



GEOMORFOLOGIA GLACIAR DE LA ISLA DE LOS ESTADOS, TIERRA DEL FUEGO, ARGENTINA

Glacial geomorphology of Isla de los Estados, Tierra del Fuego, Argentina

Juan Federico Ponce¹ y Jorge Rabassa^{1,2}

¹Centro Austral de Investigaciones Científicas (CADIC, CONICET), C.C. 92, 9410, Ushuaia, Tierra del Fuego, Argentina. jfponce@cadic-conicet.gob.ar

²Universidad Nacional de la Patagonia-San Juan Bosco, Sede Ushuaia, y Universidad Nacional de Tierra del Fuego, Darwin y Canga, 9410, Ushuaia, Argentina. jrabassa@gmail.com

Abstract : Isla de los Estados (54° 55' S; 64° 42' W and 54° 43' S; 63° 48' W), is located at the southernmost end of South America, forming part of the province of Tierra del Fuego, Antarctica and South Atlantic Islands. The island is 62 km from east to west, and no more than 17 km wide. The island is the easternmost, emerged portion of the Andean mountain chain and much of it is an alpine highland reaching over 800 m a.s.l. The bedrock is mainly composed of lavas, ignimbrites, tuffs and sedimentary rocks of Lower Jurassic to Upper Cretaceous age. The island is one of the emerged areas closer to the Antarctic Circumpolar Current, which has enormous influence on the characteristics of the climate of Patagonia and Southern South America, and therefore, of the entire planet. For this reason, the geographical location of the island determines that the paleoclimatic information coming from it is of great significance for the region. In this work, a detailed inventory of glacial valleys, cirques and fjords has been prepared, including their geographical location, morphometric parameters, areal surface, orientation, maximum depth, bedrock lithology and associated geological structures. The work also included cartography of this landforms and a bathymetric map of the island. Based upon the geomorphological analysis performed, a timeless glacial model of the island has been prepared, that is, a model that could be applied to any of the Pleistocene glaciations of the region. This model is basically oriented towards the formation of large valley glaciers, fed by cirque glaciers and small, local ice caps. Several of these glaciers excavated their troughs following the orientation of tectonic alignments, such as faults and folds and also, stratigraphic, intra-formational boundaries. In the southern sector of the island, the glaciers became in contact with the ocean quite soon, ending in an ablation process of the "calving" type, that is, the formation of icebergs. The glaciers of the northern coast, instead, were flowing nested in deep valleys until they reached the extensive plain located north of their mountain sources, a plain that had been covered by the sea during the interglacial periods, as it happens today. There, these ice bodies ended as piedmont glaciers, in an ablation process by simple melting of their terminal portions.

Keywords: Geomorphology, Glacier, Isla de los Estados, Tierra del Fuego, Patagonia.

Resumen: La Isla de los Estados es una de las áreas emergidas más próximas a la Corriente Circumpolar Antártica, la cual tiene enorme influencia en las características del clima de Patagonia y América del Sur meridional, y por ende, de todo el planeta. En base al análisis geomorfológico realizado, se confeccionó un modelo de desarrollo de glaciares atemporal para la Isla de los Estados, es decir que podría ser aplicado a cualquiera de las glaciaciones del Pleistoceno que tuvieron lugar en la región. Este modelo consiste básicamente en la formación de grandes glaciares de valle, alimentados por circos y pequeños mantos de hielo locales. Varios de estos glaciares excavaron sus valles glaciares siguiendo la disposición de lineamientos tectónicos, como fallas y pliegues, así como contactos intraformacionales. En el sector S de la isla los glaciares entraban rápidamente en contacto con el mar, terminando en un proceso de ablación de tipo "calving", es decir, con formación de témpanos. Los glaciares de la costa N, en cambio, fluían encajonados en profundos valles hasta alcanzar una extensa



planicie ubicada al N de las nacientes, la cual estuvo cubierta por el mar durante los periodos interglaciares, como sucede en la actualidad. Allí, estos cuerpos de hielo terminaban en forma de glaciares de piedemonte.

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

Ponce, J.F. y Rabassa, J. (2012): Geomorfología glaciar de La Isla de los Estados, Tierra del Fuego, Argentina. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 25 (1-2): 67-84.

La Isla de los Estados se encuentra ubicada en el extremo S de Sudamérica, inmediatamente al SE de la Isla Grande de Tierra del Fuego, Argentina. Se sitúa entre los paralelos 54° 38' S y 54° 55' S y los meridianos 63° 48' O y 64° 46' O (Fig. 1a). Esta isla está incluida dentro de la Plataforma Submarina Argentina, por la que está unida a las Islas Malvinas y a la Isla Grande de Tierra del Fuego. De esta última se encuentra separada por el Estrecho de Le Maire, el cual tiene sólo 30 km de ancho (Fig. 1a). La isla tiene una superficie de 496 km², una longitud máxima de 62 km en el sentido E-O, y un ancho promedio de 6 km, con un ancho mínimo de solamente 550 m (entre los puertos Cook y Vancouver) y un máximo de 17 km (entre los cabos San Antonio y Kempes, Fig. 1b). Desde un punto de vista fisiográfico y geológico, la Isla de los Estados constituye el extremo sur-oriental de la Cordillera de los Andes.

La Isla de los Estados posee una ubicación estratégica, localizada entre la Península Antártica y el continente sudamericano, para brindar importante información paleoambiental sobre el momento y el impacto de los cambios climáticos ocurridos durante y tras de la Última Glaciación. Asimismo, esta información permite conformar modelos que puedan ser aplicados a las anteriores glaciaciones del Pleistoceno.

El Canal Beagle (54° 53' S; entre los 66° 30' y los 70° O, Fig. 1a), distante unos 120 km al O de Isla de los Estados, está ubicado al S de la Isla Grande de Tierra del Fuego (Fig. 1a), y constituye un valle tectónico que fue ocupado completamente por el hielo durante el Último Máximo Glaciar (UMG; aprox. 24 Ka cal. A.P.(A.P. es Antes del Presente = 1950 d.C.); Rabassa, 2008.). El denominado "Glaciar Beagle" provenía del Campo de Hielo de Montaña de la Cordillera Darwin (Tierra del Fuego, Chile), recibiendo glaciares tributarios a lo largo de su desarrollo, desde los circos y valles interiores de los cordones montañosos ubicados en ambas márgenes. Durante su máximo desarrollo, el frente de hielo se habría situado en Punta Moat (Fig. 1a), en el extremo E del Canal Beagle (a aproximadamente 120 km al O de Isla de los Estados), donde se han observado arcos morrénicos que probablemente correspondan a los más externos del UMG. A juzgar por las edades radiocarbónicas basales de las turberas ubicadas a lo largo del Canal Beagle, se infiere que hacia los 15 C¹⁴ Ka A.P. (aprox. 17 Ka cal. A.P.) el frente de hielo se habría retirado unos 100 km hacia el O de su punto de máxima extensión. El retroceso definitivo del hielo se habría producido al menos hacia los 10 C¹⁴ Ka A.P., estableciéndose las primeras comunidades vegetales representativas de los ambientes de estepa/tundra (Markgraf, 1993; Heusser, 1989 a y b).

En este trabajo se da conocer una caracterización de los principales rasgos geomorfológicos glaciares presentes en Isla de los Estados. El estudio consistió en la cartografía, inventario y confección de perfiles topográficos de las principales geoformas glaciares erosivas. Se utilizaron para este fin fotografías aéreas a escala 1:40.000, imágenes de satélite Spot y datos de elevación del sensor Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).

Marco geológico

La unidad geológica más antigua aflorante en Isla de los Estados es la Formación Lemaire (Fig. 2), la cual constituye un complejo volcánico estratificado formado por tobos y lavas ácidas intercaladas con tufitas, areniscas tobáceas, limo-arcillitas, lutitas negras y conglomerados finos de edad Jurásico medio a superior (Caminos y Nullo, 1979). El conjunto alcanza un espesor de unos 10.000 metros, presentando metamorfismo regional y encontrándose plegado en un gran sinclinal con el eje en forma sinuosa y con rumbo general E-O (Caminos y Nullo, 1979). Los afloramientos de esta formación componen el cordón montañoso de la isla y gran parte de la costa S (Caminos y Nullo, 1979). Su base no está expuesta. El contacto superior con la Formación Beauvoir es transicional y aflora únicamente en el sector SO de Bahía Flinders (Fig. 2) (Dalziel *et al.* 1974).

Las rocas de la Formación Beauvoir afloran en el sector NO de la Isla de los Estados, en las Islas Año Nuevo y en la costa E de la Isla Grande (Fig. 2). Esta formación está constituida por lutitas y limolitas pizarrosas, grauvacas finas, areniscas cuarzosas masivas, limolitas calcáreas, calizas micríticas y lutitas de edad Jurásico superior-Cretácico inferior (Dalziel *et al.*, 1974). En conjunto, esta formación muestra una fuerte diagénesis y metamorfismo dinámico incipiente, con desarrollo de foliación muy bien marcada en algunos sectores (Caminos y Nullo, 1979).

Sobre la costa de Bahía Crossley (54° 48' 16" S y 64° 41' 03,8" O), en la porción NO de la Isla de los Estados (Fig. 1b), afloran rocas sedimentarias tentativamente asignadas por Ponce y Martínez (2007) al Paleógeno, o por lo menos al Terciario pre-glaciar. Los depósitos están constituidos por 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. Los depósitos de till se

estructura geológica de Isla de los Estados a partir de los resultados presentados principalmente en Caminos y Nullo (1979).

La estructura principal de la isla es el plegamiento de ambas formaciones (Lemaire y Beauvoir) en un gran sinclinal, cuyo eje describe una gran S de rumbo general E-O (Fig. 2). La intensidad del plegamiento aumenta de O a E. En el sector E de la isla el pliegue es asimétrico y apretado, el cual se encuentra volcado hacia el S, de tal manera que las capas del flanco suroriental aparecen en posición invertida. En la porción central el pliegue es más suave y abierto, algo asimétrico, disminuyendo su intensidad hacia el O, encontrándose también volcado hacia el S con alto ángulo. En el extremo O el plegamiento desaparece y las capas se presentan en posición subhorizontal (Dalziel *et al.*, 1974).

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.

La edad del plegamiento es asignada al Cretácico medio, entre el Albiano superior y Coniaciano, según Caminos y Nullo (1979).

Las fallas encontradas por los distintos autores no están relacionadas con la estructura de plegamiento. Las mismas son directas e inversas, de alto ángulo, probablemente más jóvenes que el plegamiento.

Existen dos juegos de fallas transversales de rumbo NE-SO y NO-SE respectivamente, oblicuos a los ejes de plegamiento. Varias fallas longitudinales corren a lo largo del flanco septentrional del plegamiento (Fig. 2). Asimismo, Caminos y Nullo (1979) consideran a la gran Bahía Franklin (Fig. 1b) como una depresión tectónica limitada al N y al S por fallas longitudinales.

