

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



CONTAMOS CON UN CUERPO LEGAL

- Patente por no uso
- Caudales ecológicos

7 modificaciones / 93 artículos



Código de Aguas
1981

Ley N° 20.017
junio de 2005

Ley N° 20.099
mayo de 2006.

Ley N° 20.304
diciembre de 2008.

Ley N° 20.417
enero de 2010.

Ley N° 20.697
noviembre de 2013.

Ley N° 20.774
septiembre de 2014.

Ley N° 21.064
enero de 2018.

- 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
- DAA SAG
- 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)
- Fiscalización y medición (Ley 21.064)
- Organización de Usuarios de Aguas (OUA)
 - 558 OUA
 - 16% del registro de OUA en el Catastro Público de Aguas fracasó en el intento de registro y nacimiento legal



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 km²)
- 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

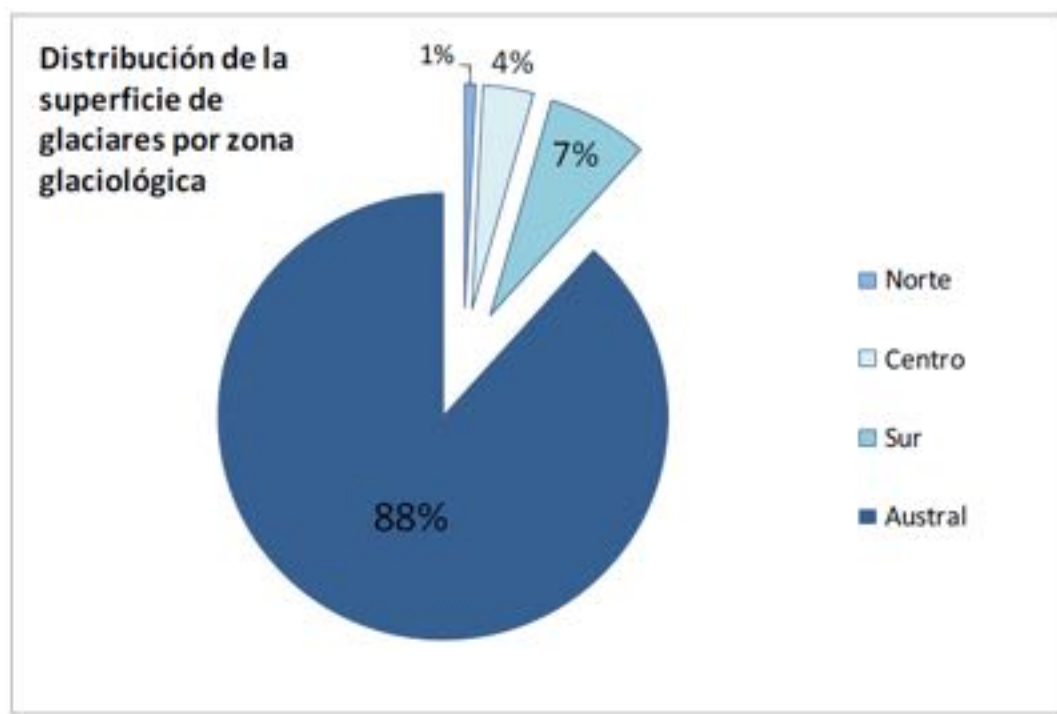


- 2014: Libro de Glaciares
- 2016: Atlas del Agua
- 2017: Barcaza *et al.*



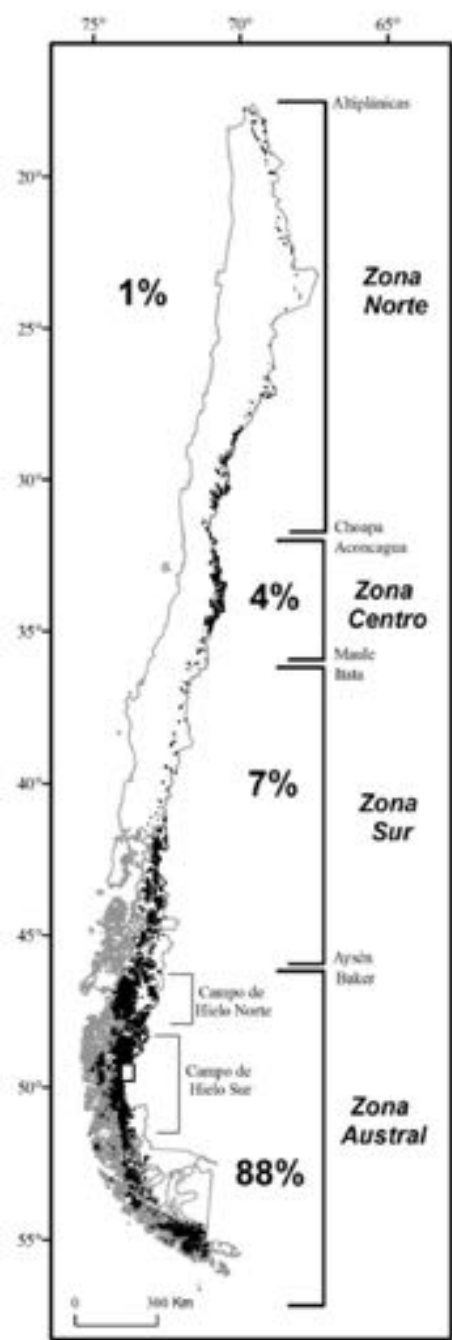
Caracterización Glaciológica de Chile

Zonas Glaciológicas

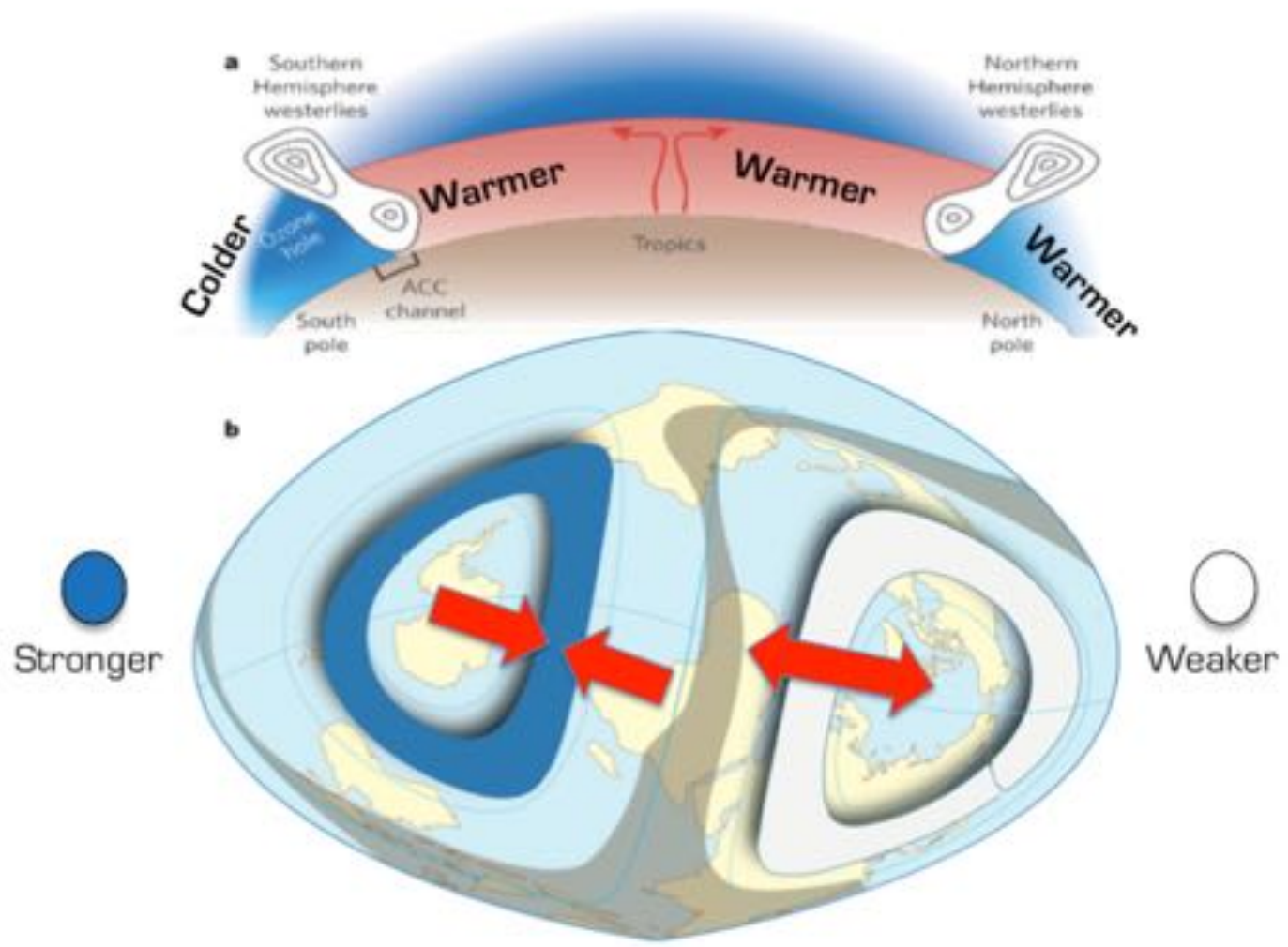


Fuente: Segovia & Videla, 2017.

