

# Unidad de Glaciología y Nieves (UGN)



Ministerio de  
Obras Públicas

## Unidad de Glaciología y Nieves Dirección General de Aguas (DGA-MOP)

Gino Casassa, Jefe UGN, glaciólogo, Ph.D.

Diego González, Ing. Civil Electrónico

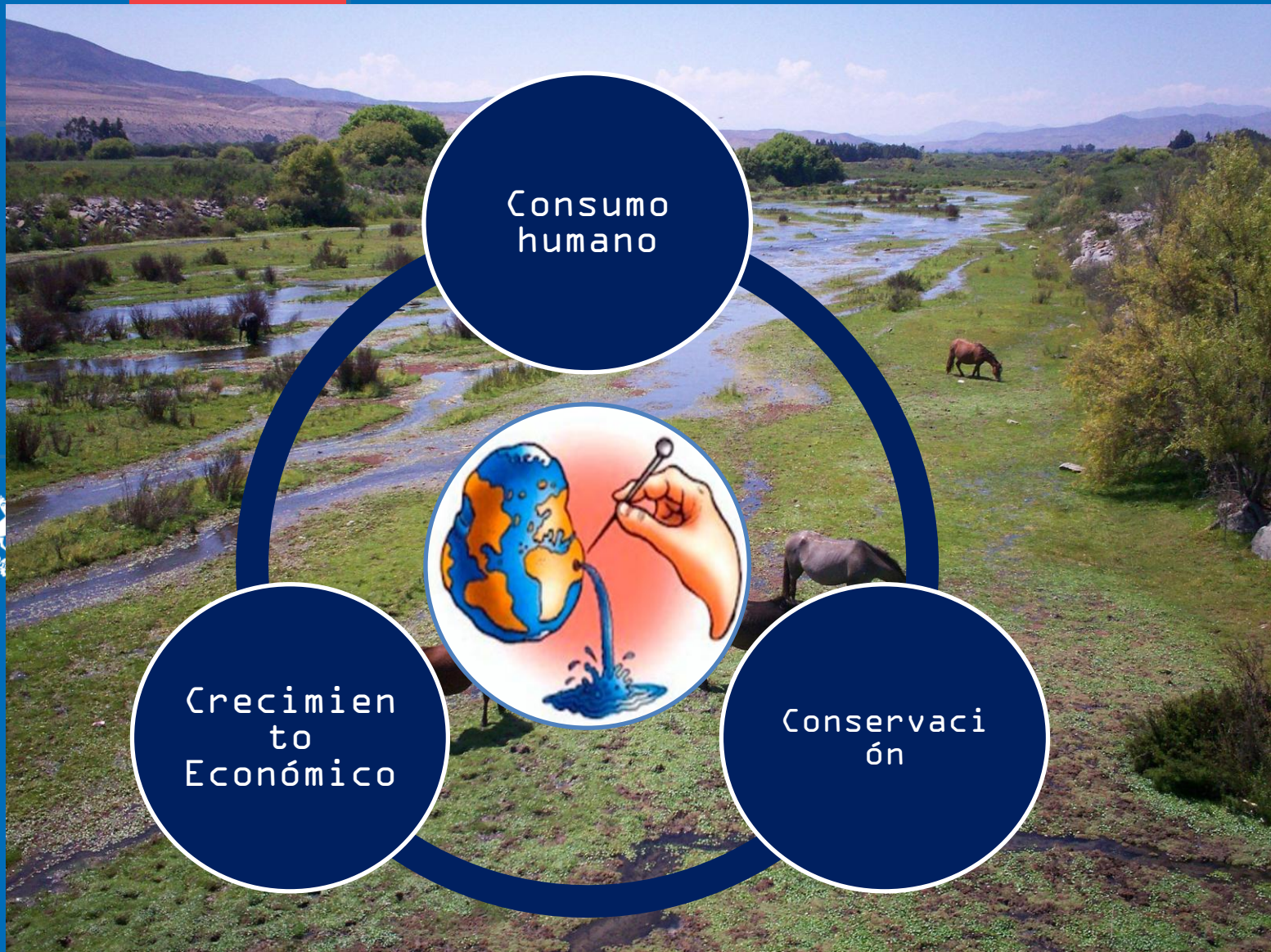
Jorge Huenante, Ing. Electrónico, M.Sc.

Raúl Cisternas, Ing. Civil Hidráulico

Javier Valdés, Geógrafo, M.Sc.

Franco Buglio, Geólogo

Juan Carlos Eyzaguirre, Administración



Consumo humano

Crecimiento Económico

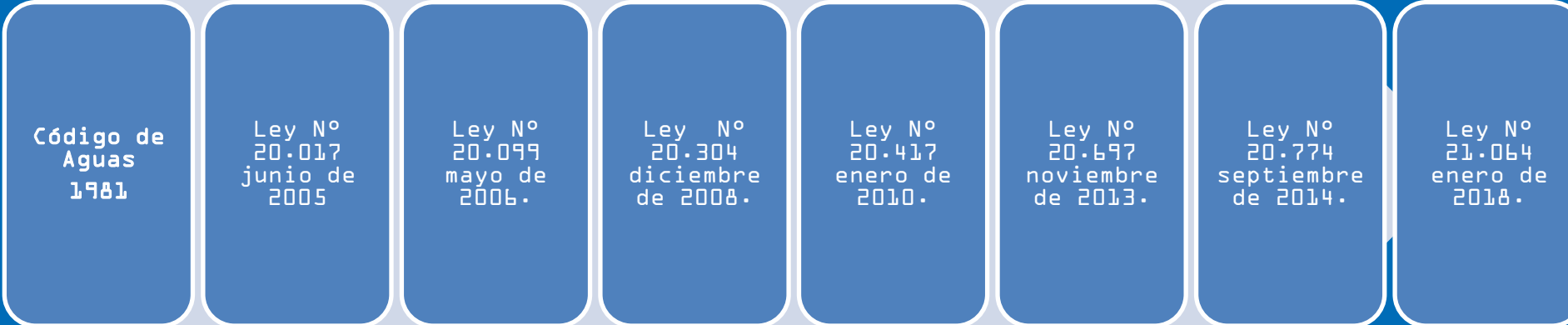
Conservación



# CONTAMOS CON UN CUERPO LEGAL

- Patente por no uso
- Caudales ecológicos

7 modificaciones / 93 artículos



- Separación tierras y aguas
- Derechos de aprovechamiento
- Mercados de aguas

- Fiscalización
- Refuerza responsabilidades en calidad
- Medición

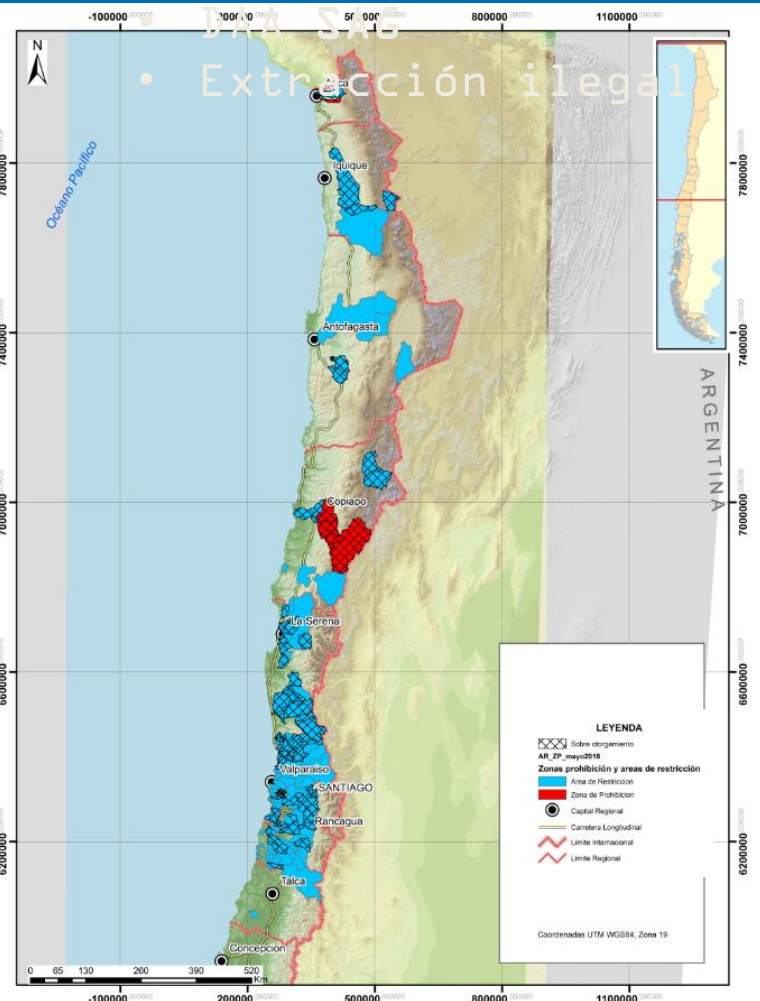
# CERTEZA HÍDRICA

## Sobre Explotación

- DGA con uso previsible
- DAA otorgados por Tribunales
- Extracción ilegal

## Herramientas del Código

- Para regular el otorgamiento de DAA
  - Áreas de restricción (art. 65)
  - Declarar zonas de Prohibición (art. 63)
  - Declaración de agotamiento (art. 282)
- Para situaciones de amenaza sustentabilidad
  - Reducción temporal Ejercicio Derechos de Aprovechamiento a prorrata (art. 62)
- Para casos de extrema sequía
  - Declaración de zona de escasez (art. 314)



# 2008-2018

- Indicadores del Cambio Climático
  - Reservas estratégicas de agua en estado sólido
  - Aumento del nivel del mar
  - Chile concentra 78,6% de los glaciares de Sudamérica
- Programa Glaciológico Nacional
    - Catastro
    - Estudio
    - Monitoreo



## Logros

- Registro 24.114 glaciares (23.641 km<sup>2</sup>)
- Monitoreo
  - 30 estaciones meteorológicas
  - 8 estaciones meteorológicas móviles
  - 5 refugios en glaciares

## Desafíos

- Proteger y crear conciencia
- Actualización Programa Glaciológico Nacional
- Actualización Inventario Público de Glaciares
- Cambio organizacional de DGA-MOP
- Riesgos de glaciares



En tanto, la Cámara aprobó proyecto que impide otorgar derechos de agua sobre estos hielos:

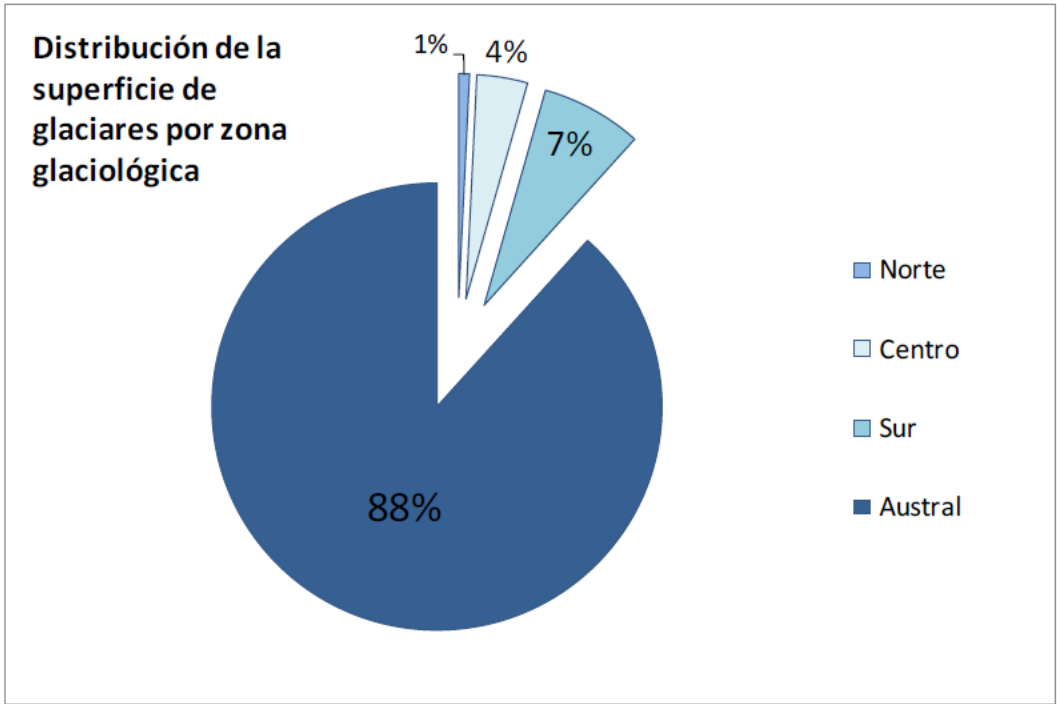
Gobierno opta por comisiones de expertos para definir cómo proteger los glaciares