Metodología

Para la consecución de este trabajo se realizaron mapas e inventarios de las principales geoformas glaciares de origen erosivo presentes en Isla de los Estados (fiordos, valles glaciares y circos). Su confección se basó fundamentalmente en:

- fotointerpretación de pares estereoscópicos a escala 1:40.000 tomados por el Servicio de Hidrografía Naval en el año 1971
- análisis de imágenes de satélite 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
- modelos de elevación digital del terreno del sensor Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), S55W065 y S55W064 con un pixel de 90 x 60 m de resolución y W100S10.BATHYMETRY.SRTM y

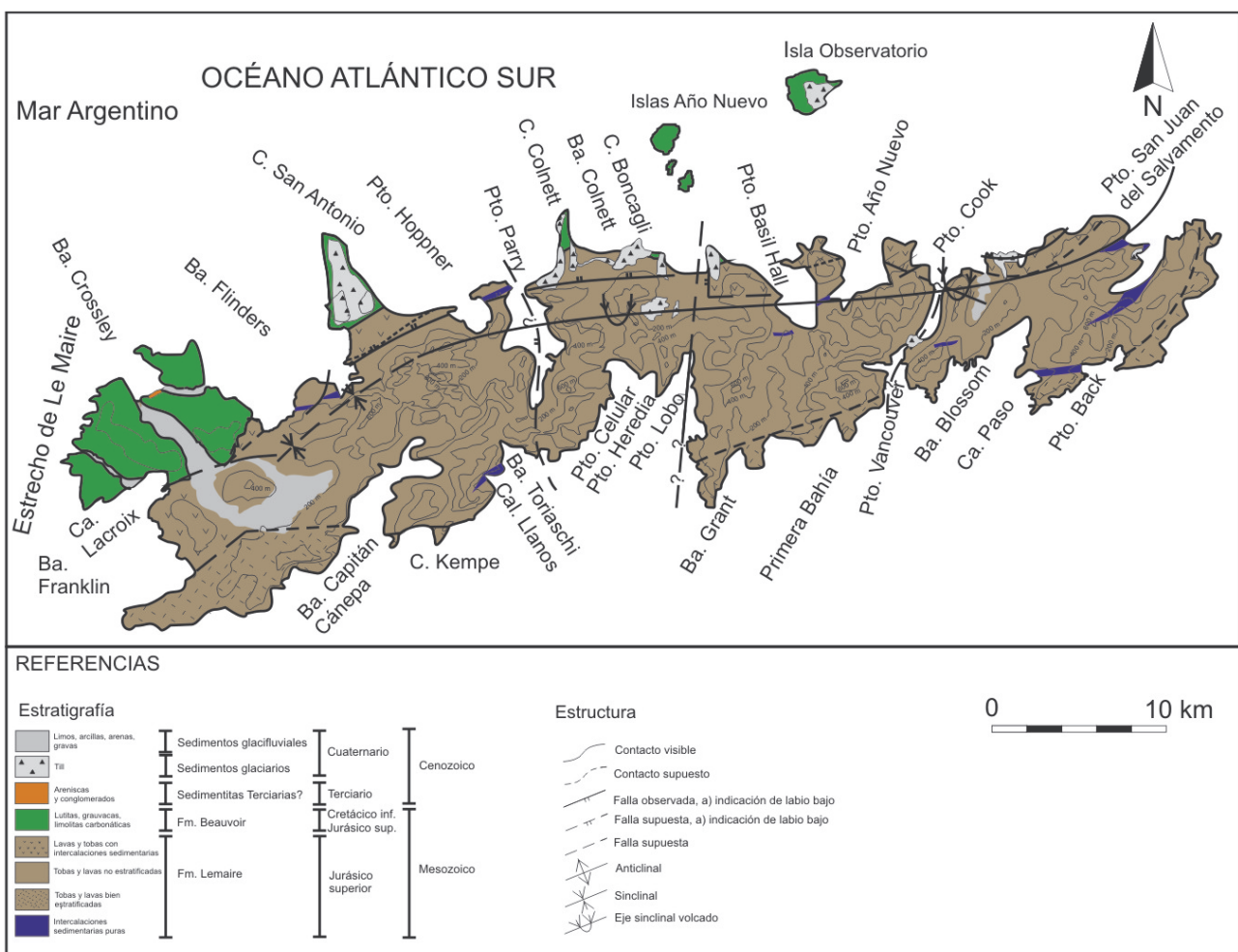


Fig. 2.- Mapa geológico de Isla de los Estados (modificado de Caminos y Nullo, 1979).

W060S10.BATHYMETRY.SRTM con un pixel de 1 x 1 km de resolución.

Las mediciones altimétricas y planimétricas de las geoformas cartografiadas, tales como longitudes, espesores, orientaciones, pendientes, alturas absolutas y relativas, profundidades, etc., así como los modelos tridimensionales de algunas geoformas, mapas topográficos, perfiles transversales y longitudinales y modelos de descenso del nivel del mar fueron realizados a través del programa Global Mapper 10 y controlados con la carta topográfica Isla de los Estados.

El trabajo de gabinete fue complementado con tareas de campo las cuales consistieron básicamente en la identificación, descripción y cartografía de depósitos y geoformas glaciogénicas, siguiendo las pautas metodológicas habituales en los estudios de Geología del Cuaternario y Geomorfología.

Por último, se confeccionó un mapa de isobatas, con una equidistancia de 10 m, a partir del trazado de curvas de nivel sobre las siguientes cartas batimétricas de la zona de Isla de los Estados: bahías Crossley, Flinders y San Antonio; puertos Cook, Año Nuevo, Basil Hall y Presidente Roca; Bahía Colnett; Bahía Blossom, Puertos Back y San Juan del Salvamento; Bahía Cork y Puerto Vancouver; Bahías Franklin y Capitán Cánepa, todas de escala 1:25.000, confeccionadas en el año 1981.

Geomorfología

A continuación se presenta una descripción de las principales geoformas glaciares de origen erosivo presentes en la Isla de los Estados.

Circos

La expansión y recesión de los glaciares durante el Cenozoico tardío ocurrieron en respuesta a las fluctuaciones verticales de lo que se denomina, en sentido amplio, *línea de nieves permanentes*, producidas por cambios climáticos globales y/o regionales (Porter, 1975).

La línea de nieve permanente, para diferenciarla de la "línea de nieve transitoria", es una línea o altitud del terreno que separa áreas donde la nieve caída desaparece en verano de áreas donde se conservan remanentes de nieve a lo largo de todo el año (Martínez, 2002).

El estudio de los circos y de poblaciones de circos suelen aportar valiosa información glaciológica y climática y usualmente consiste en establecer tres tipos de atributos: forma del circo, tamaño y orientación (Haynes, 1995). La obtención de la altitud media de la superficie del fondo de circos fósiles es un buen indicador mínimo de la posición de la antigua línea de nieve (Flint, 1957; Embleton y King, 1975). Este método ha sido ampliamente utilizado (Charlesworth, 1957; Flint y Fidalgo, 1964; Andrews, 1975) en varias regiones del mundo. Por otro lado, existe acuerdo en que este método brinda una altitud máxima para la línea de nieves permanentes cuando se tiene la certeza que el glaciar se extendió más allá del circo y por lo tanto, se asume que la zona de alimentación se prolonga por debajo de esta posición (Flint, 1957).

Se realizó la cartografía (Figs. 3, 4 y 5) e inventario (Tabla 1) de los circos identificados en la Isla de los Estados. El número total de circos cartografiados es de 79. De cada uno de ellos se determinó su posición geográfica, di-

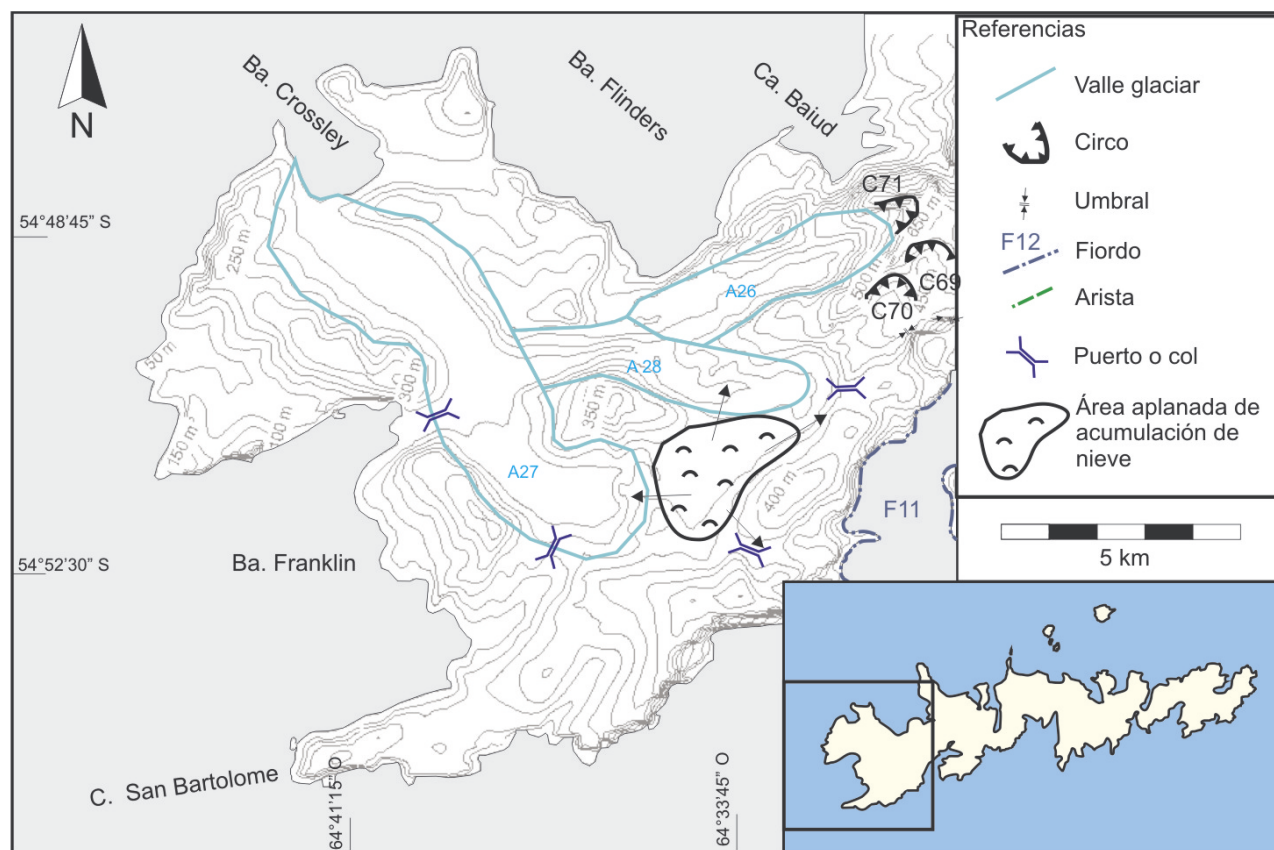


Fig. 3.- Distribución de morfologías glaciares erosivas, sector O de Isla de los Estados.