Registro 24.114 glaciares (23.641 km²)



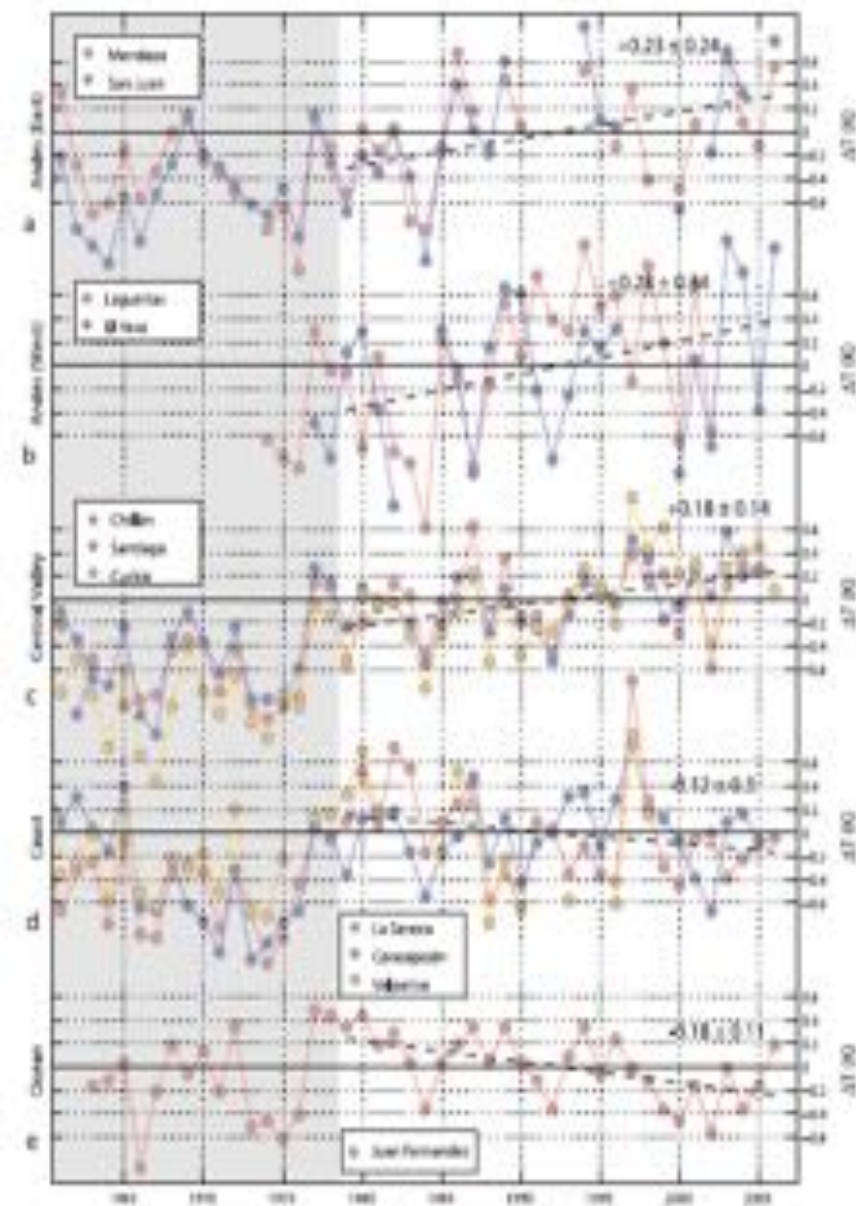
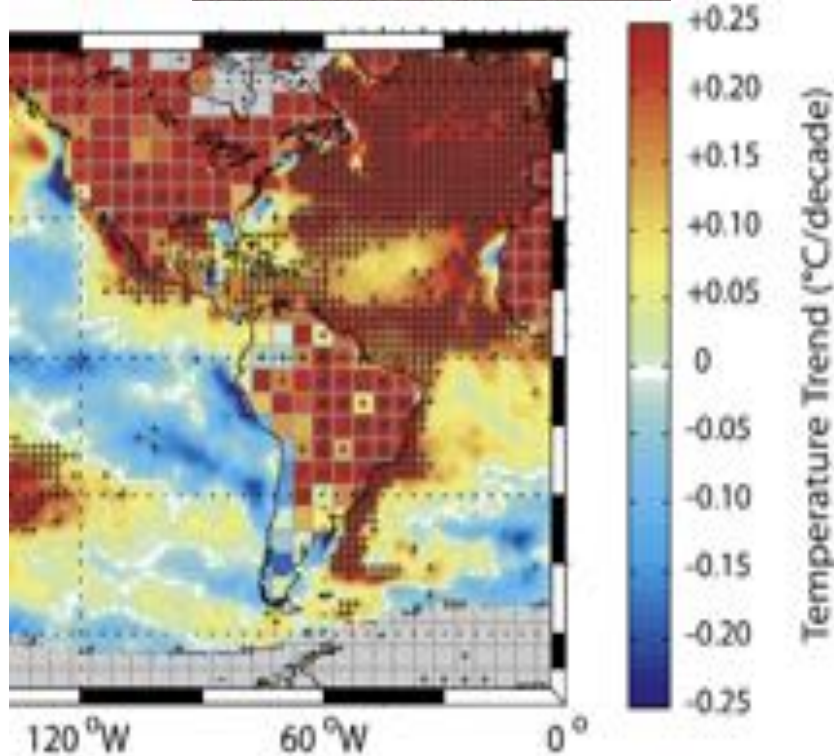
POLOS OPUESTOS



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

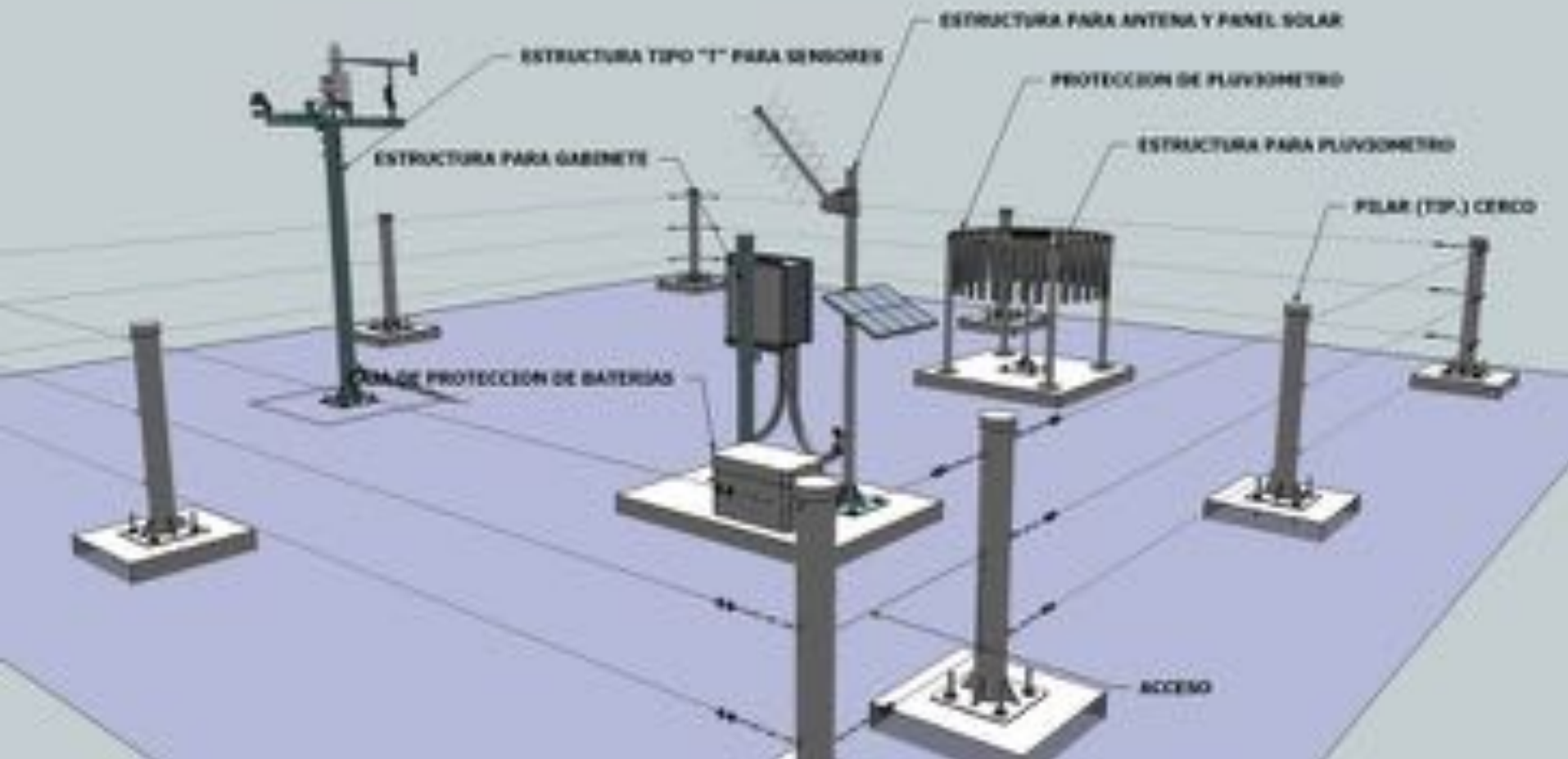
Atmospheres

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

Key Points:

- Trends depend on latitude and choice

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 (m s^{-1})
5. Dirección del viento (grados)
6. Presión Atmosférica (mb)
7. Radiación solar onda corta (W/m^{-2})
8. Radiación solar onda larga (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



EMAM GLACIAR EL QUISO (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



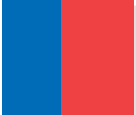
EMAF COMPLEJO VOLCÁNICO MOCHO CHOSHUENCO (CUENCA DEL RÍO BLANCO)



EMAF GLACIAR CORTADERAL (CUENCA DEL RÍO CORTADERAL)



NUEVAS ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS Y METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS



ESTACIÓN FLUVIOMÉTRICA ESTERO MORALES



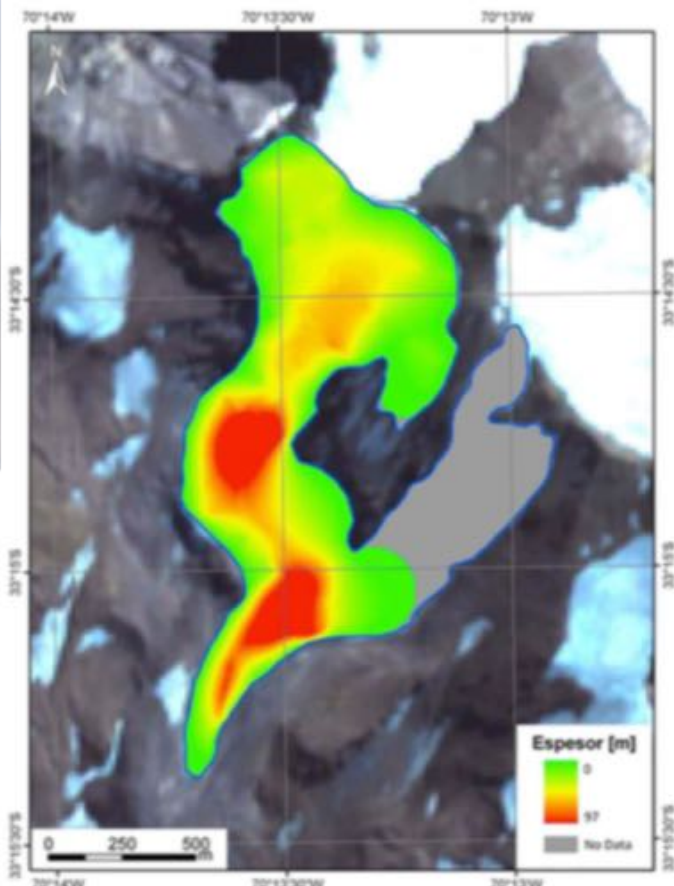
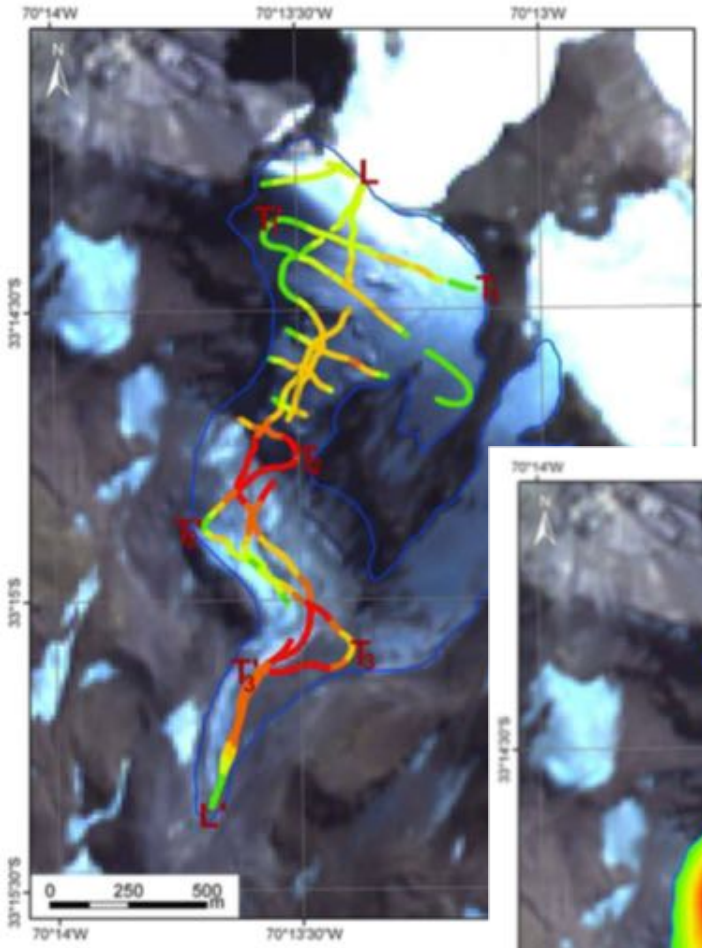
**EMAF «MONTE TRONADOR»,
CUENCA DEL RÍO PEULLA**



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



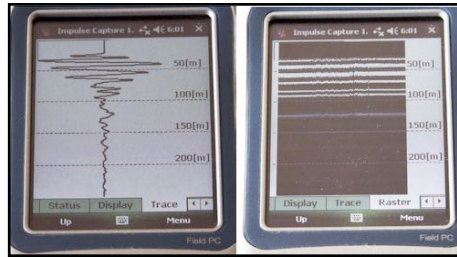
VOLUMEN DE HIELO GLACIAR CERRO EL PLOMO



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)



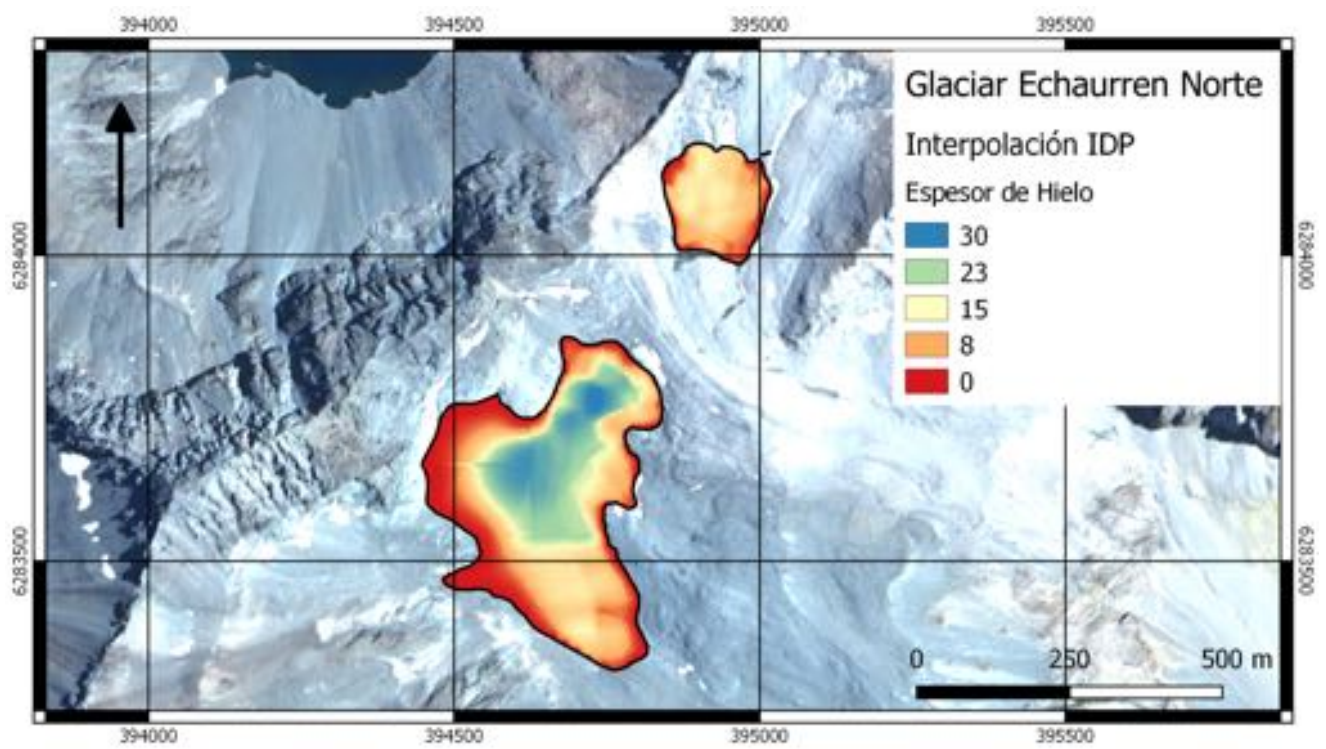
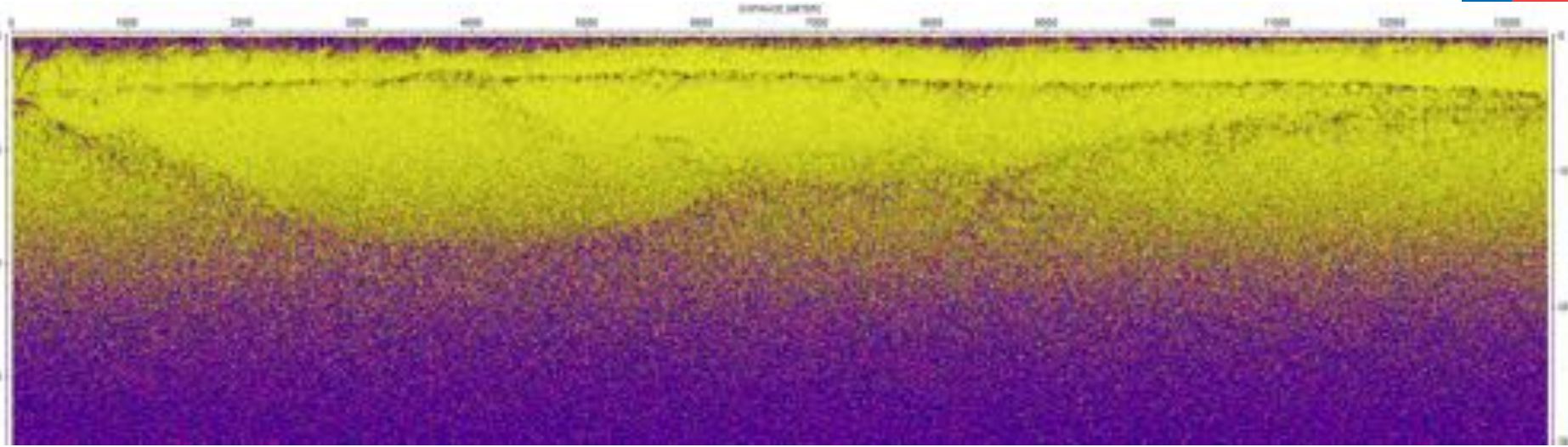
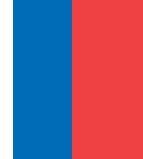
Radar aéreo



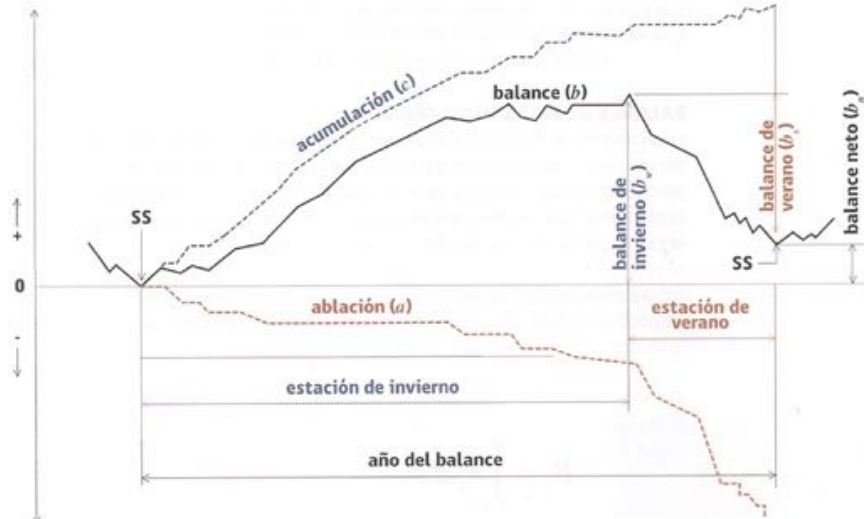
	GSSI	UNMANNED
Frecuencia (MHz)	200	2,6-10,4
Penetración (m)	10-40	500-800
GPS	No	Sí
Antena	Caja	Cintas

