



Centro UC
Desierto de Atacama



Centro UC
Derecho y Gestión
de Aguas

“ICES IN THE ATACAMA DESERT”



*Glaciar
Tapado, Elqui*

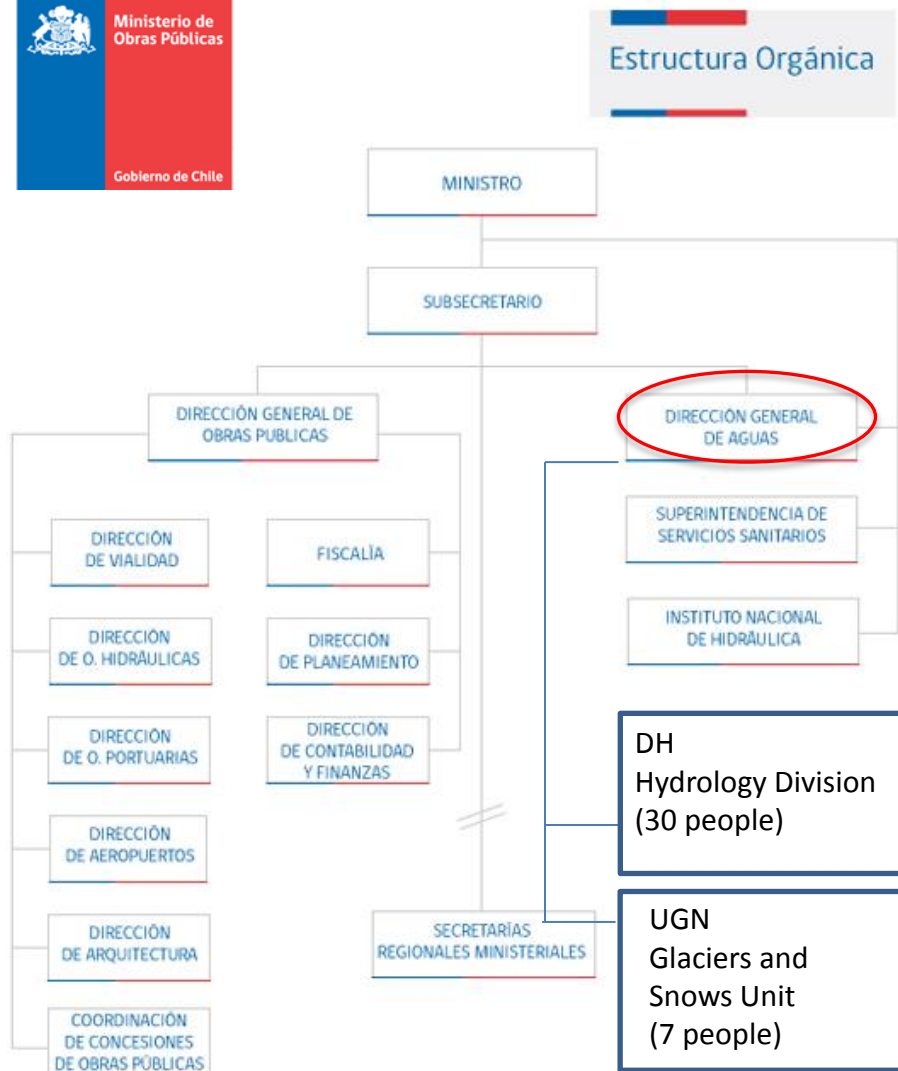
“Glaciares y Nieves en Chile”

Gino Casassa

*General Water Directorate (DGA), Ministry of Public Works, Santiago, Chile
and*

University of Magallanes, Punta Arenas, Chile



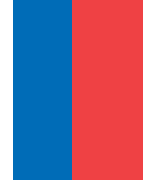


DGA (Dirección General de Aguas) UGN (Unidad de Glaciología y Nieves)

Desarrolla el **Programa Glaciológico Nacional**.

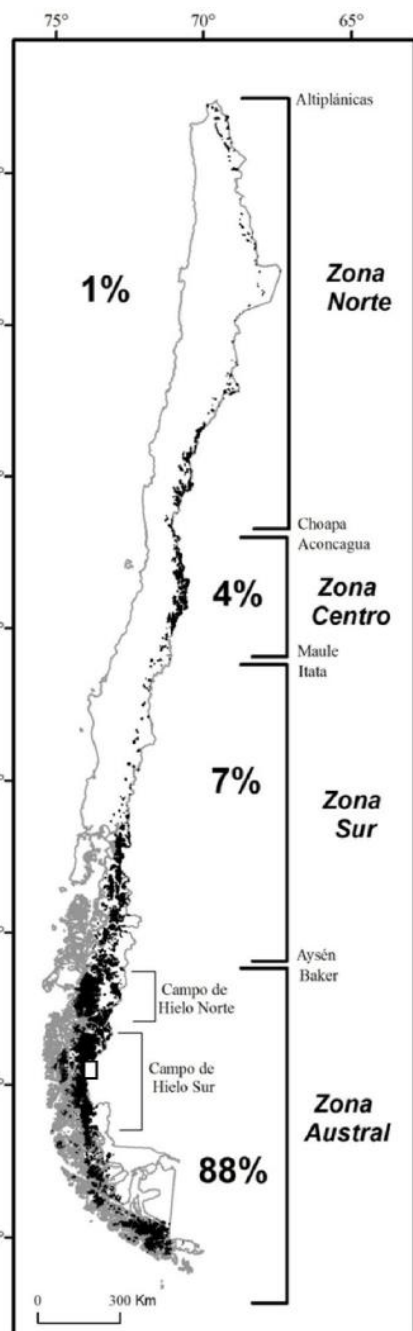
De acuerdo al art. 122 del Código de Aguas, deberá llevar un Catastro Público de Aguas, en el que constará toda la información que tenga relación con ellas. Esto incluye encargarse de mantener el **Inventario Público de Glaciares**.



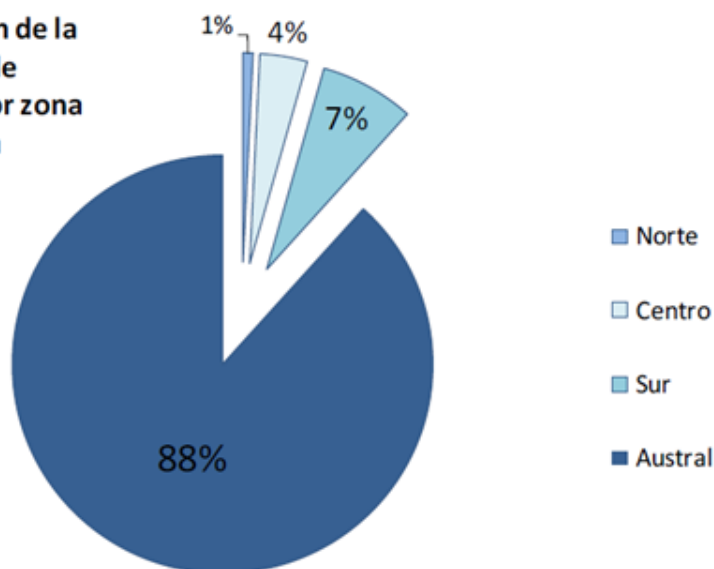


Hay 24.114 glaciares inventariados en Chile, 23.641 km²

- Chile concentra el 77% de los glaciares de Sudamérica.
- Indicadores del cambio climático.
- Riesgo de desastres naturales para la población.
- Reservas estratégicas de agua en estado sólido.
- Environmental & landscape relevance.



Distribución de la
superficie de
glaciares por zona
glaciológica



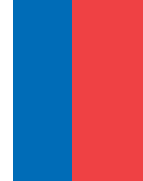
Logros

- 30 estaciones meteorológicas
- 8 estaciones meteorológicas móviles
- 5 refugios en glaciares
- 7 river gage stations
- 4 time lapse cameras on glacier fronts
- 1 glacial lake level monitoring

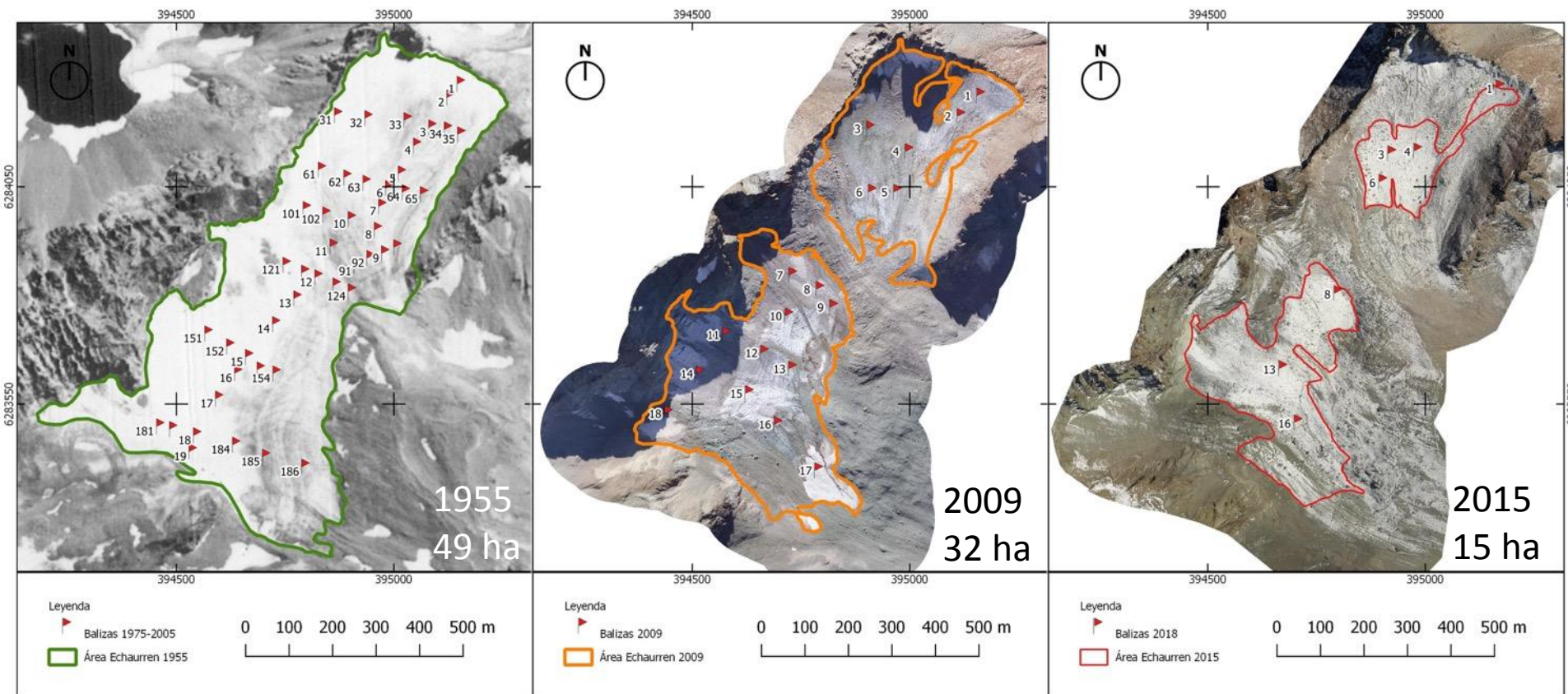
Desafíos

- Proteger y crear consciencia
- Actualización programa glaciológico nacional
- Nuevo inventario de glaciares
- Cambio organizacional División de DGA-MOP
- Inventory of glacial lakes and related hazards
- Start permafrost borehole monitoring
- Collaborate with ski centres for snow monitoring





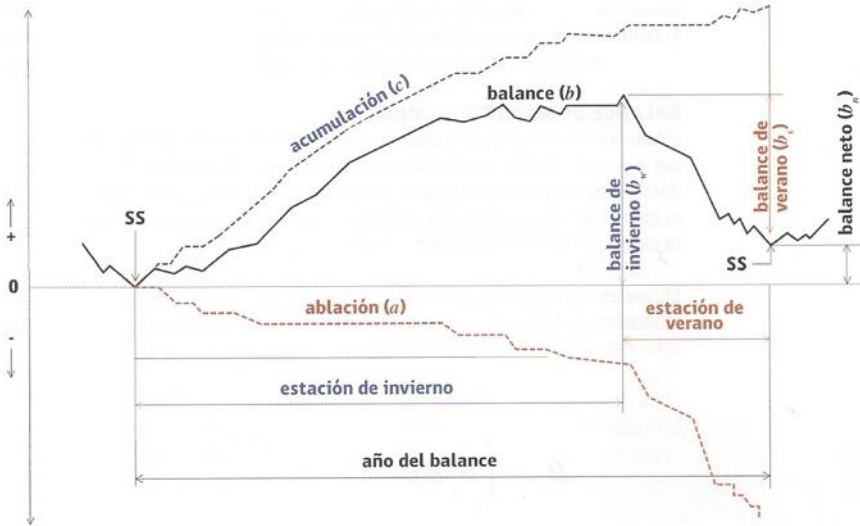
GLACIAR ECHAURREN NORTE



UNIDAD DE GLACIOLOGÍA Y NIEVES – DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS – MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS



BALANCE DE MASA GLACIOLÓGICO

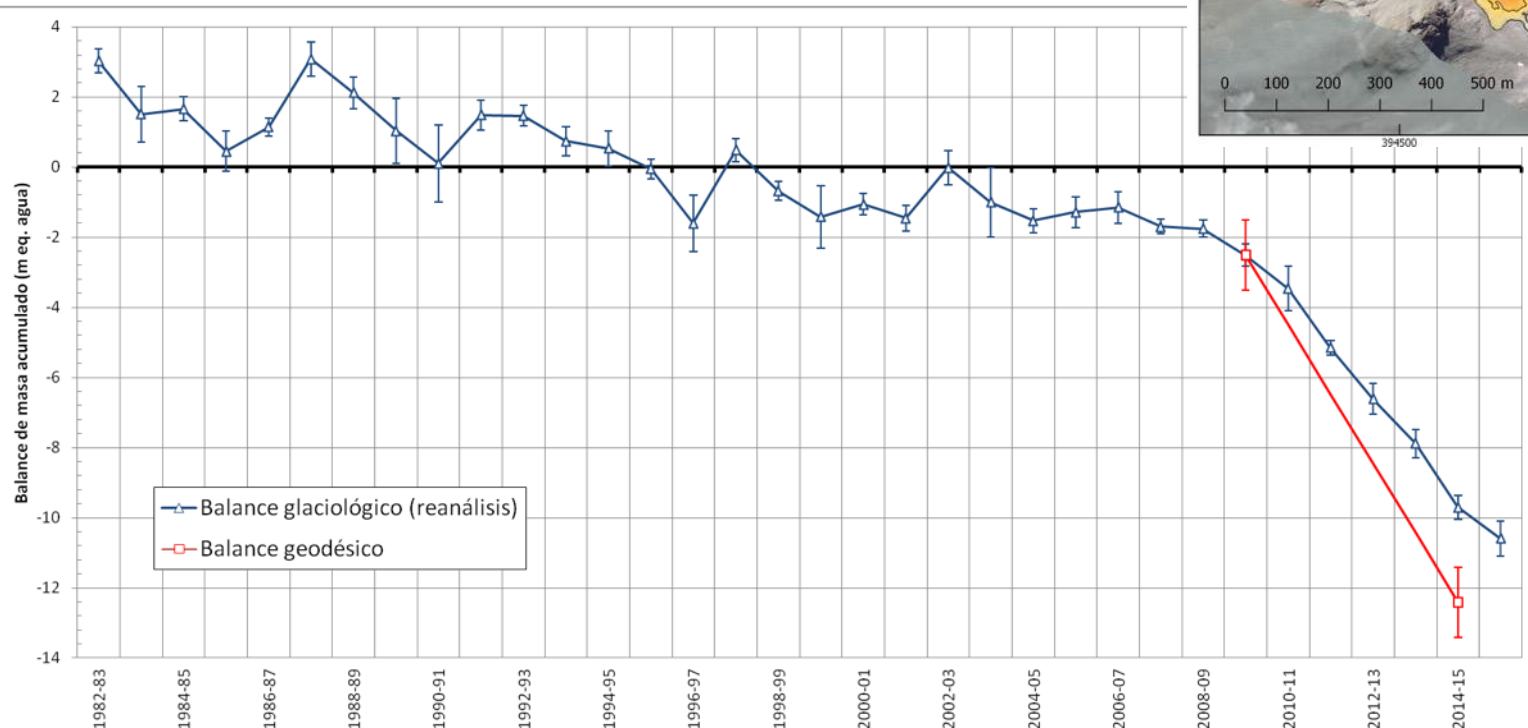
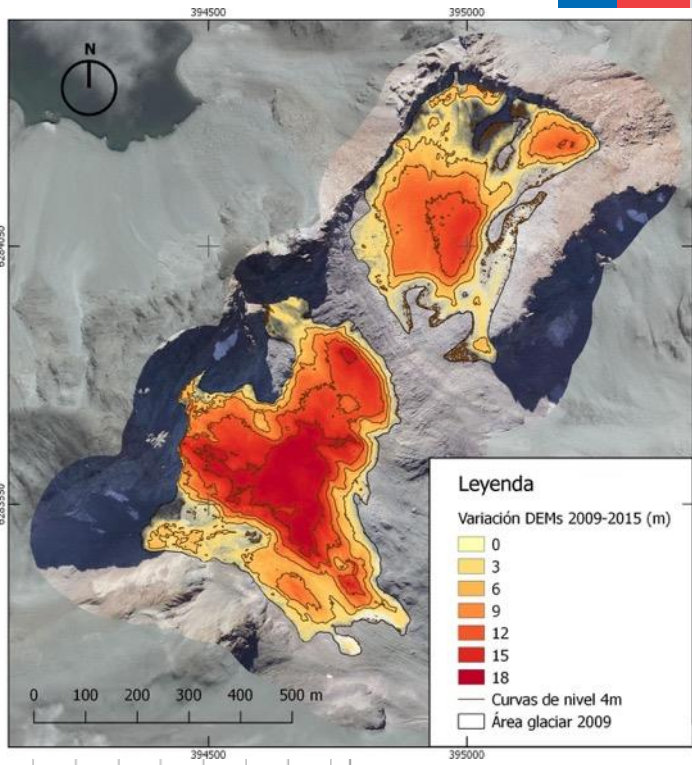


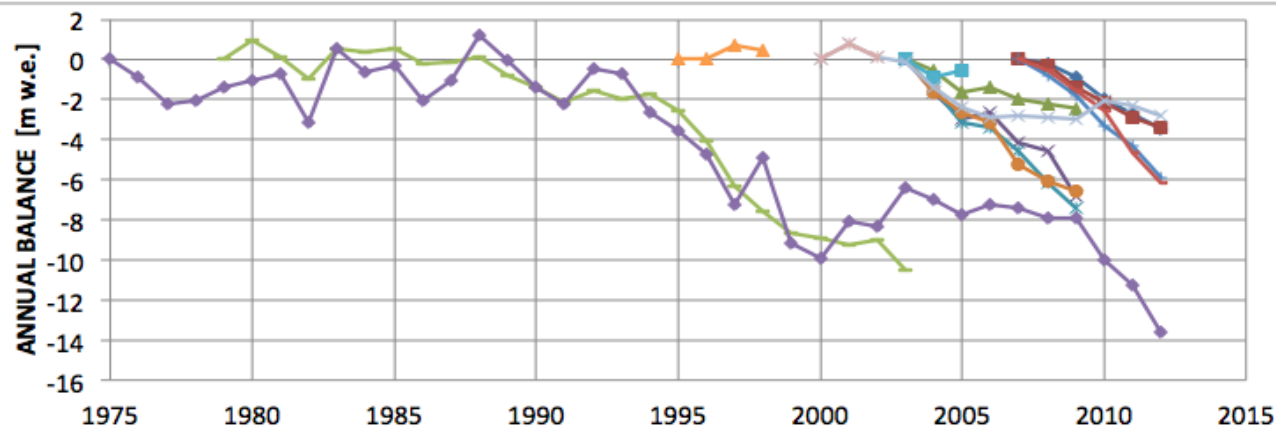
BALANCE DE MASA GLACIOLÓGICO/GEODÉSICO

GLACIAR ECHAURREN (1975-2015)