Circo	Orientación	Latitud	Longitud	Altura piso de circo (m. snm)	Eje long. (Km)	Eje transv. (Km)	T/L	Área (km ²)	Litología
C1	N 132°	54°45'59"	63°51'24"	300	0,842	1,04	1,5	0,66	Tobas y lavas macizas (Fm Lemaire)
C2	N 151°	54°46'05"	63°52'51"	175	0,714	1,3	1,8	0,77	idem
C3	N 144°	54°46'18"	63°53'36"	300	1,12	0,68	0,6	0,67	Sedimentitas, tobas y lavas macizas (Fm Lemaire)
C4	N 200°	54°46'43"	63°54'31"	325	1,07	1,01	0,94	0,84	Tobas y lavas macizas (Fm Lemaire)
C5	N 97°	54°44'58"	63°54'19"	140	0,72	1,6	2,3	0,81	idem
C6	N 72°	54°45'35"	63°53'54"	260	0,5	0,71	1,4	0,26	idem
C6'	N 350°	54°45'53"	63°53'22"	400	0,39	0,91	2,3	0,26	idem
C7	N 197°	54°45'05"	63°55'00"	355	0,62	0,99	1,6	0,44	idem
C8	N 325°	54°56'21"	63°55'25"	125	0,74	1,1	1,5	0,65	idem
C8'	N 244°	54°45'32"	63°54'43"	200	0,5	0,62	1,2	0,26	idem
C9	N 280°	54°44'43"	63°55'00"	260	0,53	0,65	1,2	0,32	idem
C10	N 98°	54°47'32"	63°55'24"	206	0,58	0,56	0,9	0,34	Sedimentitas (Fm. Lemaire)
C11	N 248°	54°47'31"	63°55'57"	200	0,58	0,88	1,5	0,36	idem
C11'	N 131°	54°45'51"	63°58'16"	160	0,58	0,66	1,1	0,3	Tobas y lavas macizas (Fm Lemaire)
C12	N 170°	54°47'21"	64°02'06"	350	0,39	0,64	1,64	0,18	idem
C13	N 163°	54°47'35"	64°02'31"	320	0,49	0,43	0,87	0,18	idem
C14	N 170°	54°47'18"	64°01'46"	390	0,37	0,27	0,72	0,0082	idem
C15	N 61°	54°45'23"	64°02'58"	410	0,4	0,54	1,35	0,19	idem
C16	N 131°	54°46'13"	64°04'07"	185	1,06	1,15	1,08	0,98	idem
C17	N 347°	54°45'29"	64°03'43"	300	1	0,96	0,96	0,8	idem
C18	N 160°	54°45'56"	64°03'23"	295	0,5	0,87	2,3	0,4	idem
C19	N 331°	54°45'41"	64°04'21"	400	0,52	0,54	1,03	0,25	idem
C20	N 352°	54°46'07"	64°05'06"	260	0,75	0,94	1,25	0,6	idem
C21	N 272°	54°46'47"	64°04'49"	323	0,75	1,1	1,46	0,61	idem
C23	N 2°	54°47'08"	64°06'53"	315	0,73	0,81	1,1	0,41	idem
C24	N 82°	54°47'37"	64°07'06"	300	0,68	0,87	1,28	0,45	idem
C25	N 224°	54°48'10"	64°06'17"	205	0,71	0,77	1,08	0,5	idem
C26	N 183°	54°48'07"	64°07'07"	211	0,95	1,2	1,26	0,77	idem
C27	N 119°	54°48'23"	64°07'46"	100	1,2	0,88	0,73	0,86	idem
C28	N 81°	54°48'40"	64°10'46"	223	0,71	0,69	0,97	0,37	idem
C28'	N 50°	54°48'40"	64°10'46"	375	0,51	0,68	1,33	0,27	idem
C29	N 52°	54°47'25"	64°11'03"	272	0,72	0,62	0,86	0,37	idem
C30	N 80°	54°49'01"	64°08'04"	135	1	0,73	0,73	0,68	idem
C31	N 307°	54°48'13"	64°08'42"	264	0,59	0,54	0,91	0,26	idem
C32	N 320°	54°47'47"	64°08'22"	200	1	0,65	0,65	0,53	idem
C33	N 309°	54°47'25"	64°07'37"	360	0,57	0,66	1,15	0,3	idem
C34	N 334°	54°45'48"	64°06'27"	0	1,1	1	0,9	1,07	idem
C36	N 209°	54°47'29"	64°11'53"	250	0,78	0,8	1,02	0,51	idem
C37	N 284°	54°46'34"	64°12'26"	330	0,5	0,74	1,48	0,34	idem
C38	N 297°	54°46'34"	64°12'09"	360	0,54	0,63	1,16	0,28	idem
C39	N 3°	54°46'24"	64°11'17"	234	0,45	0,94	2	0,45	Sedimentitas (Fm Lemaire)
C40	N 192°	54°48'24"	64°11'35"	275	0,65	0,41	0,63	0,23	Tobas y lavas macizas (Fm Lemaire)
C41	N 174°	54°48'33"	64°12'05"	255	0,42	0,57	1,35	0,24	idem
C42	N 60°	54°46'42"	64°15'39"	280	0,41	0,78	1,9	0,3	idem
C43	N 153°	54°46'41"	64°16'46"	300	0,57	0,69	1,21	0,35	idem
C45	N 306°	54°46'53"	64°17'18"	283	0,5	0,98	1,9	0,46	idem
C46	N 55°	54°47'28"	64°20'17"	242	0,5	0,27	0,54	0,28	idem
C47	N 95°	54°47'06"	64°20'34"	224	0,47	0,83	1,76	0,33	idem
C48	N 56°	54°48'16"	64°20'04"	448	0,59	0,56	0,94	0,28	idem
C50	N 151°	54°48'43"	64°20'08"	45	1,03	0,5	0,48	0,44	idem
C51	N 160°	54°48'21"	64°19'47"	288	0,84	1,09	1,35	1,29	idem
C52	N 141°	54°49'05"	64°20'53"	80	1,36	1,14	0,83	1,1	idem
C53	N 153°	54°49'22"	64°22'00"	17	1,08	1,28	1,18	1,1	idem
C54	N 55°	54°48'59"	64°23'03"	200	1,18	1,15	0,97	1,04	idem
C55	N 167°	54°48'33"	64°23'07"	350	0,17	0,35	2,05	0,055	idem
C56	N 353°	54°48'06"	64°23'34"	183	0,95	0,96	1,01	0,76	idem
C57	N 190°	54°48'32"	64°24'06"	178	0,67	0,87	1,29	0,85	idem
C58	N 301°	54°49'59"	64°24'35"	390	0,31	0,36	1,16	0,13	idem
C59	N 309°	54°48'09"	64°24'38"	350	0,15	0,29	1,93	0,042	idem
C60	N 240°	54°48'43"	64°25'17"	347	1,4	0,82	0,58	0,85	idem
C61	N 97°	54°47'27"	64°26'47"	250	1,07	0,79	0,73	0,71	idem
C62	N 167°	54°46'05"	64°24'04"	260	0,45	0,47	1,04	0,18	idem
C63	N 342°	54°47'04"	64°27'46"	370	0,94	1	1,06	0,73	idem
C64	N 57°	54°47'03"	64°26'34"	460	0,35	0,37	1,05	0,11	idem
C65	N 322°	54°48'17"	64°28'59"	350	0,36	0,48	1,33	0,15	idem
C66	N 301°	54°47'14"	64°28'34"	375	0,64	0,6	0,96	0,34	idem
C67	N 305°	54°47'42"	64°28'52"	320	0,72	0,64	0,88	0,37	idem
C68	N 170°	54°47'30"	64°28'06"	355	0,6	0,9	1,5	0,4	idem
C69	N 157°	54°49'06"	64°30'01"	430	0,91	0,81	0,89	0,56	idem

Tabla 1.- Inventario de los circos cartografiados en Isla de los Estados.

Circo	Orientación	Latitud	Longitud	Altura piso de circo (m. snm)	Eje long. (Km)	Eje transv. (Km)	T/L	Área (km ²)	Litología
C70	N 144°	54°49'22"	64°30'41"	375	0,71	0,99	1,39	0,57	Tobas y lavas macizas (Fm Lemaire)
C71	N 227°	54°48'31"	64°30'29"	450	0,77	0,72	0,93	0,5	idem
C73	N 126°	54°45'34"	64°17'10"	105	0,88	1,06	1,2	0,77	idem
C74	N 124°	54°45'07"	64°16'16"	202	0,67	0,59	0,88	0,31	idem
C75	N 321°	54°45'06"	64°17'21"	330	0,51	0,47	0,92	0,2	idem
C76	N 317°	54°45'18"	64°17'47"	310	0,33	0,44	1,33	0,11	idem
C78	N 242°	54°45'34"	64°18'21"	200	0,2	0,32	1,6	0,075	idem
C79	N 40°	54°46'06"	64°21'02"	120	0,65	0,87	1,33	0,48	idem
C80	N 19°	54°46'29"	64°20'13"	280	0,56	0,77	1,37	0,36	idem
C82	N 91°	54°51'20"	64°27'21"	350	0,575	1,06	0,94	0,57	idem
C83	N 29°	54°51'10"	64°25'16"	350	0,37	0,77	2,08	0,26	idem
C84	N 322°	54°48'06"	64°25'07"	210	0,53	0,47	0,88	0,2	idem
C85	N 70°	54°46'58"	64°11'46"	350	0,45	0,56	1,2	0,24	idem

Tabla 1.- (Continuación) Inventario de los circos cartografiados en Isla de los Estados.

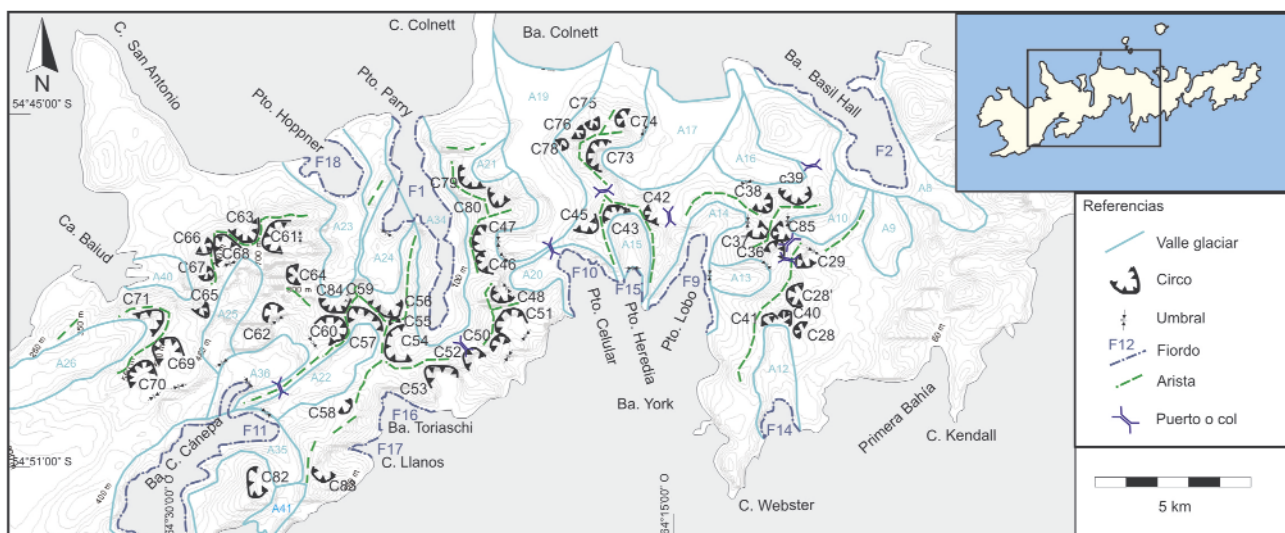


Fig. 4.- Distribución de morfologías glaciares erosivas, sector central de Isla de los Estados.