- 2014: Libro de Glaciares
- 2016: Atlas del Agua
- 2017: Barcaza *et al.*



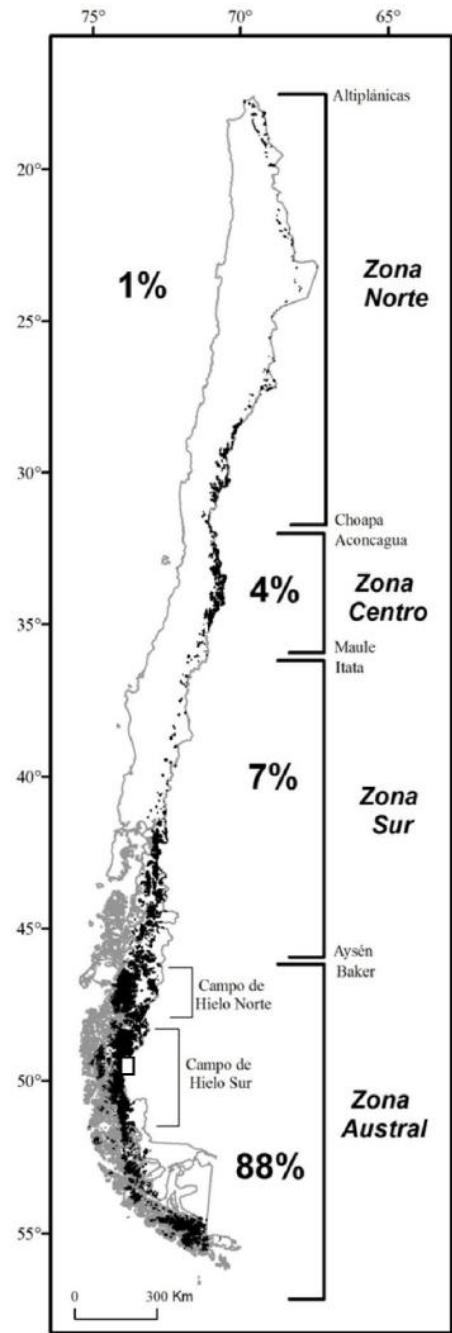
# Caracterización Glaciológica de Chile

## Zonas Glaciológicas

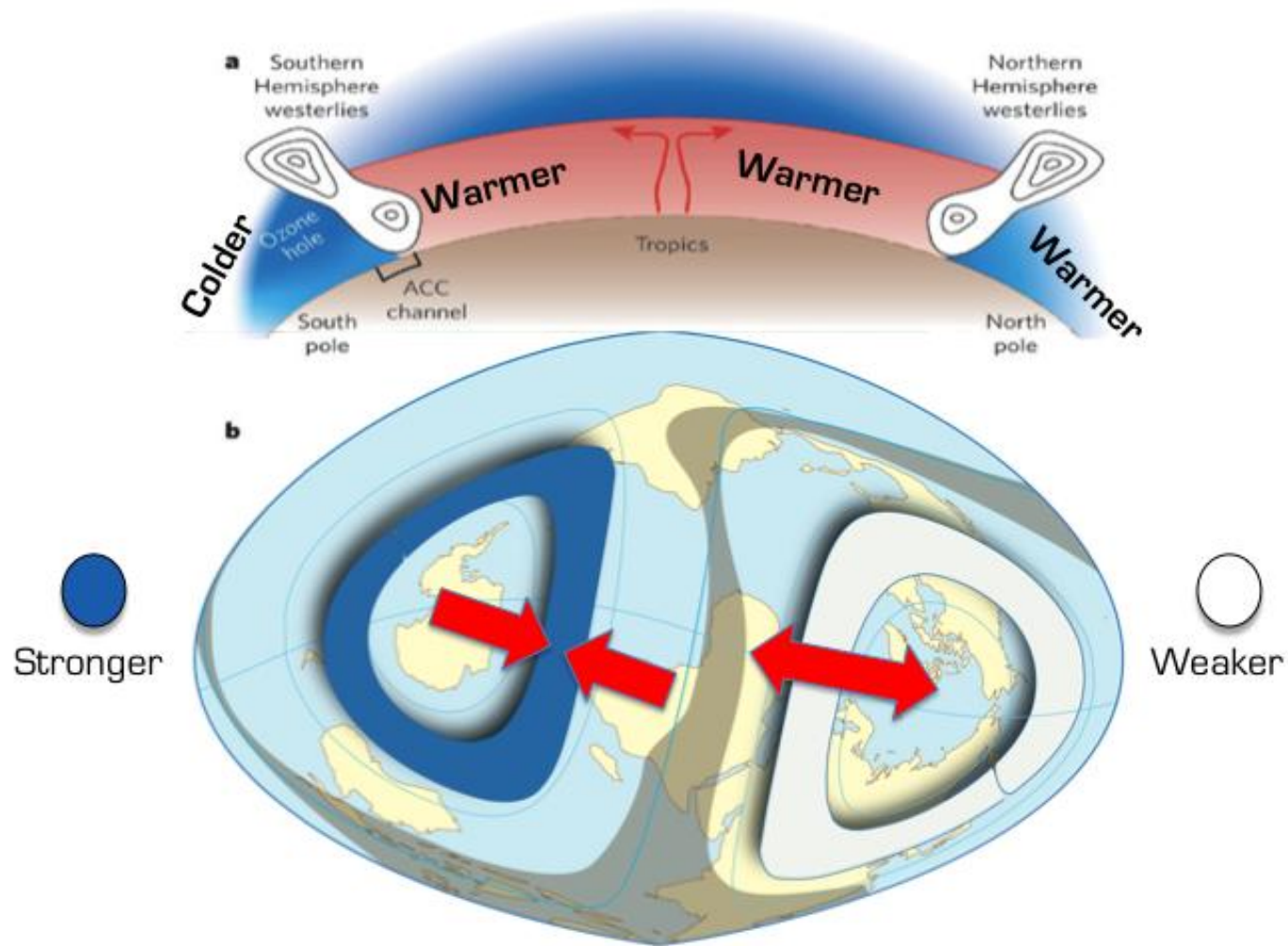


Fuente: Segovia & Videla, 2017.

Registro 24.114 glaciares (23.641 km<sup>2</sup>)



# POLOS OPUESTOS

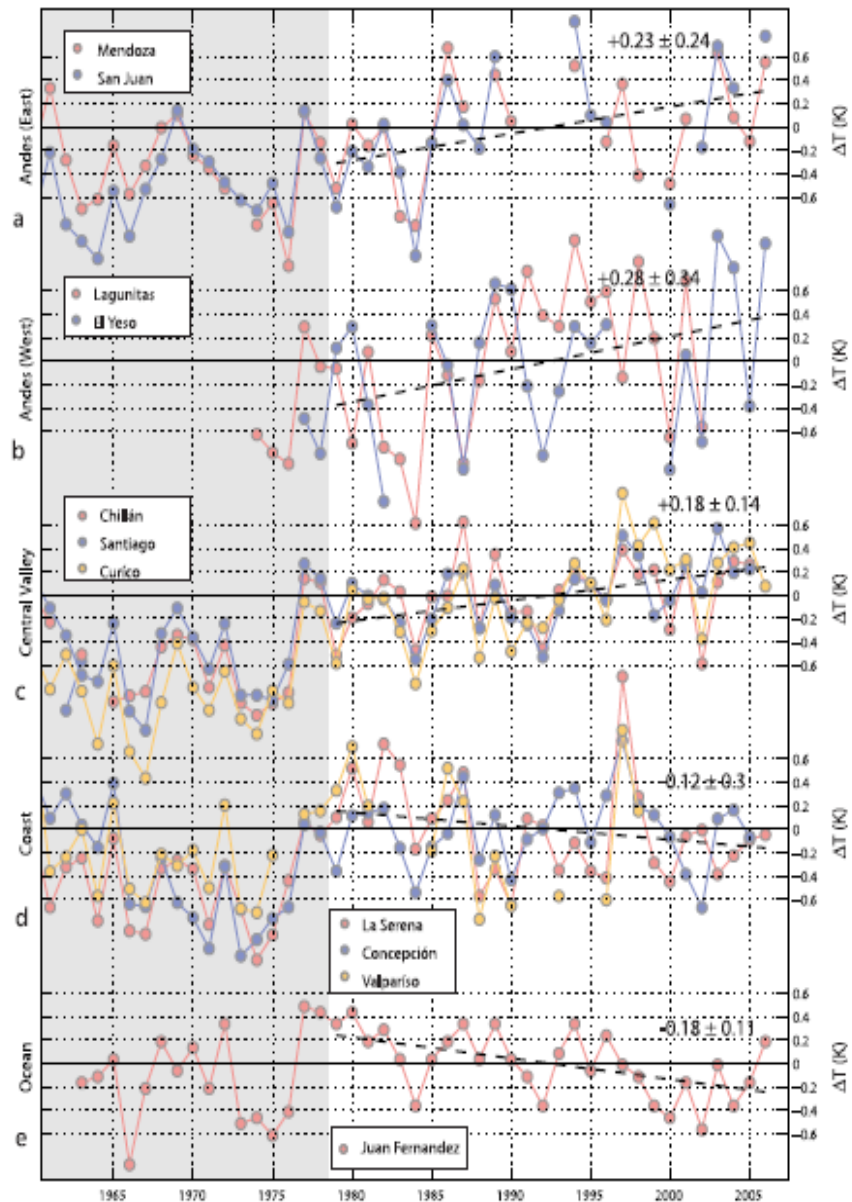
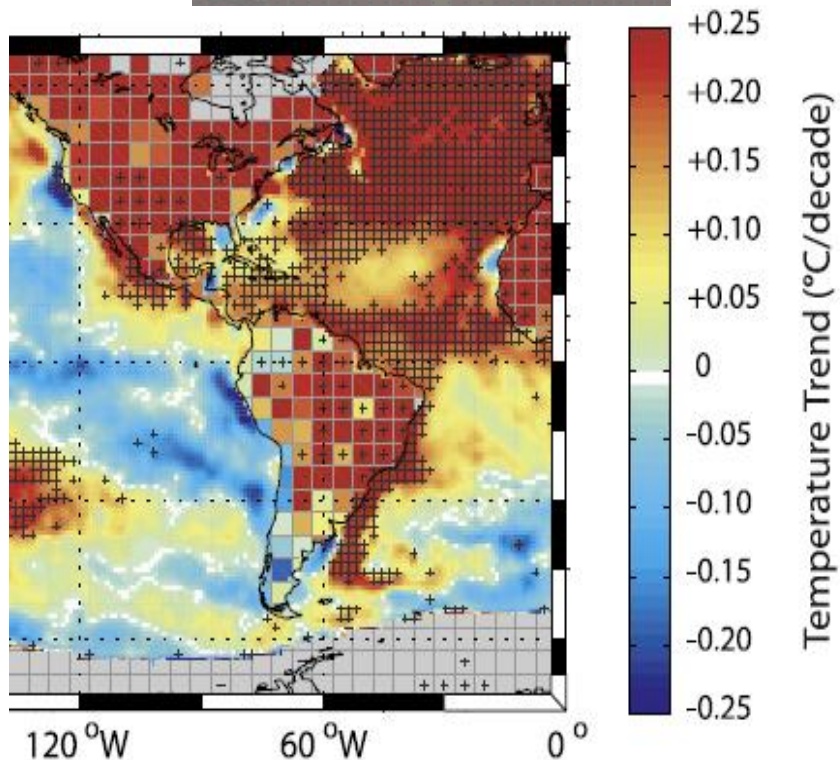




# Enfriamiento regional en un planeta que se calienta

Falvey & Garreaud, JGR, 2009

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



RESEARCH ARTICLE

10.1002/2015JD023126

Impact of the global warming hiatus  
on Andean temperature

2015 JGR

Atmospheres

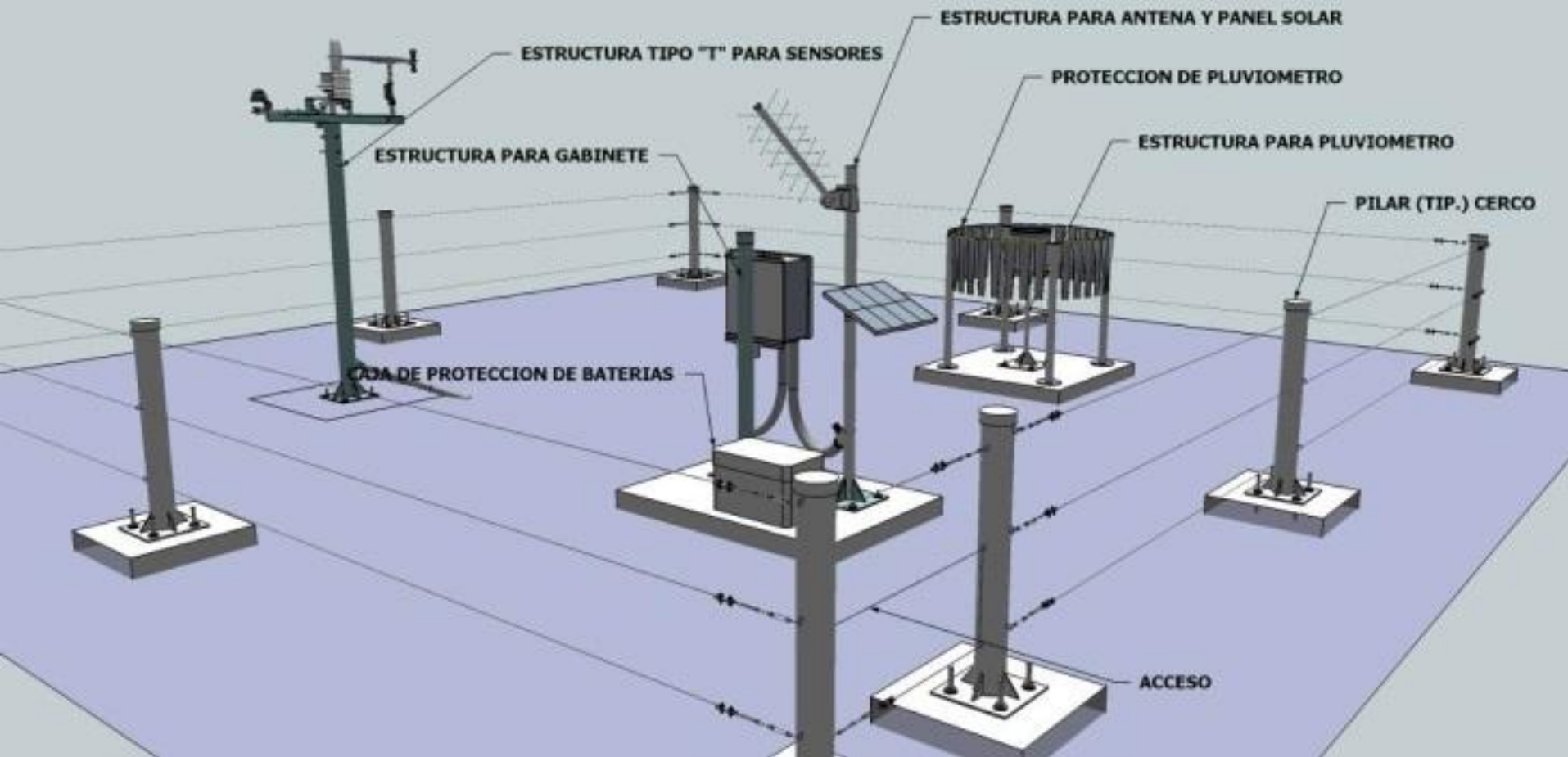
Key Points:

