

CARACTERÍSTICAS GLACIOLÓGICAS DEL CAMPO DE HIELO PATAGÓNICO SUR

GLACIOLOGICAL FEATURES OF THE SOUTHERN PATAGONIA ICEFIELD

Gino Casassa¹, Andrés Rivera², Masamu Aniya³ & Renji Naruse⁴

RESUMEN

Se presenta una recopilación del inventario y variaciones de los 48 principales glaciares de Campo de Hielo Patagónico Sur, obtenidos por diversos autores mediante una combinación de informaciones históricas, fotos aéreas e imágenes satelitales. La gran mayoría de los glaciares está en retroceso, con unos pocos en situación de equilibrio y avance. El retroceso se explica como una respuesta frente a una clara señal de calentamiento atmosférico y a una aparente disminución de precipitación observada durante el siglo pasado.

Palabras clave: Campo de hielo, Patagonia, glaciares.

ABSTRACT

A review of glacier inventory and variations of 48 major glaciers of the Southern Patagonia Icefield is presented, obtained by several authors based on historical information, aerial photographs and satellite imagery. Most of the glaciers have been retreating, with a few in a state of equilibrium and advance. Glacier retreat is explained as a response to a clear signal of regional atmospheric warming, and an apparent precipitation decrease observed during last century.

Keywords: Icefield, Patagonia, glaciers.

INTRODUCCIÓN

El Campo de Hielo Patagónico Sur (CHPS) se extiende por 350 km entre las latitudes 48°20' S y 51°30' S, a lo largo del meridiano 73°30' W (Fig. 1), con un ancho medio de 35 km, y un ancho mínimo de 8 km (Warren & Sudgen 1993, Casassa *et al.* 1998a). Está constituido por 48 grandes glaciares, y más de un centenar de pequeños glaciares de circo y de valle que desaguan desde la cordillera de los Andes hacia el Pacífico y el Atlántico (Aniya *et al.* 1996). Estos glaciares están unidos en la zona de acumulación por un campo de hielo que es generalmente plano en su sector alto, con una altitud promedio de 1600 m. El área del CHPS es de 13.000 km² (Aniya *et al.* 1996), constituyendo la mayor masa englacada del hemisferio sur después de Antártica (Casassa 1995).

De acuerdo al último tratado limítrofe de diciembre de 1998, el 70~80% del CHPS pertenece

a Chile y el 20~30% restante pertenece a Argentina. En Chile, el CHPS se denomina oficialmente "Campo de Hielo Sur", de modo de diferenciarlo del Campo de Hielo Patagónico Norte de 4200 km² (Aniya & Wakao 1997, Aniya 1999), oficialmente "Campo de Hielo Norte", que se ubica más al norte, en la región de Aisén. En Argentina, el CHPS recibe el nombre de "Hielo Continental", lo que ha sido refutado por algunos autores, debido a que no cubre un continente sino que sólo un pequeño sector de él, optando Lliboutry (1956), Marangunic (1964) y Martinic (1982) por denominarlo "Hielo Patagónico Sur". En este estudio se preferirá el nombre de "Campo de Hielo Patagónico Sur" para mantener por un lado el indicativo regional (Patagonia) y preservar asimismo su apelativo glaciológico de "campo de hielo" debido al área geográfica que cubre. Este nombre coincide con el de "Southern

¹ Área de Geociencias, Instituto de la Patagonia, Universidad de Magallanes, Casilla 113-D, Punta Arenas, Chile.

² Depto. de Geografía, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile, Marcoleta 250, Santiago, Chile

³ Institute of Geoscience, University of Tsukuba, Ibaraki 305-8571, Japón

⁴ Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, Sapporo 060, Japón

Patagonia Icefield" adoptado en la literatura científica de idioma inglés.

El CHPS está ubicado en el eje de los vientos del oeste, (Naruse & Casassa 1985), recibiendo su margen occidental gran cantidad de precipitación líquida y sólida debido a un efecto orográfico, con un promedio estimado de 10 m equivalente en agua en su sector alto (DGA 1987, Casassa & Rivera 1999¹). En el margen oriental, el CHPS recibe una precipitación mucho menor, con valores anuales de pocos cientos de mm de agua en la pampa Argentina (Ibarzabal *et al.* 1996).

La temperatura media anual de los márgenes del CHPS es de aproximadamente 6 °C (Carrasco *et al.* 1998), coexistiendo bosque nativo de *Nothofagus* junto al hielo en la periferia de los frentes de los glaciares. Debido a su alta temperatura, al menos en la zona de ablación y parte de la zona de acumulación (Aristarain & Delmas 1993), los glaciares del CHPS son clásicos glaciares del tipo temperado, o templado, lo que significa que el hielo está al punto de fusión durante todo el año.

La mayor parte de los datos presentados aquí han sido publicados en la literatura especializada en idioma inglés, siendo resumidas en un reciente trabajo de recopilación en ese idioma (Casassa *et al.*, en prensa)². En este trabajo se reseñan los trabajos publicados del inventario de glaciares del CHPS, las variaciones de sus glaciares, mediciones de espesor del hielo y sus variaciones, datos de velocidad del hielo, balance de masa e hidrología glacial.

INVENTARIO DE GLACIARES

A partir de fotos aéreas Trimetrogon de 1944/45 y estudios puntuales de terreno, Lliboutry (1956) indicó las características glaciológicas generales del CHPS, calculando asimismo una superficie total de 13.500 km². El primer inventario parcial y preliminar del CHPS lo realizó Bertone (1960), cubriendo los glaciares de la vertiente argentina. Algunos años más tarde Mercer (1967) publicó un inventario preliminar de la totalidad del CHPS.

A partir de un mosaico de tres imágenes Landsat-TM del 14 de enero de 1986 (Fig. 2), en combinación con la cartografía regular 1:250.000 del Instituto Geográfico Militar de Chile y el análisis estereoscópico de fotos aéreas, Aniya *et al.* (1996) realizaron el inventario completo del CHPS (Tabla

1), identificando los 48 glaciares más relevantes. Las áreas de acumulación y ablación fueron calculadas en base a la posición de la línea de nieves sobre la imagen Landsat, que se consideró coincidente con la línea de equilibrio. En total 12 parámetros de cada glaciar fueron evaluados. Se determinó que sólo 2 de los 48 glaciares no tienen frentes desprendentes, vale decir terminan en tierra.

Debido a la naturaleza de la cartografía preliminar, este inventario contiene ciertas imprecisiones en la extensión de las áreas y en las cotas. Se aprecia en la tabla 1 que el glaciar más grande del CHPS, y por ende de Sudamérica, es el Pío XI, con 1.265 km². Le siguen en tamaño los glaciares Viedma (945 km²), Upsala (902 km²) y O'Higgins (810 km²).