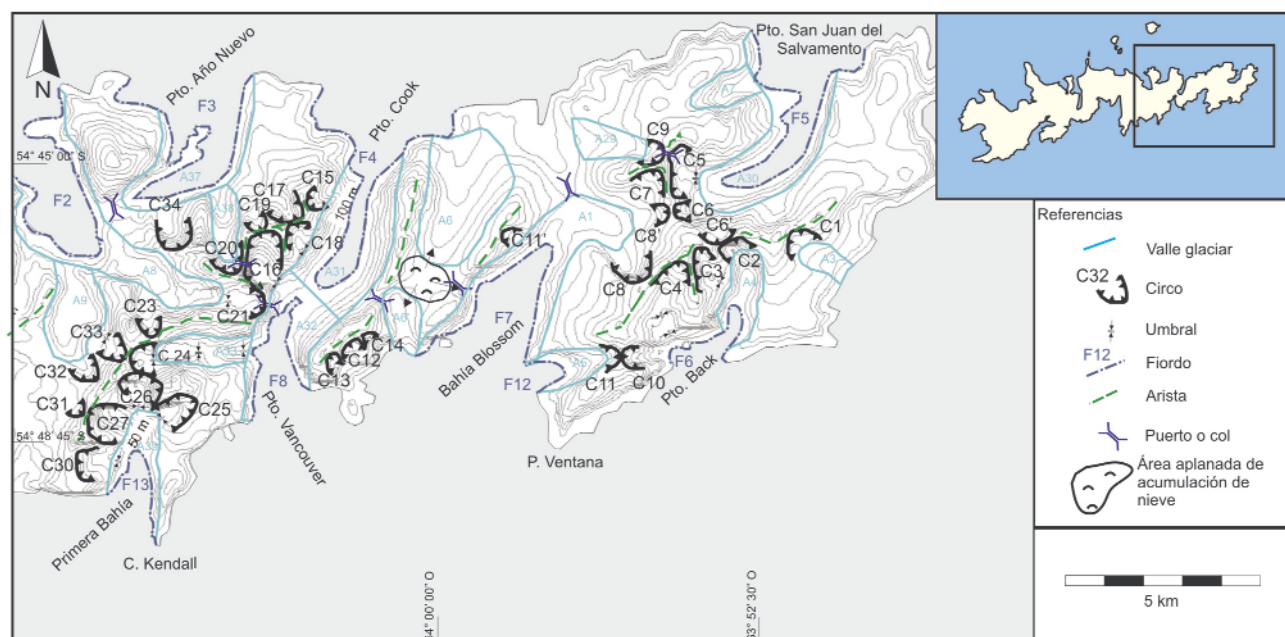


Fig. 5.- Distribución de morfologías glaciares erosivas, sector E de Isla de los Estados.

mensiones, superficie, altura de la superficie del fondo, orientación y forma.

Si bien el número total de circos es elevado en relación a la superficie analizada, dichas geofomas, en la mayoría de los casos, no se presentan bien preservadas, y se hace difícil distinguir la totalidad de sus partes componentes: cabecera, cuenca y umbral (Fairbridge, 1968).

El rango de alturas que presentan los fondos de los circos en Isla de los Estados es muy amplio, variando entre 0 y 460 m s.n.m. Estas superficies se encuentran actualmente desprovistas de cuerpos de hielo o neveros, evidenciando que la línea de nieves permanentes se encuentra por encima de los 800 m s.n.m. (altura máxima de la isla). El 72% de los circos en el área de estudio presentan sus cotas entre los 200 y 400 m s.n.m. La altura promedio para la superficie de todos los circos analizados es de 272 m s.n.m, ubicando a la antigua línea de nieves permanentes a una altura cercana a este valor promedio, quizás inmediatamente por debajo de ella.

El área total ocupada por los circos en Isla de los Estados es de 36,5 km²; este valor representa el 7% de la superficie total de la isla, lo cual es un valor muy alto para islas de dimensiones intermedias. Las dimensiones de estos circos son variadas, presentando una superficie promedio de 0,46 km², con un máximo de 1,29 km² y un mínimo de 0,008 km². Sus formas son principalmente semicirculares o semielípticas (Figs. 6a y 6b), presentan una relación entre los ejes transversales y longitudinales (T/L) que varía entre 0,5 y 2,3, con un valor promedio de 1,2. El diámetro promedio de los circos es 0,71 km.

La dirección de exposición predominante es hacia el SE con un 23% del total de los circos orientados en ese sentido. El número de circos orientados a la costa S de Isla de los Estados es de 38 y presentan una superficie promedio de 0,55 km². Los circos orientados a la costa N son 27 y presentan una superficie promedio de 0,37 km².

Se ha observado la presencia de circos compuestos, es decir, circos pequeños desarrollados en las porciones superiores de circos mayores. Esta relación, denominada "circo-en-circo" es a menudo relacionada con cambios en la posición de la línea de nieves permanentes tras el Último Máximo Glaciar.

No se aprecia una relación entre la ubicación de los circos y sustrato litológico, debido a que las zonas elevadas de la isla están representadas casi exclusivamente por tobos y lavas de la Fm. Lemaire con algunas variaciones litológicas menores (Caminos y Nullo, 1979).

Valles glaciares

La erosión glacial es un proceso muy eficaz cuando actúa sobre lechos rocosos. Se han estimado tasas de efectividad erosiva entre 10 y 20 veces superiores a los procesos de erosión fluvial y denudaciones medias entre 0,05 y 3,00 mm/año (Selby, 1985). Las principales geofomas erosivas producto de este fenómeno son los valles glaciares, caracterizadas por paredes escarpadas, trazado rectilíneo y por su sección transversal en forma de U. Estas formas del relieve son el rasgo más distintivo y abundante del paisaje

de Isla de los Estados (Figs. 6c y 6d) ya que la superficie total ocupada por este tipo de geofomas es de 220 km², representando el 42% de la superficie de la isla. Nuevamente, un valor muy elevado de este parámetro, seguramente vinculado a un cubrimiento glacial muy importante del archipiélago durante el UMG. Se han cartografiado un total de 48 artesas en toda la isla (Figs. 3, 4 y 5; Tabla 2), de las cuales 18 actualmente forman fiordos en su prolongación hacia el mar. De cada una de estas geofomas se determinó su posición geográfica, dimensiones, superficie, orientación, sustrato litológico y estructuras geológicas asociadas.

Las dimensiones de los valles glaciares en Isla de los Estados son muy variadas, presentando una superficie promedio de 4,6 km², con un máximo de 38 km² (valle 35) y un mínimo de 0,5 km² (valle 22). La longitud promedio es de 3,26 km, con un máximo de 15,4 km (valle 35) y un mínimo de 0,64 km (valle 22). La costa N presenta valles glaciares de mayores dimensiones, posiblemente debido a la presencia de una planicie de piedemonte extensa, hoy sumergida, y un relieve más suave que en la parte S de la isla, en donde la mayoría de los valles no alcanzan grandes extensiones. Varios de los valles de mayores dimensiones presentan continuidad de sus rasgos erosivos varios kilómetros por debajo del nivel mar actual. En la porción central de la isla (por ejemplo, en Bahía Colnett), esta característica se vuelve más acentuada, alcanzándose valores cercanos a los 5 km de longitud de desarrollo submarino. En este sector las isobatas presentan formas típicas de valle amplio y poco profundo.

Los valles glaciares en Isla de los Estados son del tipo alpino. Aunque las geofomas presentan perfiles transversales típicos en forma de amplias "U", en muchos casos estas morfologías no son claras y se observa un importante nivel de erosión posterior a su desarrollo que enmascara su forma original.

Se observan valles que no se presentan relacionados a circos. En estos casos, sus cabeceras se encuentran asociadas a áreas relativamente planas y elevadas (por ejemplo V6 y V6', aproximadamente 200 m s.n.m.) que, al parecer, habrían actuado como zonas de acumulación y alimentación de estos valles. Sus perfiles transversales muestran una amplitud máxima cercana 2 km. Presentan la típica forma de curva catenaria, con paredes que alcanzan los 200 m de altura y con pendientes cercanas a los 13°.

Los valores de pendiente de sus laderas varían entre 14° (V 35) y 45° (ladera O de Puerto Parry). Las pendientes longitudinales presentan un valor promedio de 4,7°. Los valles asociados a la costa S de la isla presentan una mayor pendiente longitudinal (valor promedio de 5,4°) que aquellos asociados a la costa N, cuyo valor promedio es de 4,1°.

El valle de San Juan del Salvamento se desarrolla siguiendo el rumbo de una cuña sedimentaria. Puerto Cook (V39) y Puerto Vancouver (V40) claramente se desarrollan sobre una falla supuesta que cruza la isla de SSO a NNE. Puerto Año Nuevo (V45) sigue, en más de la mitad de su extensión, el rumbo de una falla que pone en contacto rocas sedimentarias con lavas y tobos de la Formación Lemaire. El valle V14 se desarrolla casi en su totalidad sobre una falla de rumbo N-S. Sobre esta misma falla se desarrolla

también hacia el N Puerto Victoria (V17). Éstos son algunos de los muchos ejemplos del fuerte control estructural que presentan los valles glaciares en la isla (Fig. 2).

Fiordos

A continuación se transcriben los aspectos más importantes de otro trabajo (Ponce *et al.*, 2009), en el cual se ha analizado la morfología de los fiordos desarrollados en Isla de los Estados.

Fiordo es un término noruego (“fjord”) universalmente adoptado para un brazo de mar de cierta extensión, caracterizado por una disposición más o menos rectilínea, laderas rocosas empinadas y grandes profundidades (Fairbridge, 1968), que ha sido el resultado de la inundación de un valle glaciario por el ascenso del nivel del mar post-glaciario. Los fiordos se encuentran exclusivamente a lo largo de costas marinas de relieve elevado modeladas por glaciaciones pleistocenas. El término sueco “*fjärd*” o “*firths*” en Escocia hace referencia a similares entradas marinas costeras,



Fig. 6.- a) Circos en San Juan del Salvamento (circos C5 y C6); b), Circos en Bahía Colnett (circos C75 y C 76); c) Valle glaciario Lago Lovisato (valle A19); d) Valle glaciario en costa NO de San Juan del Salvamento (valle A7); e) Fiordo Puerto Cook, (fiordo F4); d) Fiordo Puerto San Juan del Salvamento (fiordo F5).