Tipo de glaciar: in-situ vs percepción remota

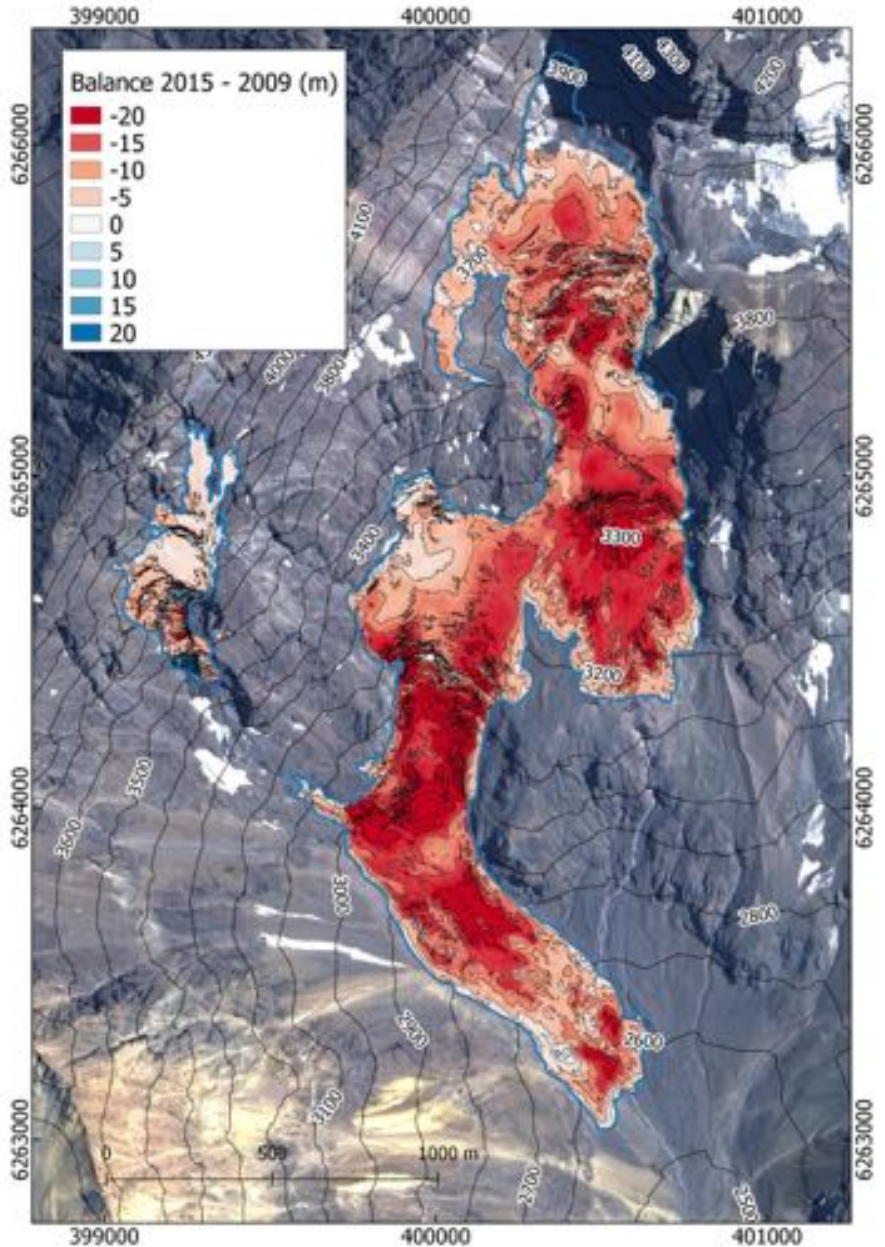
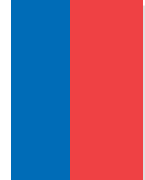
GPR – Glaciar Echaurren Norte 2016



BALANCE DE MASA GLACIOLÓGICO

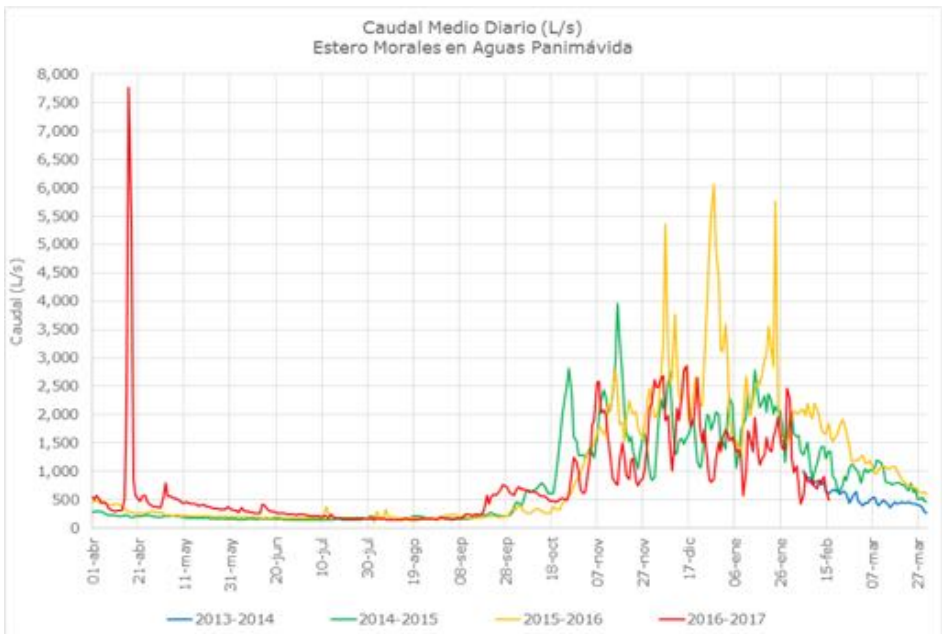


BALANCE DE MASA GEODÉSICO GLACIAR SAN FRANCISCO (2009-2015)



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

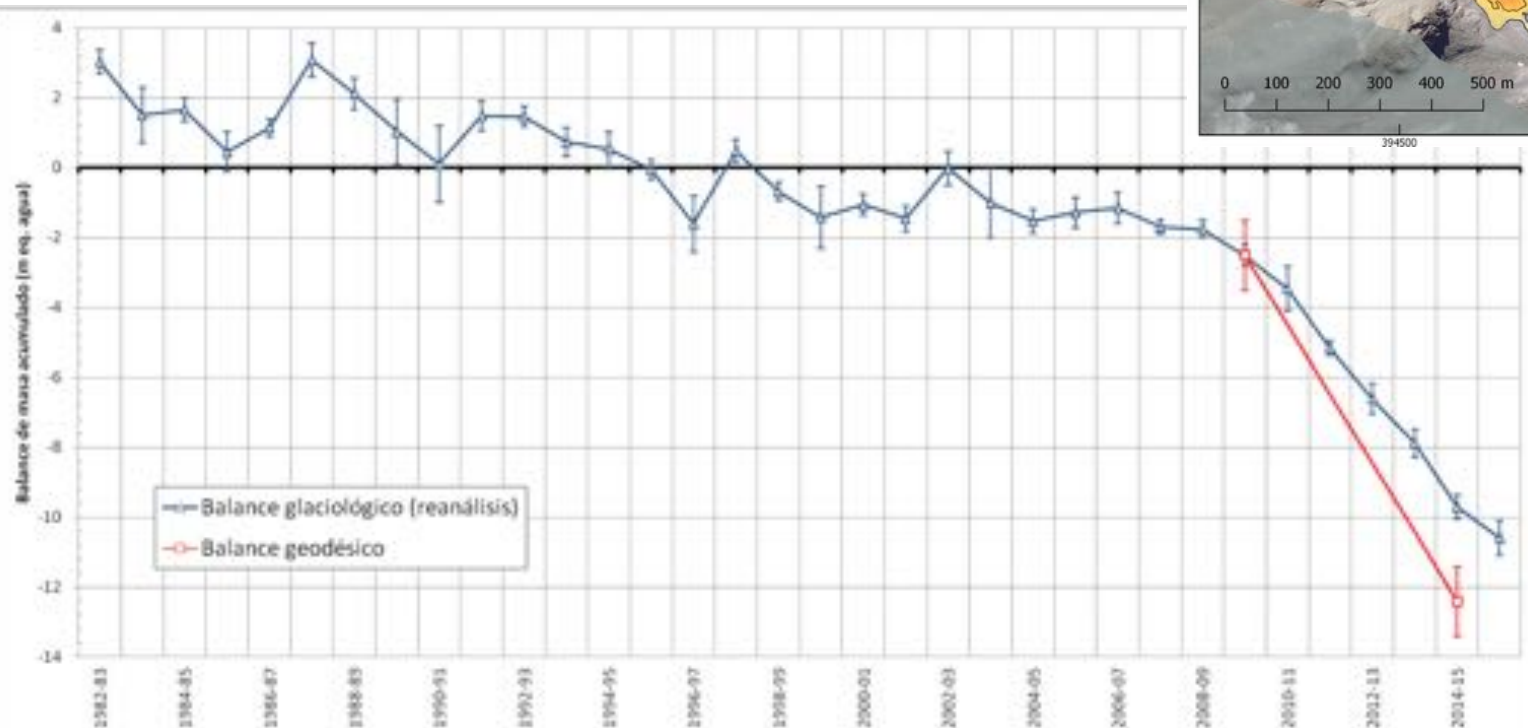
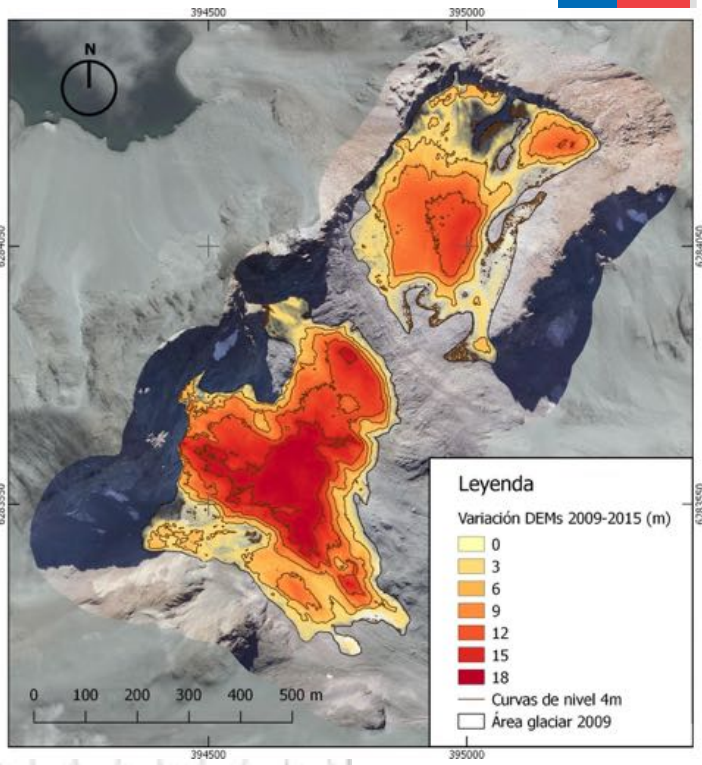
$B_{M.año} = -1,66 \text{ (m w.e. a}^{-1}\text{)}$