El área total cubierta por hielo y nieve de los 48 glaciares es de 11.259 km², más 228 km² de rocas expuestas en la zona de acumulación, que resulta en 11.487 km². A este valor hay que sumar un área de 1.513 km² de pequeños glaciares de valle y de circo, con lo cual el área total del CHPS alcanza 13.000 km².

VARIACIONES DE GLACIARES

Previo a 1996 sólo existía información de variación de los frentes de algo más de la mitad de los glaciares del CHPS (Warren & Sugden 1993). Junto con el primer inventario completo del CHPS, Aniya *et al.* (1997) determinaron las variaciones areales y frontales de los 48 glaciares, basado en Cartografía Preliminar 1:250.000, fotos aéreas e imágenes satelitales. A los resultados de Aniya *et al.* (1997) se han agregado algunos datos adicionales obtenidos por otros autores, presentándose los resultados en la tabla 2.

Se observa un retroceso generalizado de los glaciares, siendo máximo en el glaciar O'Higgins con una tasa de 1,21 km²/a de pérdida areal, o 484 m/a de pérdida frontal entre 1944/45 y 1985/86. Entre 1896 y 1995 el glaciar O'Higgins retrocedió 14,6 km (Casassa *et al.* 1997a). El máximo avance se detectó en el glaciar Pío XI, de 1,45 km²/a, que se traduce en una distancia de 288 m/a en el mismo período (Mercer 1964, Rivera *et al.* 1997b). El glaciar Perito Moreno, que sufrió oscilaciones frecuentes en ese período, con una ganancia neta de 4,1 km² en 39 años, está actualmente en equilibrio. Algunos autores han relacionado las variaciones de glaciares con un aumento del nivel del mar (Aniya 1999, Meier 1984).

¹ Casassa, G. & A. Rivera 1999. Topographic mass balance model for the Southern Patagonia Icefield. Abstract International Symposium on the Verification of Cryospheric models, Bringing data and modelling scientists together, 16-20 August 1999, Zürich, p. 44.

² Casassa, G., A. Rivera, M. Aniya & R. Naruse. En prensa. Current knowledge of the Southern Patagonia Icefield. In: Sinclair, R., F. Sepúlveda & G. Casassa (eds.), Proceedings Ice Fields Task Force Meeting, Marzo 2000, Valdivia.

TABLA 1. Inventario de glaciares en Campo de Hielo Patagónico Sur. Los glaciares están enumerados de norte a sur, en sentido contrario a los punteros del reloj. Adaptado de Aniya *et al.* (1996).

Glaciar	Latitud (S)	Longitud (W)	Largo (km)	Area Total (km ²)	Orientación	Area Acum. (km ²)	Area Abl. (km ²)	AAR	ELA (m)	Despendiente S/N	Cota Máx. (m)	Cota Min. (m)
1 Jorge Montt	48° 04'	73° 30'	42	464	N	348	116	0,75	950	S	2640	0
2 Ofhidro	48° 25'	73° 51'	26	116	NO	91	25	0,79	1000	S	1655	45
3 Bernardo	48° 37'	73° 56'	51	536	O	444	92	0,83	1300	S	2408	0
4 Témpano	48° 44'	74° 03'	47	332	O	242	90	0,73	900	S	2408	0
5 Occidental	48° 51'	74° 14'	49	244	O	60	184	0,25	950	S	---	<100
6 Greve	48° 58'	73° 55'	51	438	NO-O	292	146	0,67	1000	S	3380	---
7 HPS8	49° 02'	73° 47'	11	38	SE	25	13	0,66	---	S	---	---
8 HPS9	49° 03'	73° 48'	19	55	O	29	26	0,52	---	S	3380	---
9 Pio XI	49° 13'	74° 00'	64	1265	O	1014	251	0,80	---	S	3380	0
10 HPS10	49° 32'	73° 48'	16	61	O	---	---	---	---	S	---	---
11 HPS12	49° 41'	73° 45'	23	204	S-O	164	40	0,80	---	S	2257	0
12 HPS13	49° 43'	73° 40'	19	141	O	---	---	---	---	S	2656	0
13 HPS15	49° 48'	73° 42'	19	174	N-O	164	10	0,94	---	S	2446	0
14 HPS19	50° 00'	73° 55'	26	176	O	157	19	0,89	---	S	---	0
15 Penguin	50° 05'	73° 55'	38	527	NO	507	20	0,96	---	S	3180	0
16 Europa	50° 18'	73° 52'	39	403	O	379	24	0,94	---	S	---	0
17 Guilardi	50° 23'	73° 57'	36	148	O	125	23	0,85	---	S	---	0
18 HPS28	50° 25'	73° 35'	12	63	O	47	16	0,75	---	S	2238	0
19 HPS29	50° 28'	73° 36'	17	82	O	69	13	0,85	1200	S	2950	0
20 HPS31	50° 36'	73° 33'	23	161	SO	141	20	0,88	900	S	2950	0
21 Calvo	50° 41'	73° 21'	13	117	O	114	3	0,97	---	S	---	0
22 HPS34	50° 43'	73° 32'	14	137	NO	122	15	0,89	800	S	---	0
23 Asia*	50° 49'	73° 44'	12	133	O	86	47	0,65	---	S	2179	0
24 Amalia	50° 57'	73° 45'	21	158	O	126	32	0,80	900	S	---	0
25 HPS38	51° 03'	73° 45'	16	62	O	27	35	0,44	---	S	---	---
26 HPS41	51° 18'	73° 34'	17	71	SO	39	32	0,55	---	S	---	---
27 Snowy	51° 22'	73° 34'	9	23	O	11	12	0,48	---	S	---	---
28 Balmaceda	51° 23'	73° 18'	12	63	E	42	21	0,67	650	S	---	---
29 Tyndall	51° 15'	73° 15'	32	331	E	213	118	0,64	900	S	---	50
30 Pingo	51° 02'	73° 21'	11	71	SE	56	15	0,79	---	S	---	200
31 Grey	51° 01'	73° 12'	28	270	SE	167	103	0,62	---	S	---	100
32 Dickson	50° 47'	73° 09'	10	71	SE	42	29	0,59	---	S	---	---
33 Frias	50° 45'	75° 05'	9	48	E	30	18	0,62	---	N	---	---
34 Moreno	50° 30'	73° 00'	30	258	NE	188	70	0,73	1150	S	2950	175
35 Ameghino	50° 25'	73° 10'	21	76	N	32	44	0,42	1000	S	2250	201
36 Mayo	50° 22'	73° 20'	15	45	N-S	28	17	0,62	900	S	2250	200
37 Spegazzini	50° 15'	73° 20'	17	137	E-S	116	21	0,85	---	S	---	175
38 Onelli	50° 07'	73° 25'	13	84	NE-S	52	32	0,62	---	S	2940	175
39 Agassiz	50° 06'	73° 22'	17	50	E	37	13	0,74	---	S	3064	175
40 Upsala	49° 59'	73° 17'	60	902	SE	611	290	0,68	1150	S	3180	175
41 Viedma	49° 31'	73° 01'	71	945	E-S	564	381	0,60	1250	S	---	250
42 Chico	49° 00'	73° 04'	25	243	E	583	49	0,80	---	S	---	285
43 O'Higgins	48° 55'	73° 08'	46	810	N-E-S	701	109	0,87	1300	S	3380	285
44 Bravo**	48° 38'	73° 10'	23	129	E	98	31	0,76	1500	N	3067	300
45 Mellizo Sur	48° 37'	73° 07'	14	37	SE	32	5	0,86	1400	S	3067	300
46 Oriental	48° 27'	73° 01'	17	74	E	56	18	0,75	1150	S	3017	285
47 Pascua	48° 22'	73° 09'	23	88	N	58	30	0,66	950	S	3017	151
48 Lucía	48° 20'	73° 20'	29	200	N	145	55	0,72	1000	S	3067	27
TOTAL				11.259		8.285	2.773	0,75				