Valles glaciares	Area (km ²)	Longitud (km)	Ancho máximo-mínimo	Latitud	Longitud	Pendiente longitudinal	Orientación	Litología	Estructuras geológicas asociadas
V1	8,6	5,3	1,07-2,3	54° 45' 40"	64° 56' 27"	3,6°	320° NO	Tobas y lavas macizas, Fm Lemaire	
V3	0,79	0,88	0,77-0,85	54° 46' 12"	63° 50' 54"	6,8°	117° SE	idem	
V4	2,55	2,71	0,8-1,0	54° 46' 34"	63° 52' 43"	3,9°	193° S	idem	
V5	1,85	2,08	0,73-1,08	54° 47' 42"	63° 56' 31"	11,4°	248° O	Sedimentitas, Fm Le maire	Sigue el rumbo de nivel de sedimentitas
V6	6,3	3,4	1,43-2,3	54° 45' 42"	63° 59' 42"	3,3°	25° NE	Tobas y lavas macizas, Fm Lemaire	
V6'	2,3	1,9	0,91-1,48	54° 46' 54"	64° 00' 39"	4°	182° S	idem	
V7	1,45	1,49	0,86-1,13	54° 43' 50"	63° 52' 47"	9°	70° NE	idem	Cuña sedimentaria de rumbo SO-NE
V8	12,2	7,2	0,95-2,4	54° 45' 53"	64° 08' 36"	5,2°	314° NO	Tobas y lavas macizas, Fm Lemaire. Lavas y tobas con intercalaciones sedimentarias, Fm Lemaire.	
V9	2,64	2,11	0,74-1,75	54° 46' 57"	63° 08' 41"	2,4°	348° N	idem	
V10	2,09	2,46	0,73-0,98	54° 46' 54"	64° 10' 32"	5,2°	60° NE	idem	Falla de rumbo SO-NE,
V12	3,66	3,6	0,62-1,56	54° 49' 16"	64° 12' 04"	5,7°	180° S	Tobas y lavas macizas y estratificadas Fm Le maire	
V13	2,6	2,3	0,68-1,34	54° 47' 51"	64° 12' 47"	6,6°	267° O	idem	Plegamiento de rumbo E-O
V14	5,11	4,63	0,55-2,11	54° 47' 17"	64° 14' 23"	10,7°	283° O y 194° S	idem	Falla rumbo N-S
V15	2,04	1,66	1,09-1,38	54° 47' 13"	64° 16' 15"	10,5°	175° S	idem	
V16	4,79	3,08	0,88-2,38	54° 45' 49"	64° 12' 41"	3,6°	297° NO	idem	
V17	8,6	3,86	0,88-3,11	54° 45' 25"	64° 14' 44"	1,9°	120°SE-24°N	idem	Eje pliegue principal E-O, y falla cubierta N-S
V19	11,8	7,49	0,72-3,5	54° 45' 35"	64° 19' 19"	0,6°	57°-353° NE	Tobas y lavas, sedimentitas Fm Lemaire y lutitas de Fm Beauvoir	Eje de pliegue OSO-ENE
V20	3,9	3,02	0,81-2,02	54° 47' 38"	64° 18' 56"	1,7°	65°-147° NE	Tobas y lavas macizas y estratificadas Fm Le maire	
V21	0,84	0,9	0,84-0,95	54° 45' 48"	64° 20' 29"	6°	61°NE	idem	Sigue el rumbo del eje del pliegue principal E-O
V22	3	4,7	0,34-1,15	54° 49' 16"	64° 25' 07"	1,3°	231° SO	idem	
V23	6,5	4,98	0,82-2,06	54° 46' 54"	64° 24' 40"	1°	8°-325° N	idem	
V24	3,15	2,68	1,04-1,48	54° 47' 02"	64° 23' 28"	1,8°	11° N	idem	
V25	2,3	2,91	0,72-1	54° 48' 43"	64° 28' 32"	6,3°	204°-123°	idem	
V26	6,95	5,21	1,05-1,43	54° 49' 02"	64° 32' 27"	0,6°	241° SO	idem	Desarrollada sobre nariz de anticlinal SO-NE
V27	18,1	9,4	1,6-2,4	54° 50' 54"	64° 38' 11"	0,8°	320° NO	Tobas y lavas maciza y con intercalaciones sedimentarias (Fm Lemaire); Lutitas, grauvacas (Fm Beauvoir)	Contacto litológico de rumbo NO-SE
V28	3,63	4,8	0,56-1,07	54° 50' 02"	64° 35' 56"	1,08°	300° NO	Tobas y lavas macizas, Fm Le maire	Falla rumbo E-O
V29	1,84	1,75	0,87-1,16	54° 44' 15"	64° 55' 36"	5,3°	280° O	Tobas y lavas estratificadas, maciza y con intercalaciones sedimentarias (Fm Lemaire)	Contacto litológico de rumbo E-O
V30	8,19	5,17	1,4-2,6	54° 44' 48"	64° 51' 51"		38° NE	Tobas y lavas macizas, sedimentitas (Fm Lemaire)	Eje de pliegue principal y una cuña sedimentaria de igual rumbo
V31	7,56	4,39	1,29-2,28	54° 45' 46"	64° 01' 59"		17° NE	Tobas y lavas macizas (Fm Lemaire)	Falla de rumbo NNE-SSO
V32	5,33	3	1,6-2,2	54° 47' 18"	64° 03' 42"		221°-177° SO	idem	idem
V33	2,78	2,6	1,3-0,79	54° 47' 28"	64° 04' 48"	2,15°	87° E	idem	
V34	9,36	7,4	1,17-1,54	54° 47' 17"	64° 21' 51"		350° N	idem	
V35	14,2	7,65	0,9-2,76	54° 50' 44"	64° 29' 09"	7,7°	325° NO	idem	
V36	3,8	1,83	0,8-1,4	54° 49' 36"	64° 27' 51"	2,6°	242° SO	idem	
V37	6,74	4,16	0,47-2,36	54° 45' 01"	64° 05' 54"		68°-2° NE	Tobas y lavas maciza, y con intercalaciones sedimentarias (Fm Lemaire)	Falla Rumbo SO-NE, contacto entre formaciones con rumbo SO-NE
V38	0,93	1,32	0,63-0,78	54° 45' 38"	64° 05' 13"	9,8°	352° N	Tobas y lavas macizas (Fm Lemaire)	
V39	2,47	2,3	0,42-1,57	54° 49' 22"	64° 07' 18"	2,8°	187° S	idem	
V40	2,28	2,37	0,5-1,6	54° 47' 77"	64° 29' 47"	10,8°	324° NO	idem	En el último tramo adquiere el rumbo de una falla SO-NE
V41	1,66	1,83	0,85-0,97	54° 51' 39"	64° 26' 36"	6,1°	209° SO	idem	

Tabla 2.- Inventario de los valles glaciares cartografiados en Isla de los Estados.

pero asociadas con glaciaciones en tierras bajas (Embleton y King, 1975; Klemsdal, 1982; Syvitski *et al.*, 1987).

En Ponce *et al.* (2009) se presenta una detallada cartografía e inventario de los fiordos existentes en Isla de los Estados, cuyos datos se muestran en la Tabla 3 y en las figuras 3, 4 y 5. El número total de fiordos cartografiados en esta isla es de 18. Las dimensiones son variadas, presentando una longitud promedio de 3,10 km, con un máximo

de 7,10 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 con 8,4 km² de superficie. Como en el caso de los valles, los fiordos más extensos se desarrollan en la costa N 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.

Bahía Crossley y Caleta Lacroix (extremo O de Isla de los Estados, Fig. 1) presentan características geomorfológicas propias de un fjård. Ambos entrantes marinos son someros, ya que Bahía Crossley presenta una profundidad máxima de 20 m y Caleta Lacroix de 50 m. Estas geoforras se desarrollan en un área de relieve relativamente bajo. La altura de las laderas en ambos casos varía 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 ancho máximo y Caleta Lacroix presenta una superficie de 2,5 km², con 2,1 km de largo y 1,6 km de ancho. Estas dimensiones son menores comparadas con las presentadas por los fiordos presentes en la isla.

Puerto Cook (Fig. 6e), Puerto Vancouver y Puerto Año Nuevo están claramente asociados a fallas de rumbo NE-SO y N-S. Puerto Lobo se desarrolla a lo largo de una falla de rumbo N-S. El desarrollo del valle de Puerto San Juan del Salvamento (Fig. 6f) está relacionado a la presencia de una cuña sedimentaria de la roca de base, delimitada por fallas de rumbo SO-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 descriptas en Puerto Parry y Puerto Hoppner, el rumbo N-S de estos fiordos y su extensión hacen pensar en la existencia de algún tipo de falla, similar a la presente en Puerto Lobo, en el centro de la isla. Bahía Capitán Cánepa al oeste, al igual que Bahía Blossom 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 (Fig. 2).

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, llega a un máximo de 6,2 km y a una profundidad extrema de 180 m, como se observa en Bahía Blossom (Fig. 7), ubicada en la costa S de la isla. Las profundidades máximas de la superficie del fondo los fiordos varían entre 188 (Puerto Parry) y 11 m (Caleta Llanos) (Tabla 3).

No se observan importantes variaciones en cuanto los tipos litológicos sobre los cuales se han desarrollado los fiordos. Se trata principalmente de tobas y lavas macizas no estratificadas de la Fm. 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 Fm. Lemaire. Los fjårds Bahía Crossley y Caleta Lacroix se desarrollan casi exclusivamente sobre lutitas de la Fm. Beauvoir (Fig. 2).

Discusión

La presencia de dos regiones morfológicas principales descriptas por Caminos y Nullo (1979) y García (1986) (una de relieve suave y ondulada hacia el O y otra montañosa y escarpada en el sector centro y E) está controlada por el desarrollo de un gran sinclinal el cual cruza la totalidad de la Isla con rumbo general O-E. La intensidad de este plegamiento principal determina las características topográficas de la isla. La región centro-oriental montañosa está asociada a la zona de plegamiento más intenso. En la zona central, en donde las capas del flanco S del sinclinal se encuentran casi en posición vertical (Caminos y Nullo, 1979), se encuentran las mayores alturas de la isla. Hacia el

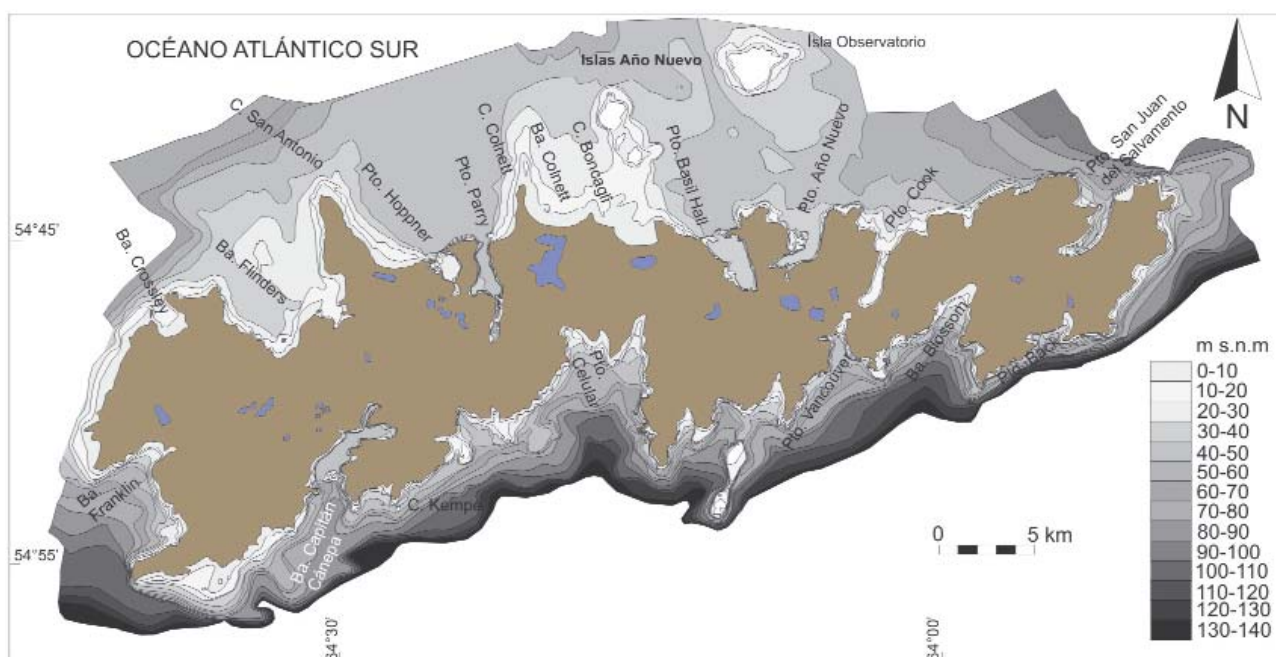


Fig. 7.- Mapa batimétrico de Isla de los Estados.

Fiordo	Nombre	Área (km ²)	Largo (km)	Ancho mínimo-máximo (km)	Latitud	Longitud	Profundidad máxima (m)	Orientación	Litología	Estructura 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 Le maire	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 Le maire	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 Le maire	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 Le maire	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 Le maire	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 Le maire	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 Le maire	No se observa

Tabla 3.- Inventario de los fiordos cartografiados en Isla de los Estados (tomado de Ponce *et al.*, 2009).

extremo E, la presencia de un sinclinal volcado hacia el S limita el desarrollo altitudinal del cordón montañoso, disminuyendo las alturas máximas hacia este sector, por lo cual allí las capas del flanco sur inclinan 45 grados hacia el S (Caminos y Nullo, 1979). La región occidental de topografía ondulada, se vincula con una menor intensidad de plegamiento. En el extremo O de la isla, en donde el relieve es levemente ondulado, el plegamiento desaparece y las capas se presentan en posición horizontal a subhorizontal. A su vez, el hecho que el sinclinal principal se encuentre volcado hacia el S, impone en el sector S de la isla una topografía más abrupta y escarpada que en la costa N en donde la intensidad del mismo disminuye hasta desaparecer en la actual plataforma continental.

