costa y Plataforma submarina entre Río Coig, Santa Cruz y Punta María, Tierra del Fuego. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 54(1-2): 19-16.
- Dalziel, I.W.D. y Elliot D.H. 1973. Scotia Arc and Antarctic Margin. En Nair, A.E.M. y Stehil, F.G. (eds.) *Ocean Basins and Margins* 1: 171-245, New York.
- Dalziel, I.W.D., Caminos, R., Palmer, K.F., Nullo, F.E. y Casanova, R. 1974a. South Extremity of Andes: Geology of Isla de los Estados, Argentina, Tierra del Fuego. *The American Association of Petroleum Geologist Bulletin* 58(12): 2502-2512.
- Dalziel, I.W.D., de Wit, M.J. y Palmer K.F. 1974b. Fossil Marginal Basin in Southern Andes. *Nature* 250: 291-294.
- Dalziel, I.W.D., Dott, R.H., Winn, R.D. y Bruhn, R.L. 1975. Tectonic relations of South Georgia Island to the Southernmost Andes. *Geological Society of America Bulletin* 86: 1034-1040.
- Embleton, C. y King, C.A.M. 1975. Glacial and Periglacial Geomorphology. Edward Arnold 1, 573 p, London.
- Evans, D.J. 2004. Fjord. En Goudie, A. (ed.) *Encyclopedia of Geomorphology*, Routledge 1: 374-376, London.
- Fairbridge, R. 1968. The Encyclopedia of Geomorphology. *Encyclopedia of Earth Sciences Series*, Reinhold Books Corporation, 3, 1295 p., New York.
- García, M.C. 1986. Estudio de algunos rasgos geomorfológicos de la Isla de los Estados. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires y Centro Austral de Investigaciones Científicas, CADIC-CONICET, (inédito), 53 p. Ushuaia.
- Gordillo, S., Coronato, A. y Rabassa, J. 1993. Late Quaternary evolution of a subantarctic paleofjord, Tierra del Fuego. *Quaternary Science Reviews* 12: 889-897.
- Harrington, H.J. 1943. Observaciones geológicas en la Isla de los Estados. *Anales Museo Argentino de Ciencias Naturales, Geología* 29: 29-52, Buenos Aires.
- Isla, F., Bujalesky, G. y Coronato, A. 1999. Procesos estuáricos en el Canal Beagle, Tierra del Fuego. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 54(4): 307-318, Buenos Aires.
- Klemsdal, T. 1982. Coastal classification and the coast of Norway. *Norsk Geografisk Tidsskrift* 36: 129-52, Oslo.
- Ljung K. y Ponce, J.F. 2006. Periglacial features on Isla de los Estados, Tierra del Fuego, Argentina. 3o Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología. *Actas de Trabajos* 1: 85-90, Córdoba.
- Martini, P., Brookfield, M.E. y Sadura, S. 2001. Principles of Glacial Geomorphology and Geology. Prentice Hall, 381 p., New Jersey.
- Pianzola, E.L., 2006. Viaje a isla de los Estados. Editorial de los Cuatro Vientos, 142 p., Buenos Aires.
- Ponce, J.F. 2008. Palinología y Geomorfología del Cenozoico Tardío de Isla de los Estados. Tesis doctoral, Universidad Nacional del Sur, (inédito), 202 p., Bahía Blanca.
- Ponce, J.F. y Martínez, O. 2007. Hallazgo de depósitos sedimentarios postcretácicos en Bahía Crossley, Isla de los Estados, Tierra del Fuego. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 62(3): 467-470.
- Rabassa, J. 2008. Late Cenozoic glaciations of Patagonia and Tierra del Fuego. En Rabassa, J. (ed.) *Late Cenozoic of Patagonia and Tierra del Fuego*, Elsevier, *Developments in Quaternary Science* 11: 151-204.
- Rabassa, J. y Clapperton, C. 1990. Quaternary glaciations of the southern Andes. *Quaternary Science Reviews* 9: 153-174.
- Rabassa, J., Heusser, C. y Stuckenrath, R. 1986. New Data on Holocene Sea Transgression in the Beagle Channel: Tierra del Fuego, Argentina. *Balkema Publishers, Quaternary of South America and Antarctic Peninsula* 4: 291-309, Rotterdam.
- Rabassa, J., Coronato, A., Roig, C., Martínez, O. y Serrat, D. 2003. Un bosque sumergido en Bahía Sloggett, Tierra del Fuego, Argentina: evidencia de actividad neotectónica en el Holoceno Tardío. *Procesos geomorfológicos y evolución costera*. Servicio de Publicaciones da Universidad de Santiago de Compostela, 2o Reunión de Geomorfología Litoral, *Actas*: 333-345, Santiago de Compostela.
- Rabassa, J., Coronato, A. y Salemme, M. 2005. Chronology of the Late Cenozoic Patagonian glaciations and their correlation with biostratigraphic units of the Pampean region (Argentina). *Journal of South American Earth Sciences* 20: 81-103.
- Syvistki, J. P. M. y Shaw, J. 1995. Sedimentology and geomorphology of fjords. En Perillo, G.M.E. (ed.) *Geomorphology and sedimentology of estuaries*, Elsevier Science Publications, *Developments in Sedimentology* 53: 113-178.
- Syvitski, J.P.M., Burrell, D.C. y Skei, J.M. 1987. *Fjords: Processes and Products*. Springer, 379 p., New York
- Uriarte Cantolla, A. 2003. Historia del clima de la tierra. Victoria-Gasteiz: Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, 306 p., Victoria.

Recibido: 17 de enero, 2009

Aceptado: 29 de octubre, 2009