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



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

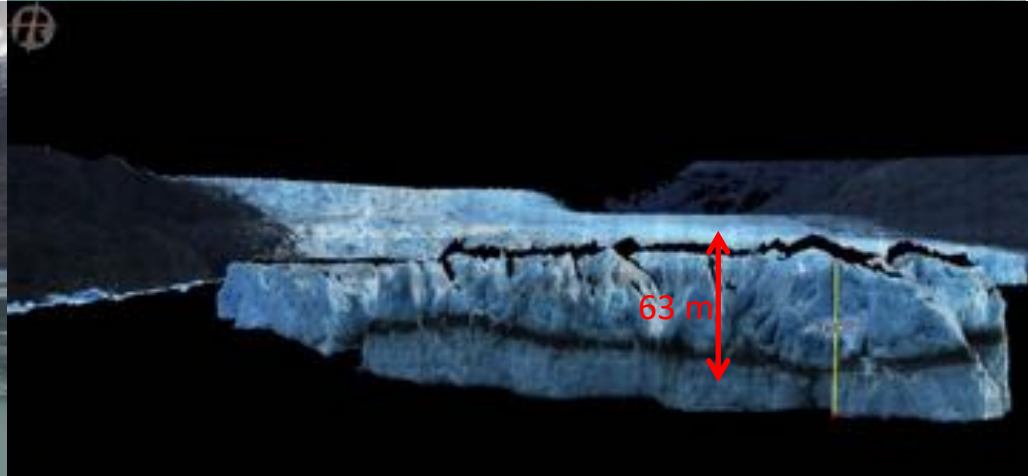
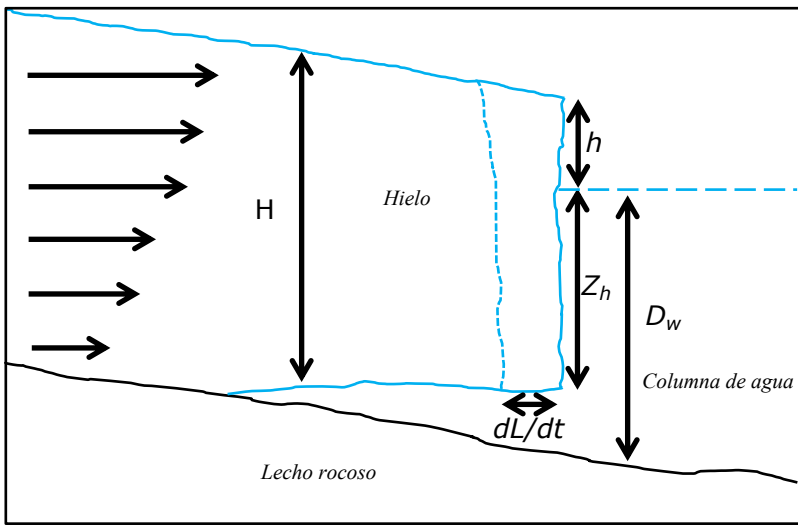


BM geodésico 26 glaciares de la Zona Glaciológica Centro

Glacier	Period (T ₁ - T ₂)	Glacier area		Geodetic MB area (%)	Δh avg - μ (m)	B _z B100m (m w.e. yr ⁻¹)
		2015 (km ²)	(km ²)			
Monos del Agua	2012 - 2015	1,97	0,99	48	-3,92	-2,08
Juncal Norte	2011 - 2015	8,68	3,86	43	-9,55	-1,41
Juncal Sur	2011 - 2015	21,39	5,67	26	-5,94	-1,08
Olivares Gama	2011 - 2015	11,52	3,19	28	-7,66	-1,33
Olivares Beta	2011 - 2015	7,53	2,03	27	-5,75	-1,03
Olivares Alfa	2011 - 2015	4,40	1,44	32	-7,42	-1,27
Paloma	2008 - 2012		1,13	81	-4,97	-1,06
	2012 - 2015	1,20	1,09	90	-4,91	-1,38
Rincón	2012 - 2015	0,63	0,32	48	-5,17	-1,34
Esmeralda	2012 - 2015	5,38	2,26	42	-2,75	-0,58
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	-0,38
Echaurren Norte	2009 - 2015	0,14	0,28	100	-8,04	-1,34
San Francisco	2009 - 2015	1,43	1,62	97	-11,40	-1,58
Palomo	2011 - 2015	13,84	2,86	21	-11,83	-1,58
Cipreses N	2012 - 2015	12,56	4,76	37	-4,98	-1,03
Cipreses SE	2011 - 2015	9,87	2,14	21	-13,93	-1,26
Cipreses SW	2011 - 2015	9,33	4,26	46	-11,81	-1,38
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	-0,88
Tinguiririca 4	2012 - 2015	1,89	0,42	22	-5,31	-0,88

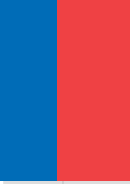
MONITOREO CALVING

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 (~0,5 m)

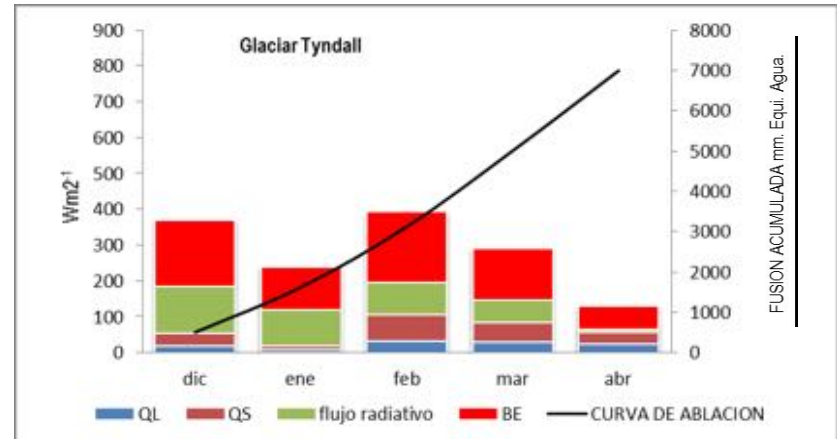
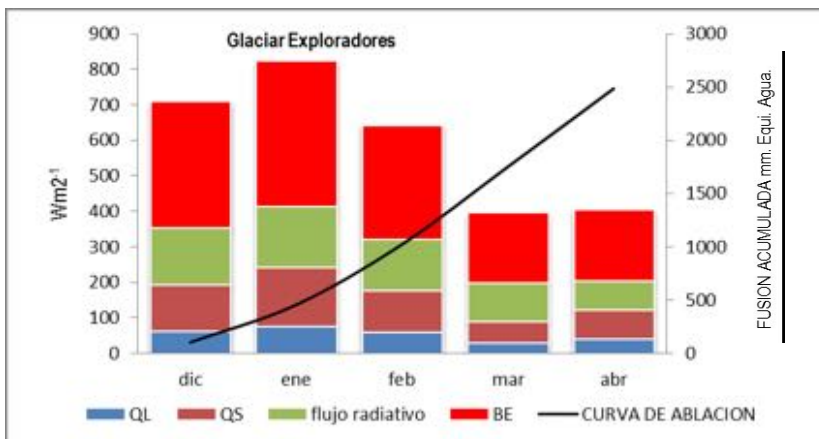
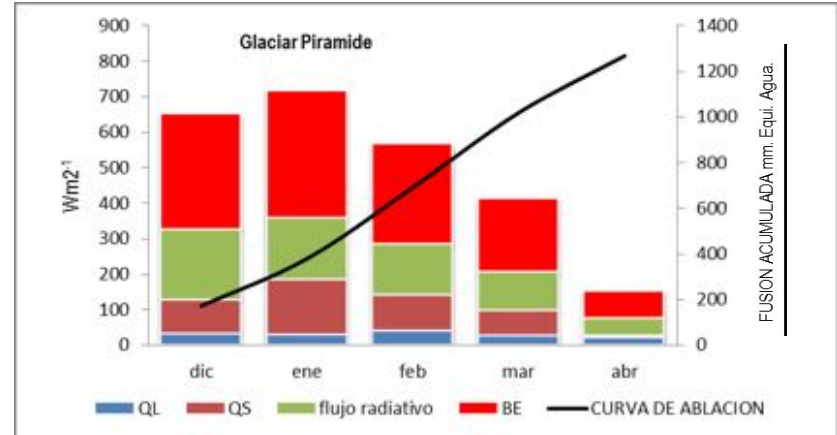
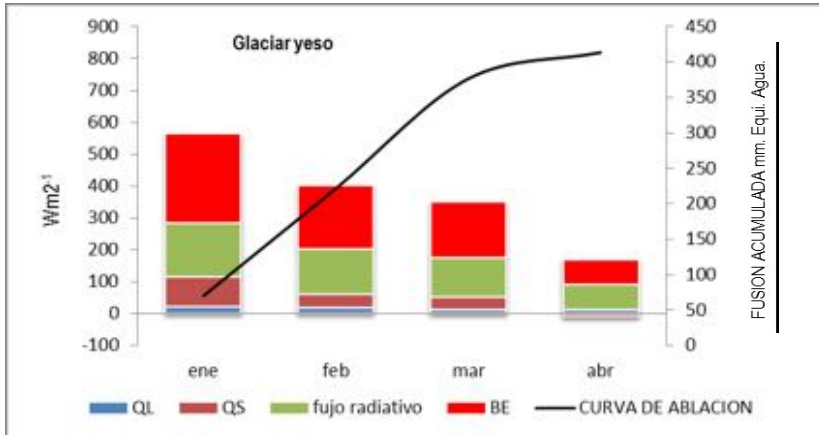


Ejemplo de Aplicación

Informe de gestión 2017.