- Trends depend on latitude and choice

Mathias Vuille<sup>1</sup>, Eric Franquist<sup>1</sup>, René Garreaud<sup>2</sup>, Waldo Sven Lavado Casimiro<sup>3</sup>, and Bolivar Cáceres<sup>4</sup>



# ESTACIÓN METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA ESTÁNDAR



## Variables esenciales del clima

1. Temperatura del aire pasiva ( $^{\circ}\text{C}$ )
2. Temperatura del aire aspirada ( $^{\circ}\text{C}$ )
3. Humedad relativa (%)
4. Velocidad del viento ( $\text{m s}^{-1}$ )
5. Dirección del viento (grados)
6. Presión Atmosférica (mb)
7. Radiación solar onda corta ( $\text{W/m}^{-2}$ )
8. Radiación solar onda larga ( $\text{W/m}^{-2}$ )
9. Distancia al suelo (nieve) (cm)
10. Precipitación (mm)

# ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS FIJAS EN OPERACIÓN



**EMAF VALLE DEL RÍO OLIVARES**  
**CUENCA DEL RÍO OLIVARES (MAIPO)**



**EMAF «TERMAS DEL PLOMO», CUENCA DEL RÍO YESO**  
**(MAIPO)**



**EMAF «GLACIAR UNIVERSIDAD», CUENCA DEL RÍO**  
**TINGUIRIRICA (RAPEL)**



**EMAF «NUNATAK O'HIGGINS», CUENCA**  
**DEL LAGO O'HIGGINS (RÍO PASCUA)**



# ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS MÓVILES EN OPERACIÓN



DO (CUENCA DEL ELQUI)

EMAM GLACIAR PRIÁMIDE (CUENCA DEL ELQUI)



EMAM GLACIAR EXPLORADORES (CUENCA RÍO EXPLORADORES)



EMAM GLACIAR SAN FRANCISCO (CUENCA DEL RÍO VOLCÁN)

# NUEVAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS



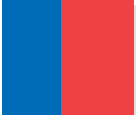
EMAF COMPLEJO VOLCÁNICO MOCHO CHOSHUENCO (CUENCA DEL RÍO BLANCO)



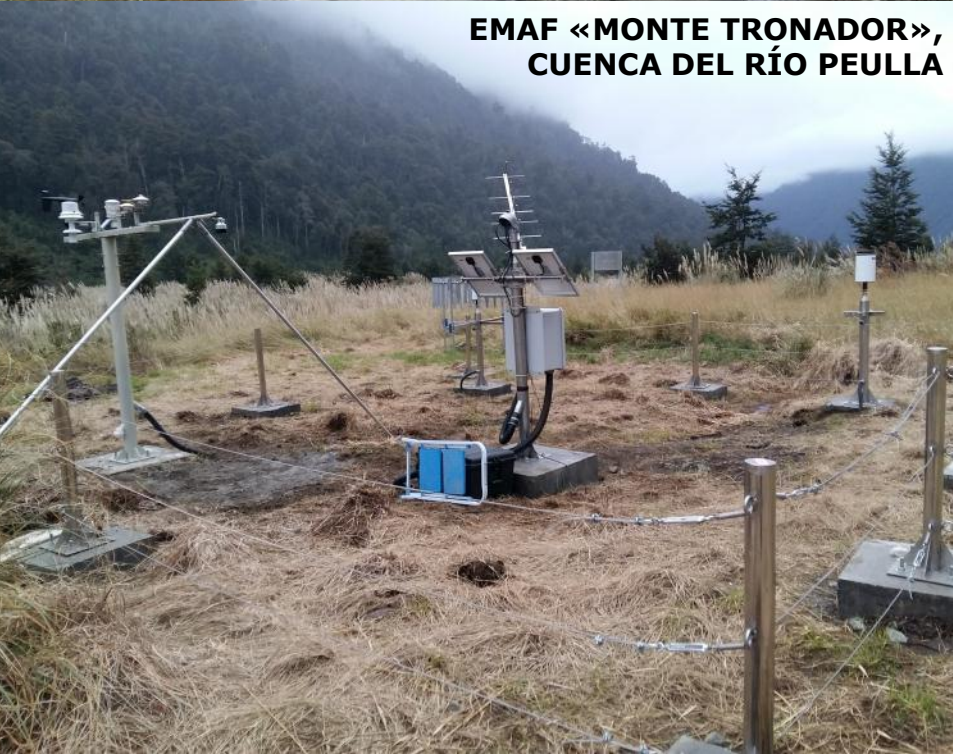
EMAF GLACIAR CORTADERAL (CUENCA DEL RÍO CORTADERAL)



# NUEVAS ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS Y METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS



**ESTACIÓN FLUVIOMÉTRICA ESTERO MORALES**

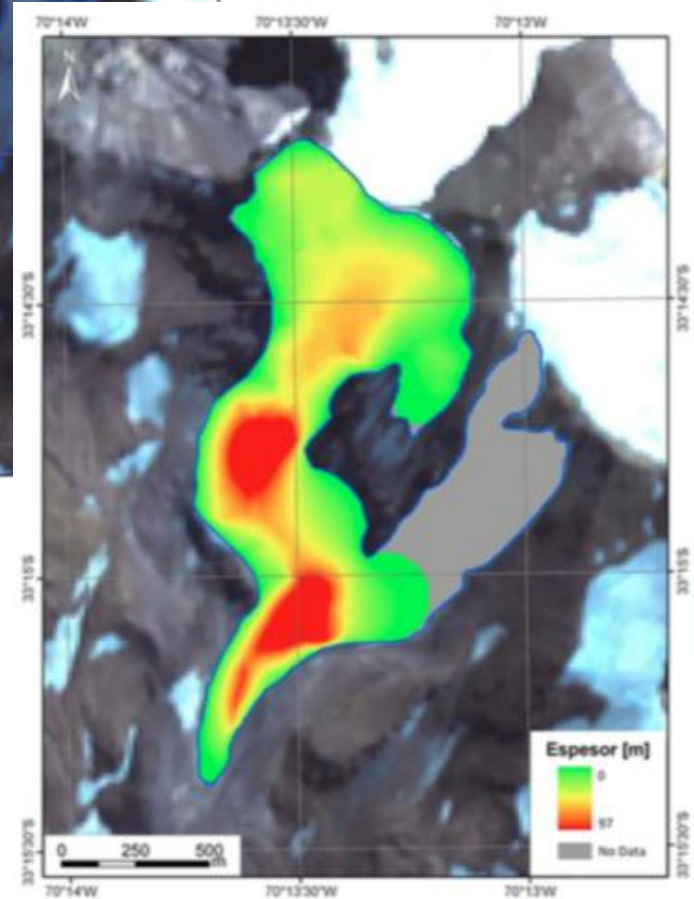
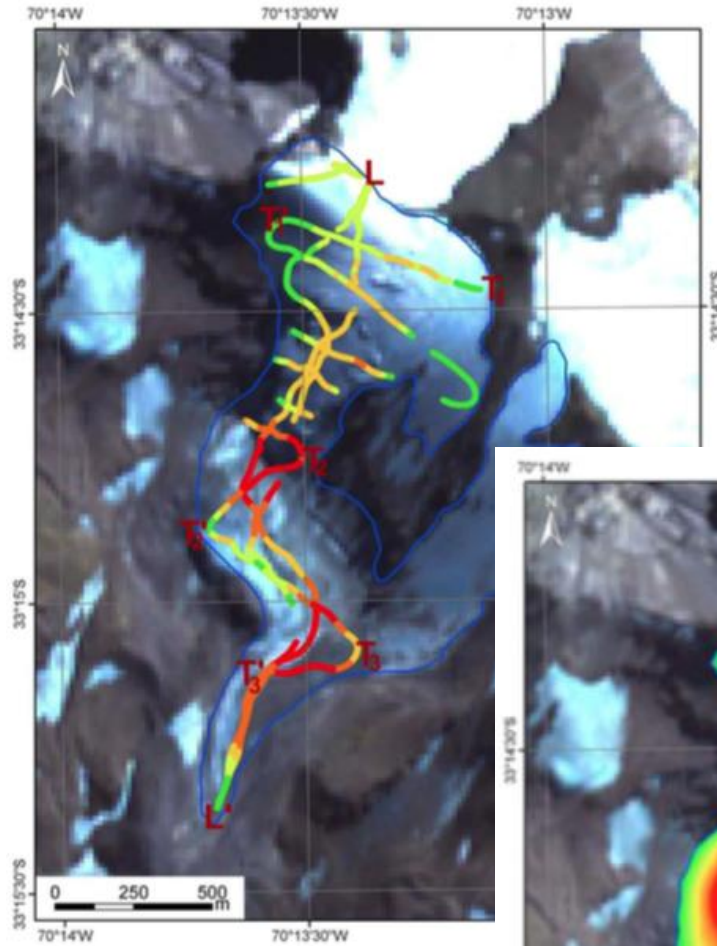


**EMAF «MONTE TRONADOR»,  
CUENCA DEL RÍO PEULLA**



**EMAF «GLACIAR  
OLIVARES ALFA», CUENCA  
DEL RÍO OLIVARES  
(MAIPO)**

# VOLUMEN DE HIELO GLACIAR CERRO EL PLOMO



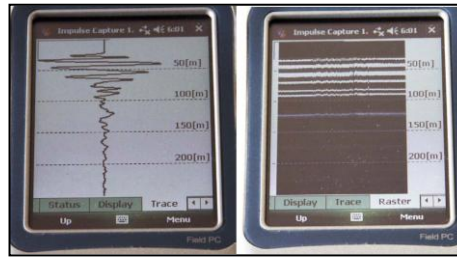


# VOLUMEN DE HIELO

Un glaciar no tiene más agua que el hielo que contiene y que se libera cuando se derrite, los cubiertos y rocosos lo hacen a tasas imperceptibles