A partir del análisis del conjunto de geoformas glaciares erosivas descritas en este trabajo, se observa en general un fuerte control estructural en el desarrollo, ubicación y orientación de las mismas (Fig. 2). En el caso de los valles glaciares y fiordos, la orientación predominante es SO-NE, similar al rumbo del eje del pliegue principal en los sectores E y O de la isla y con uno de los dos juegos de fallas principales. Varios de los valles glaciares y algunos fiordos están asociados también a la presencia de cuñas sedimentarias y contactos entre diferentes litologías. En el caso particular de los fiordos, en la porción O de la isla, el rumbo es claramente SO-NE, en la zona central la dirección se torna N-S y hacia el E adquieren nuevamente una orientación SO-NE. En la zona central, los fiordos estarían aparentemente controlados por la presencia de fallas de rumbo general N-S. Posiblemente este último juego de fallas se encuentre actuando como una divisoria de bloques correspondientes a la estructura plegada principal, generando pequeños pilares tectónicos.

La presencia de un sinclinal volcado con continuidad a lo largo de todo el eje longitudinal de la isla controla a su

vez el tamaño de los fiordos y valles al N y al S de este eje. El sector S, en donde la intensidad del plegamiento es mayor y por lo tanto la pendiente general también lo es, los fiordos y valles glaciares alcanzan un desarrollo longitudinal menor en comparación con aquellos asociados a la costa N, en donde la presencia de pendientes más suaves adyacentes a la plataforma continental permitió un mayor desarrollo longitudinal de estas geoformas.

La exposición de los circos también muestra una marcada correlación con la estructura geológica existente. El 46% de los circos presenta un rumbo NO-SE, coincidente con uno de los dos juegos de fallas transversales existentes en la isla.

Por otro lado, la imposibilidad de establecer, hasta el momento, la presencia de depósitos sedimentarios correspondientes a niveles marinos holocenos elevados a lo largo de las costas de Isla de los Estados estaría indicando un posible descenso tectónico local o quizás aún, regional. El análisis de la altura de la superficie del fondo de los circos muestra que el 26% de éstas presentan una cota igual o menor a 200 m s.n.m. Rabassa *et al.* (2003) mencionan la existencia de un comportamiento tectónico diferencial para la costa S de la Isla Grande de Tierra del Fuego. Estos autores proponen 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 aun 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 sector oriental, ausencia de niveles marinos elevados y presencia de restos de un bosque sumergido en Bahía Sloggett, que se ubican por debajo del nivel del mar actual, apareciendo los troncos de árboles en posición de vida en el ámbito intermareal. Esta situación podría repetirse en Isla

de los Estados, quizás con una magnitud aún mayor, lo que habría favorecido la inundación en gran magnitud de muchos de los valles glaciares con el consecuente desarrollo de los fiordos aquí descriptos.

La formulación de un modelo de formación y desarrollo de glaciares para la Isla de los Estados que explique la disposición espacial de las geoformas en relación a eventos glaciares específicos requiere de un gran número de dataciones absolutas sobre los depósitos sedimentarios glaciogénicos identificados, no disponibles hasta el momento. Sin embargo, es posible plantear un modelo “atemporal”, es decir, sin cronología asociada, para Isla de los Estados. A partir de algunas dataciones radiocarbónicas y de OSL recientemente presentadas en Moller *et al.* (2010) sobre se-

cuencias sedimentarias glaciogénicas en la costa N de Isla de los Estados, se infiere una fuerte actividad glaciar en este archipiélago durante el UMG. Por lo tanto, el modelo glaciar aquí formulado podría ser válido para el último ciclo glaciar (equivalente al estadio Wisconsin o Weichsel, como se explicara anteriormente) (Fig. 8).

De acuerdo con el análisis geomorfológico realizado, muchas de las geoformas glaciares erosivas analizadas en el presente trabajo parecen estar relacionadas a glaciaciones antiguas, probablemente la Gran Glaciación Patagónica (GGP; Pleistoceno temprano, aprox. 1 Ma A.P.) o aun, anteriores, aunque un gran número de dichas geoformas parecen haber sido reocupadas durante los eventos glaciares cuaternarios, sucesivamente más recientes. En todos los

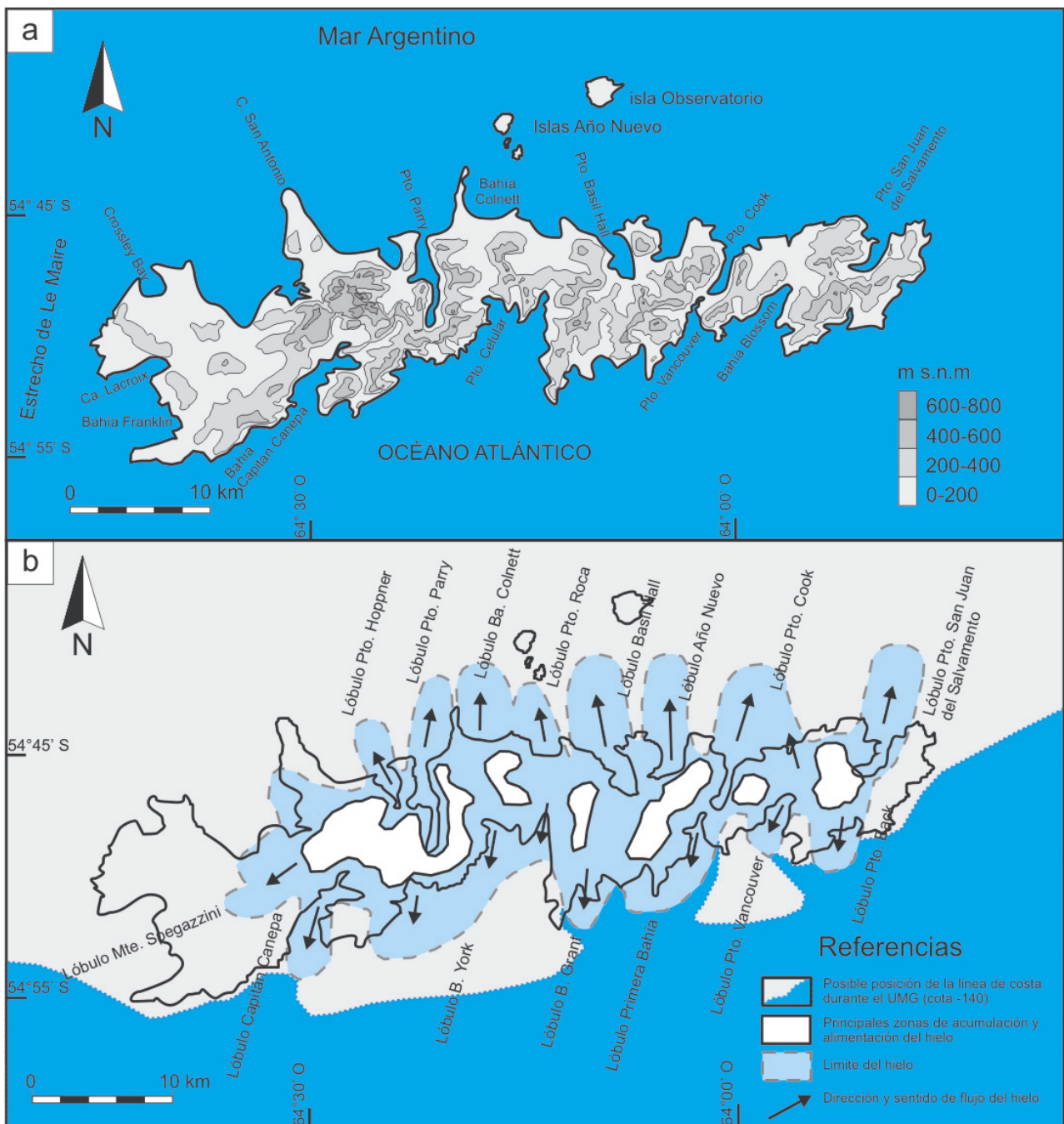


Fig. 8.- Modelo atemporal de desarrollo glaciar para Isla de los Estados con ubicación de los principales lóbulos o lenguas glaciares.

casos, los glaciares que la moldearon habrían tenido un origen local, alimentados por el gran número de circos existentes en la isla y quizás por un casquete de hielo local, desconectado del manto de hielo de montaña de los Andes Fueguinos. Ninguno de estos circos está en la actualidad ocupado por hielo, indicando que la línea de nieves permanentes se encuentra hoy en día por encima de los 800 m s.n.m (altura correspondiente a la máxima elevación presente de la isla), aunque es posible que se encuentre apenas ligeramente por encima de esta cota, dado que existen frecuentes neveros de importante espesor que, si se produjera un descenso, aún muy poco marcado, de la línea de nieves permanentes, podrían transformarse en glaciares en el futuro cercano.

Desde las zonas de alimentación citadas, los lóbulos o "lenguas" de hielo que cubrían gran parte de la isla se encauzaban siguiendo varios ejes principales, entre ellos, 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. El mapa batimétrico de Isla de los Estados (Fig. 7) muestra la continuidad de algunos de estos valles mayores varios metros por debajo del nivel del mar actual, indicando una mínima extensión posible para estos lóbulos glaciares.

Durante los ciclos glaciares e interglaciares tuvieron lugar movimientos glacioeústicos significativos, incluyendo niveles de mar más bajos, durante los períodos glaciares, de al menos varias decenas de metros durante los eventos fríos y más de 100-140 m durante el máximo desarrollo de los eventos glaciares (Rabassa *et al.*, 2005).

Durante el Último Máximo Glaciar (UMG, aprox. 24 ka A.P.; Rabassa, 2008) el nivel del mar se posicionó entre 120 y 140 m por debajo de su nivel actual (Uriarte Cantolla, 2003). La configuración y posición de las costas de Isla de los Estados a lo largo de los diferentes eventos glaciares no habría sufrido variaciones significativas con respecto al UMG (Fig. 8).

Durante los diferentes períodos fríos habrían existido diferencias en el tipo de desarrollo glaciar dominante de las costas N y S de Isla de los Estados.

La costa S se encuentra a una distancia máxima de 4 km de la isobata de 140 m (cota mínima del nivel del mar, estimado para el UMG) y muy cercana al talud continental. El perfil topográfico desde la costa hacia el S, pasando por el talud, muestra un desnivel de 1500 m en tan sólo 13 km de longitud (Fig. 9c). La situación topográfica de la porción S de Isla de los Estados implica que, durante los eventos glaciares conocidos para el sur de Patagonia, la línea de costa no se habría alejado demasiado de su posición actual (Ponce *et al.*, 2009). 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 precipitaciones y vientos muy fríos y constantes desde el sector antártico. Esta situación es representada en la Figura 8, elaborada a partir de un modelo digital de elevación del terreno, para un nivel del mar de 140 m por debajo del nivel actual. Como consecuencia de esta situación climática, los glaciares presentes en este sector habrían te-

nido un mayor desarrollo que en la porción N de la isla, presentando mayor espesor, una línea de nieves permanentes más baja, con una mayor acumulación de nieve en los circos y una mínima fusión en verano, ya que la influencia del mar como moderador climático no permitiría una variación térmica importante durante todo el año. La altura promedio del fondo de los circos desarrollados en la costa S se encuentra 50 m por debajo del valor promedio para la costa N. En el mismo sentido debe destacarse el mayor número total, como así también, la mayor superficie promedio, de los circos ubicados en la costa S. Los glaciares ubicados en este sector habrían estado sometidos a un proceso de ablación de tipo "calving", es decir, por medio de la remoción física de bloques de hielo (témpanos o "icebergs") desde un frente glacial ubicado dentro de un cuerpo de agua profundo (Martini *et al.*, 2001), en este caso, en el propio océano.