* Brujo, para el IGM en carta 1:100.000 "Península Wilcock"

** Conocido localmente como Rivera. Para Lliboutry también se llama Rivera. Bravo, aparece en la carta del IGM 1:50.000 "Mellizo Sur"

TABLA 2. Resumen de variaciones de glaciares desde 1944/45, Campo de Hielo Patagónico Sur. A menos que se indique lo contrario, la información proviene de Aniya *et al.* 1997. Combinado se refiere al promedio de los frentes indicados.

Nº	Nombre	Período	Variación Area (km²)	Media Anual (km²/año)	Tasa de Variación Media Anual de Distancia (m/año)
1	Jorge Montt	44/45-76F	-2,2	-0,07	-35
		75F-79N	-1,1	-0,28	-146
		79N-86J	-0,9	-0,15	-83
	Sector Izquierdo	45-86	-4,2	-0,10	-53
		44/45-76F	-18,8	-0,61	
		76F-79N	-2,8	-0,70	
		79N-86J	-3,8	-0,63	
	Combinado	45-86	-25,4	-0,62	
			-29,6	-0,72	
2	Ofhidro				
	Norte	44/45-76F	-1,6	-0,05	-46
		76F-83?	(-0,07)		
		83?-86J	-0,3	-0,10	-92
	Sur	45-86	-2,0	-0,05	-46
		44/45-76F	-2,4	-0,08	-53
		76F-84D	-0,4	-0,04	-27
		84D-86J	0,1	0,10	67
	Combinado	45-86	-2,7	-0,07	-47
		-4,7	-0,11		
3	Bernardo				
	Noroeste	44/45-76F	-5,9	-0,19	-27
		76F-84D	-0,9	-0,10	-38
		84D-86J	0,3	0,30	113
	Sur	45-86	-6,5	-0,16	-60
		44/45-76F	-0,1	-0,003	-1
		76F-84D	-1,2	-0,13	-46
		84D-86J	0,4	0,40	141
	Combinado	45-86	-0,9	-0,02	-7
Noreste		45-86	App. -11	-0,27	-83
4	Témpano				
	Norte	44/45-76F	-1,5	-0,05	-21
		76F-84D	-0,8	-0,09	-37
		84D-86J	(0,08)		
	Oeste	45-86	-2,2	-0,05	-21
		44/45-76F	-3,7	-0,12	-38
		76F-84D	-4,5	-0,50	-158
		84D-86J	-1,1	-1,10	-347
	Combinado	45-86	-9,3	-0,23	-73
		-11,5	-0,2		
5	Occidental	44/45-76F	-0,3	-0,01	-6
		76F-84M	-1,0	-0,13	-74
		84M-87M	-0,8	-0,27	-154
		45-87	-2,1	-0,05	-29
6	Greve	44/45-76F	-29,4	-0,94	-107
		76F-81?	-1,9	-0,38	-43
		81?-84D	-1,2	-0,30	-34
		84D-86J	-0,1	-0,10	-11
		86J-87M	-0,7	-0,70	-80
	45-87	-33,3	-0,79	-90	
7	HPS8	44/45-76F	-2,0	-0,66	-40

TABLA 2.(Cont.)

Nº	Nombre	Período	Variación Area (km²)	MediaAnual (km²/año)	Tasa de Variación Media Anual de Distancia (m/año)
		76F-79M	-0,1	-0,03	-20
		79M-84M	-0,4	-0,08	-53
		84M-86J	0,1	0,05	33
		45-86	-2,4	-0,06	-40
8	HPS9	76F-79M	-0,1	-0,03	-10
		79M-84M	-0,1	-0,02	-7
		84M-86J	-0,4	-0,20	-67
		76-86	-0,6	-0,06	-20
9	Pío XI	1830-1925 (2)			126
		25-26 (5)			1000
		26-28 (6)			Estable con leve retroceso
		28-45 (3)			-147
	Norte	44/45-76F	14,9	0,48	113
		45-75 (1)			130
		76F-81?	2,1	0,42	99
		75-81 (1)			83
		81-84 (1)			100
		84-93 (1)			89
		81?-86J	1,0	0,20	47
		45-86	18,0	0,44	104
		86-97J (7)	5,06	0,46	86
		93-94 (1)			800
		94-00 (2)			Estable con leve retroceso
	Sur	45-51 (3)			750
		51-69 (3)			142
		69-76 (3)			345
		44/45-76F	42,6	1,37	249
		76-81 (3)			120
		76F-81?	1,7	0,34	62
		81-85 (3)			-300
		81?-86J	-2,8	-0,56	-102
		45-86	41,5	1,01	184
		86-97J (7)	0,60	0,05	
		85-92 (3)			180
		92-93 (3)			400
		93-94 (4)			1000
		94-95 (4)			-800
		95-00 (2)			Estable con leve retroceso
	Combinado		59,9	1,45	
10	HPS10	81?-84M	(-0,0025)		
		84M-86J	(-0,065)		
		81-86	(-0,066)	(-0,0132)	-14
11	HPS12	81?-84M	-0,2	-0,07	-60
		84M-86J	0	0	0
		81-86	-0,2	-0,04	-34
12	HPS13	44/45-84D	0	0	0
13	HPS15	44/45-84M	0	0	0
		84M-86J	0	0	0
		45-86	0	0	0
14	HPS19	81?-86J	-0,3	-0,06	-100

TABLA 2.(Cont.)