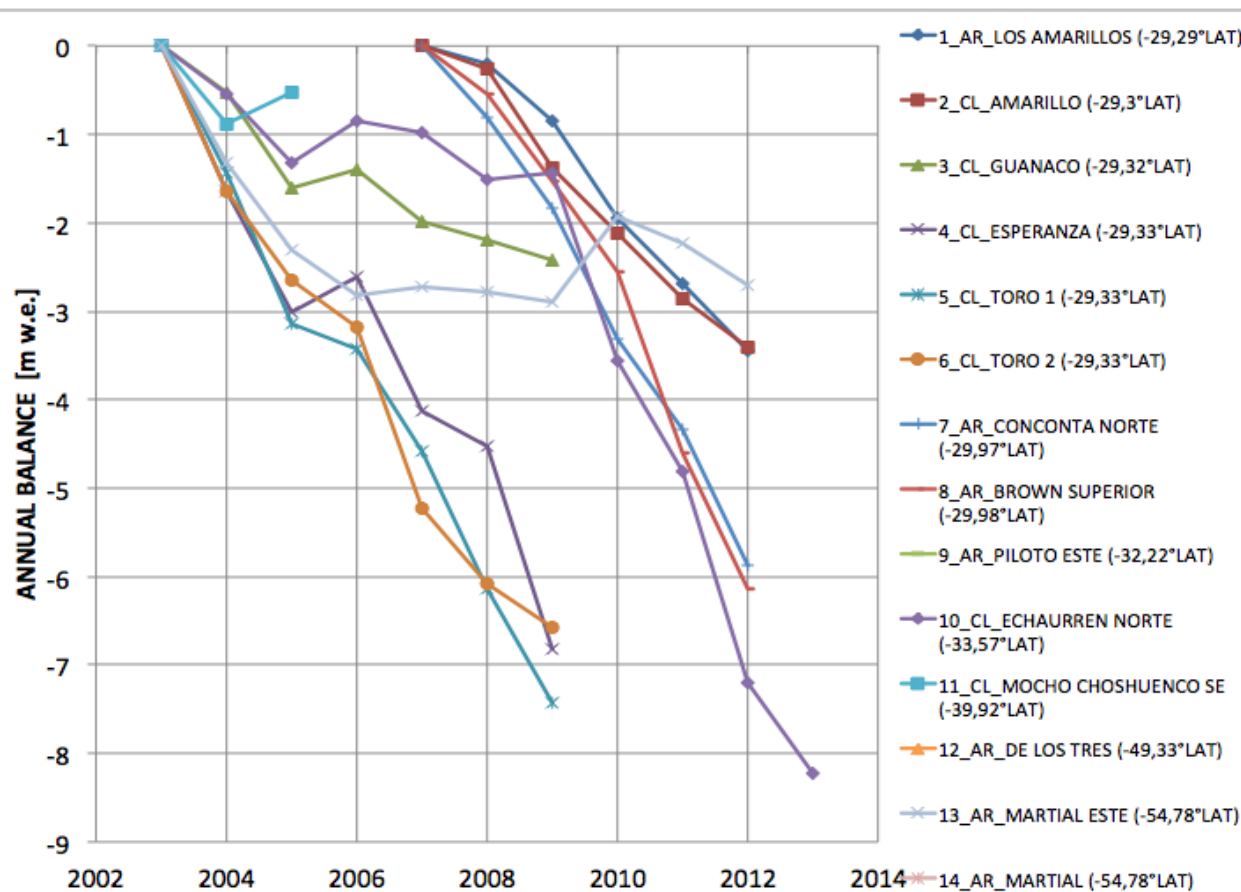


$B_{M.2009-2015} = -1,14 \text{ (m w.e. a}^{-1}\text{)}$





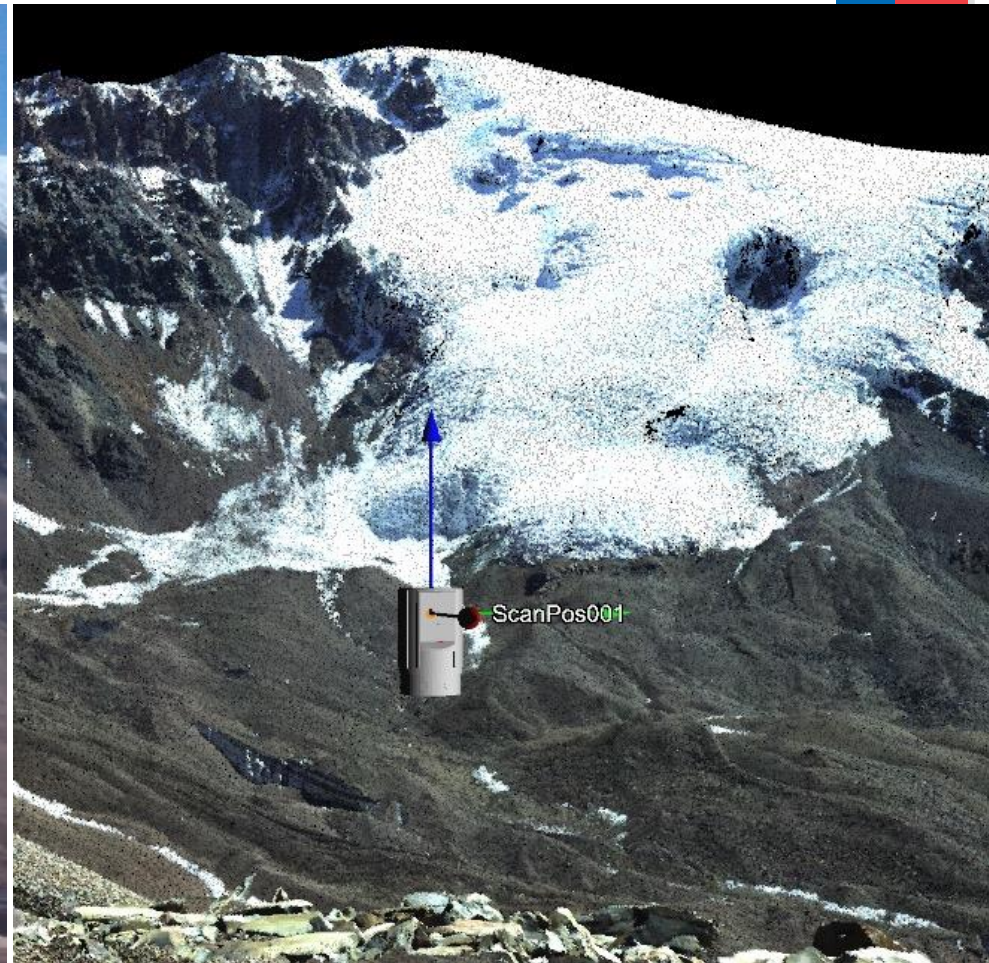
Cumulative net mass balance data for the 14 glaciers shown in Table 1 and Fig. 6. The data were obtained from WGMS (<http://wgms.ch/>, accessed August 2015).



BALANCE DE MASA GEODÉSICO LEVANTAMIENTO LIDAR TERRESTRE

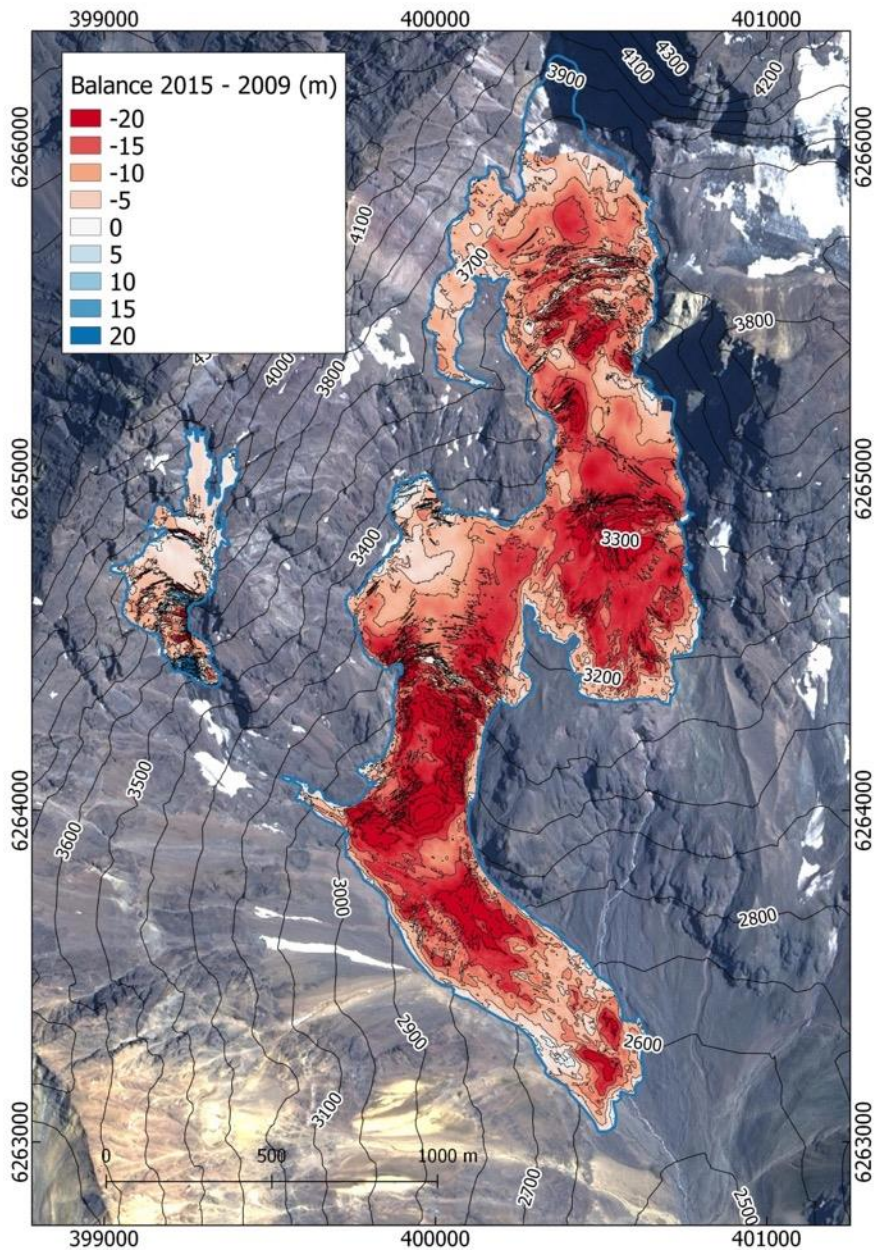


GLACIAR TAPADO, ELQUI



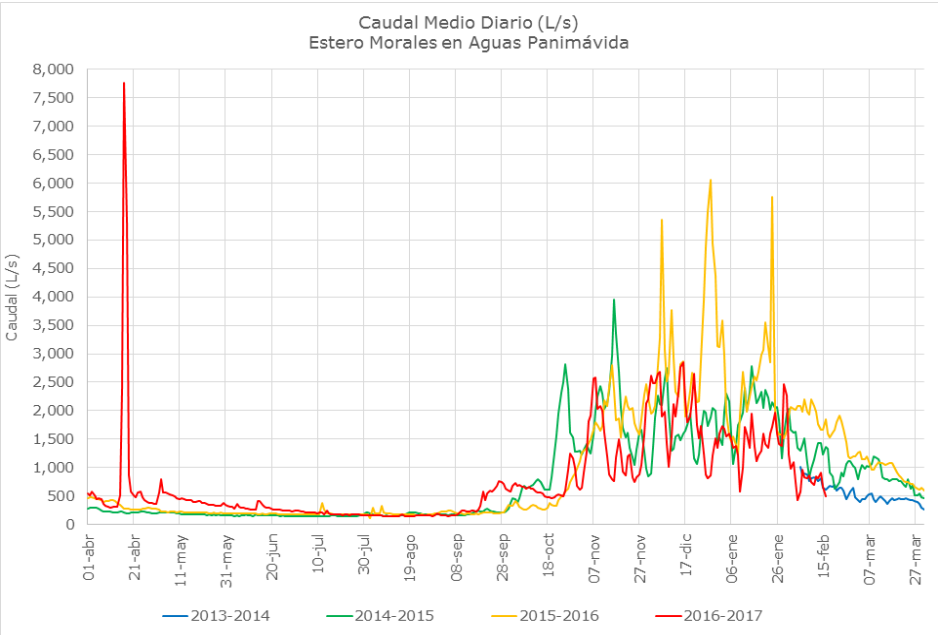
NUBE DE PUNTOS GLACIAR TAPADO,
SOFTWARE RISCAN PRO

BALANCE DE MASA GEODÉSICO GLACIAR SAN FRANCISCO (2009-2015)



$B_M = -9,97 \text{ (m w.e.)}$

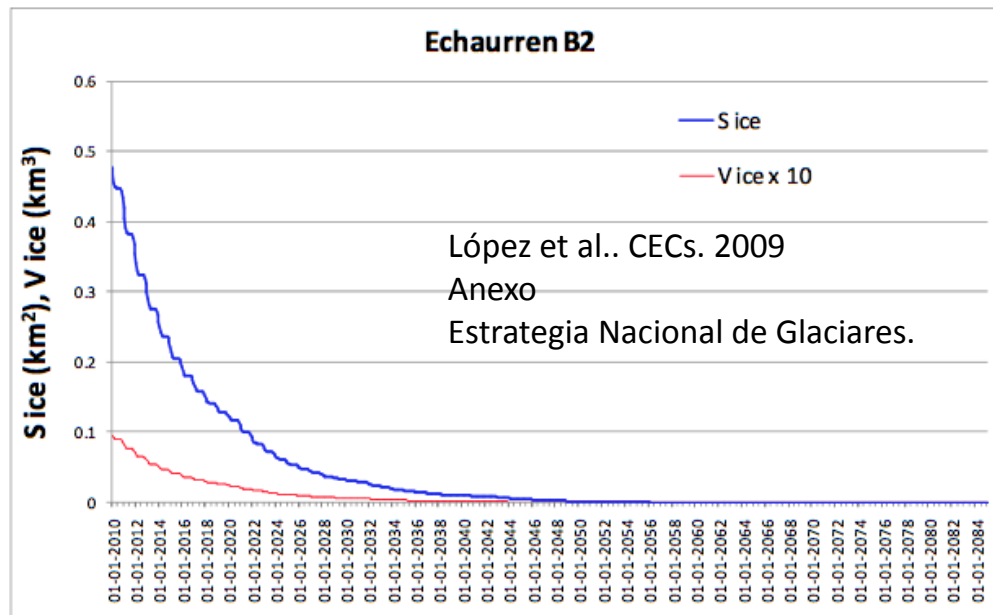
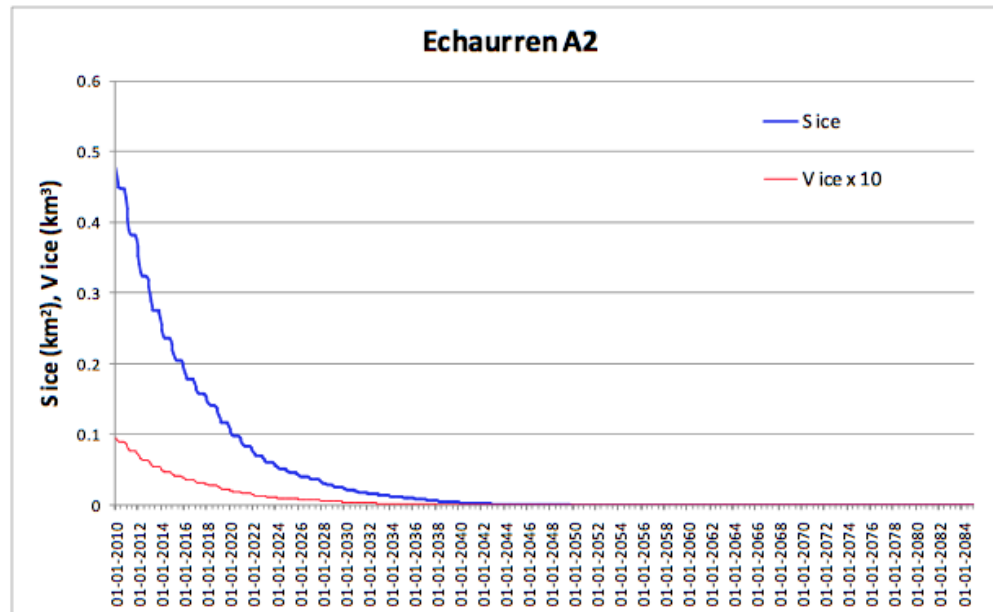
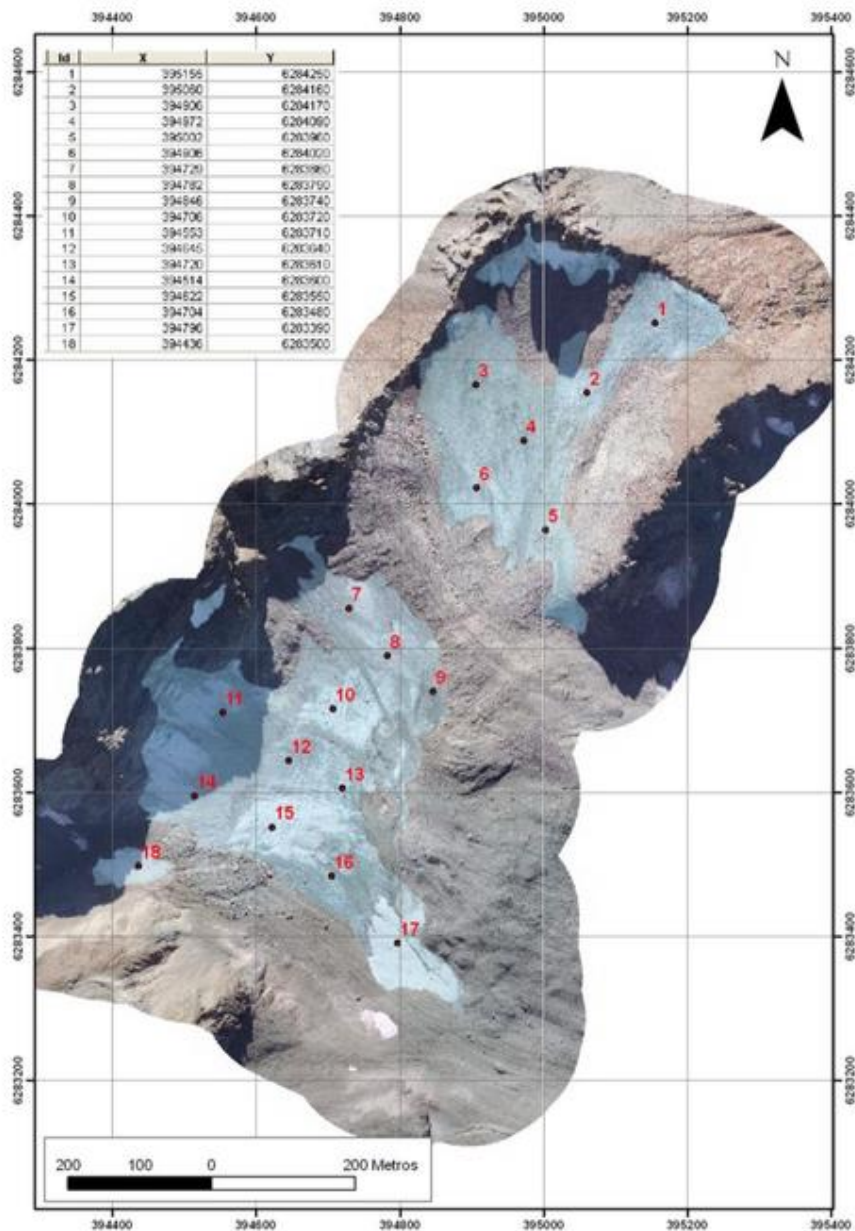
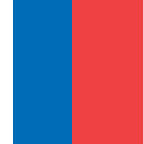
$B_{M.año} = -1,66 \text{ (m w.e. a}^{-1}\text{)}$