## Radar terrestre (ground-penetrating radar, GPR)



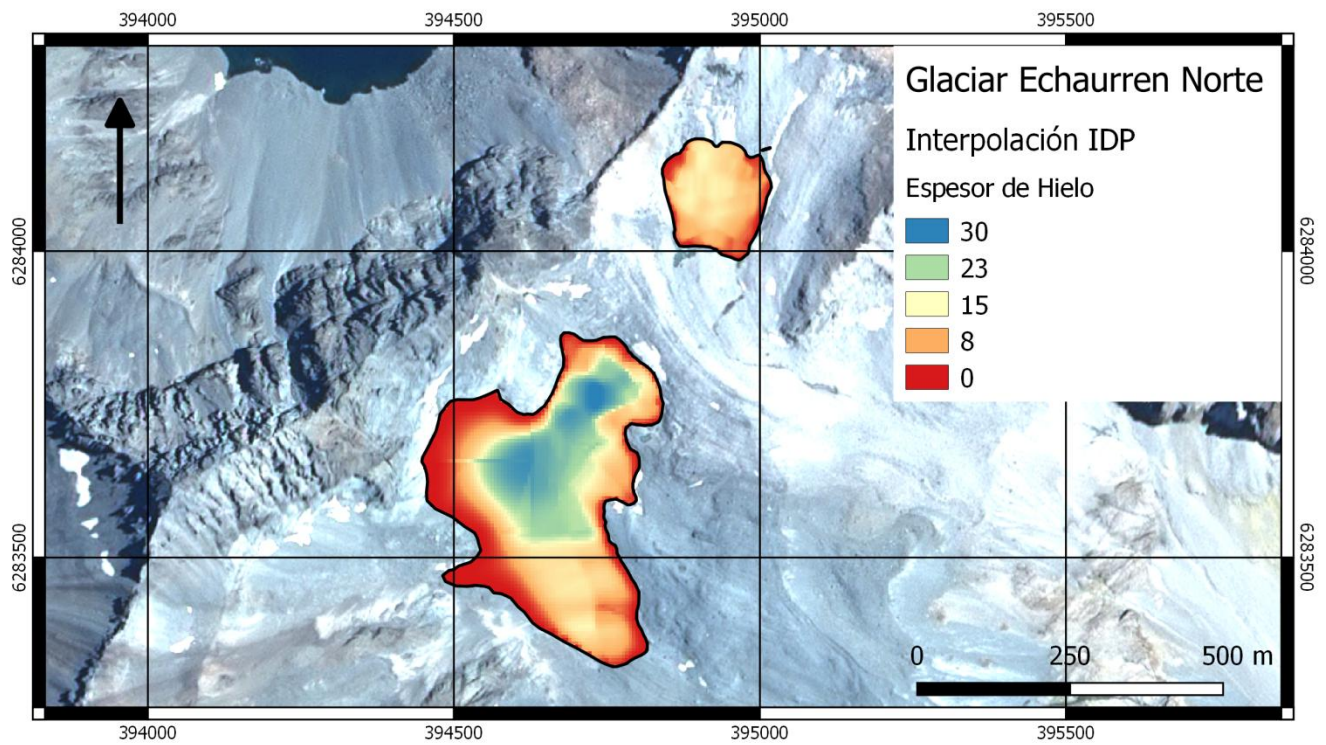
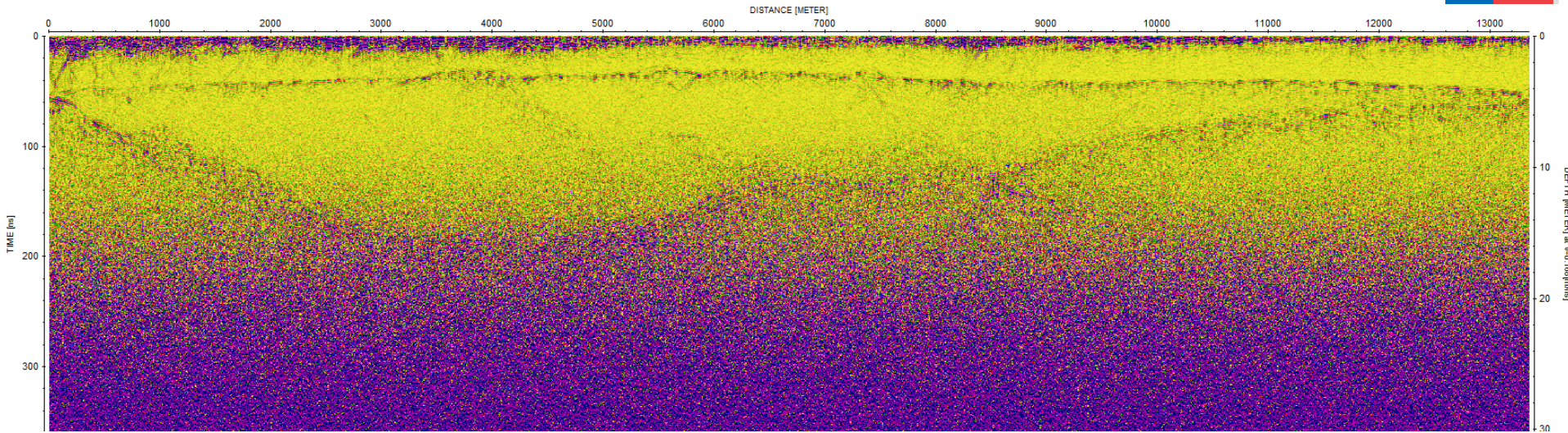
## Radar aéreo



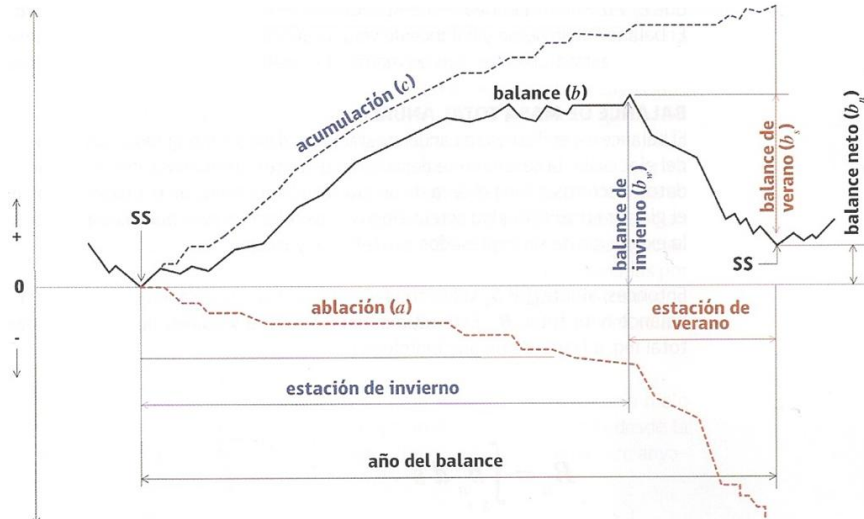
	<b>GSSI</b>	<b>UNMANNED</b>
Frecuencia (MHz)	200	2,6-10,4
Penetración (m)	10-40	500-800
GPS	No	Sí
Antena	Caja	Cintas

Tipo de glaciar: in-situ vs percepción remota

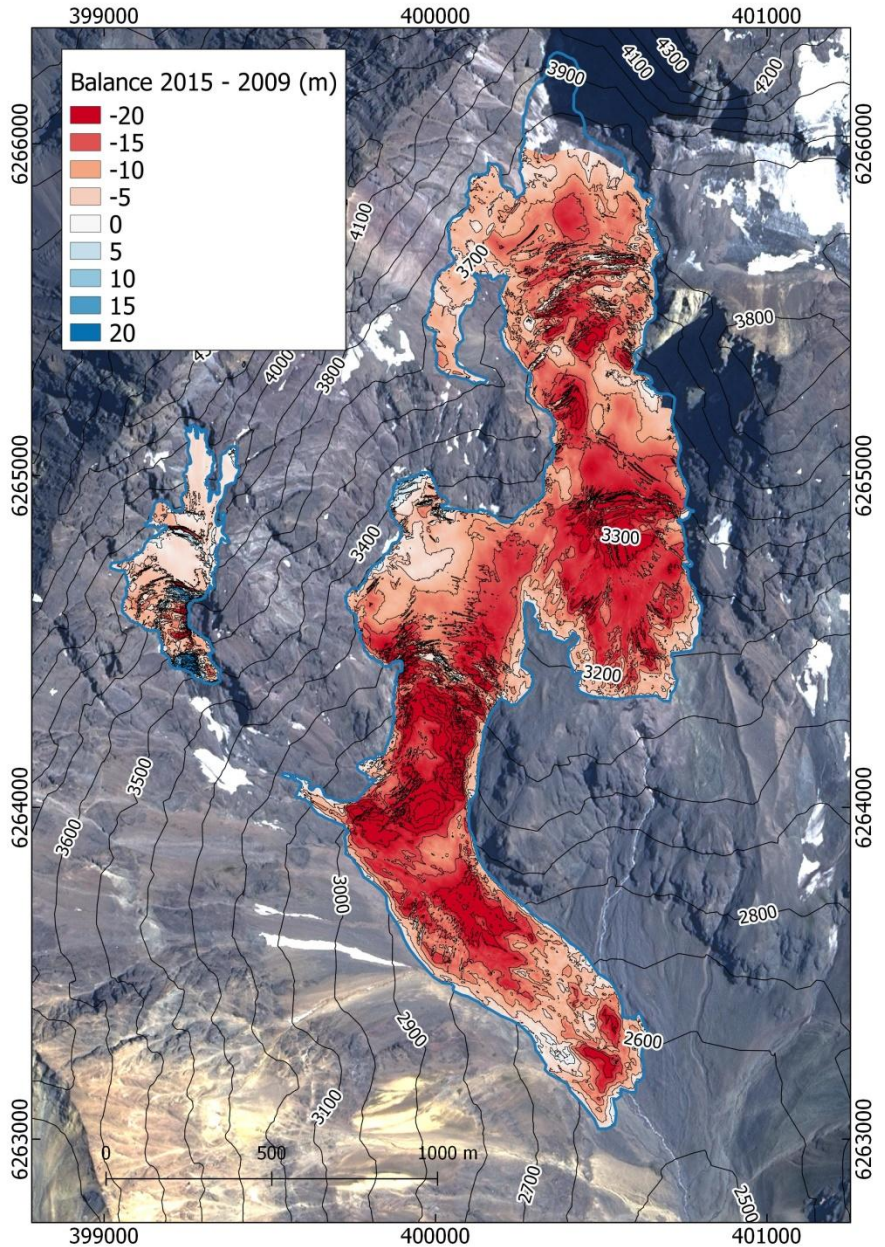
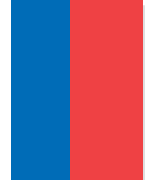
# GPR – Glaciar Echaurren Norte 2016



# BALANCE DE MASA GLACIOLÓGICO

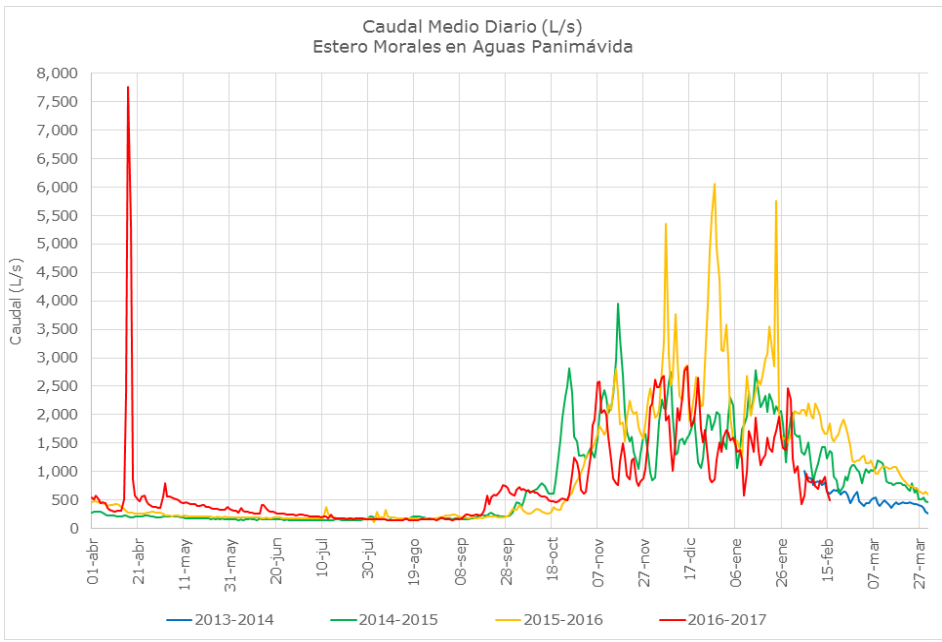


# BALANCE DE MASA GEODÉSICO GLACIAR SAN FRANCISCO (2009-2015)



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

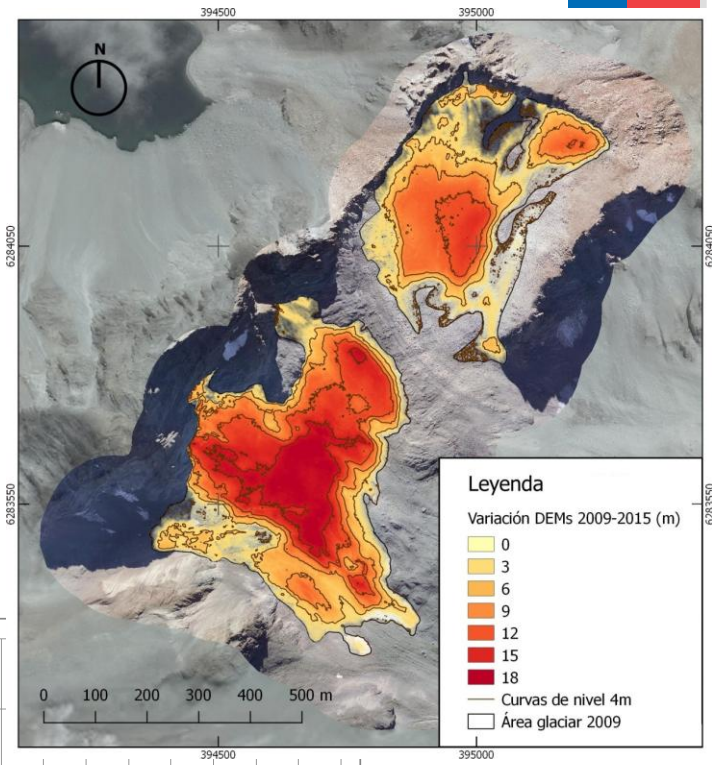
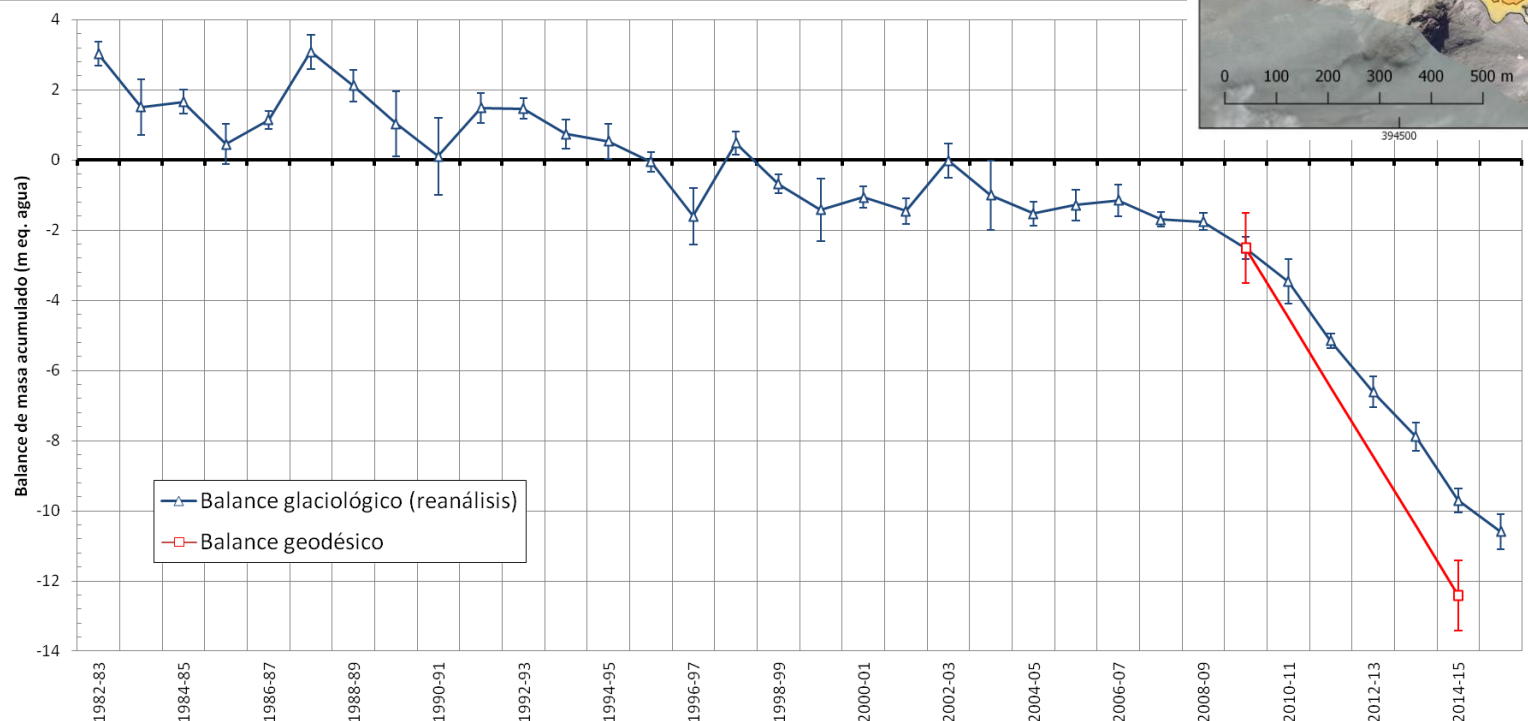
$B_{M.año} = -1,66 \text{ (m w.e. a}^{-1}\text{)}$