Nº	Nombre	Período	Variación Area (km ²)	MediaAnual (km ² /año)	Tasa de Variación Media Anual de Distancia (m/año)
15	Penguin	81?-86J	-0,1	-0,02	-15
16	Europa	44/45-81?	-0,6	-0,02	-14
		81?-86J	-1,0	-0,20	-117
		45-86	-1,6	-0,04	-26
17	Guilardi	44/45-81?	(-0,04)		
		81?-86J	(-0,05)		
		45-86	-0,1	-0,002	-2
18	HPS28	44/45-84D	-0,3	-0,01	-9
		84D-86J	-0,6	-0,60	-514
		45-86	-0,9	-0,02	-17
19	HPS29	44/45-84D	-0,3	-0,01	-6
		84D-86J	-0,1	-0,10	-60
		45-86	-0,4	-0,01	-6
20	HPS31	44/45-70M	-3,3	-0,13	-39
		70M-84D	-0,9	-0,06	-18
		84D-86J	(-0,08)		
		45-86	-4,3	-0,10	-30
	Norte	44/45-70M	0	0	
		70M-86J	-0,4	-0,03	
		45-86	-0,4	-0,01	
	Combinado		-4,7	-0,11	
21	Calvo	44/45-84D	0	0	0
		84D-86J	0	0	0
		45-86	0	0	0
22	HPS34	44/45-84D	-0,1	-0,003	-1
		84D-86J	(-0,04)		
		45-86	-0,2	-0,01	-5
23	Asia	44/45-84M	-0,2	-0,01	-5
		84M-86J	-0,2	-0,10	-48
		45-86	-0,4	-0,01	-5
24	Amalia	44/45-84M	-33,0	-1,18	-405
		84M-84D	(-0,07)		
		84D-86J	-0,3	-0,30	-103
		45-86	-33,4	-0,81	-278
	Sur	44/45-84M	-1,4	-0,04	
25	HPS38	44/45-84M	-0,5	-0,01	-12
		84M-86J	0,2	0,10	120
		45-86	-0,3	-0,01	-12
26	HPS41	44/45-84M	-0,7	-0,02	-8
		84M-86J	0	0	0
		45-86	-0,7	-0,02	-8
27	Snowy	44/45-84M	-0,9	-0,02	-24
		84M-86J	0	0	0
		45-86	-0,9	-0,02	-24
28	Balmaceda	44/45-84M	-6,4	-0,16	-64
		84M-86J	-0,2	-0,10	-40

TABLA 2.(Cont.)

Nº	Nombre	Período	Variación Area (km ²)	MediaAnual (km ² /año)	Tasa de Variación Media Anual de Distancia (m/año)
		45-86	-6,6	-0,16	-64
29	Tyndall	44/45-75M	-9,6	-0,32	-91
		75M-86J	-2,2	-0,20	-57
		45-86	-11,8	-0,29	-83
		86-94F (7)			-200
30	Pingo	44/45-84M	-3,2	-0,08	-34
		84M-86J	0	0	0
		45-86	-3,2	-0,08	-34
31	Grey	44/45-84M	-0,7	-0,02	-4
		84M-86J	-0,3	-0,15	-32
		45-86	-1,0	-0,02	-4
32	Dickson				
	Norte	44/45-70M	-0,8	-0,03	-11
		70M-84D	-1,0	-0,07	-25
		84D-86J	-0,2	-0,20	-73
		45-86	-2,0	-0,05	-18
	Sur	44/45-84D	-3,1	-0,08	-80
		84D-86J	0	0	0
		45-86	-3,1	-0,08	-80
	Combinado		-5,1	-0,12	
33	Frias	84D-86J	0	0	0
34	Moreno	Antes	2,9	0,13	19
		47-70M			
		70M-86J	1,2	0,08	11
		47-86	4,1	0,11	16
		86-97J (7)	-0,53	-0,05	
35	Ameghino	44J-70M	-0,2	-0,01	-9
		70M-84D	-3,8	-0,25	-214
		84D-86J	-0,3	-0,30	-257
		86J-93J	-0,6	-0,09	-77
		45-93	-4,9	-0,10	-86
		86-97J (7)	-0,52	-0,05	-91
36	Mayo				
	Este	70M-84D	-0,1	-0,01	-13
		84D-86J	-0,2	-0,20	-267
		70-86	-0,3	-0,02	-27
	Oeste	70M-84D0,1	0,01	7	
		84D-86J	(0,01)		
		70-86	0,1	0,01	7
	Combinado			-0,01	
37	Spegazzini	70M-86J	0	0	0
38	Onelli	68N-81F	-0,5	-0,04	-32
		81F-86J	-0,2	-0,04	-32
		68-86	-0,7	-0,04	-32
39	Agassiz	68N-81F	-0,1	-0,01	-6
		81F-86J	0	0	0
		68-86	-0,1	-0,01	-6
40	Upsala				
	Principal	44/45-68N	-3,8	-0,16	-44
		68N-81F	-2,1	-0,18	-49

TABLA 2.(Cont.)

Nº	Nombre	Período	Variación Area (km ²)	MediaAnual (km ² /año)	Tasa de Variación Media Anual de Distancia (m/año)
		81F-86J	-6,0	-1,20	-327
		45-86	-11,9	-0,29	-80
		86J-90N	-3,6	-0,72	-196
		90N-93D	-3,3	-1,07	-400
		93A-95J	-3,4	-2,4	-700
		45-95	-22,2	-0,44	-120
		86-97J (7)	-6,48	-0,59	-250
	Lengua Este	68N-86J	-7,0	-0,41	-109
41	Viedma	68A-76F	0	0	0
		76F-81F	-0,1	-0,02	-10
		81F-91F	-0,5	-0,05	-26
		68-91	-0,6	-0,03	-16
		86-97J (7)	-1,34	-0,12	-53
42	Chico	44/45-76F	-1,4	-0,05	-32
		75F-79N	(-0,05)		
		79N-84D	(-0,04)		
		84D-86J	(-0,03)		
		45-86	-1,6	-0,04	-25
43	O'Higgins	1896-1995 (8)			-14600
		44/45-76F	-44,9	-1,45	-580
		76F-79N	-2,4	-0,60	-240
		79N-86J	-2,3	-0,38	-152
		45-86	-49,6	-1,21	-484
		86-95 (8)	-15,3	-1,7	
		86-97J (7)			Posición similar
44	Bravo	44/45-76F	-1,5	-0,05	-35
		76F-79N	0,5	0,25	176
		79N-86J	-0,8	-0,13	-92
		45-86	-1,8	-0,04	-28
45	Mellizo Sur	76F-79N	(0,09)		
		79N-86J	-0,1	-0,02	-27
		76-86	(-0,04)	(-0,004)	-5
46	Oriental	44/45-76F	-0,5	-0,02	-12
		76F-79N	0	0	0
		79N-86J	-0,2	-0,03	-18
		45-86	-0,7	-0,02	-12
47	Pascua	44/45-76F	-4,5	-0,15	-86
		76F-79N	0	0	0
		79N-86J	-0,3	-0,05	-29
		45-86	-4,8	-0,12	-69
48	Lucía	44/45-76F	-6,2	-0,20	-114
		76F-79N	-0,5	-0,13	-74
		79N-86J	-0,7	-0,12	-69
		45-86	-18,4	-0,18	-103

FUENTES:

Warren *et al.* 1997, Rivera *et al.* (en prensa)³, Rivera *et al.* 1997a, Rivera *et al.* 1997b, Agostini 1945, Rivera 1992, Aniya *et al.* 1999, Casassa *et al.* 1997a.