BM geodésico 26 glaciares de la Zona Glaciológica Centro

Glacier	Period (T ₁ - T ₂)	Glacier area 2015 (km ²)	Geodetic MB area (km ²)	(%)	Δh avg - μ (m)	B _a B100m (m w.e. yr ⁻¹)
Monos del Agua	2012 - 2015	1,97	0,99	48	-3,92	-1,08
Juncal Norte	2011 - 2015	8,68	3,86	43	-9,55	-1,44
Juncal Sur	2011 - 2015	21,39	5,67	26	-5,94	-1,00
Olivares Gama	2011 - 2015	11,52	3,19	28	-7,66	-1,35
Olivares Beta	2011 - 2015	7,53	2,03	27	-5,75	-1,07
Olivares Alfa	2011 - 2015	4,40	1,44	32	-7,42	-1,27
Paloma	2008 - 2012		1,13	81	-4,97	-1,05
	2012 - 2015	1,20	1,09	90	-4,91	-1,39
Rincón	2012 - 2015	0,63	0,32	48	-5,17	-1,64
Esmeralda	2012 - 2015	5,38	2,26	42	-2,75	-0,56
Plomo	2012 - 2015	1,29	1,16	87	-3,05	-0,84
Bello	2012 - 2015	4,03	3,81	94	-3,90	-0,90
Yeso	2012 - 2015	1,97	1,79	89	-4,08	-0,94
Yeso 1	2012 - 2015	1,38	1,04	75	-2,07	-0,53
Yeso 2	2012 - 2015	1,12	1,06	93	-1,38	-0,39
Pirámide	2012 - 2015	3,68	3,59	96	-1,27	-0,36
Echaurren Norte	2009 - 2015	0,14	0,28	100	-8,04	-1,14
San Francisco	2009 - 2015	1,43	1,62	97	-11,40	-1,59
Palomo	2011 - 2015	13,84	2,86	21	-11,83	-1,53
Cipreses N	2012 - 2015	12,56	4,76	37	-4,98	-1,03
Cipreses SE	2011 - 2015	9,87	2,14	21	-13,93	-1,75
Cipreses SW	2011 - 2015	9,33	4,26	46	-11,81	-2,16
Cortaderal	2011 - 2015	14,86	4,84	32	-11,10	-1,54
Universidad	2011 - 2015	26,56	8,60	32	-13,51	-2,13
Tinguiririca 1	2012 - 2015	3,67	1,07	29	-7,64	-1,88
Tinguiririca 3	2012 - 2015	3,18	1,04	32	-5,21	-0,85
Tinguiririca 4	2012 - 2015	1,89	0,42	22	-5,31	-0,80

GLACIAR ECHAURREN

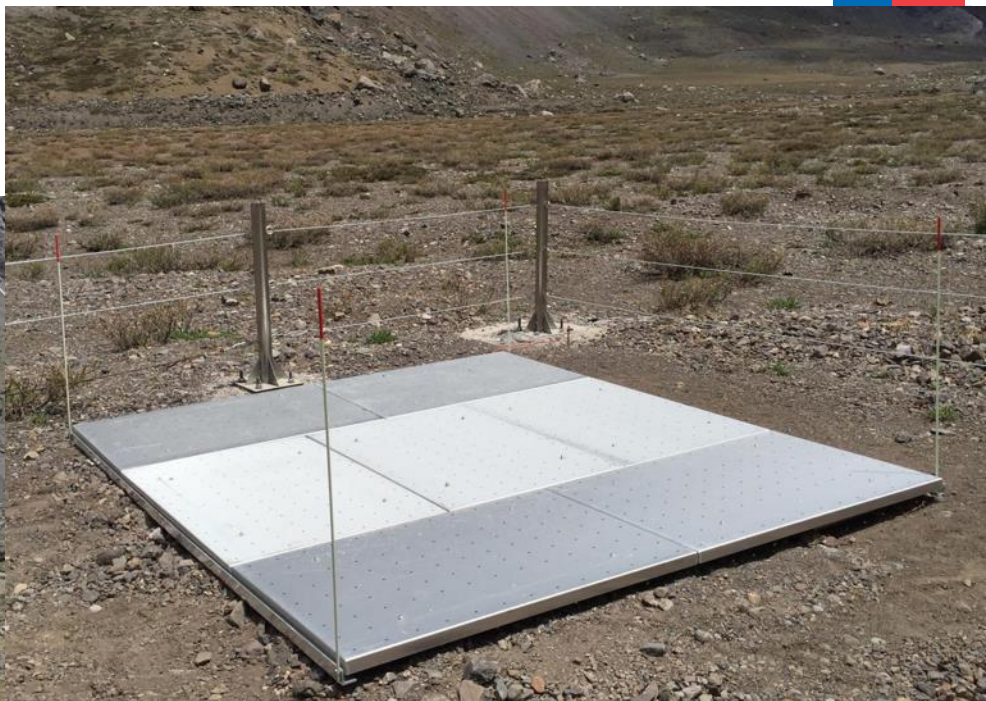


GLACIAR SAN FRANCISCO

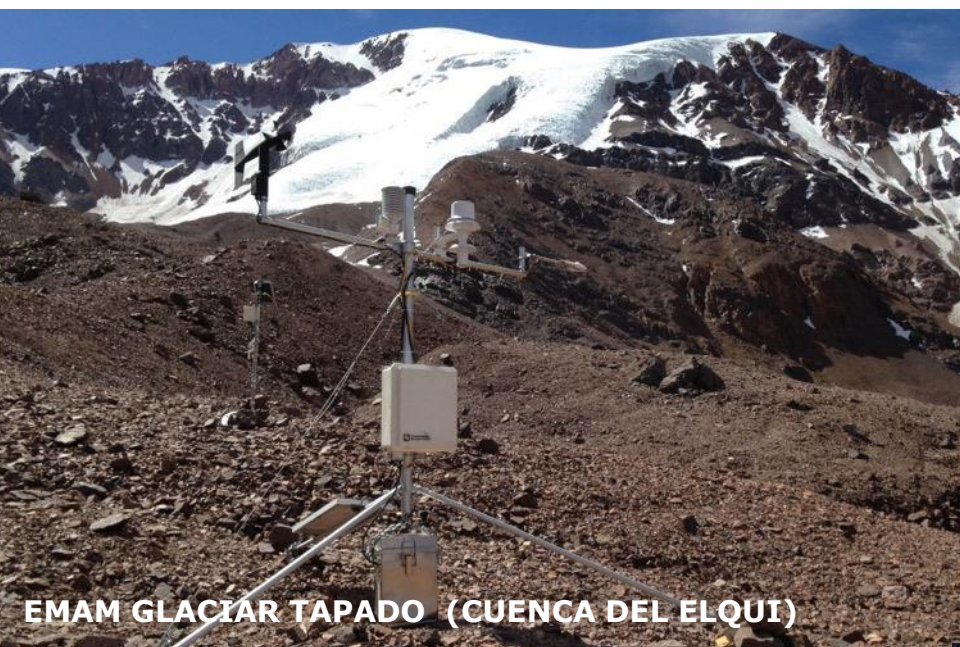


VALLE RÍO OLIVARES STATION

2786 m a.s.l.



ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS MÓVILES EN OPERACIÓN



EMAM GLACIAR TAPADO (CUENCA DEL ELQUI)



EMAM GLACIAR PRIÁMIDE (CUENCA DEL RÍO YESO)



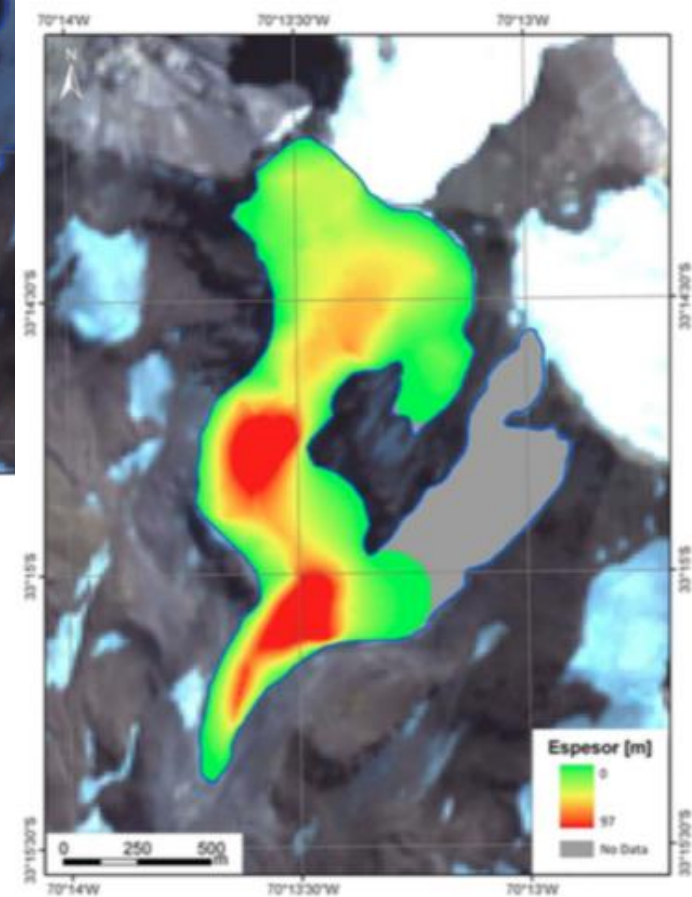
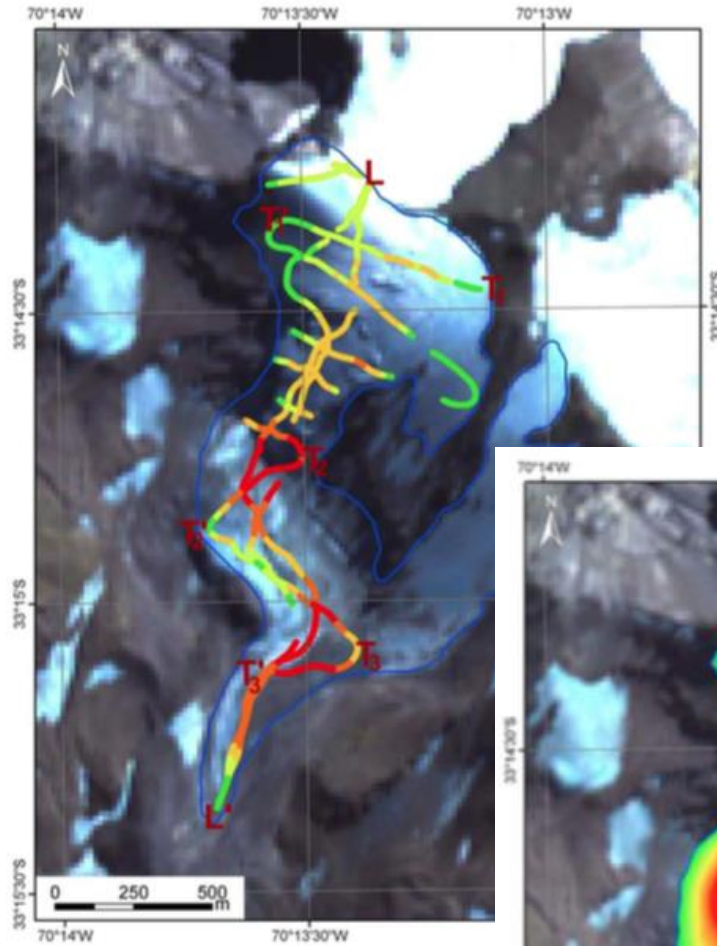
EMAM GLACIAR EXPLORADORES (CUENCA RÍO EXPLORADORES)