# BALANCE DE MASA GLACIOLÓGICO/GEODÉSICO GLACIAR ECHAURREN (1975-2015)



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

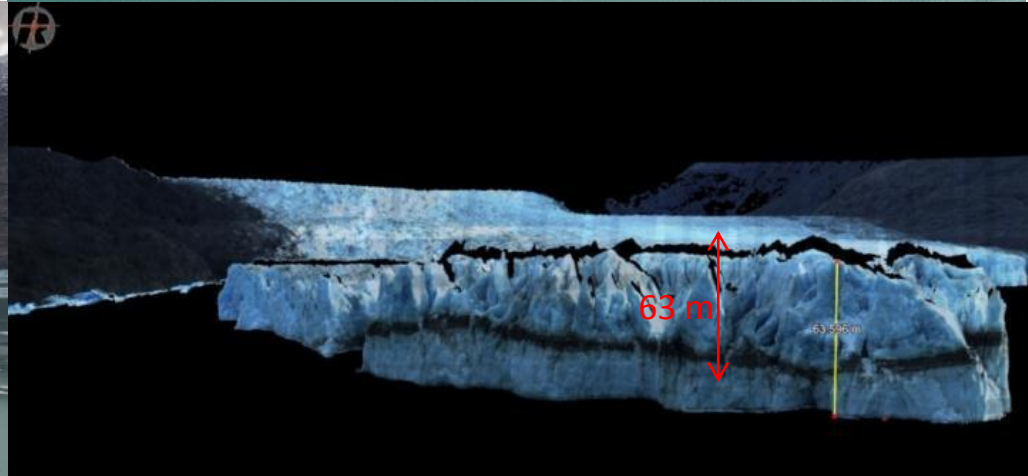
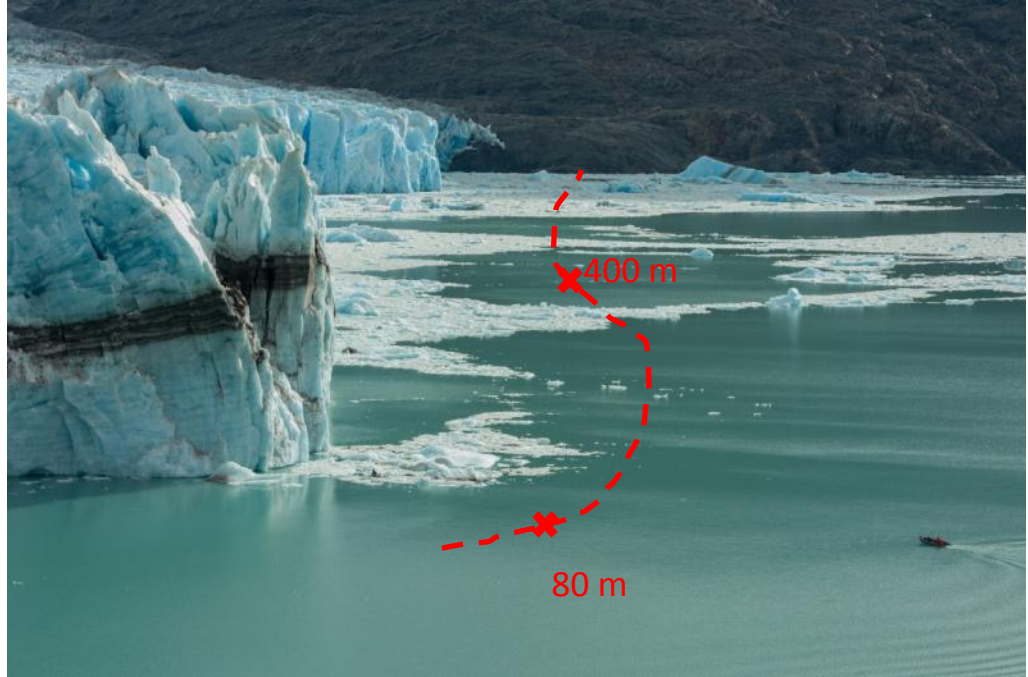
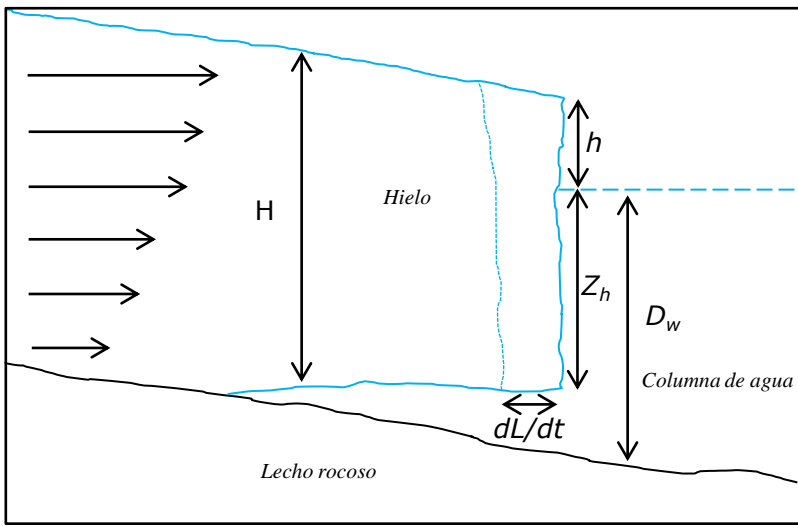


# BM geodésico 26 glaciares de la Zona Glaciológica Centro

Glacier	Period (T <sub>1</sub> - T <sub>2</sub> )	Glacier area 2015 (km <sup>2</sup> )	Geodetic MB area (km <sup>2</sup> )	(%)	Δh avg - μ (m)	B <sub>a</sub> _B100m (m w.e. yr <sup>-1</sup> )
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

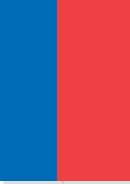
# MONITOREO CALVING

## LIDAR TERRESTRE Y BATIMETRÍA



Cambios frontales de un glaciar que termina en un fiordo/lago depende de su velocidad en el frente terminal y profundidad de la columna de agua

# Tipo de glaciar: in-situ vs percepción remota



Altimetría láser terrestre (LIDAR): del GPS terrestre (puntual) al escáner láser (distribuido)  
Topografía de superficie sin transitar por el glaciar (zonas de grietas) Precisión submétrica ( $\sim 0,5$  m)



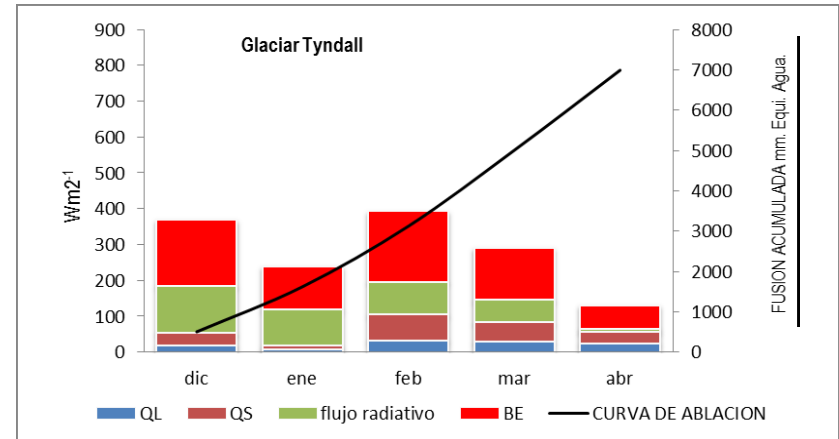
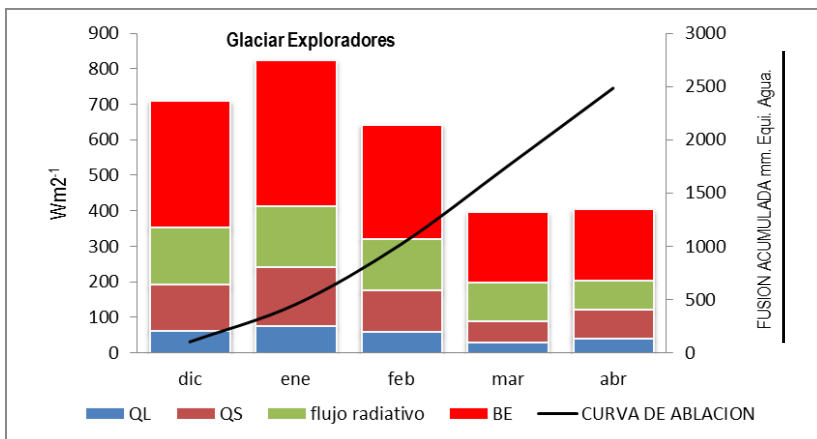
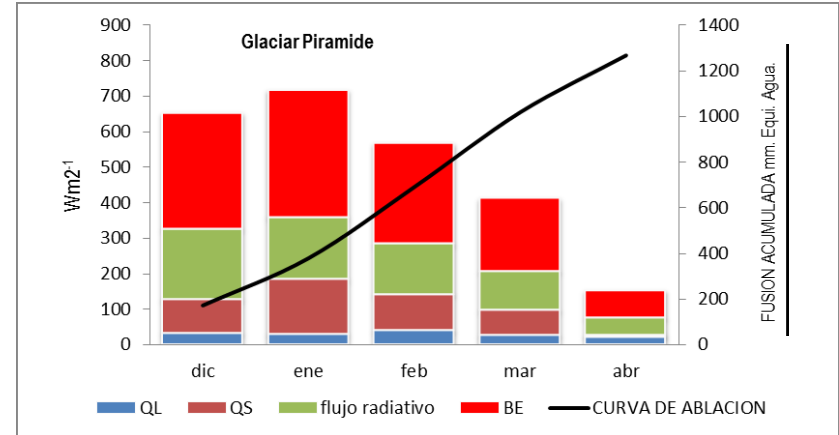
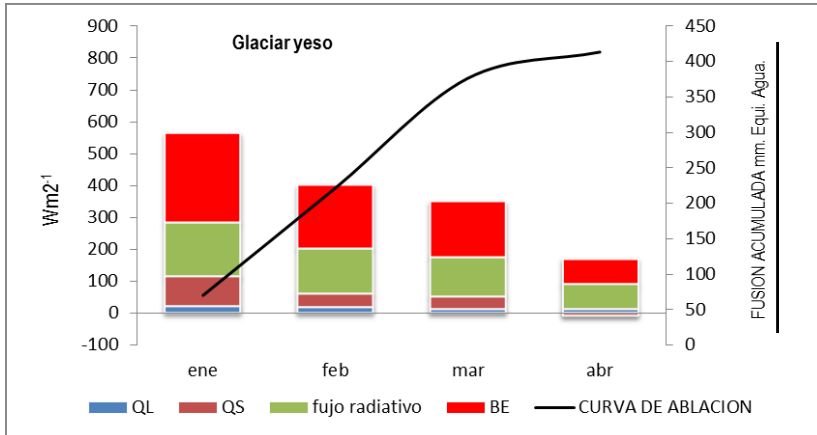


# Ejemplo de Aplicación

Informe de gestión 2017.