³ Rivera, A., G. Casassa, C. Acuña & H. Lange (En Prensa). Variaciones recientes de glaciares en Chile. *Revista Geográfica de Chile*.

ESPESOR DE HIELO Y SUS VARIACIONES

Las primeras mediciones publicadas de espesor de hielo en CHPS fueron realizadas en la zona de ablación del glaciar Tyndall en 1990 por Casassa (1992), detectando un espesor de 650 m mediante un equipo de radio eco sondaje de 2,5 MHz. En 1993, mediante un sistema digital de radio eco sondaje, Casassa & Rivera (1998b) midieron en el mismo sector del glaciar Tyndall valores de espesor levemente inferiores a los datos de 1990, concluyendo que la disminución se debía al adelgazamiento producido en el período 1990-1993.

En 1995 y 1996, Casassa *et al.* (1997b)⁴ realizaron mediciones puntuales de espesor mediante radar cerca del frente del glaciar Grey. En 1997 Rivera & Casassa (2000) realizaron en el Paso de los Cuatro Glaciares mediciones de espesor mediante un sistema de radar de perfilaje continuo, impulsado

por un mototobogán, midiendo espesores en exceso de 750 m, el máximo rango de detección del radar utilizado. Rott *et al.* (1998) efectuaron mediciones sísmicas de reflexión mediante la detonación de cargas explosivas en una transecta del área de ablación del glaciar Perito Moreno. Finalmente, en 1999 y 2000, un grupo de la Universidad de Washington efectuó mediciones de espesor en la zona de ablación del glaciar Tyndall mediante un equipo de radar (Raymond, com. pers.).

En cuanto a variaciones de espesor, existen una serie de mediciones en las zonas de ablación de varios glaciares del CHPS, obtenidas a partir de mediciones topográficas en terreno y comparación de cartografía de distintas épocas. Los resultados indican que predomina un adelgazamiento regional, con un glaciar sin variaciones (glaciar Moreno), y un glaciar con engrosamiento (Pío XI). Los resultados se muestran en la tabla 3.

TABLA 3. Cambios de espesor en glaciares del Campo de Hielo Patagónico Sur

NOMBRE DEL GLACIAR	TASAS (m a ⁻¹) ADELGAZAMIENTO (-) ENGROSAMIENTO (+)	PERÍODO DE MEDICIÓN	FUENTE REFERENCIA
O'Higgins	-3,2	1914 – 1933	Casassa <i>et al.</i> 1997a
	-6,7	1933 – 1960	Casassa <i>et al.</i> 1997a
	-2,5 a -11	1975 – 1995	Casassa <i>et al.</i> 1997a
Pío XI	+2,2	1975 – 1995	Rivera & Casassa 1999
Upsala	-3,6	1968 – 1990	Aniya <i>et al.</i> 1997
	9,5 a -14	1991 – 1993	Naruse <i>et al.</i> 1995a, Skvarca <i>et al.</i> 1995, Naruse <i>et al.</i> 1997
Ameghino	-2,3	1949 – 1993	Aniya 1999
Perito Moreno	sin cambios	1991 – 1993	Skvarca & Naruse 1997, Naruse <i>et al.</i> 1995b
Dickson	-2,5 a -8,1	1975 – 1998	Rivera <i>et al.</i> (en prensa) ³
Grey	-2,3	1975 – 1995	Casassa <i>et al.</i> 1997b ⁴
Tyndall	-2,0	1945 – 1993	Aniya <i>et al.</i> 1997
	-1,7	1975 – 1985	Kadota <i>et al.</i> 1992
	-4,0	1985 – 1990	Kadota <i>et al.</i> 1992
	-3,1	1990 – 1993	Nishida <i>et al.</i> 1995

VELOCIDAD DEL HIELO

La mayoría de las mediciones de velocidad del hielo en CHPS han sido realizadas en la zona de ablación de los glaciares. Se han aplicado tradicionalmente métodos terrestres de levantamiento topográfico mediante teodolito. Recientemente se han utilizado técnicas interferométricas de interpretación de imágenes

satelitales de radar para calcular velocidades (Rott *et al.* 1998, Michel & Rignot 1999, Forster *et al.* 1999).

Las velocidades más altas se han detectado en el frente desprendente del glaciar Pío XI con un valor máximo de 50 m/d y una velocidad media de 20 m/d (Rivera *et al.* 1997b). Los datos de velocidad se presentan en la tabla 4.

⁴ Casassa, G., A. Rivera, H. Lange & R. Carvallo 1997b. Retreat of Grey glacier: a response to regional warming in Patagonia. Abstracts 1997 Joint Assemblies of IAMAS & IAPSO, Melbourne, 1-9 July, 1997, JMPH18-11.

TABLA 4. Velocidades de glaciares en Campo de Hielo Patagónico Sur.

NOMBRE GLACIAR	VELOCIDADES m/d	PERÍODO DE MEDICIÓN	MÉTODO DE MEDICIÓN	FUENTE
Upsala	4,44	21- 29 noviembre, 1993	Teodolito	Skvarca <i>et al.</i> 1995
	3,7	14 -18 noviembre, 1990	Teodolito	Naruse <i>et al.</i> 1992
Perito Moreno	1,1 a 2,19	9 -10 octubre, 1994	Interferometría	Michel & Rignot 1999
	2,1 a 5	14 -18 noviembre, 1990	Teodolito	Naruse <i>et al.</i> 1992
	0,5 a 3,5	Octubre, 1994	Interferometría	Rott <i>et al.</i> 1998
	2,64	Noviembre, 1993 a	Teodolito	Skvarca & Naruse 1997
		Diciembre, 1994		
Tyndall	0,1 a 1,9	30 de noviembre 1985 a	Teodolito	Naruse <i>et al.</i> 1987
		3 de diciembre 1985		
	0,07 a 0,51	7 -15 diciembre, 1990	Teodolito	Kadota <i>et al.</i> 1992
	0,065 a 0,61	9 -18 diciembre, 1993	Teodolito	Nishida <i>et al.</i> 1995
Penguin	0,9 a 2,2	Octubre, 1994	Interferometría	Forster <i>et al.</i> 1999
Pío XI	1 a 50	14 -17 noviembre, 1995	Teodolito	Rivera <i>et al.</i> 1997b