EMAM GLACIAR SAN FRANCISCO (CUENCA DEL RÍO VOLCÁN)



VOLUMEN DE HIELO GLACIAR CERRO EL PLOMO



Remoción en masa 20 octubre 2018
Campo de Hielo Sur

**Servicio Nacional
de Geología y
Minería**

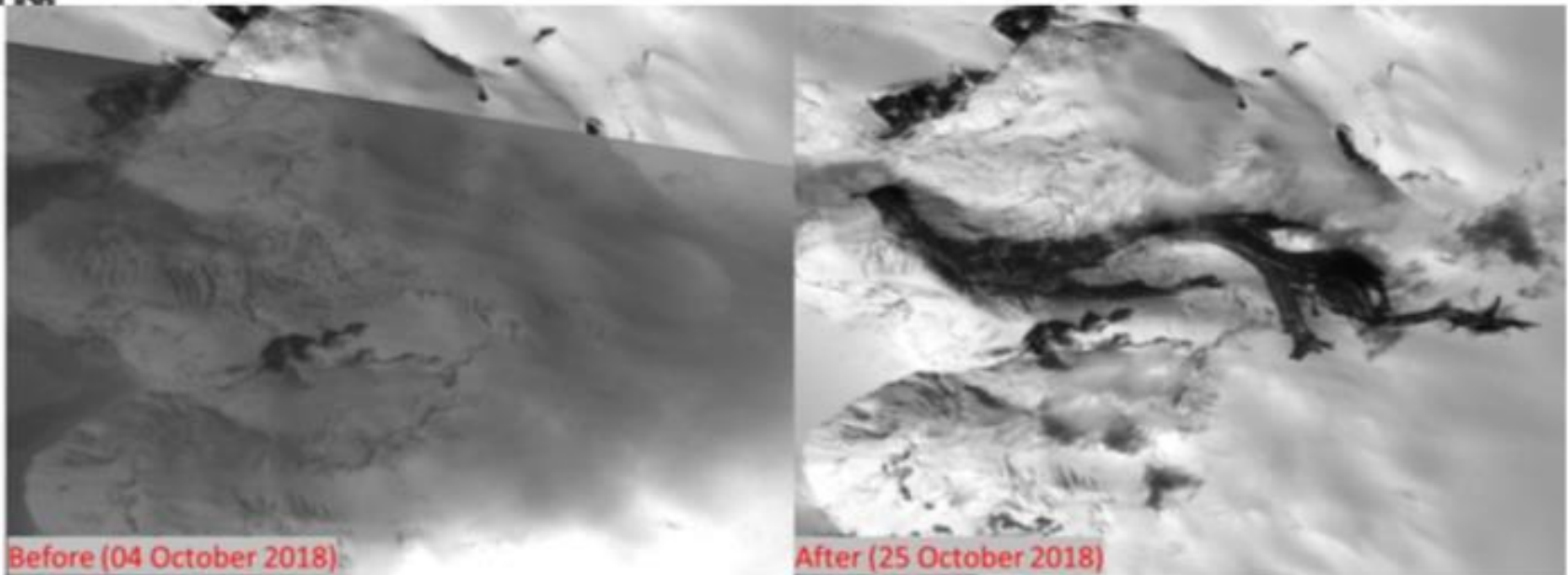


Figura 1. Comparación de imágenes satelitales PlanetScope del 04 y 25 de octubre de 2018. Se aprecia claramente el emplazamiento de un depósito tipo flujo de detritos emplazado sobre el campo de hielo, anterior al 25 de octubre.

Remoción en masa 20 octubre 2018
Campo de Hielo Sur



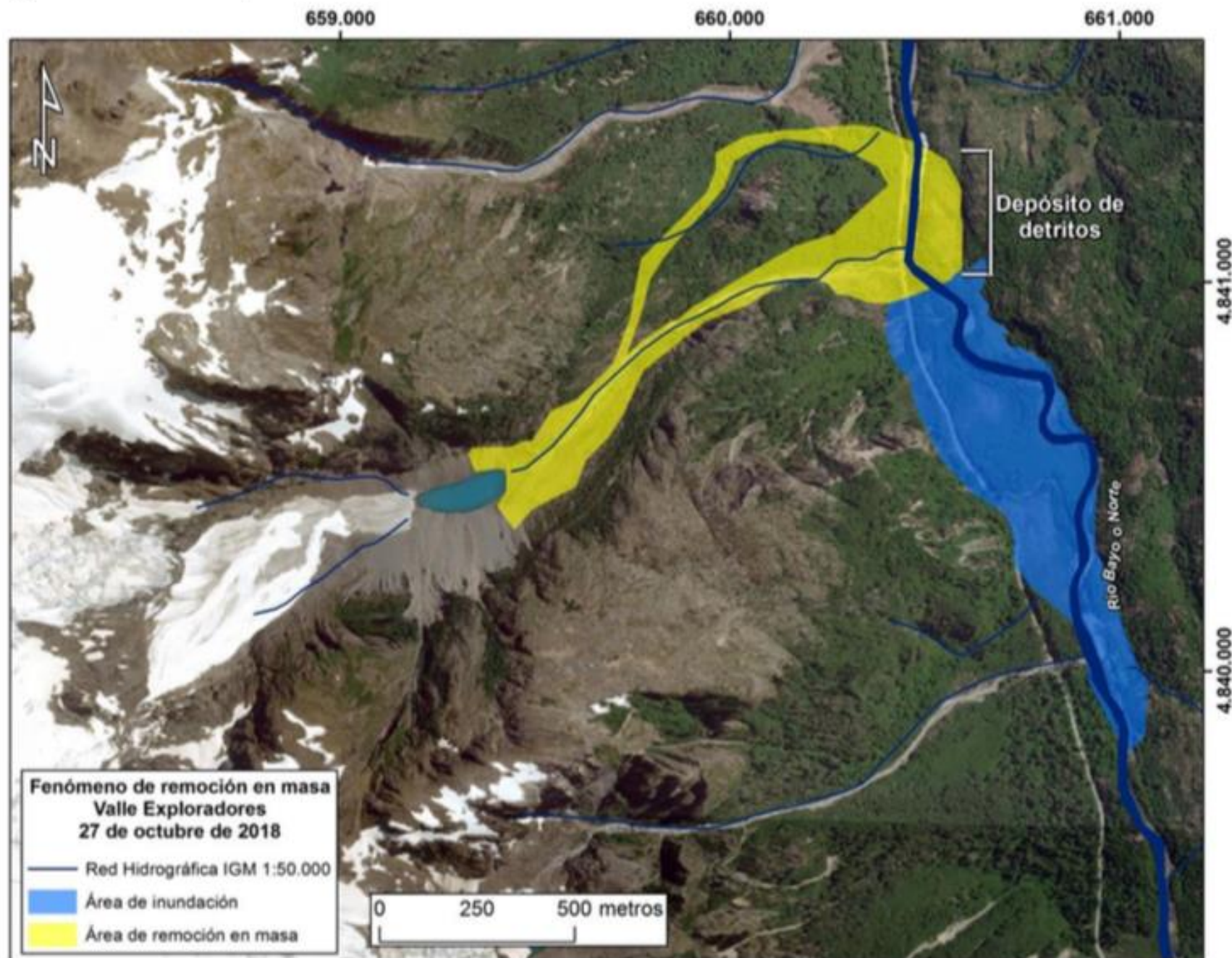
Remoción en masa 20 octubre 2018
Campo de Hielo Sur



Remoción en masa 20 octubre 2018
Campo de Hielo Sur

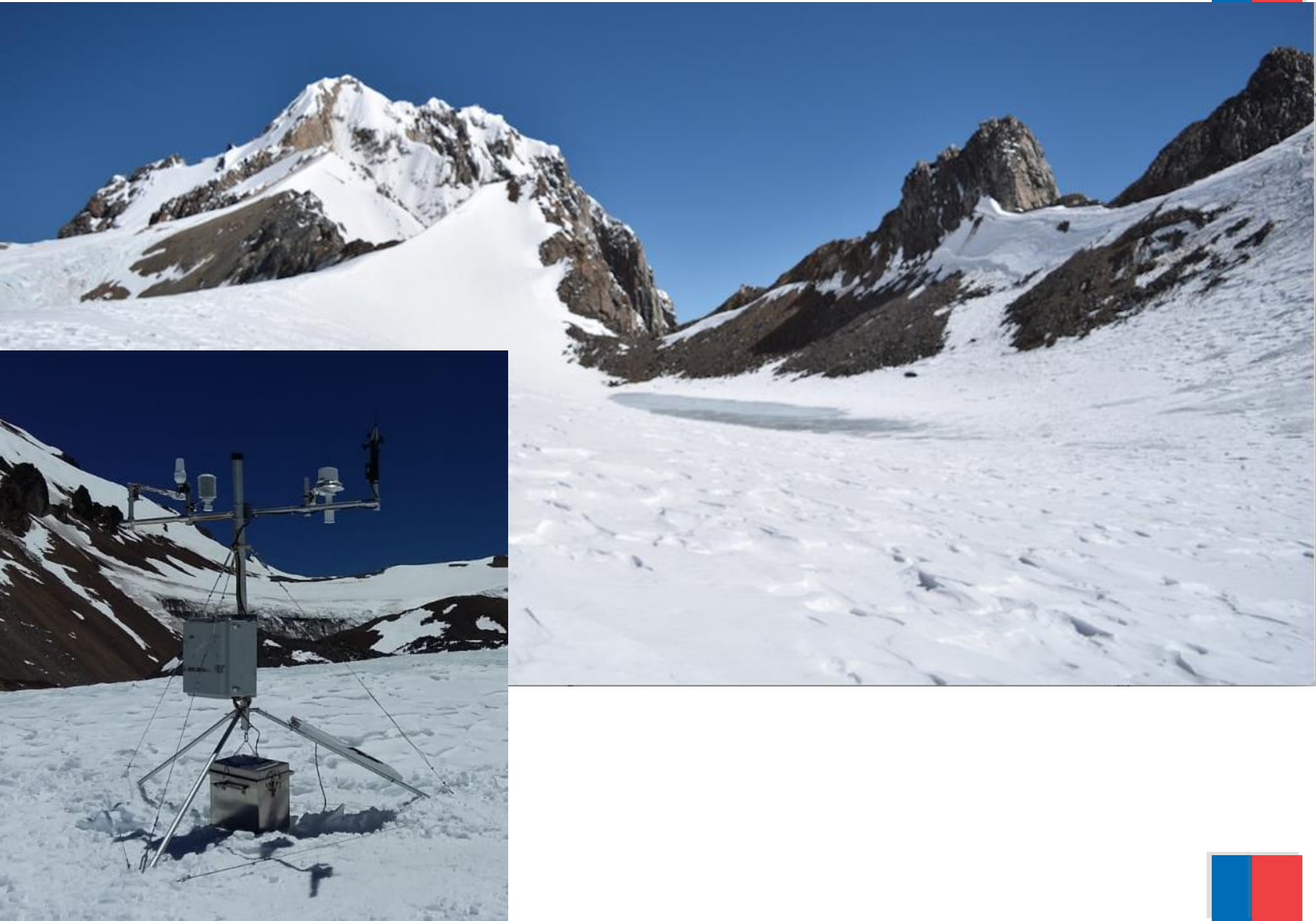


Imagen N° 2. Descripción de la remoción en masa.