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

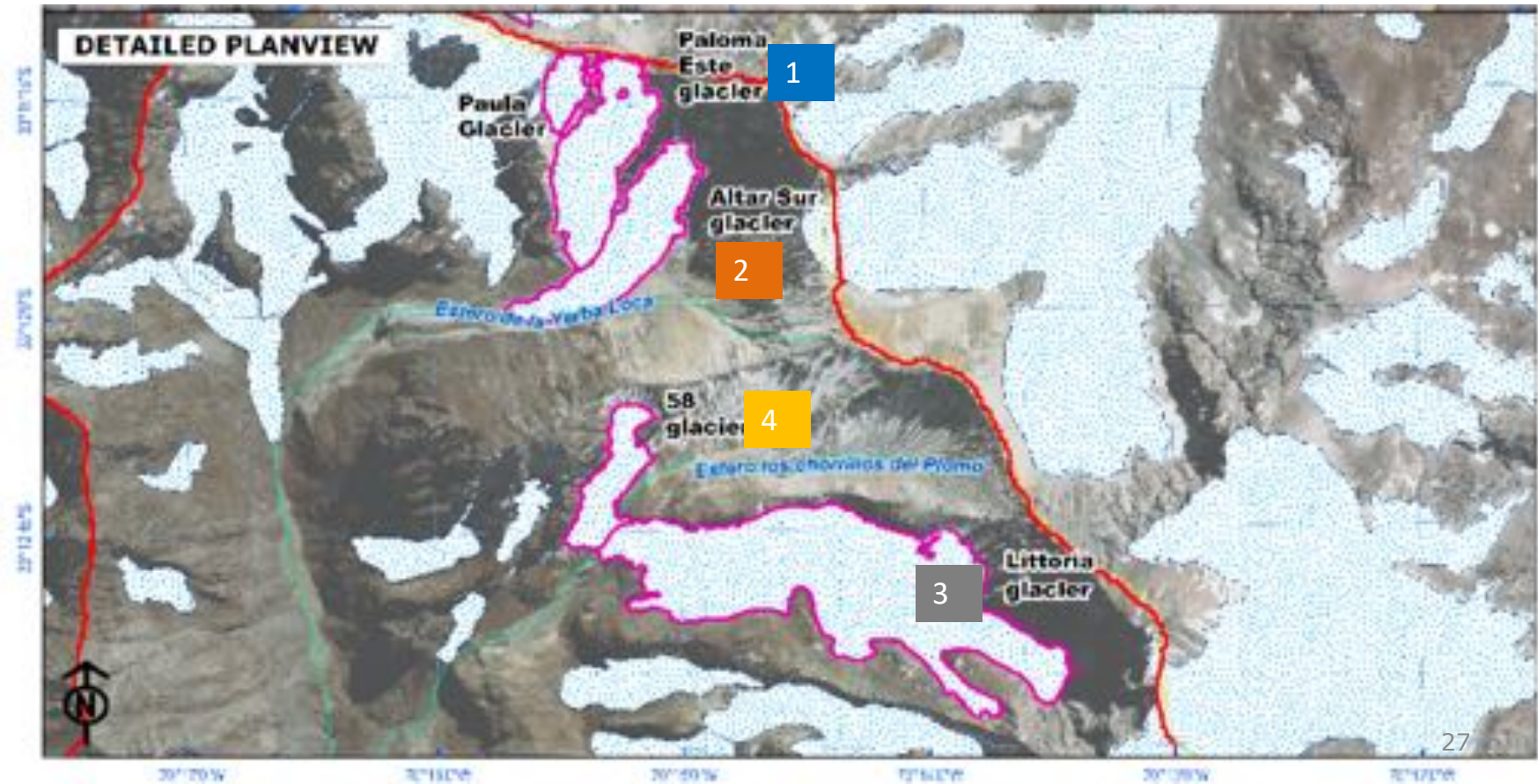
Data: DIC_2016-ABR_2017





Clasificación de glaciares según aporte hídrico

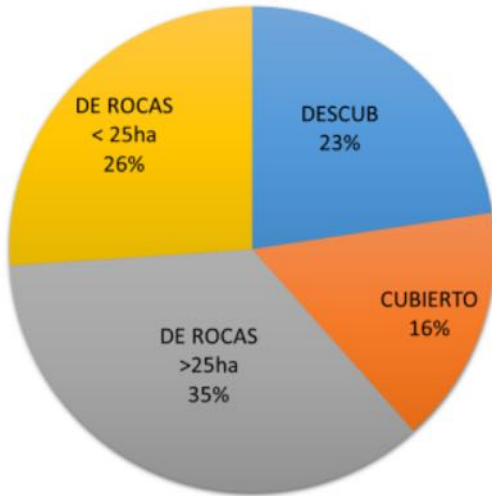
TIPO	1	2	3	4
		Descubierto	Cubierto	De rocas (>25 ha)
NOMBRE	Paloma Este	Altar Sur	Littoria	58
RENDIMIENTO HÍDRICO GLACIAR ANUAL (*)	Alto 0,26 l/s/ha	0,17 l/s/ha	0,07 l/s/ha	Bajo 0,03 l/s/ha



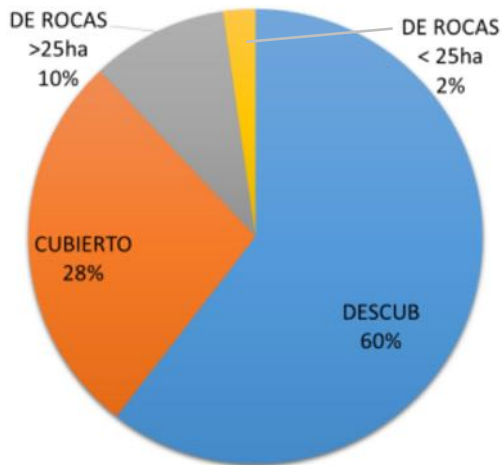
CONTRIBUCIÓN HÍDRICA ANUAL



YERBA LOCA - %ÁREA TOTAL



YERBA LOCA - %APORTE HÍDRICO

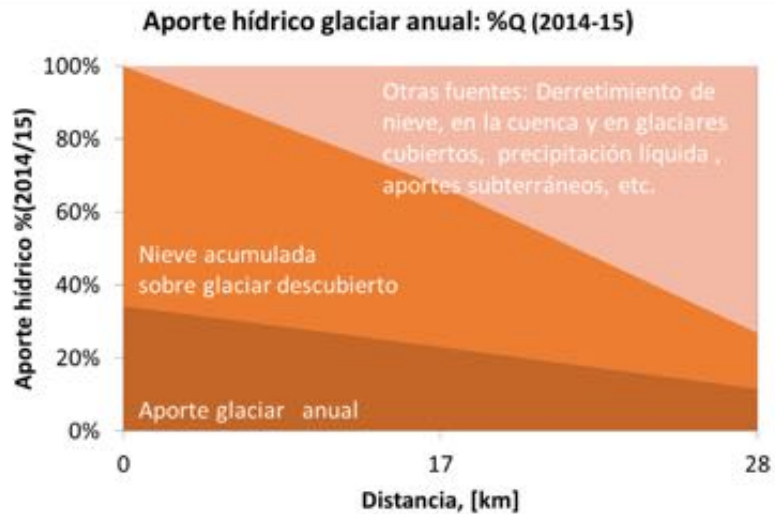


	TIPO	APORTE HÍDRICO	Nº GLACIARES	SUP. [Km ²]
1	Descubierto	0,26 l/s/ha Alto	6	2,1
2	Cubierto	0,17 l/s/ha Medio-alto	2	1,5
3	De rocas (>25 ha)	0,07 l/s/ha Medio-bajo	21	3,5
4	De rocas (<25 ha)	0,03 l/s/ha Bajo	5	2,4

- 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

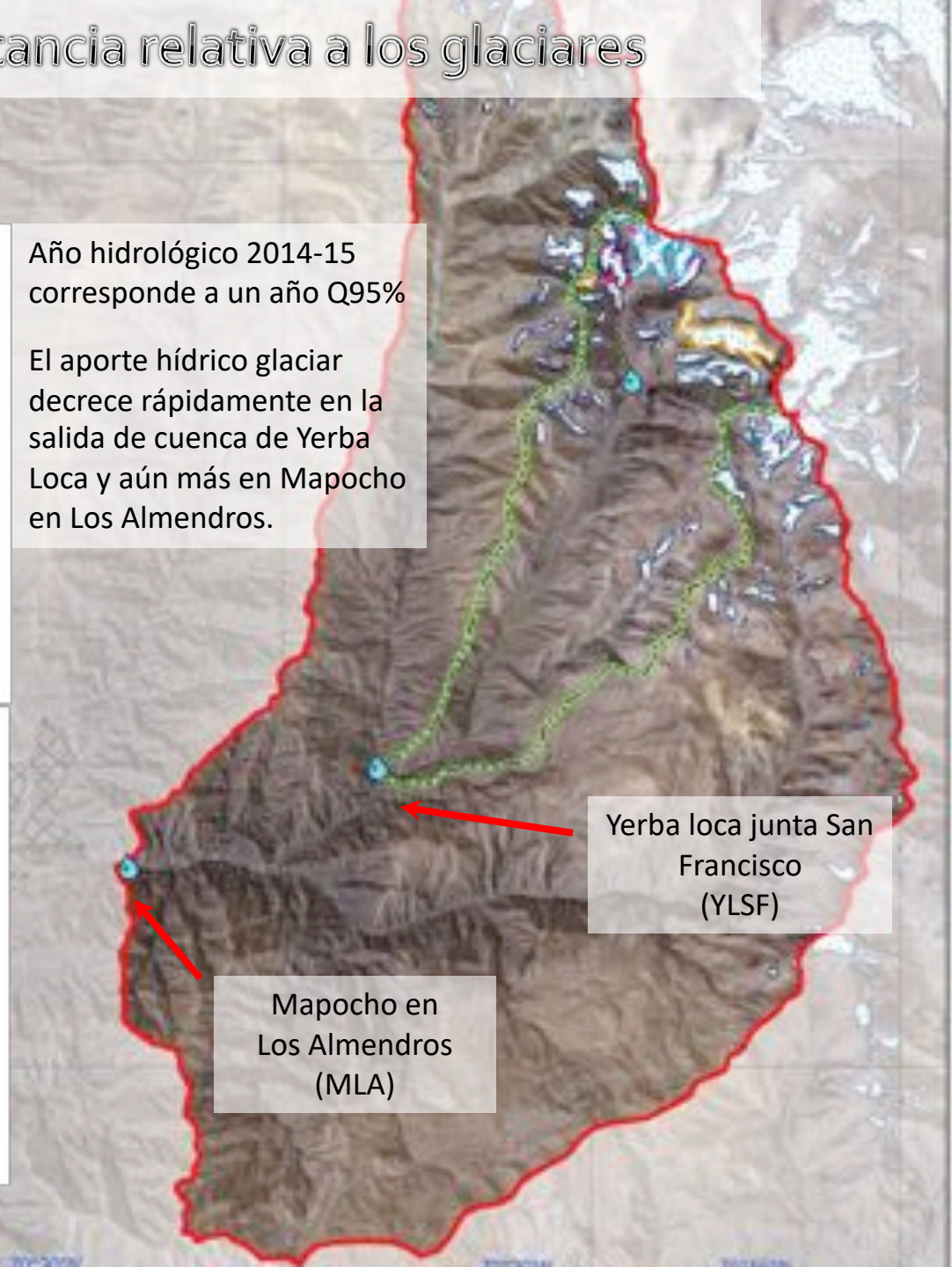
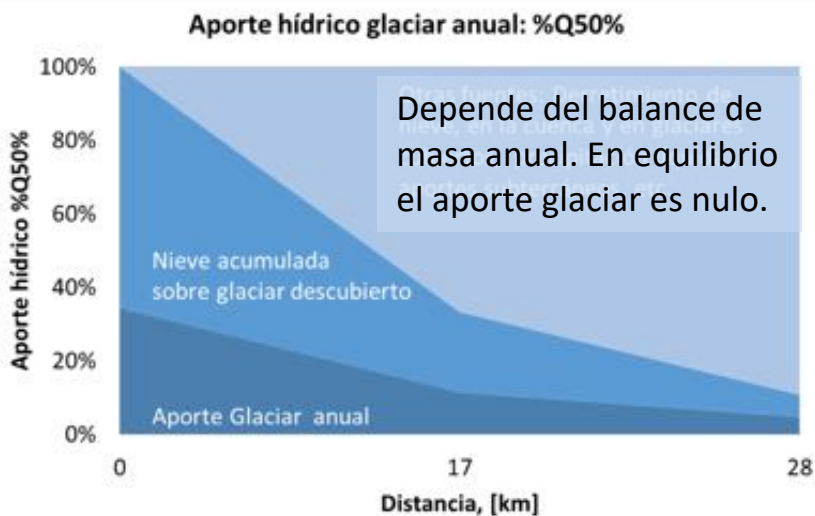


en función de la distancia relativa a los glaciares



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.