BALANCE DE MASA

Existen escasos datos de terreno de ablación y acumulación del CHPS. La información de ablación en las zonas bajas de los glaciares ha sido obtenida por medio de medición de balizas instaladas en el hielo, a lo largo de un período de pocas semanas a unos pocos meses, en el glaciar Tyndall (Takeuchi *et al.* 1995, Koizumi & Naruse, 1992), glaciar Moreno (Skvarca & Naruse 1997) y glaciar Pío XI (Casassa & Rivera 1999)¹. A la fecha sólo se dispone de una medición de ablación anual en el glaciar Moreno, con un valor de 10 m/año (Skvarca & Naruse 1997), valor que se considera representativo de la zona baja del CHPS en su lado oriental, dado que coincide aproximadamente con una estimación basada en el método de grado-día (Takeuchi *et al.* 1995).

En cuanto a acumulación, sólo se dispone de datos de acumulación anual en el glaciar Chico, medidos con una torre de acumulación de 12 m de alto (Casassa & Rivera 1999)¹. También se dispone de datos de acumulación a partir de pozos glaciológicos y medición de altura de nieve en balizas a lo largo de un período de varias semanas en algunos lugares específicos del CHPS (Casassa & Rivera 1999)¹.

Con respecto a testigos de neviza, solamente dos testigos someros han sido recuperados del CHPS. El primer testigo fue extraído de la divisoria de hielo del glaciar Moreno, de 13,2 m de largo

(Aristarain & Delmas 1993), con una acumulación anual de 1,2 m/año equivalente en agua (eq. agua). El otro testigo corresponde a la divisoria del glaciar Tyndall, con 45,97 m de largo y una precipitación estimada de 10 m/año eq. agua (Godoi *et al.* En prensa)⁵. A partir de imágenes de radar del transbordador espacial, Forster *et al.* (1996) estudiaron las características superficiales del CHPS, pero sin definir tasas de acumulación.

A partir de los escasos datos de ablación y acumulación recolectados en terreno, Casassa & Rivera (1999)¹ construyeron un modelo topográfico digital con una resolución de 1 km para todo el CHPS, que resulta en una ablación anual de 23,8 km³ a⁻¹ sobre una superficie de ablación de 4.097 km² y una precipitación anual de 58,4 km³ a⁻¹ sobre un área de acumulación de 8.698 km². Si se asume una condición de equilibrio, resulta un valor residual de 34,6 km³ a⁻¹, volumen que debiera desprenderse en forma de témpanos a lagos y fiordos.

En cuanto a modelos teóricos, Hulton & Sugden (1995) modelaron el balance de masa del CHPS, tanto en el pasado (Pleistoceno) como en el presente. Con respecto al método hidrometeorológico, existe un estudio de la cuenca del río Serrano y sus glaciares, con valores de acumulación y ablación a diferentes rangos de cotas (Marangunic 1964)⁶. Escobar *et al.* (1992) realizaron un balance hídrico del CHPS basado en datos de la Dirección General de Aguas (DGA 1987). Peña & Escobar (1987) describieron las

⁵ Godoi, M.A., T. Shiraiwa, S. Kohshima & K. Kubota. Firn-core drilling operation at Tyndall glacier, Southern Patagonia Icefield. En prensa. Actas Icefields Task Force Meeting, Valdivia, Marzo 2000.

⁶ Marangunic, C. 1964. *Observaciones glaciológicas y geológicas en la zona del Paso de los Cuatro Glaciares, Hielo Patagónico Sur*. Tesis para optar al título de Geólogo, U. de Chile, Santiago. 125 pp.

características de la hidrología glacial en CHPS.

CRECIDAS GLACIALES

Varios casos de crecidas glaciales, conocidas como "jökulhlaup" han ocurrido en el CHPS. Un caso conocido son los jökulhlaup asociados al vaciamiento súbito de un lago proglacial del glaciar Dickson, observado en 1982 y luego en 1987. La crecida de 1982 fue descrita y modelada por Peña & Escobar (1985)⁷. Ambas crecidas afectaron todo el sistema hídrico aguas abajo del glaciar Dickson. Debido al gran retroceso experimentado por el glaciar Dickson, el lago proglacial está ahora comunicado con el lago Dickson, por lo que no se espera la ocurrencia de jökulhlaup en el futuro próximo.

Sin duda el caso más espectacular de jökulhlaup en CHPS corresponde al glaciar Moreno, donde han ocurrido varias crecidas catastróficas durante el siglo pasado (Nichols & Miller 1952, Mercer 1968, Liss 1970). Las crecidas ocurren por el avance del glaciar Moreno, que al chocar con la península Magallanes actúa como una presa que embalsa el brazo sur del lago Argentino, o brazo Rico, subiendo el nivel de este último en más de 10 m, tal como lo evidencian antiguas líneas de costa en la periferia del lago. El último jökulhlaup ocurrió a mediados de la década de 1980. Desde entonces el glaciar Moreno no ha avanzado sobre la península Magallanes, a pesar que no hay ninguna señal que el glaciar Moreno esté sufriendo adelgazamiento (Skvarca & Naruse 1997, Naruse *et al.* 1995b).

CAMBIOS CLIMÁTICOS

Series históricas de temperatura del aire en ambas vertientes del CHPS han sido analizadas por Rosenblüth *et al.* (1995) y Rosenblüth *et al.* (1997), detectando una tasa de calentamiento de 1,3 a 2,0 °C/100 años en el período 1933-1992. Este calentamiento se ha prácticamente duplicado en las últimas tres décadas en algunas estaciones (Rosenblüth *et al.* 1997). Estudios climáticos del sector oriental del CHPS indican que el calentamiento también predomina en la Patagonia Argentina (Ibarzabal *et al.* 1996). Peña & Gutiérrez (1992) estudiaron las variaciones estacionales de la precipitación y temperatura en las estaciones alrededor del CHPS.

En cuanto a precipitación, los datos sugieren una disminución importante en algunas estaciones

de la Patagonia Chilena y Argentina, del orden de 25% durante el último siglo (Rosenblüth *et al.* 1997, Ibarzabal *et al.* 1996), aunque otras estaciones no indican mayor cambio (Santana 1984).

El análisis climático sugiere que el retroceso generalizado de glaciares del CHPS se debe a un aumento regional de la temperatura del aire, unido probablemente a una disminución de precipitación en la zona.