Zona de inicio
aluvión 27 octubre 2018
Valle Exploradores





JUNCAL SUR GLACIER 21 km²

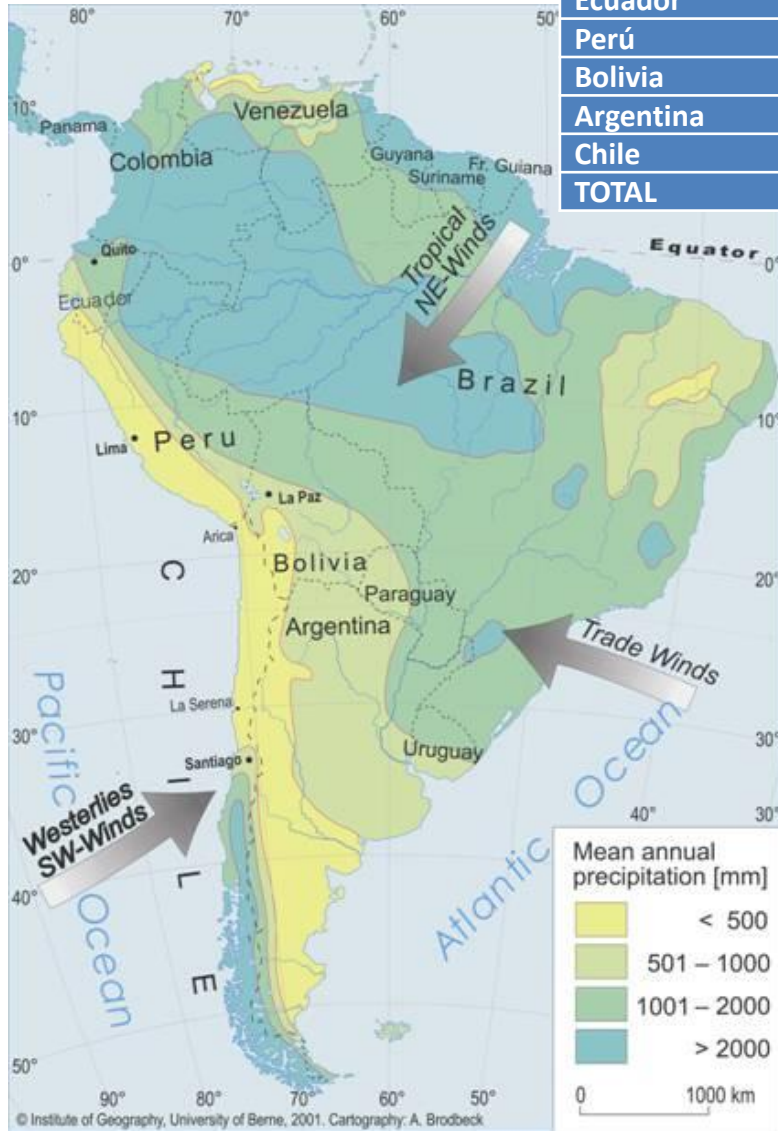


Louis Lliboutry, 1952



22 Nov. 2018

GLACIERS



Schwikowski et al., 2004

COUNTRY	AREA (km ²)
Venezuela	0.1
Colombia	37
Ecuador	43.5
Perú	1,298.6
Bolivia	346.4
Argentina	4,699.7*
Chile	23,641
TOTAL	30,067

Sources

INRENA, IDEAM; INAHMI, GTNH, CECs, IANIGLA, DGA.

*Not considering glaciers located in Chilean territory of Southern Patagonia Icefield.



Pico Bolívar
Venezuela
(Vuille et al., 2011)

Table 2. Summary of the RGI, Version 3.2

Region	Number	All glaciers	Error*
		Area km ²	
01 Alaska	26 944	86 715	5.3
02 Western Canada and US	15 215	14 559	9.5
03 Arctic Canada North	4 538	104 873	3.2
04 Arctic Canada South	7 347	40 894	4.9
05 Greenland Periphery	19 323	89 721	5.0
06 Iceland	568	11 060	2.6
07 Svalbard and Jan Mayen	1 615	33 922	3.5
08 Scandinavia	2 668	2 851	9.3
09 Russian Arctic	1 069	51 592	2.8
10 North Asia	4 403	3 430	10.3
11 Central Europe	3 920	2 063	10.4
12 Caucasus and Middle East	1 386	1 139	10.0
13 Central Asia	46 543	62 606	8.4
14 South Asia West	22 822	33 859	7.7
15 South Asia East	14 095	21 799	8.3
16 Low Latitudes	2 863	2 346	10.5
17 Southern Andes	16 046	29 333	5.9
18 New Zealand	3 537	1 162	12.2
19 Antarctic and Subantarctic	2 752	132 867	1.9
00 Total	197 654	726 792	4.7

Pfeffer et al.,
2014

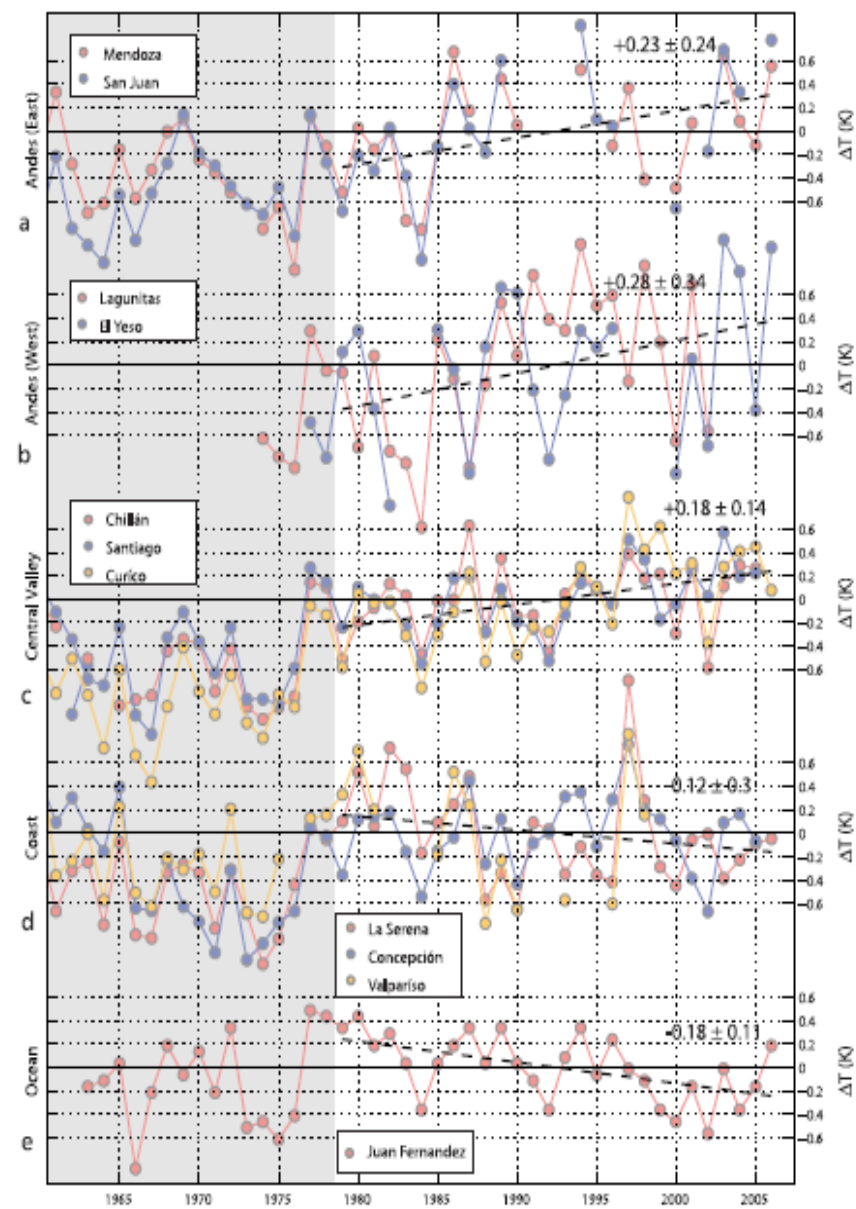
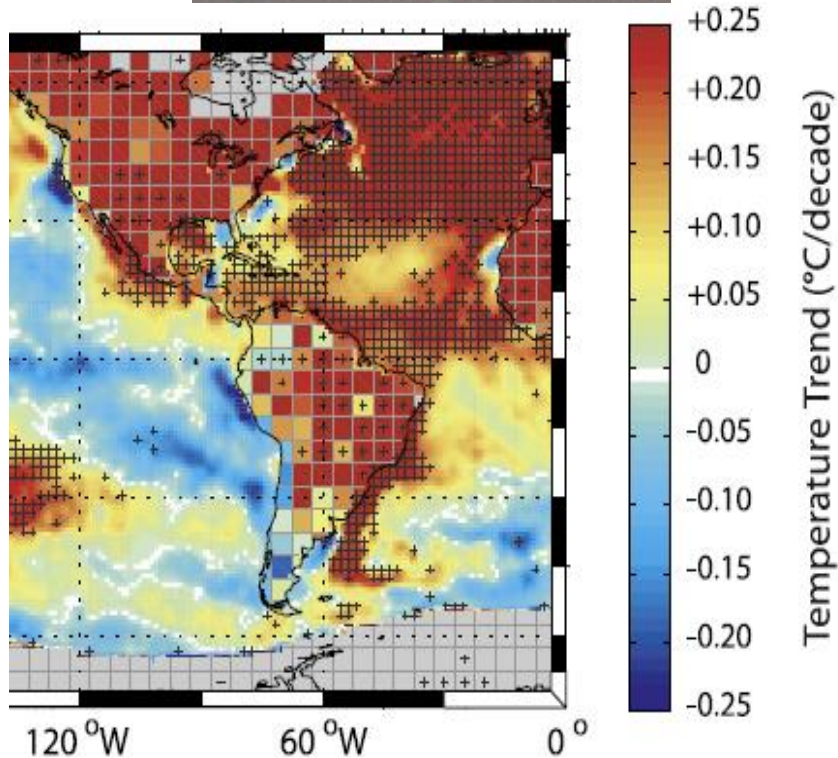
S ANDES
Argentina + Chile
glacier inventories
28,341 km²
3.9% of global glaciers
5.6% of global glaciers
– Greenland -
Antarctica

Without Greenland & Antarctic periphery: $726,792 - 89,721 - 132,867 = 504,204 \text{ km}^2$

Enfriamiento regional en un planeta que se calienta

Falvey & Garreaud, JGR, 2009

Surface Temp. Trend (1979-2005)
Source: NCDC + HadISST



RESEARCH ARTICLE

10.1002/2015JD023126

Key Points:

- Trends depend on latitude and choice

Impact of the global warming hiatus on Andean temperature

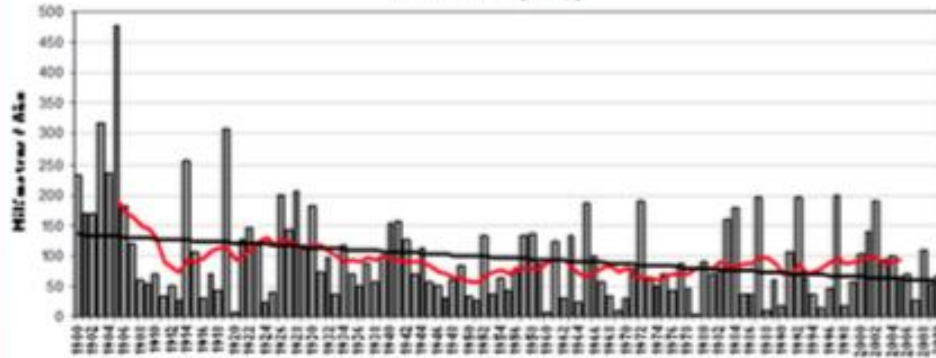
2015 JGR

Atmospheres

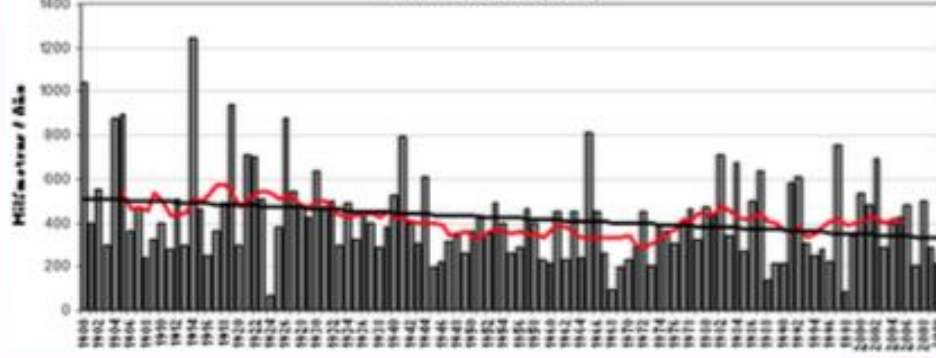
Mathias Vuille¹, Eric Franquist¹, René Garreaud², Waldo Sven Lavado Casimiro³, and Bolivar Cáceres⁴