balances de energía glaciares **Yeso-pirámide-Exploradores - Tyndall.**

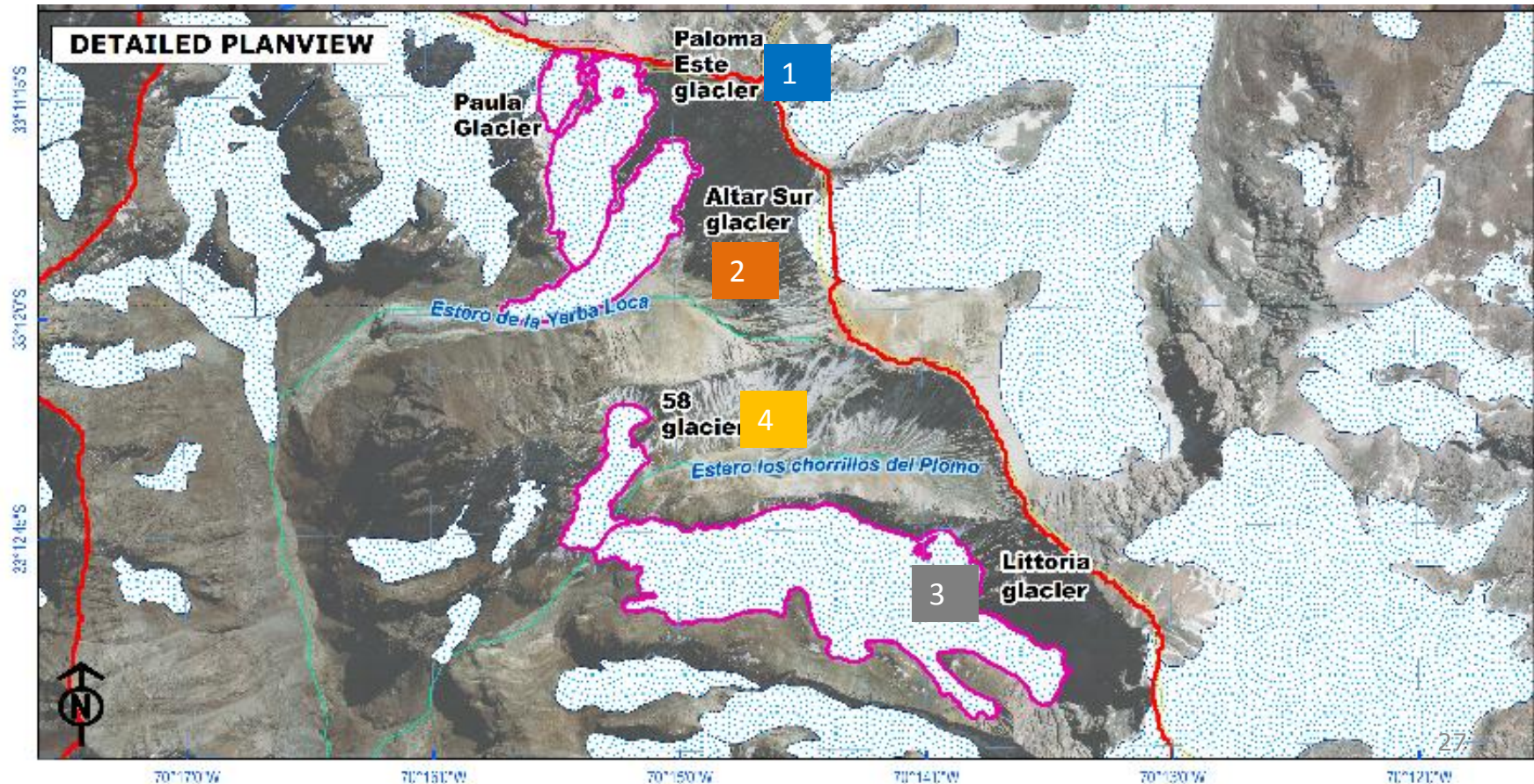
*Data: DIC\_2016-ABR\_2017*



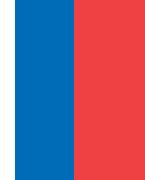


# Clasificación de glaciares según aporte hídrico

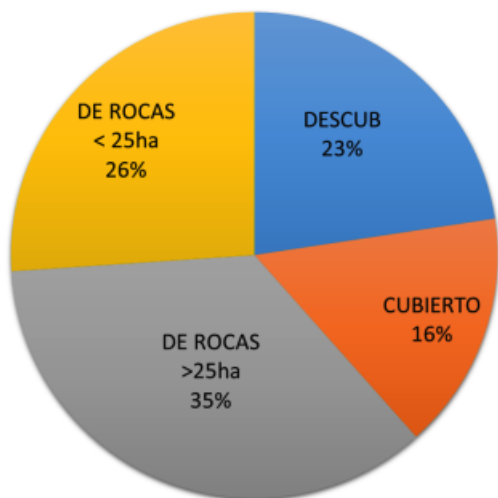
TIPO	1	2	3	4
		Descubierto	Cubierto	De rocas (>25 ha)
NOMBRE	Paloma Este	Altar Sur	Littoria	58
RENDIMIENTO HÍDRICO GLACIAR ANUAL (*)	<b>Alto</b> 0,26 l/s/ha	0,17 l/s/ha	0,07 l/s/ha	<b>Bajo</b> 0,03 l/s/ha



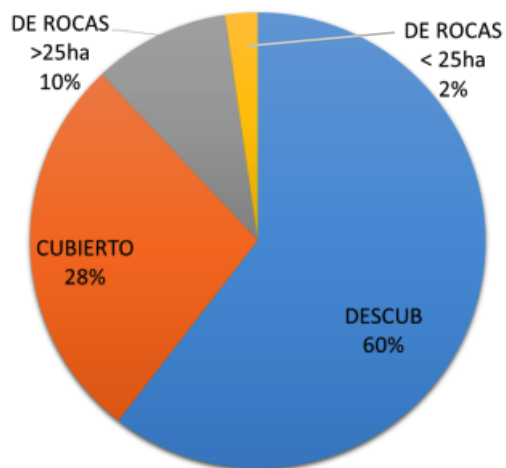
# CONTRIBUCIÓN HÍDRICA ANUAL



YERBA LOCA - %ÁREA TOTAL



YERBA LOCA - %APORTE HÍDRICO



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

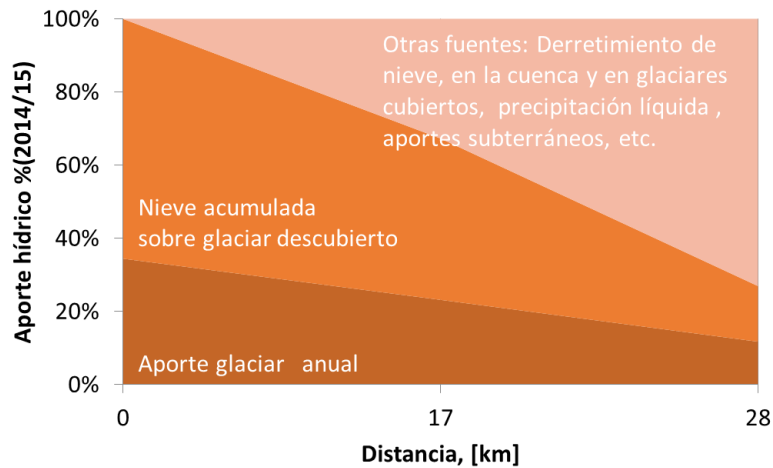
- El aporte de los glaciares descubiertos y cubiertos (39% sup. total) representan al 88% del aporte hídrico total.
- El aporte de los glaciares de rocas <25 ha (35% sup. total) es de un 12%.
- NOTA: No incluye el aporte de nieve acumulado sobre glaciares cubiertos de detritos



# en función de la distancia relativa a los glaciares

6.330.000

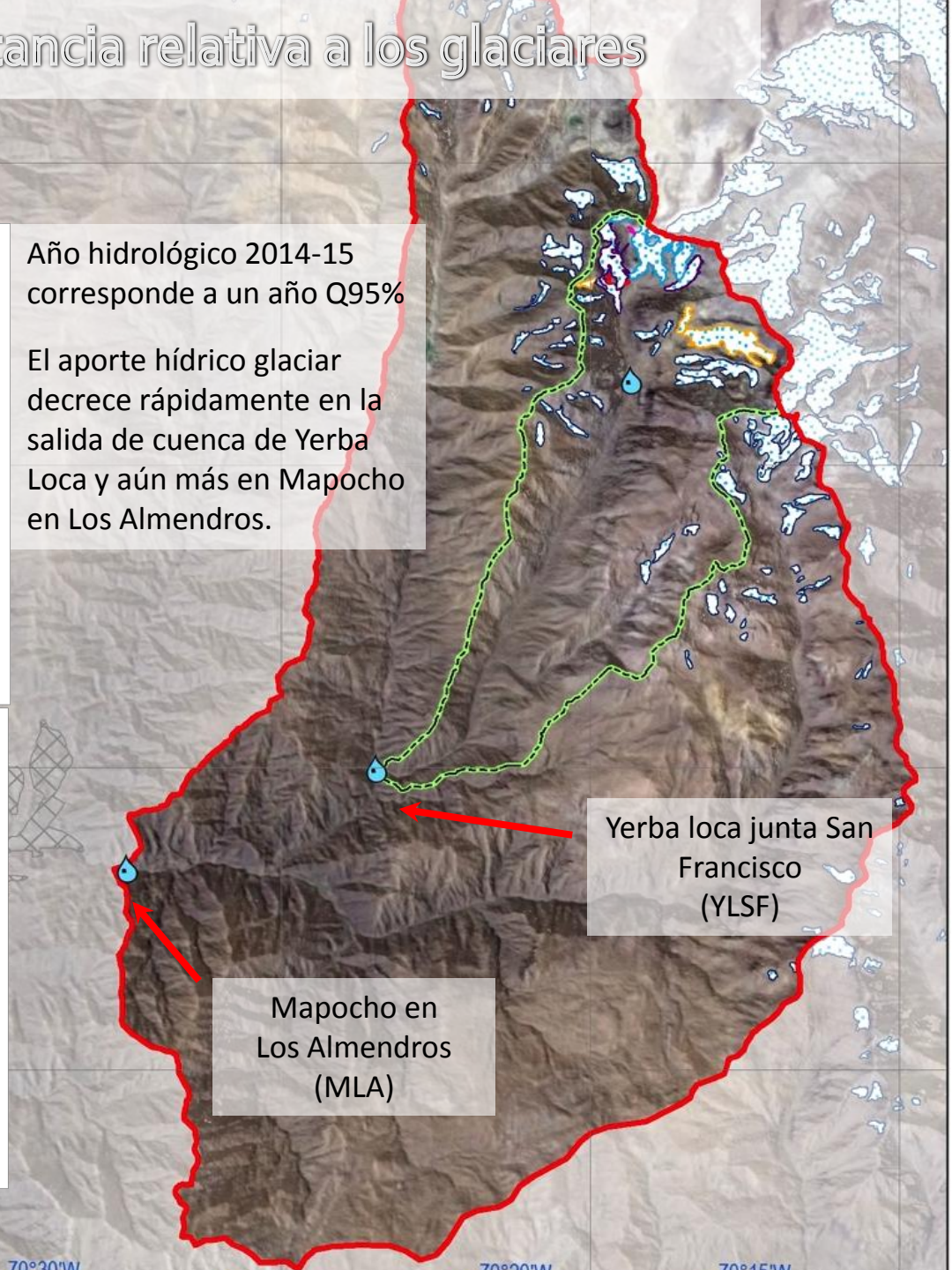
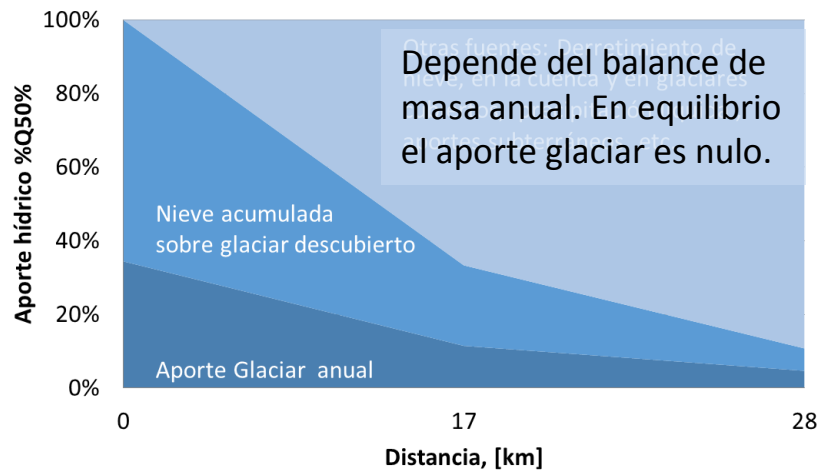
### Aporte hídrico glaciar anual: %Q (2014-15)