CONCLUSIONES

Los antecedentes glaciológicos recolectados en terreno, complementados por fotografías aéreas e imágenes satelitales, particularmente por científicos japoneses, han permitido obtener un inventario general de glaciares del CHPS y sus variaciones desde 1945 a la fecha, que muestran un retroceso generalizado del hielo. En algunos casos puntuales donde existen antecedentes históricos precisos estas variaciones han podido extenderse hasta fines del siglo XIX. El retroceso es probablemente causado por un aumento de la temperatura observado en la región, unido a una aparente disminución de la precipitación. El avance de algunos glaciares tales como el Pío XI, y en menor medida el Perito Moreno, puede deberse a fenómenos locales de topografía, dinámica glacial, o respuesta no lineal de glaciares desprendentes frente a cambios climáticos (Warren & Rivera 1994).

La aplicación de modernas técnicas de terreno y mediciones satelitales han permitido recabar importante información glaciológica de algunos sectores del CHPS, tal como velocidad, espesor y acumulación/ablación del hielo. Sin embargo, la falta de una distribución espacial de dicha información glaciológica, unido a la carencia de cartografía regular a escala 1:50.000, impiden aún una caracterización detallada del CHPS, en particular de su planicie interior.

AGRADECIMIENTOS

Parte del trabajo fue financiado por el proyecto Fondecyt 1980293 y a través del Grant in Aid for International Scientific Research Program by the Japanese Ministry Education, Science and Culture (1990: N°. 02041004 y 1993: N°. 05041049). César Acuña dibujó las figuras y mapas. María Angélica Godoi confeccionó las tablas y realizó importantes sugerencias. Los valiosos comentarios de don Mateo Martinic y de un árbitro anónimo contribuyeron a este trabajo.

⁷ Peña, H. & F. Escobar 1985. *Análisis de las crecidas del río Paine, XII Región*. Publicación Interna E.H. N. 83/7. Dirección General de Aguas, Departamento de Hidrología, 78 pp.

LITERATURA CITADA

- Agostini, A. 1945. *Andes Patagónicos. Viajes de Exploración a la Cordillera Patagónica Austral*. 2 ed. Guillermo Kraft, Buenos Aires. 445 pp.
- Aniya, M., H. Sato, R. Naruse, P. Skvarca & G. Casassa 1996. The use of satellite and airborne imagery to inventory outlet glaciers of the Southern Patagonia Icefield, South America. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 62: 1361-1369.
- Aniya, M. and Y. Wakao 1997. Glacier variations of Hielo Patagónico Norte, Chile, between 1944/45 and 1995/96. *Bulletin of Glacier Research*. 15: 11-18.
- Aniya, M., H. Sato, R. Naruse, P. Skvarca & G. Casassa 1997. Recent variations in the Southern Patagonia Icefield, South America. *Arctic and Alpine Research*. 29(1): 1-12.
- Aniya, M. 1999. Recent glacier variations of the Hielos Patagónicos, South America, and their contribution to sea-level change. *Arctic and Alpine Research*. 31(2): 165-173.
- Aniya, M., R. Naruse, G. Casassa & A. Rivera 1999. Variations of patagonian glaciers, South America, utilizing RADARSAT images. Proceedings of the International Symposium on RADARSAT Application Development and Research Opportunity (ADRO), Montreal, Canada, October 13-15, 1998. CD-ROM.
- Aristarain, A. & R. Delmas 1993. Firn-core study from the southern Patagonia ice cap, South America. *Journal of Glaciology*. 39(132): 249-254.
- Bertone, M. 1960. Inventario de los glaciares existentes en la vertiente Argentina entre los paralelos 47°30' y 51° S. Pub. N° 3, Inst. Nac. del Hielo Cont. Patag., Buenos Aires. 103 pp.
- Carrasco, J., G. Casassa & A. Rivera. 1998. Climatología actual del Campo de Hielo Sur y posibles cambios por el incremento del efecto invernadero. *Anales Instituto Patagonia*, Serie Cs. Nat. (Chile) 26:119-128.
- Casassa, G. 1992. Radio-echo sounding of Tyndall Glacier, Southern Patagonia. *Bulletin of Glacier Research* 10, 69-74.
- Casassa, G. 1995. Glacier Inventory in Chile: Current status and recent glacier variations. *Annals of Glaciology*. 21: 317-322.
- Casassa, G., H. Brecher, A. Rivera & M. Aniya 1997a. A century-long record of glacier O'Higgins, Patagonia. *Annals of Glaciology*. 24:106-110.
- Casassa, G., L. Espizúa, B. Francou, P. Ribstein, A. Ames & J. Alean 1998a. Glaciers in South America. In: *Into the second century of World Wide glaciers Monitoring: Prospects and Strategies*. Haeberli, Hoelze & Suter (Eds.) World Glacier Monitoring Service. Studies and Reports in Hydrology, Zürich. 56:125-146.
- Casassa, G. & A. Rivera 1998b. Digital radio-echo sounding at Tyndall glacier, Patagonia. *Anales Instituto Patagonia*, Serie Cs. Nat. (Chile) 26:129-135.
- Dirección General de Aguas. 1987. *Balance Hídrico de Chile*. Ministerio de Obras Públicas, Santiago, Chile. 59 pp.
- Escobar, F., F. Vidal & C. Garín 1992. Water balance in the Patagonia icefield. Glaciological Researches in Patagonia, 1990, Japanese Society of Snow and Ice, 109-119.
- Forster, R., B. Isacks. & D. Das 1996. Shuttle imaging radar (SIR-C/X-SAR) reveals near-surface properties of the south Patagonian ice-field. *Journal of Geophysical Research*. 101(E10): 23169-23180.
- Forster, R., E. Rignot, B. Isacks & K. Jezek 1999. Interferometric radar observations of glaciares Europa and Penguin, Hielo Patagónico Sur, Chile. *Journal of Glaciology*. 45(150): 325-337.
- Hulton, R. & D. Sugden 1995. Modelling mass balance on former maritime ice caps: a patagonian example. *Annals of Glaciology*. 21: 304-310.
- Ibarzabal, T., T. Donángelo, J. Hoffmann & R. Naruse 1996. Recent climate changes in southern Patagonia. *Bulletin of Glacier Research*. 14: 29-36.
- Kadota, T., R. Naruse, P. Skvarca & M. Aniya 1992. Ice flow and surface lowering of Tyndall Glacier, Southern Patagonia. *Bulletin of Glacier Research*. 10: 63-68.
- Koizumi, K. & R. Naruse. 1992. Measurements of meteorological conditions and ablation at Tyndall Glacier, Southern Patagonia, in December 1990. *Bulletin of Glacier Research* (Japanese Society of Snow and Ice) 10: 79-82.