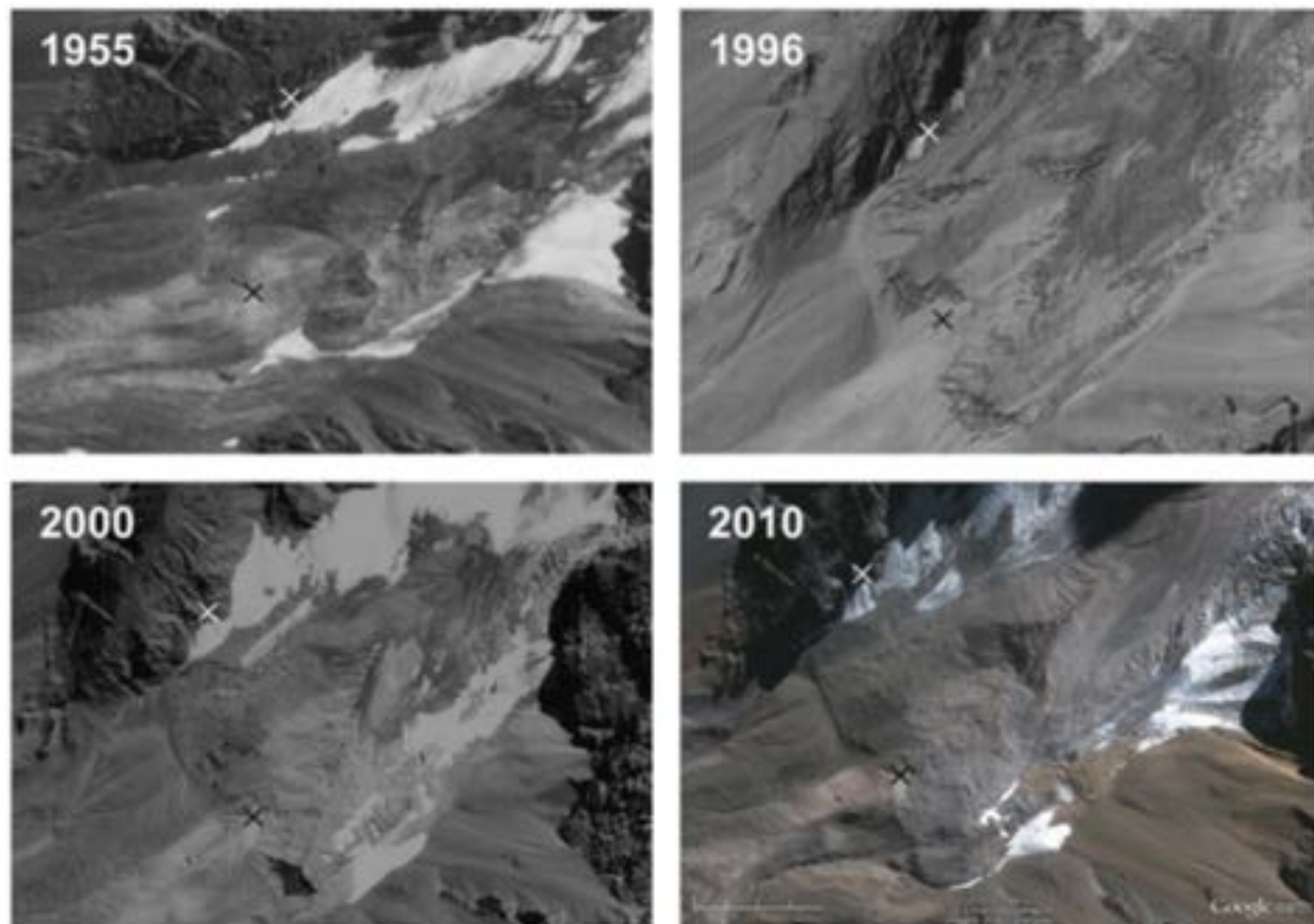
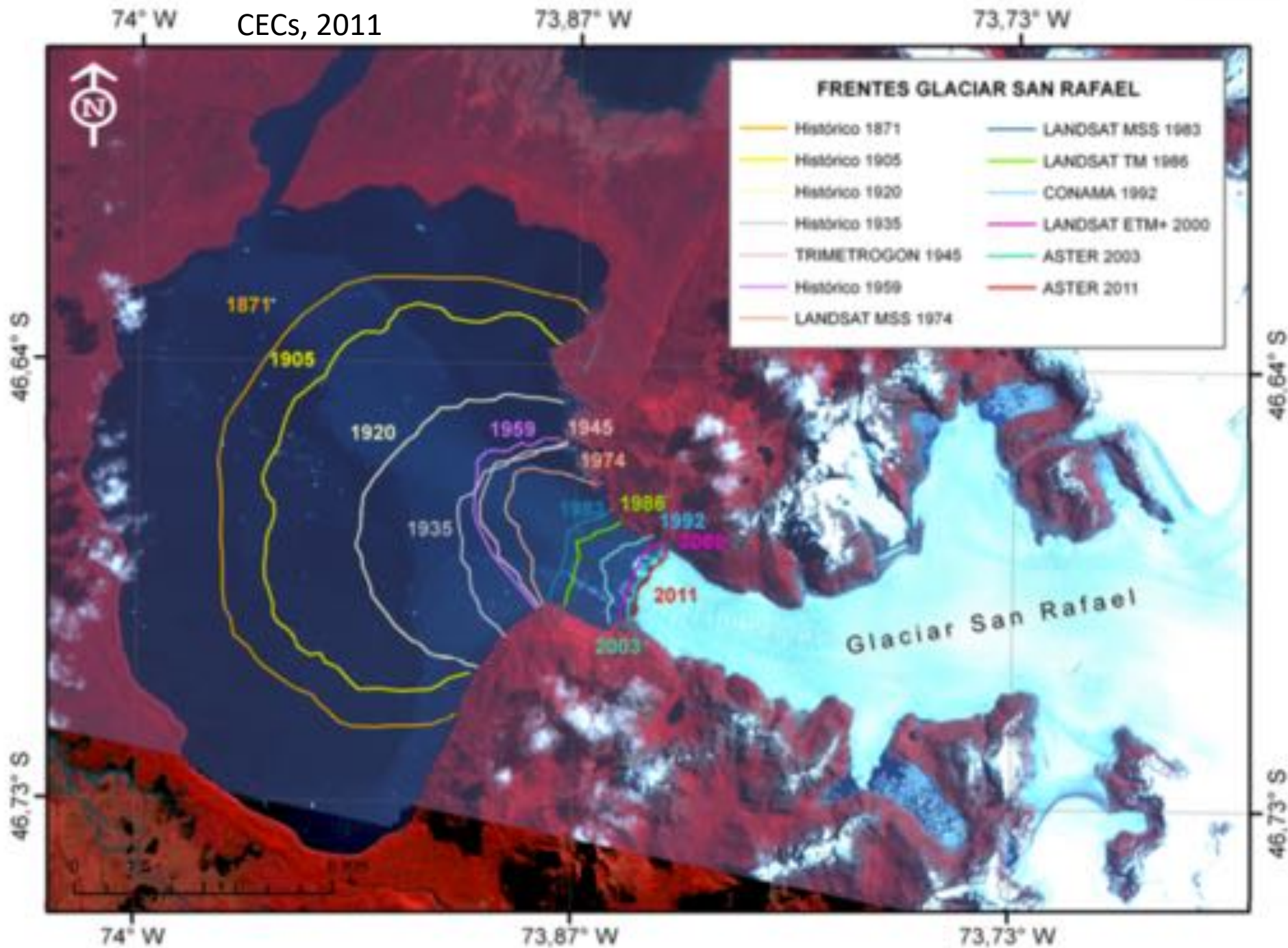


Fig. 3. Morphological evolution of the Presenteseracae debris-covered glacier. The black and white crosses are stable reference points.