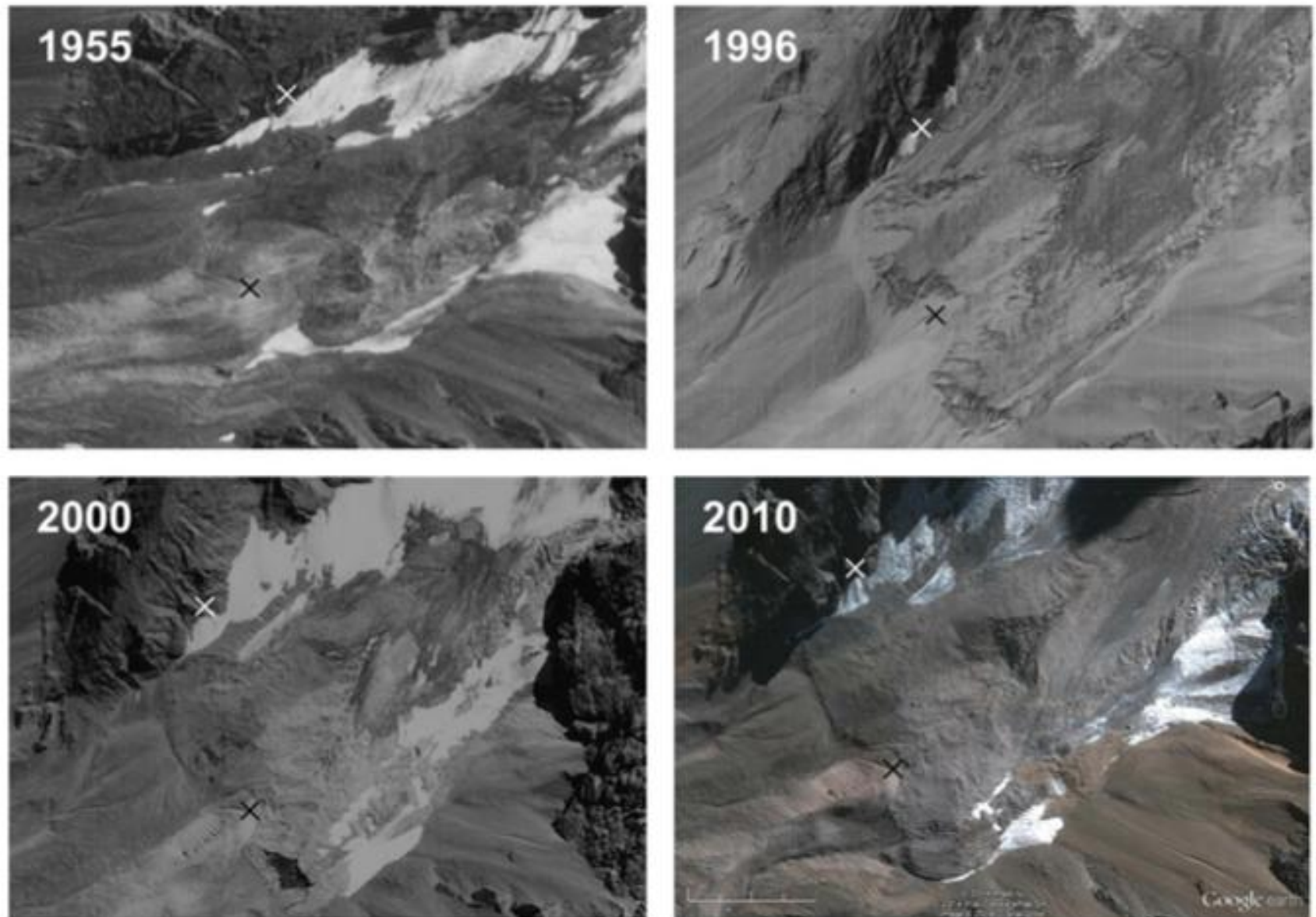
Año hidrológico 2014-15 corresponde a un año Q95%

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%



70°45'W 70°40'W 70°35'W 70°30'W 70°20'W 70°15'W

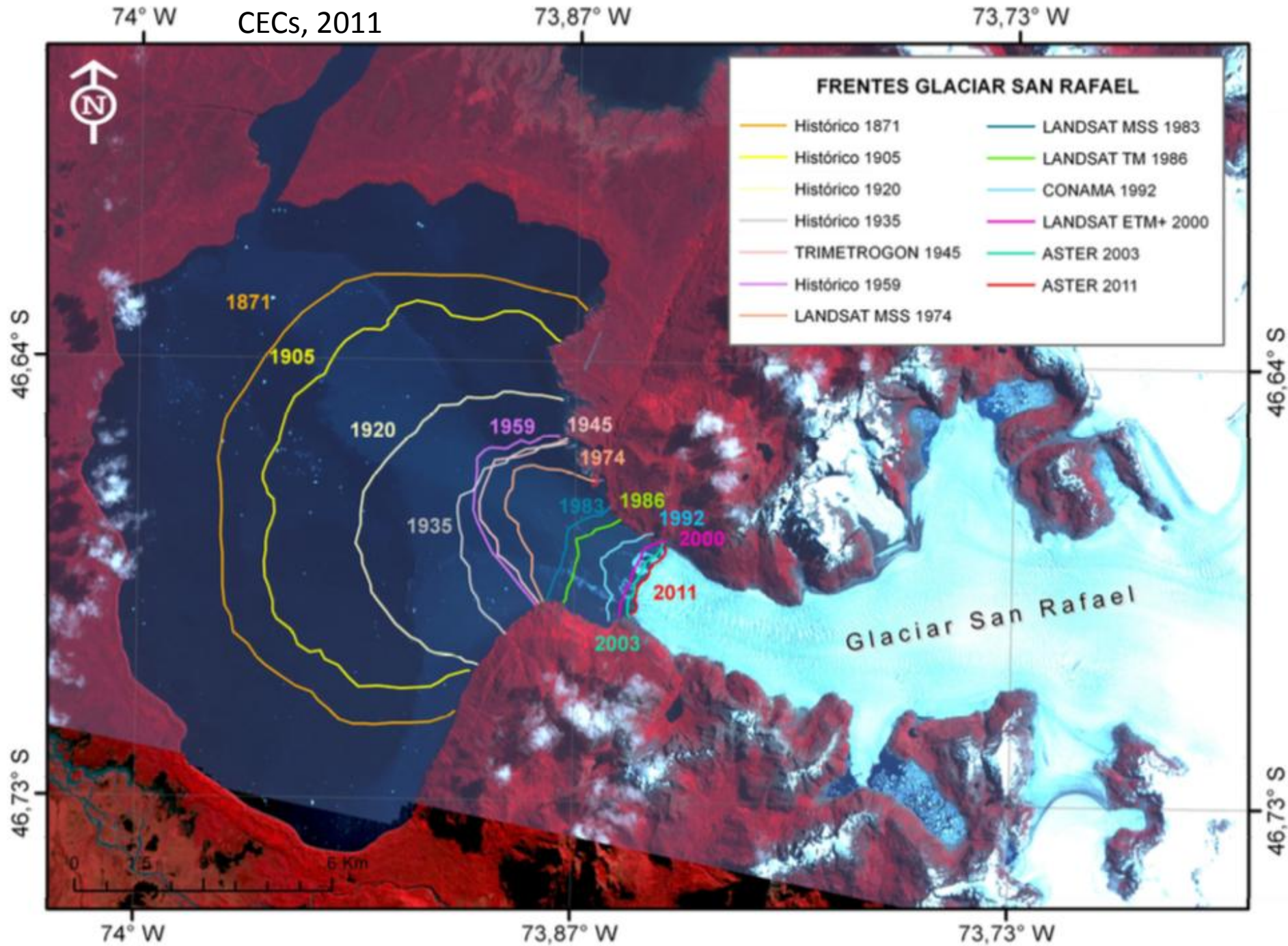


**Fig. 3.** Morphological evolution of the Presenteseracae debris-covered glacier. The black and white crosses are stable reference points.