Recent changes in Precipitation

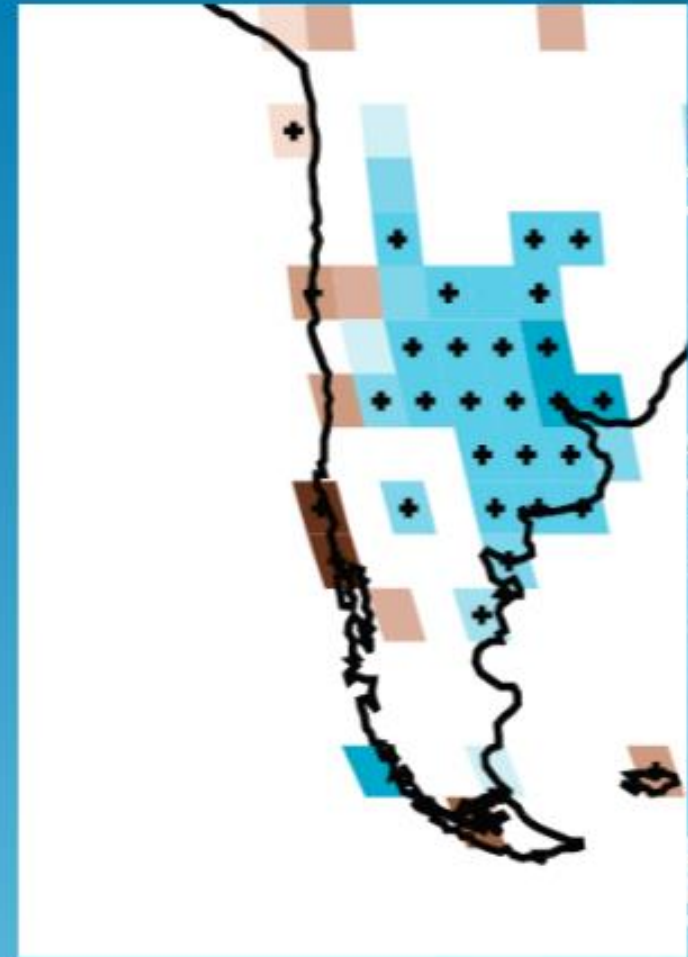
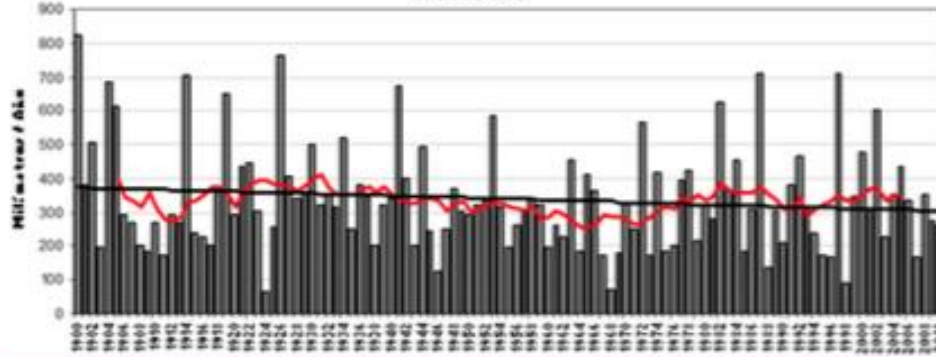
LA SERENA (30°S)



VALPARAISO (33°S)



SANTIAGO



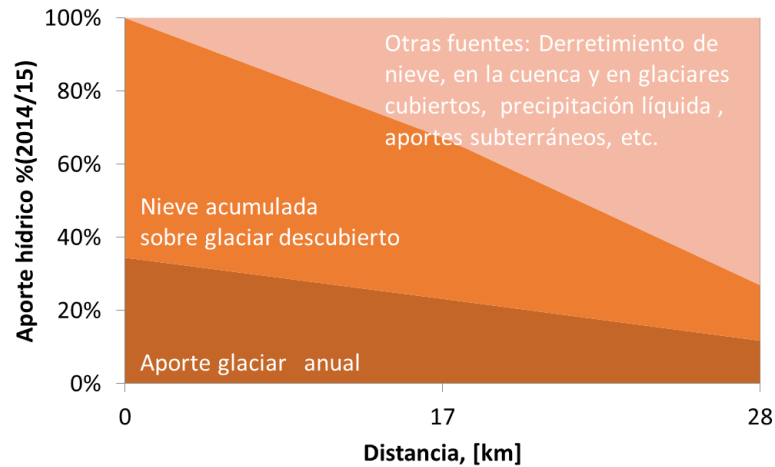
IPCC, 5AR WGII, 2014

Jorge Carrasco, pers. comm. 2015

en función de la distancia relativa a los glaciares

6.330.000

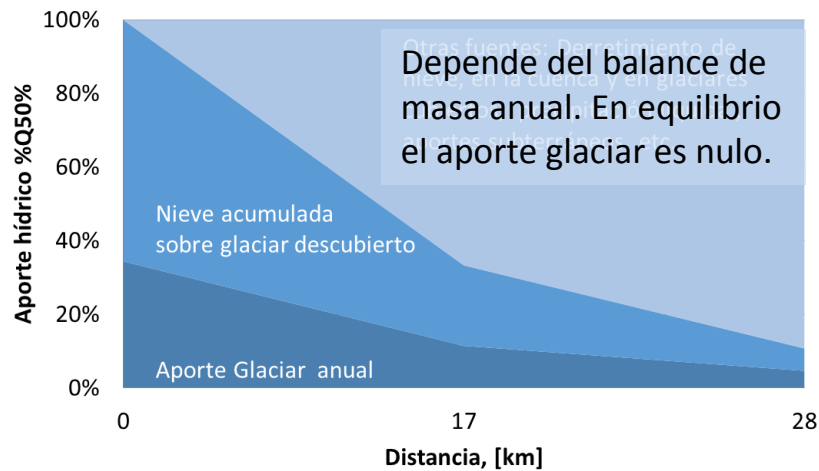
Aporte hídrico glaciar anual: %Q (2014-15)



Año hidrológico 2014-15
corresponde a un año Q95%

El aporte hídrico glaciar
decrece rápidamente en la
salida de cuenca de Yerba
Loca y aún más en Mapocho
en Los Almendros.

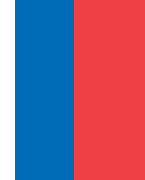
Aporte hídrico glaciar anual: %Q50%



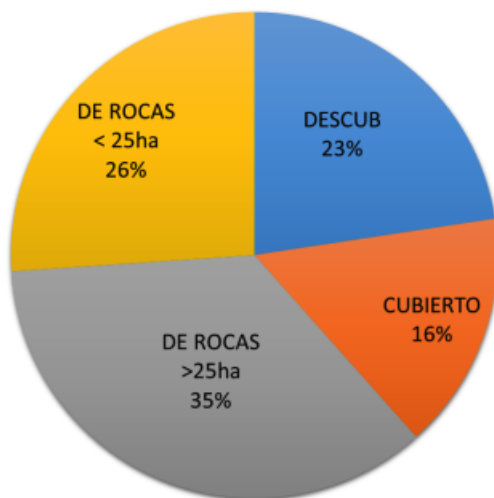
Yerba loca junta San
Francisco
(YLSF)

Mapocho en
Los Almendros
(MLA)

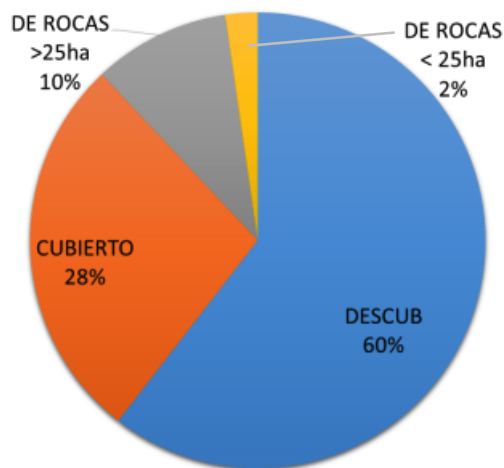
CONTRIBUCIÓN HÍDRICA ANUAL



YERBA LOCA - %ÁREA TOTAL



YERBA LOCA - %APORTE HÍDRICO



TIPO	APORTE HÍDRICO	Nº GLACIARES	SUP. [Km ²]
1 Descubierto	0,26 l/s/ha Alto	6	2,1
2 Cubierto	0,17 l/s/ha Medio-alto	2	1,5
3 De rocas (>25 ha)	0,07 l/s/ha Medio-bajo	21	3,5
4 De rocas (<25 ha)	0,03 l/s/ha Bajo	5	2,4

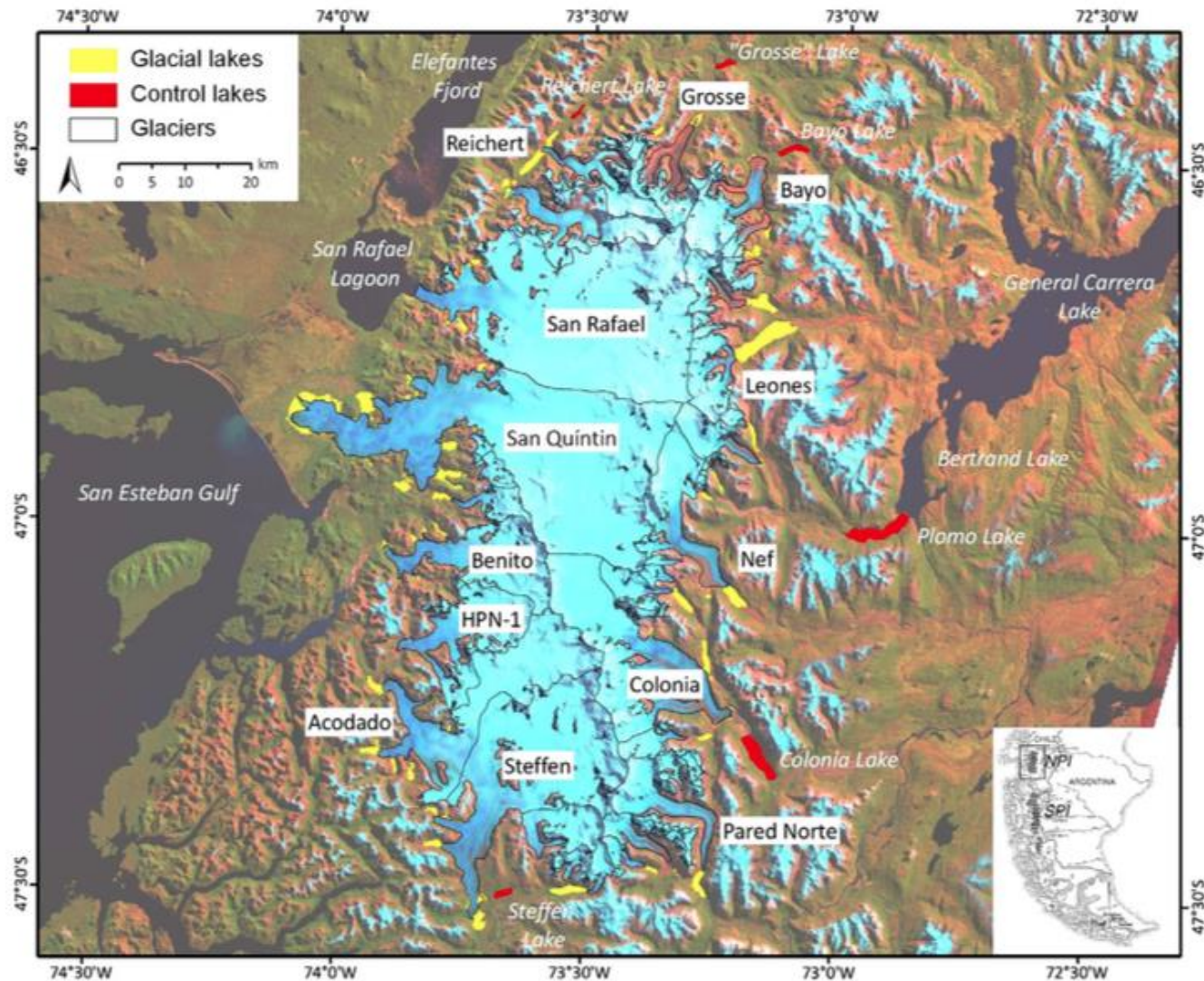
- El aporte de los glaciares descubiertos y cubiertos (39% sup. total) representan al 88% del aporte hídrico total.
- El aporte de los glaciares de rocas <25 ha (35% sup. total) es de un 12%.
- NOTA: No incluye el aporte de nieve acumulado sobre glaciares cubiertos de detritos



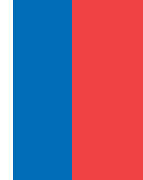
Evolution of glacial lakes from the Northern Patagonia Icefield and terrestrial water storage in a sea-level rise context

Thomas Loriaux*, Gino Casassa
GPC, 2013

Increase of glacial lake area of 66 km²
between 1945 and 2011



Fuentes antrópicas lejanas (ciudad de Santiago)



Fotografía del Cajón de Yerba Loca del 10 Enero 2014, con humo de incendios forestales provenientes principalmente de Melipilla.