La situación topográfica de la costa N es totalmente diferente, dado que ésta limita directamente con la extensa Plataforma Continental Argentina. La línea de costa N durante el UMG, de acuerdo con el modelo digital de elevación del terreno, se encontraba a unos 100 km en línea recta, al norte de su posición actual (Ponce *et al.*, 2009, 2011, Fig. 9).

Durante los diferentes eventos glaciares ocurridos, gran parte de la plataforma submarina habría estado expuesta en reiteradas ocasiones, como consecuencia del importante descenso relativo del nivel del mar, desarrollándose una enorme planicie a lo largo de la costa E de Pampa y Patagonia (Rabassa *et al.*, 2005). De esta manera, el clima en este sector adquirió mayor continentalidad durante los períodos fríos. Rabassa *et al.* (2005) proponen un desplazamiento de la Corriente de Malvinas hacia el E debido a una disminución en la profundidad marina entre Patagonia y Malvinas, como consecuencia de la disminución en el nivel del mar durante los eventos glaciares. Este desplazamiento habría provocado un aumento de la continentalidad climática a lo largo de todo el sector litoral del extremo sur de Sudamérica. Bajo estas condiciones climáticas, los glaciares ubicados en la costa N de la isla habrían alcanzado un menor desarrollo que los del sector S, terminando sobre la porción proximal de una extensa planicie, en un proceso de fusión por simple derretimiento de su sección terminal. Hacia el N, posiblemente la mayoría de los glaciares nunca se haya extendido más allá de 7-8 km al N 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 sobreexcavación glaciar producida por los cuerpos de hielo emergente desde frente montañoso, al producirse un importante cambio de pendiente en sus cauces. Durante los períodos de deglaciación, esta depresión podría haber estado ocupada por un lago proglaciar de aguas de deshielo que recibía la descarga de al menos cinco glaciares principales. Este paleolago habría tenido una profundidad máxima de 100 m y una superficie cercana a los

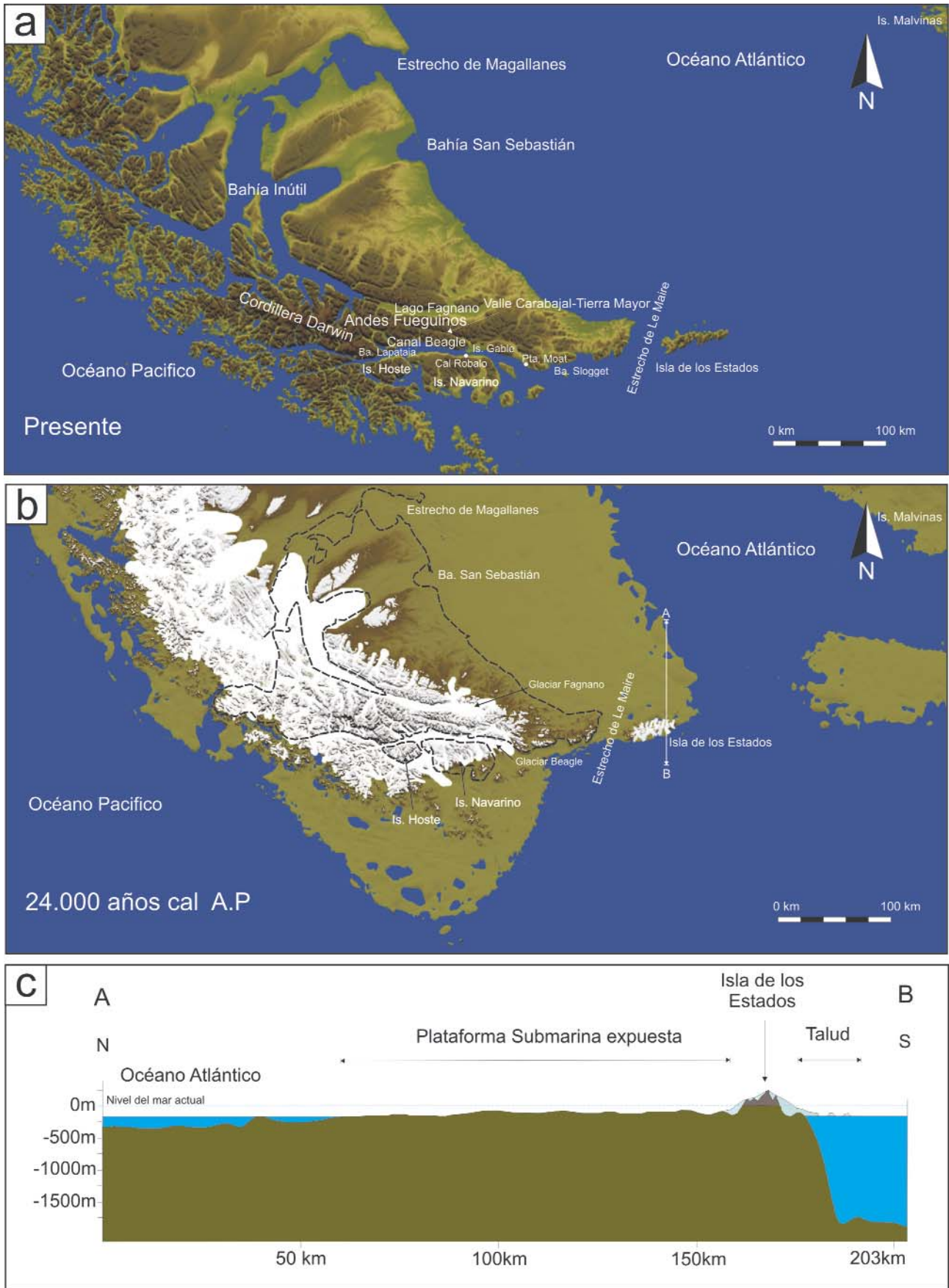


Fig. 9.- a) Situación actual de la Isla Grande de Tierra del Fuego; b) extensión del manto de hielo y lóbulos de descarga durante el UMG en Tierra del Fuego, con un hipotético nivel del mar 140 m por debajo del actual c) perfil topográfico que muestra las situaciones de las costas N y S de Isla de los Estados, durante el UMG.

90 km² (Fig. 10). Lagos proglaciares de menor magnitud, asociados a procesos de exaración, también se habrían desarrollado en los frentes de los lóbulos de Puerto Parry, Puerto Hoppner y Puerto San Juan del Salvamento. Si bien no se cuenta aún con evidencias suficientes provenientes de la actual plataforma submarina para sustentar esta hipótesis, el análisis geomorfológico del fondo marino, y la generación de modelos digitales de elevación a partir de datos batimétricos fortalecen esta idea.

La ausencia de circos asociados a grandes valles glaciares, como es el caso de Puerto Cook y de los valles V6 y V6', indica la posibilidad de acumulación de nieve en forma de mantos de hielo, existiendo zonas de acumulación independientes a los circos. Según lo observado, estos valles carecen de circos asociados o en algunos casos, los circos aparecen desproporcionados en relación con los enormes valles asociados. La altura de las bases de estas superficies de acumulación se encuentra cercana al nivel

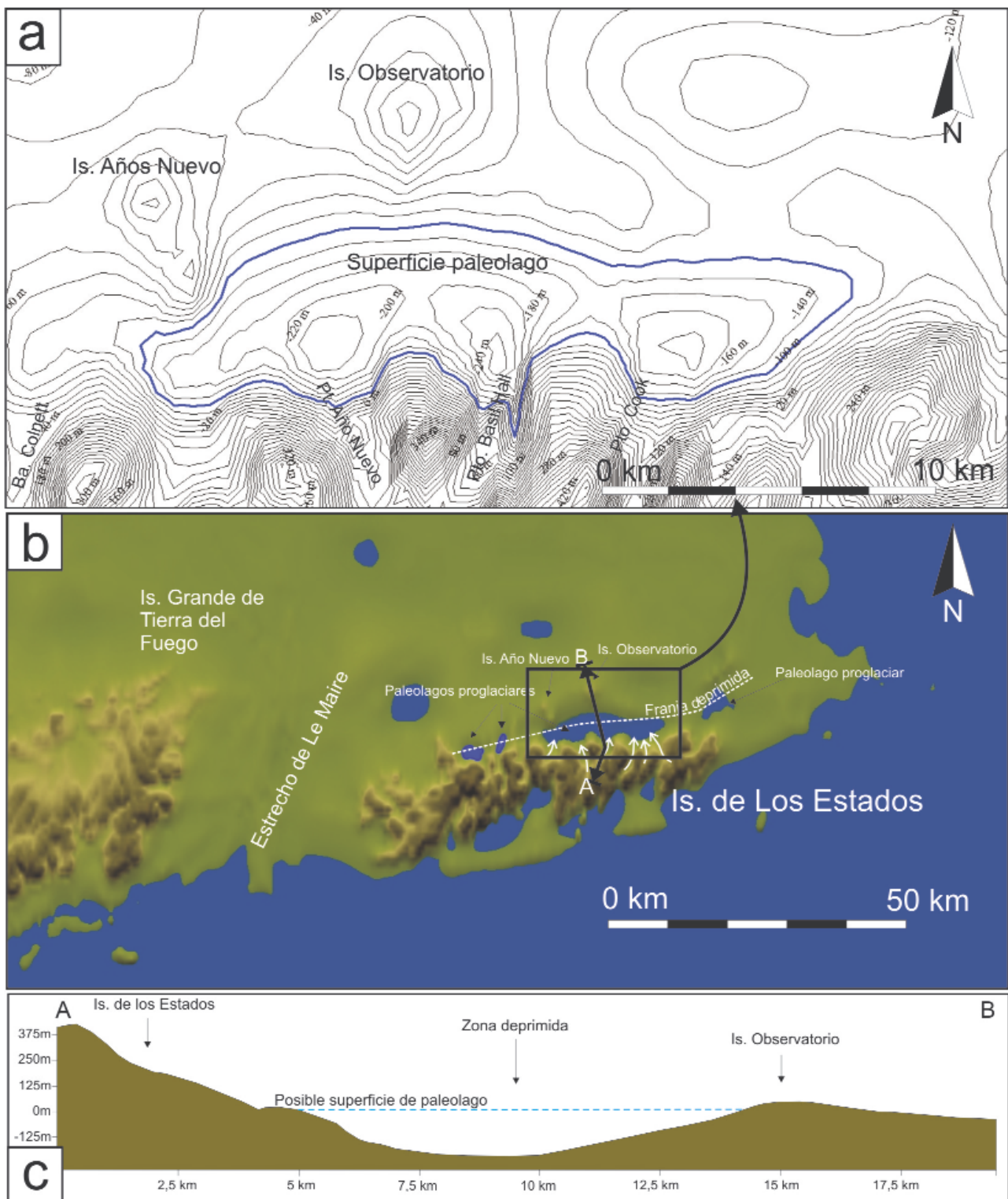


Fig. 10.- a) Depresiones producto de la acción erosiva de los glaciares desarrollados en el sector N de Isla de los Estados; b) posición del nivel del mar durante el UMG; c) perfil topográfico mostrando depresión de Sobreexcavación y posible paleolago.

del mar actual (por ejemplo, Puerto Cook, 70 m s.n.m.). Esta forma de acumulación de nieve estaría demostrando, por lo tanto, que la Isla de los Estados habría estado completamente cubierta por un manto de hielo durante los eventos glaciares acontecidos, al menos en sus fases máximas. A partir del análisis de las superficies de fondo de los circos de la isla, se puede estimar que la línea de nieves permanentes, durante las glaciaciones que afectaron a la isla se ubicó por debajo de los 270 m s.n.m. (altura promedio del fondo de los circos). Una explicación para el elevado grado de dispersión en las alturas de los circos podría ser el hecho que estas geoformas no hayan sido generadas durante una misma glaciación, pudiendo ser el resultado de varios ciclos glaciares de diferentes magnitudes. Rabassa *et al.* (1990) estimaron para el Último Máximo Glacial, en el área de Punta Moat (Canal Beagle) una altura máxima para la línea de nieves permanentes cercana a 100-150 m s.n.m, a juzgar por la posición de morrenas laterales desarrolladas en esa localidad. La ausencia de verdaderas morrenas laterales en Isla de los Estados, estaría indicando que, durante el UMG, la altura de la línea de nieves permanentes se habría ubicado muy cerca o por debajo del nivel del mar actual.