# YERBA LOCA BASIN

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







2/3/2017  
2011 2017

GLACIAR SAN RAFAEL  
Continuous retreat 2011-2017  
~150 m = ~ 25 m/y



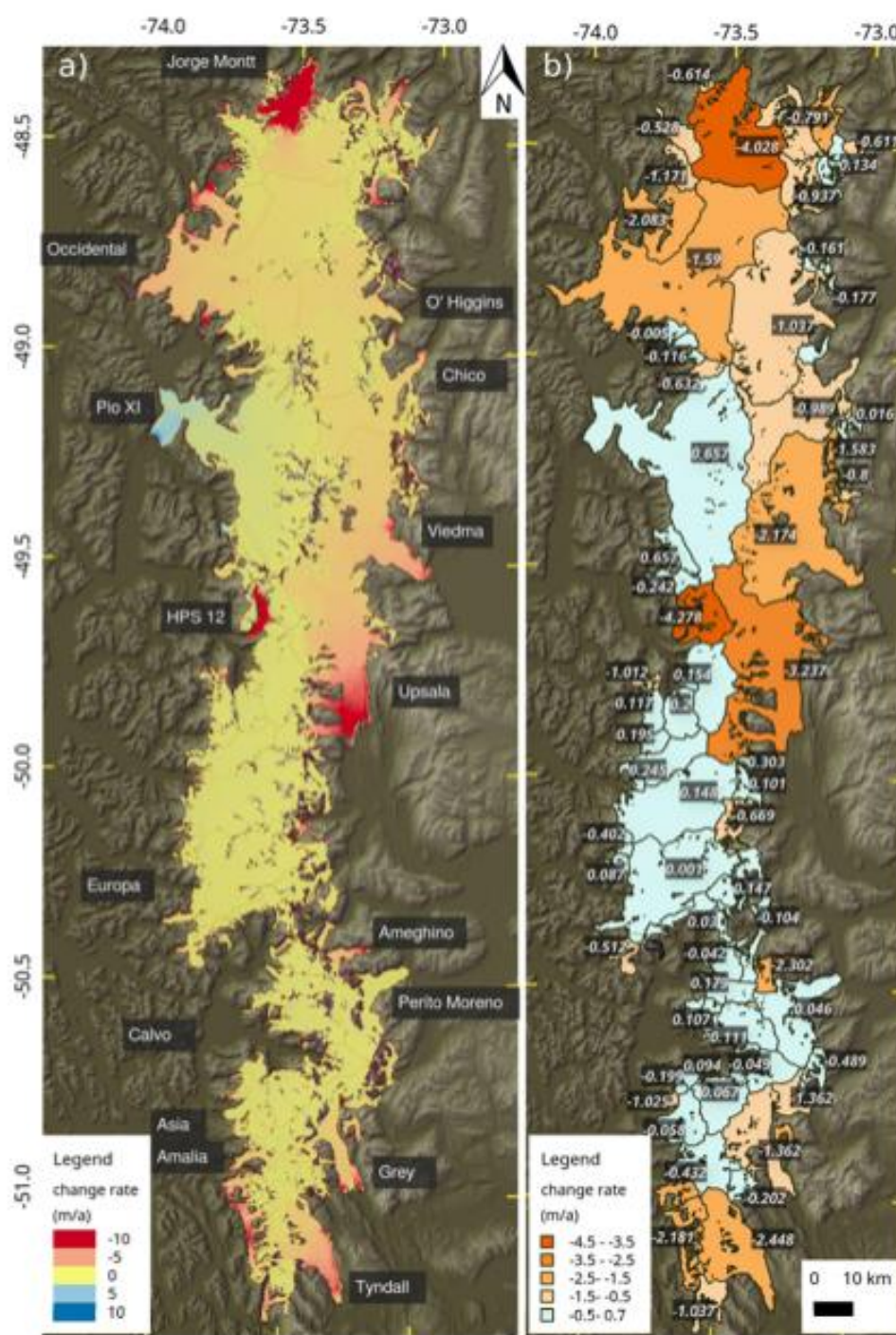
Image © 2018 CNES / Airbus

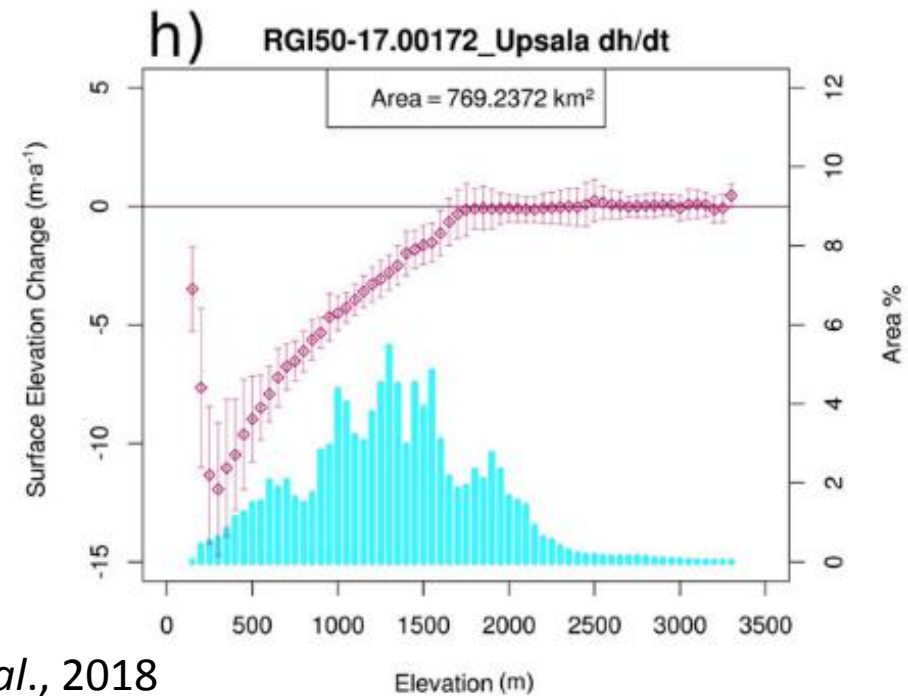
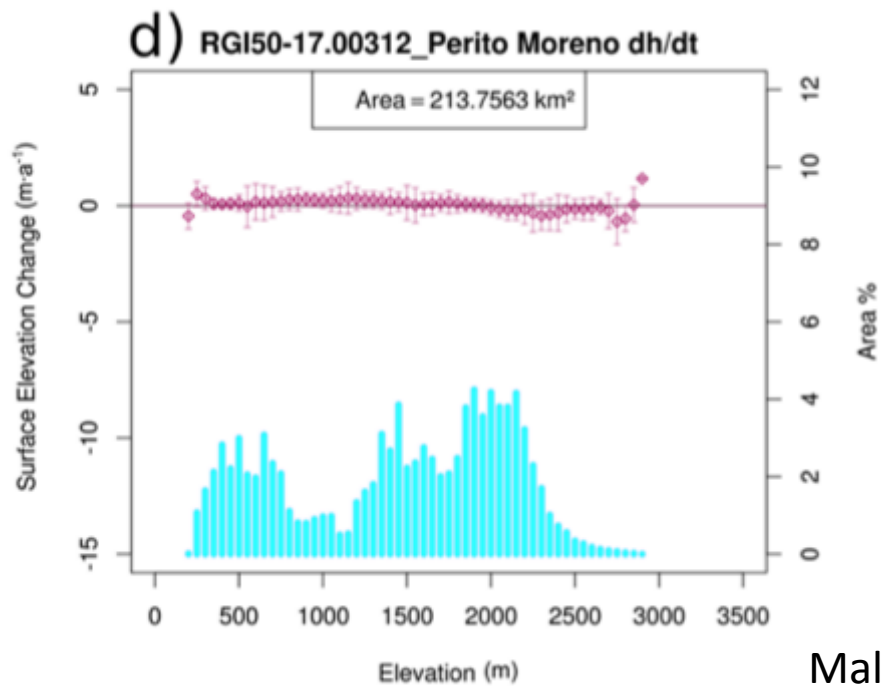
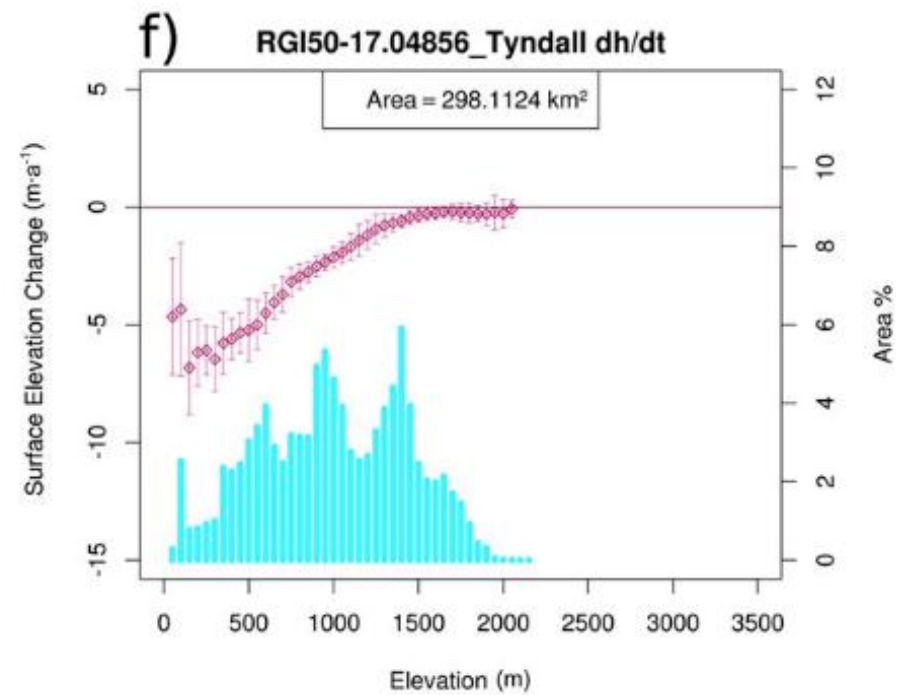
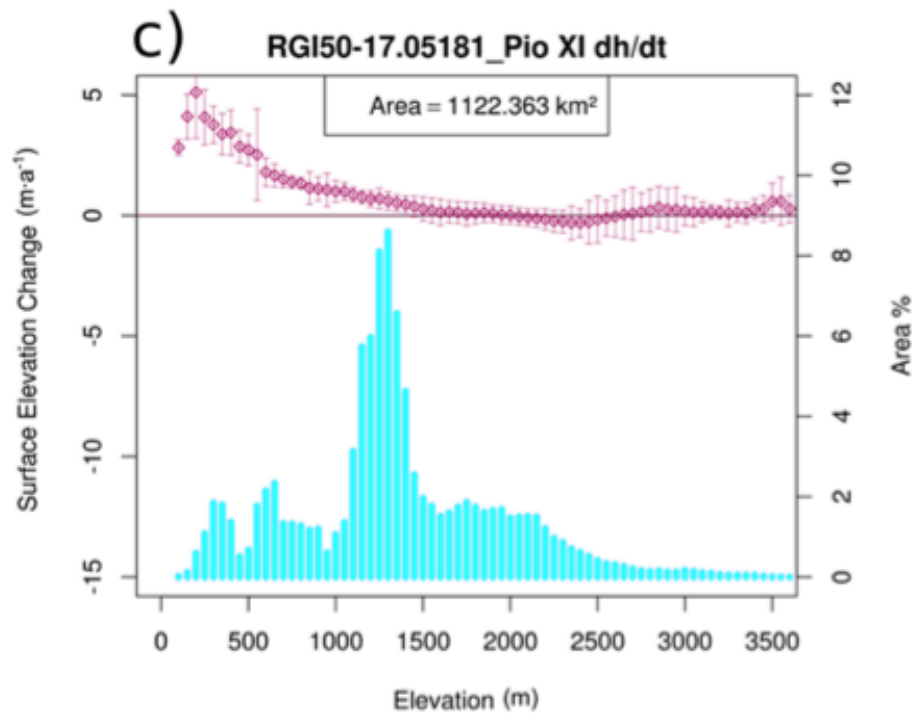
Google Earth

Tour Guide 2011 Imagery Date: 2/3/2017 18 G 589071.50 m E 4828952.40 m S elev 141 m eye alt 3.23 km



Malz et al., 2018





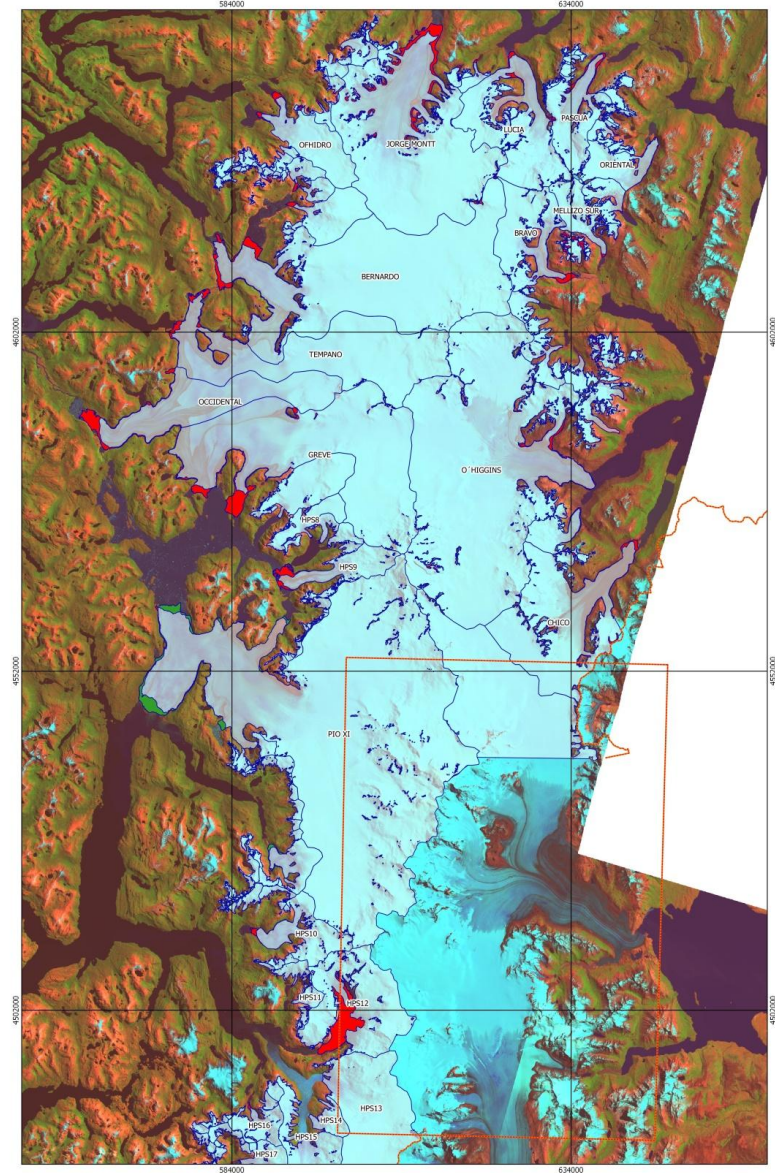
Área total CHS 2015 en Chile: 10.259,83 km<sup>2</sup>

Pérdidas frontales (2002-2015) en Chile:  
220,24 km<sup>2</sup>

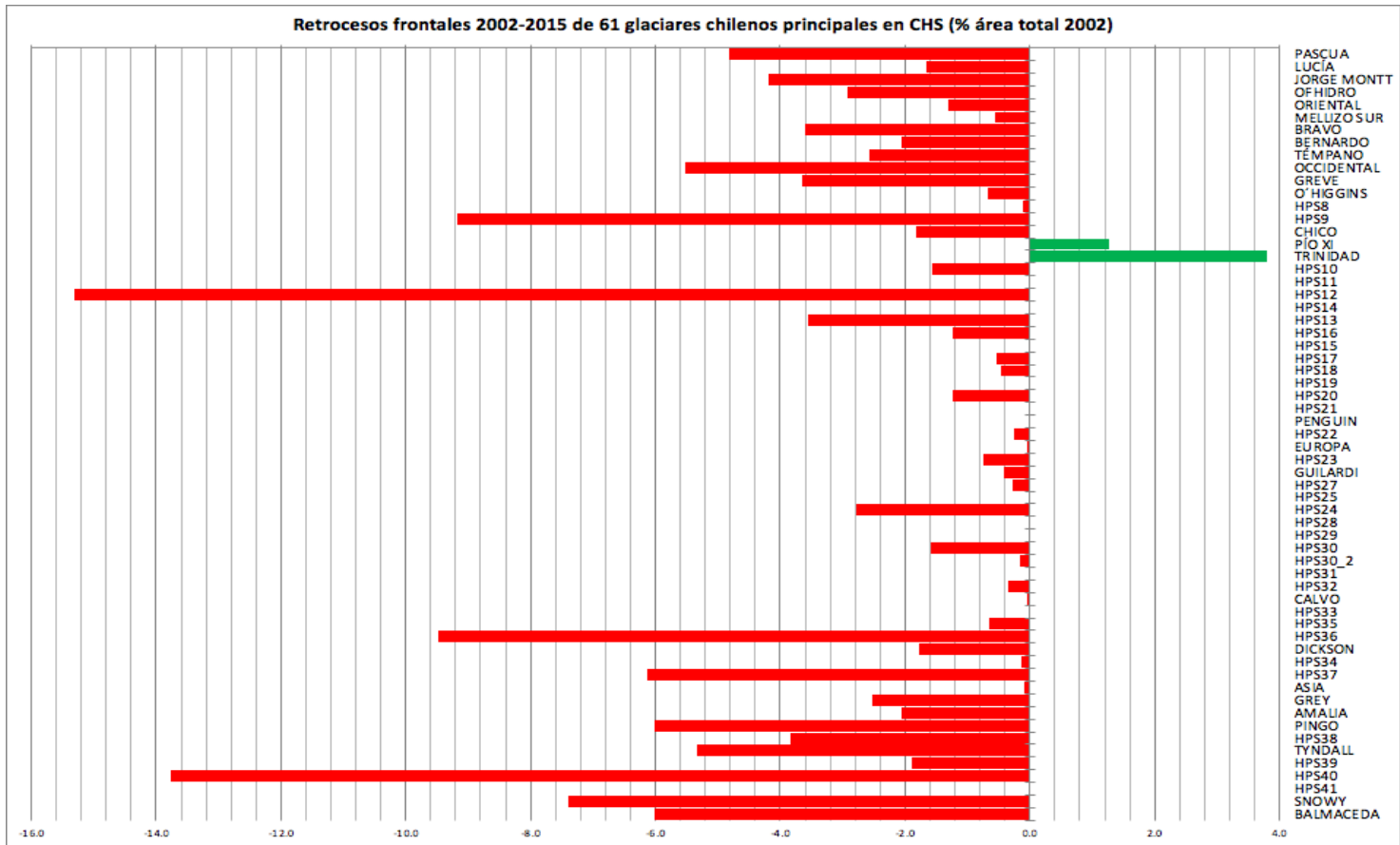
Área principales glaciares efluentes de CHS  
en Chile (61 glaciares): 8.614,61 km<sup>2</sup>

Pérdidas frontales de principales glaciares  
efluentes de CHS en Chile (59 glaciares):  
165,51 km<sup>2</sup>

Ganancia de área glaciares Pío XI y Trinidad:  
16,95 km<sup>2</sup>



# CAMPO DE HIELO SUR



Programa FNDR GORE Magallanes  
Transferencia Científico Tecnológica  
Modelamiento Climático para la Planificación Regional  
Código BIP N°30462410

Ricardo Jaña, Jefe Proyecto  
Francisco Aguirre, PhD(c)  
Catherine Gaete, MSc (c)



**Investigadores trabajan  
en un modelamiento  
climático para la  
planificación regional**