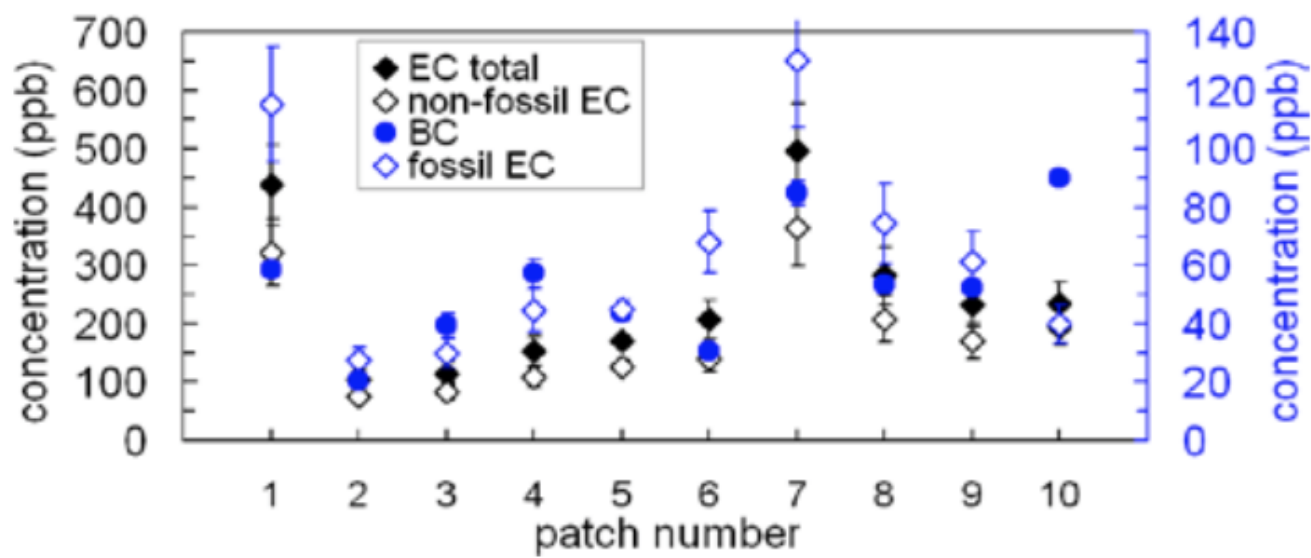


GEOESTUDIOS

Steve Warren



Fig. 2: EC and BC in samples from Olivares Beta glacier. Note the 5 times higher concentrations in total EC (left axis) compared to BC (right axis), while fossil EC and BC are of similar magnitude (right axis).



~68% DEBRIS-COVER INCREASE IN PATAGONIA 1944-2014

Farías, 2015, DGA

+ albedo feedback
- effect thick debris

DEGLACIATION EFFECT

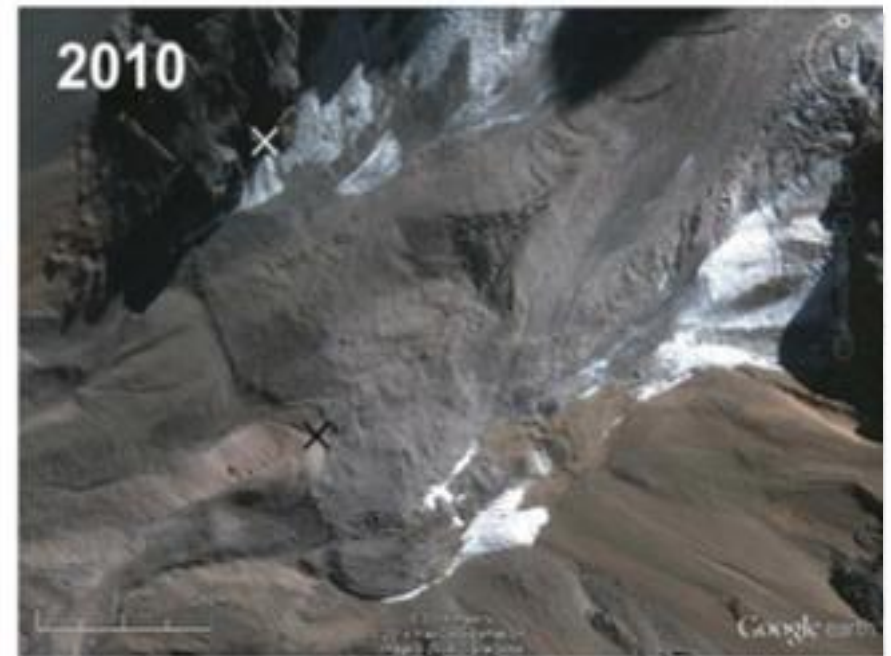
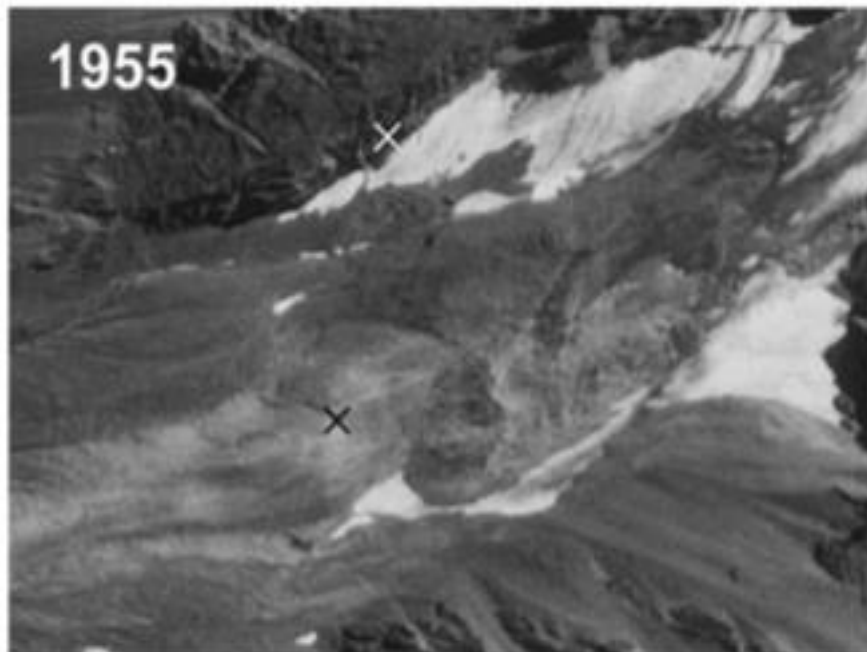


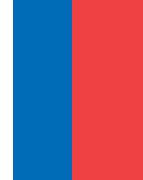
Nef Glacier
NPI
Patagonia

Reconsidering the glacier to rock glacier transformation problem: New insights from the central Andes of Chile

Sébastien Monnier ^{a,*}, Christophe Kinnard ^b

Geomorphology 238 (2015) 47–55





ENCUENTRO REGIONAL



Experiencias y desafíos en la región Andina para la formulación de políticas públicas en materia de glaciares y ecosistemas de montaña

9 y 10 de agosto de 2018
Lima, Perú



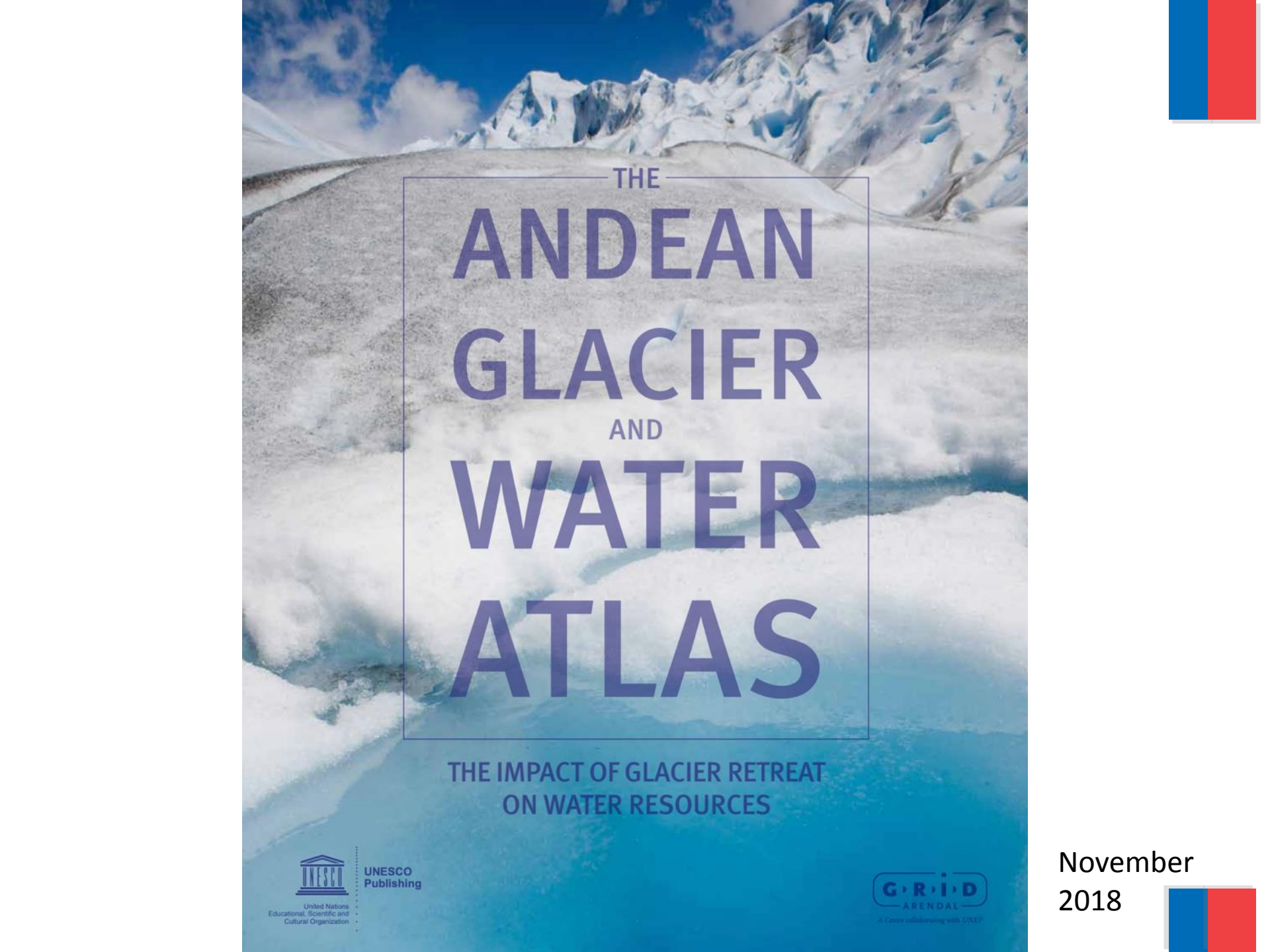
PERÚ Ministerio
del Ambiente



www.inaigem.gob.pe

EL PERÚ PRIMERO





THE ANDEAN GLACIER AND WATER ATLAS

THE IMPACT OF GLACIER RETREAT
ON WATER RESOURCES



UNESCO
Publishing



November
2018



CONCLUSIONES

1. Existe robusta evidencia científica del cambio climático y su impacto en el sistema terrestre
2. El calentamiento climático está produciendo la rápida disminución de glaciares, que plantea varios desafíos y oportunidades
3. Es relevante considerar programas científicos de largo plazo, incluyendo monitoreo
4. Esencial colaborar entre distintas entidades privadas y gubernamentales para contribuir al conocimiento, desarrollo y toma de decisiones
5. Importante expandir el estudio a otras componentes de la criósfera, por ejemplo suelos congelados.