- Liss, C.C. 1970. Der Moreno gletscher in der Patagonischen Kordillere. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*. Band 6, H.1-2: 161-180.
- Lliboutry, L. 1956. *Nieves y Glaciares de Chile. Fundamentos de Glaciología*. Ediciones de la Universidad de Chile, Santiago. 471 pp.
- Martinic, M. 1982. *Hielo Patagónico Sur*. Ediciones Instituto de la Patagonia, Punta Arenas. 119 pp.
- Martinic, M. 1999. *Cartografía Magallánica 1523-1945*. Ediciones de la Universidad de Magallanes, Punta Arenas. 345 pp.
- Meier, M. 1984. Contribution of small glaciers to global sea level. *Science*. 226: 1418-1420.
- Mercer, J.H. 1964. Advance of a patagonian glacier. *Journal of Glaciology*, 5, 267-268.
- Mercer, J.H. 1967. *Southern Hemisphere Glacier Atlas*. U.S. Army, Natick Laboratories, Technical report 67-76-ES, Mass., 325 p.
- Mercer, J.H. 1968. Variations of some Patagonian glaciers since the Late-Glacial. *American Journal of Science*. 266:91-109.
- Michel, R. & E. Rignot 1999. Flow of Glaciar Moreno, Argentina, from repeat-pass Shuttle Imaging Radar Images: comparison of the phase correlation method with radar interferometry. *Journal of Glaciology*. 45(149), 93-100.
- Naruse, R. & G. Casassa. 1985. Reconnaissance survey of some glaciers in the Southern Patagonia Icefield. In: C. Nakajima (ed.), *Glaciological Studies in Patagonia Northern Icefield, 1983-84*. Data Center for Glacier Research, Japanese Society of Snow and Ice, 121-133.
- Naruse, R. & M. Aniya 1992. Outline of Glacier Research Project in Patagonia, 1990. *Bulletin of Glacier Research*, 10: 31-38.
- Naruse, R., H. Peña, M. Aniya & J. Inoue 1987. Flow and surface structure of Tyndall glacier, Southern Patagonia Icefield. *Bulletin of Glacier Research*. 4: 133-140.
- Naruse, R., P. Skvarca, T. Kadota & K. Koizumi 1992. Flow of Upsala and Moreno glaciers, Southern Patagonia. *Bulletin of Glacier Research*. 10: 55-62.
- Naruse, R., M. Aniya, P. Skvarca and G. Casassa 1995a. Recent variations of calving glaciers in Patagonia, South America, revealed by ground surveys, satellite-data analyses and numerical experiments. *Annals of Glaciology*. 21: 297-303.
- Naruse, R., P. Skvarca, K. Satow, Y. Takeuchi & K. Nishida. 1995b. Thickness change and short-term flow variation of Moreno glacier, Patagonia. *Bulletin of Glacier Research*. 13: 21-28.
- Naruse, R., P. Skvarca & Y. Takeuchi 1997. Thinning and retreat of Glaciar Upsala, and an estimate of annual ablation changes in Southern Patagonia. *Annals of Glaciology*. 24: 38-42.
- Nichols, N.L. & M.M. Miller 1952. Advancing glaciers and nearby simultaneously retreating glaciers. *Journal of Glaciology*. 2(11): 41-50.
- Nishida, K., K. Satow, M. Aniya, G. Casassa & T. Kadota 1995. Thickness change and flow of Tyndall Glacier, Patagonia. *Bulletin of Glacier Research*. 13: 29-34.
- Peña, H. & F. Escobar 1987. Aspects of glacial hydrology in Patagonia. *Bulletin of Glacier Research*, 4, 141-150.
- Peña H. & R. Gutiérrez 1992. Statistical analysis of precipitation and air temperature in the Southern Patagonia Icefield. *Glaciological Researches in Patagonia, 1990*, Japanese Society of Snow and Ice, 95-107.
- Rivera, A. 1992. El Glaciar Pío XI: avances y retrocesos, el impacto sobre su entorno durante el presente siglo. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*. 36: 33 - 62.
- Rivera, A., J. Aravena & G. Casassa 1997a. Recent fluctuations of Glaciar Pío XI, Patagonia: discussion of a glacial surge hypothesis. *Mountain Research and Development*. 17(4): 309-322.
- Rivera, A., H. Lange, J. Aravena & G. Casassa 1997b. The 20th century advance of glaciar Pío XI, Southern Patagonia Icefield. *Annals of Glaciology*. 24: 66-71.
- Rivera, A. & G. Casassa 1999. Volume changes of Pío XI glacier:1975-1995. *Global Planetary Change*. 22(1-4):233-244.
- Rivera, A. & G. Casassa 2000. Variaciones recientes del Glaciar Chico, Campo de Hielo Sur. Acta IX Congreso Geológico Chileno, P. Varas, 31 Julio-4 Agosto 2000:244-248.
- Rott, H., M. Stuefer, A. Siegel, P. Skvarca. & A. Eckstaller 1998. Mass fluxes and

- dynamics of Moreno Glacier, Southern Patagonia Icefield. *Geophysical Research Letters*. 25(9): 1407-1410.
- Rosenblüth, B., G. Casassa & H. Fuenzalida 1995. Recent climate changes in western Patagonia. *Bulletin of Glacier Research*. 13: 127-132.
- Rosenblüth, B., H. Fuenzalida & P. Aceituno 1997. Recent temperature variations in southern South America. *International Journal of Climatology*. 17: 67-85.
- Santana, A. 1984. Variación de las precipitaciones de 97 años en Punta Arenas como índice de posibles cambios climáticos. *Anales Instituto Patagonia*, Serie Cs. Nat. (Chile) 15:51-60.
- Skvarca, P., K. Satow, R. Naruse & J. Leiva 1995. Recent thinning, retreat and flow of Upsala Glacier, Patagonia. *Bulletin of Glacier Research*. 13: 11-20.
- Skvarca, P. & R. Naruse 1997. Dynamic behavior of glacier Perito Moreno, southern Patagonia. *Annals of Glaciology*. 24: 268-271.
- Takeuchi, Y, R. Naruse & K. Satow. 1995. Characteristics of heat balance and ablation on Moreno and Tyndall glaciers, Patagonia, in the summer 1993/94. *Bulletin of Glacier Research* (Japanese Society of Snow and Ice) 13: 45-56.
- Warren, C. & D. Sugden 1993. The patagonian icefields: a glaciological review. *Arctic and Alpine Research*. 25(4): 316-331.
- Warren, C. & A. Rivera 1994. Non-linear climatic response of calving glaciers: a case study of Pío XI glacier, Chilean Patagonia. *Rev. Chilena de Historia Natural*. 67: 385-394.
- Warren, C., A. Rivera & A. Post 1997. Greatest Holocene advance of glacier Pío XI, Chilean Patagonia: possible causes. *Annals of Glaciology*. 24: 11-15.