Los glaciares desarrollados en Isla de los Estados habrían presentado un espesor medio cercano a los 300 m en el eje central de flujo (Ponce *et al.*, 2009). Este valor fue estimado sumando el valor medio de las máximas profundidades de los fiordos y la altura media de la ruptura de pendiente de las laderas de los principales valles y fiordos.

La acción de crioclastia durante los episodios menos fríos o interglaciares posteriores a las glaciaciones desarrolladas en Isla de los Estados, habría enmascarado en gran parte las geoformas glaciares originales. Esto estaría indicando la presencia de una actividad periglacial en la isla que habría actuado durante gran parte de los episodios menos fríos o interglaciares posteriores a los eventos glaciares. Estos procesos se observan hoy en día en las zonas elevadas de la porción E de la isla, como lo demuestran los rasgos periglaciares descriptos en San Juan del Salvamento, desarrollados por encima de los 500 m s.n.m., compuestos por alineamientos de piedras y polígonos de piedras (Ljung y Ponce, 2006).

Conclusiones

En términos generales se observa un fuerte control estructural en cuanto a la ubicación, extensión y orientación de las geoformas aquí analizadas, principalmente en valles glaciares y fiordos. Este control estaría impuesto por la geometría del sinclinal principal que recorre la isla con rumbo general SE-NE, por dos juegos de fallas transversales de rumbo NE-SO y NO-SE y finalmente por fallas con rumbo N-S que separarían a la isla en pilares tectónicos. La ausencia de niveles marinos elevados y el desarrollo de circos en cotas bajas en gran número (entre 0 y 200 m s.n.m.) estarían indicando un posible descenso tectónico de naturaleza local, para Isla de los Estados, que podría equipararse al observado para el sector oriental del Canal Beagle (Rabassa *et al.*, 2003).

En base al análisis geomorfológico se confeccionó un modelo de formación y desarrollo glacial atemporal para Isla de los Estados. Este modelo habría consistido básicamente en glaciares de valle, alimentados por circos y pequeños mantos de hielo locales. Varios de estos glaciares excavaron sus valles siguiendo la posición de lineamientos tectónicos, como fallas, pliegues y contactos intraformacionales. En el sector S de la isla los glaciares entraban rápidamente en contacto con el mar, terminando en un proceso de ablación de tipo "calving", es decir, por medio de la remoción física de bloques de hielo o *iserbergs* desde el frente glacial ubicado en contacto con el mar. Los glaciares de la costa N fluían encajonados en profundos valles hasta alcanzar una extensa planicie ubicada al N de las nacientes. Allí terminaban en forma de glaciares de piedemonte, en un proceso de ablación por simple fusión de sus porciones terminales.

La altura de la línea de nieves permanentes, durante las glaciaciones que afectaron a la isla se ubicó por debajo de los 270 m s.n.m. La ausencia de verdaderas morrenas laterales en Isla de los Estados estaría indicando que durante el UMG la altura de la línea de nieves permanentes se ubicó en las cercanías de o por debajo del nivel del mar actual. Este valor se encuentra al menos 150 a 200 m por debajo de la altura de la línea de nieves permanentes estimada para el área de Punta Moat (extremo E del Canal Beagle). Estos datos indicarían que el descenso de la línea de nieves permanentes durante el UMG en Isla de los Estados respecto a la actualidad habría sido entre 800 y 1000 m, equivalente a una disminución de la temperatura media anual en dicha época de alrededor de 7 a 9 °C, que se situaría en -1 a -3 °C, algo mayor a lo que ha sido estimado para la Isla Grande de Tierra del Fuego y Patagonia Austral (véase Heusser, 2003).

Correlacionar el o los episodios generadores de las geoformas descritas en este trabajo con alguno de los eventos glaciares conocidos para la Isla Grande de Tierra del Fuego y el resto de Patagonia, puede ser aún algo aventurado. A pesar de ello, la cartografía detallada de la morfología glacial erosiva de toda la Isla de los Estados ha permitido establecer un modelo de formación y desarrollo glacial, el cual, según las escasas dataciones existentes podría aplicarse también al UMG. Por las características topográficas y batimétricas de la isla, este modelo no habría presentado variaciones significativas a lo largo de la historia glacial del extremo S de Sudamérica.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Dr. Svante Björck (Universidad de Lund, Suecia), director de la Expedición Sueco/Argentina a la Isla de los Estados realizada en el mes de diciembre de 2005 y al resto de los participantes, como así también a la Academia Nacional de Ciencias de Suecia, la Universidad de Lund y la Universidad de Estocolmo por haber apoyado y financiado esta expedición. También desean agradecer a la Dra. Andrea Coronato por las valiosas discusiones planteadas sobre la geomorfología de Isla de los Estados y al Dr. Oscar Martínez por su importante colaboración en las tareas de campo, además de

sus observaciones y comentarios sobre la geomorfología de Isla de los Estados.

Bibliografía

- Andrews, J. (1975): *Glacial systems. An approach to glaciers and their environments*. Duxbury Press, North Scituate, 208.
- 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, Buenos Aires, 52.
- Clapperton, C. (1993): *Quaternary Geology and Geomorphology of South America*. Elsevier, Amsterdam, 779.
- Charlesworth, J. K. (1957): *The Quaternary Era*. Edward Arnold, 1700 p., London.
- Dalziel, I. W. D., Caminos, R., Palmer, K. F., Nullo, F. E. y Casanova, R. (1974): *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.
- Embleton, C. y King, C.A.M. (1975): *Glacial and Periglacial Geomorphology*. Edward Arnold, London, 573..
- Fairbridge, R. (1968): *The Encyclopedia of Geomorphology. Encyclopedia of Earth Sciences Series*, Reinhold Books Corp, Nueva York, 1295.
- Flint, R. (1957): *Glacial and Pleistocene geology*, Wiley and Sons, New York, 553 .
- Flint, R. y Fidalgo, F. (1964): *Glacial Geology of the East Flank of the Argentine Andes between Latitude 39°10' S and Latitude 41°20' S*. Geological Society of America Bulletin 75, 335-352.
- 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 (Inédita), Ushuaia, 53..
- Haynes, V. (1995): *Alpine valley heads on the Antarctic Peninsula*. Boreas, 24: 81-94.
- Heusser, C. J. (1989a): *Late Quaternary vegetation and climate of Tierra del Fuego*. Quaternary Research 31: 396-406.
- Heusser, C. J. (1989b): *Polar perspective of late Quaternary climates in the Southern Hemisphere*. Quaternary Research 32: 60-71.
- Heusser, C. J. (2003): *Ice Age Southern Andes*. En: *A chronicle of paleoecological events* (Rose, J.). *Developments in Quaternary Science*, Elsevier, Amsterdam, 3: 5-10.
- Klemsdal, T. (1982): *Coastal Classification and the Coast of Norway*. *Norsk Geografisk Tidsskrift*, 36, 129-52.
- Ljung K. y Ponce, J. F. (2006): *Periglacial features on Isla de los Estados, Tierra del Fuego, Argentina*. En: *III Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología*. Acta de Trabajos I: 85-90..
- Markgraf, V. (1993): *Palaeoenvironments and paleoclimates in Tierra del Fuego and southernmost Patagonia, South America*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 10:, 53-68.
- Martínez, O. (2002): *Geomorfología y geología de los depósitos glaciares y periglaciares de la región comprendida entre los 43° y 44° lat. Sur y 70° 30' y 72° long. Oeste, Chubut, República Argentina*. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de la Patagonia- San Juan Bosco, Sede Esquel, Comodoro Rivadavia, 327.
- Martini, P., Brookfield, M. E. y Sadura, S. (2001): *Principles of Glacial Geomorphology and Geology*. Prentice Hall, Upper Saddle River, 381.
- Meierding, T. C. (1982): *Late Pleistocene glacial equilibrium-line altitudes in the Colorado Front Range – A comparison of methods*. *Quaternary Research*, 18: 289-310.
- Moller, P., Hjort, C., Björck, S., Rabassa, J. y Ponce, J.F. (2010): *Glaciation history of Isla de los Estados, southeasternmost south America*. *Quaternary Research*, 73, 3: 521-534.
- Ponce, J. F. (2009): *Palinología y geomorfología del Cenozoico tardío de la Isla de los Estados*. Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, 191.
- 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.
- Ponce, J. F., Rabassa, J. y Martínez, O. (2009): *Morfometría y génesis de los fiordos de Isla de los Estados, Tierra del Fuego, Argentina*. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 65, 4: 638-647.
- Ponce, J. F., Rabassa, J., Coronato, A. y Borromei, A. M. (2011): *Palaeogeographical evolution of the Atlantic coast of Pampa and Patagonia from the last glacial maximum to the Middle Holocene*. *Biological Journal of the Linnean Society*, 103: 363-379.
- Porter, S. C. (1975): *Equilibrium-line altitudes of late quaternary glaciers in the Southern Alps, New Zealand*. *Quaternary Research* 5: 27-47.
- Rabassa, J. (2008): *Late Cenozoic glaciations of Patagonia and Tierra del Fuego*. En: *Late Cenozoic of Patagonia and Tierra del Fuego* (Rabassa, J.), *Developments in Quaternary Science*, Elsevier, Amsterdam, 11: 151-204.
- Rabassa, J. y Clapperton, C. (1990): *Quaternary glaciations of the southern Andes*. *Quaternary Science Reviews*, 9: 153-174.
- Rabassa, J., Serrat, D., Martí, C. y Coronato, A. (1990): *El Tardi-glacial en el Canal Beagle, Tierra del Fuego, Argentina y Chile*. En: *XI Congreso Geológico Argentino*, Actas 1, 290-293.
- 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*. En: *II Reunión de Geomorfología Litoral*. Santiago de Compostela, 333-345.
- 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 America Earth Sciences*, 20: 81-103.
- Selby, M. J. (1985): *Earth's Changing Surface*. Oxford University Press, Nueva York, 607.
- Syvitski, J.P.M., Burrell, D.C. y Skei, J.M. (1987): *Fjords: Processes and Products*. Springer, New York, 379.
- Uriarte Cantolla, A. (2003): *Historia del clima de la tierra*. Victoria-Gasteiz: Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, Bilbao, 306.

MANUSCRITO RECIBIDO EL 11 DE ENERO DE 2012.

ACEPTADO EL MANUSCRITO REVISADO EL 29 DE MARZO DE 2012.