YERBA LOCA BASIN

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

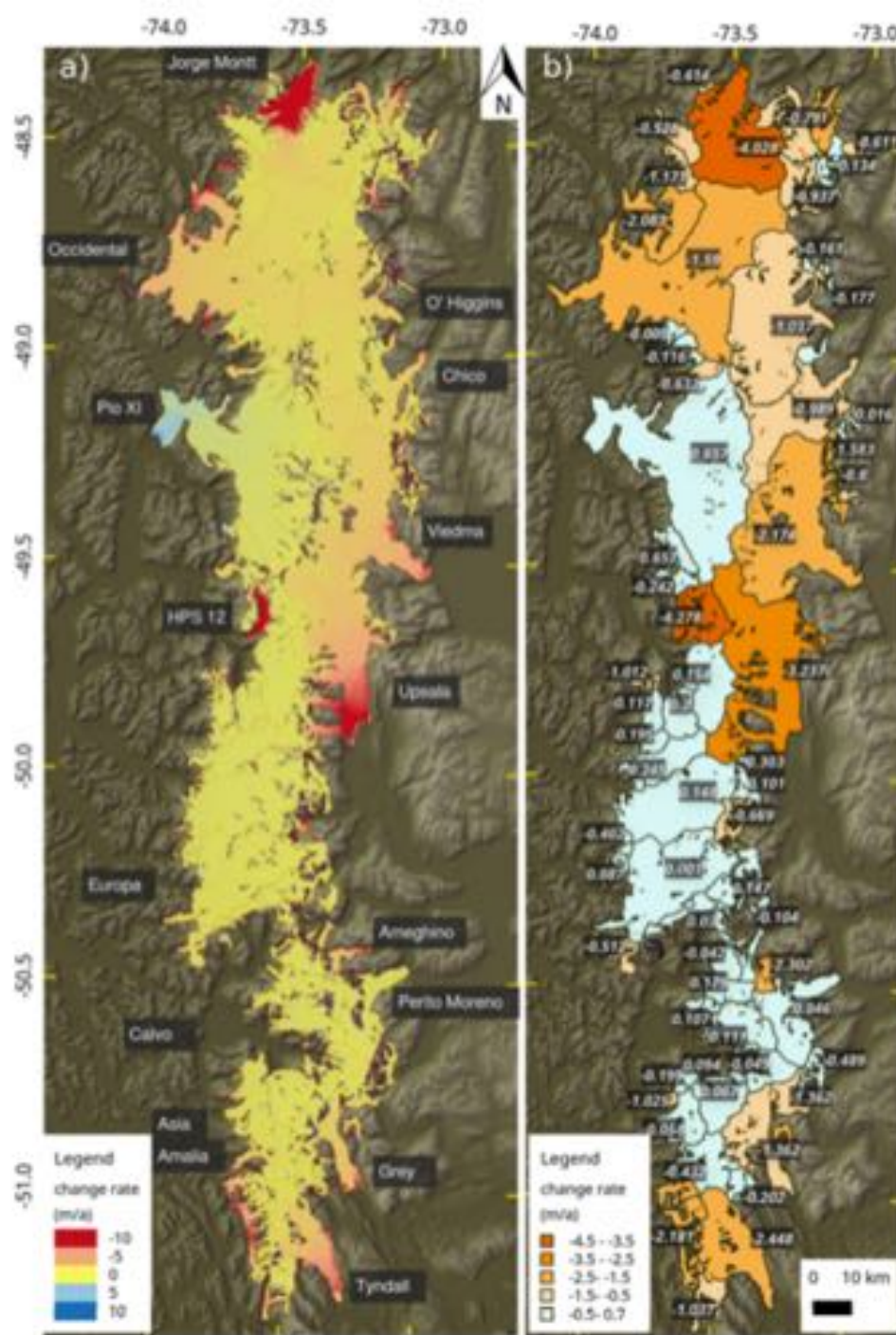


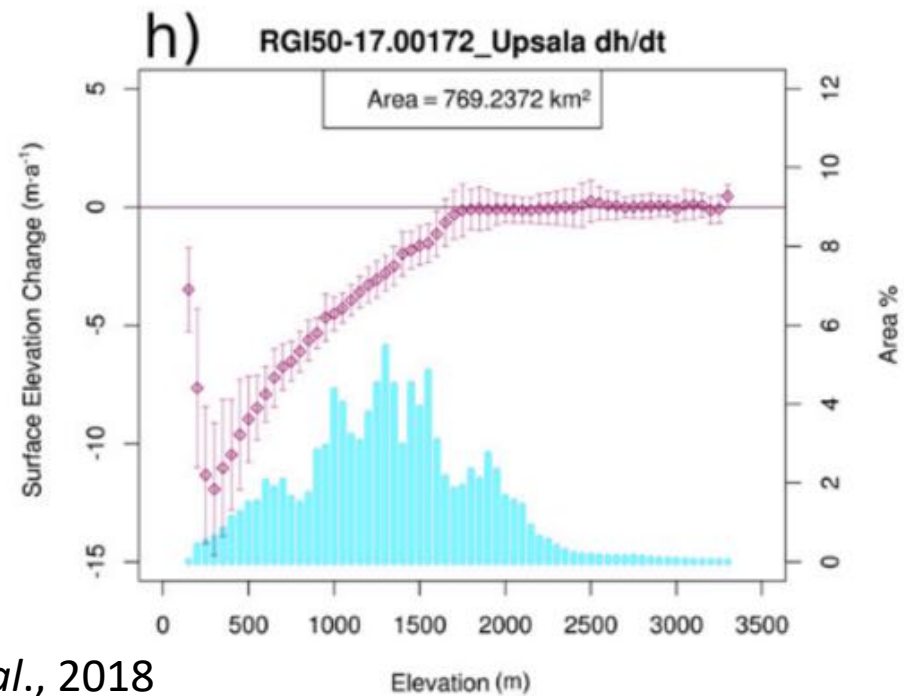
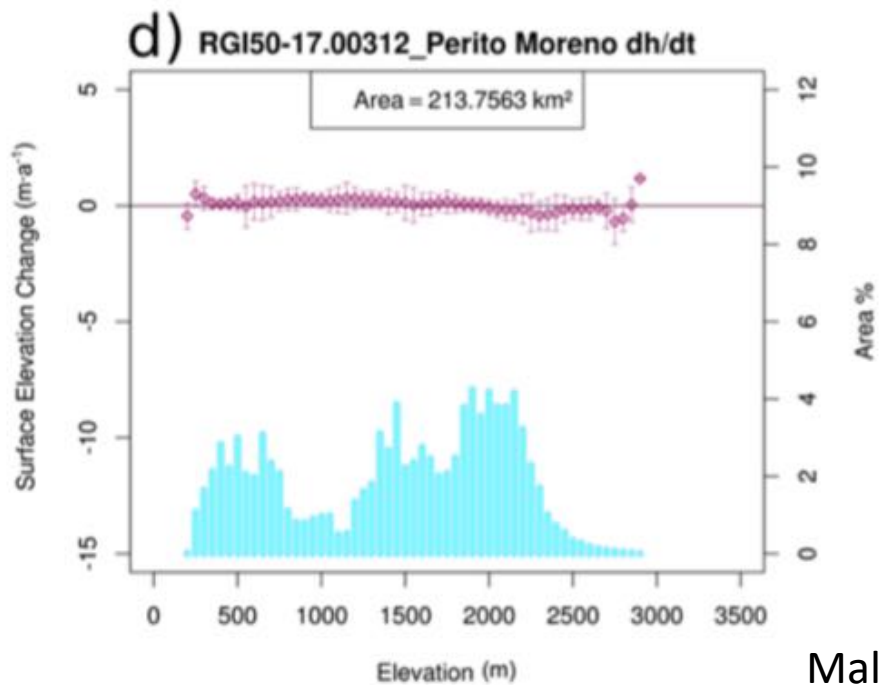
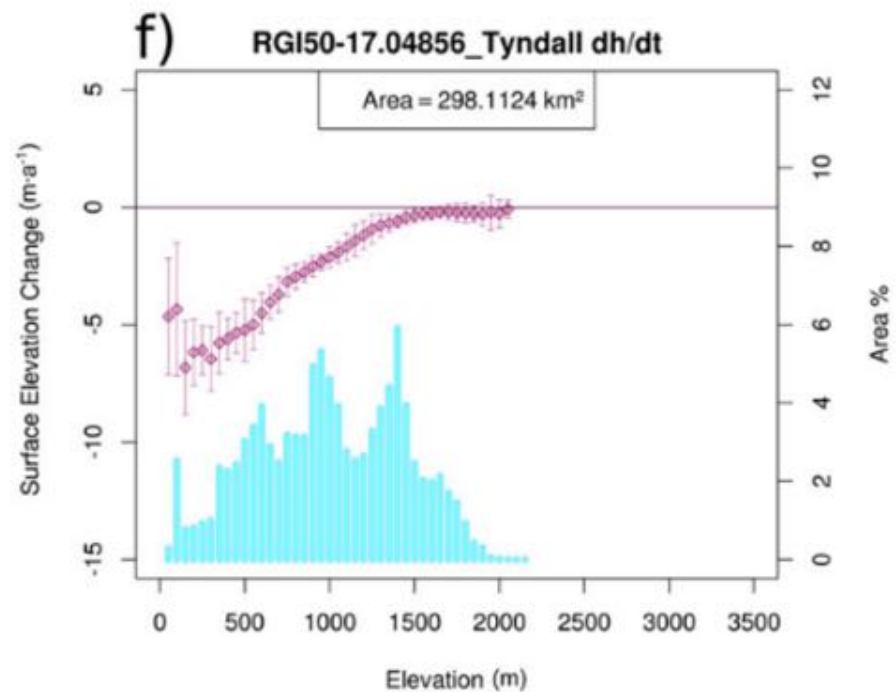
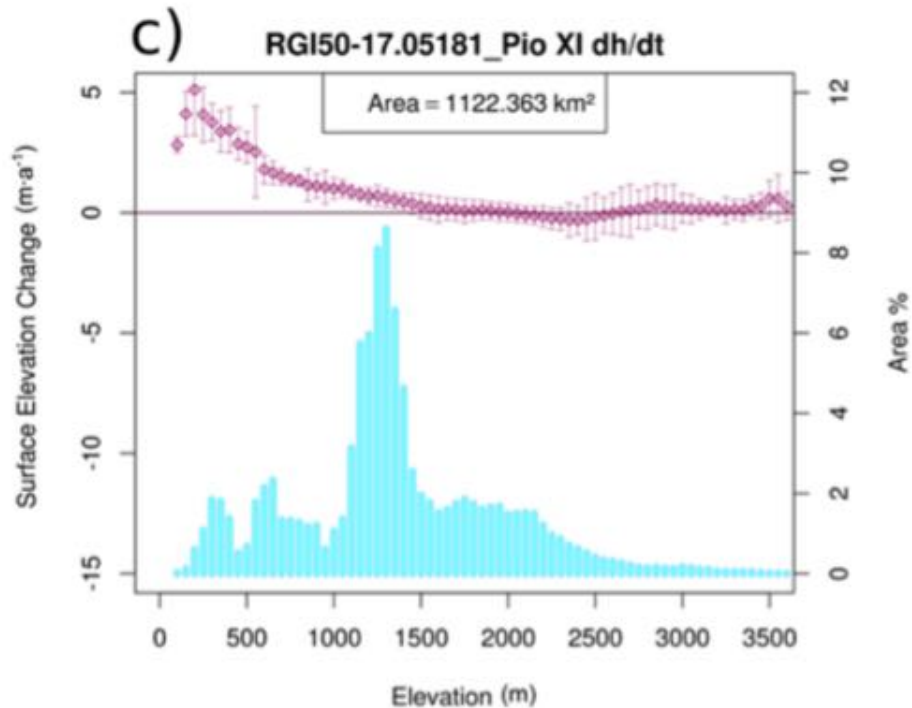


GLACIAR SAN RAFAEL
Continuous retreat 2011-2017
~150 m = ~ 25 m/y



Malz *et al.*, 2018





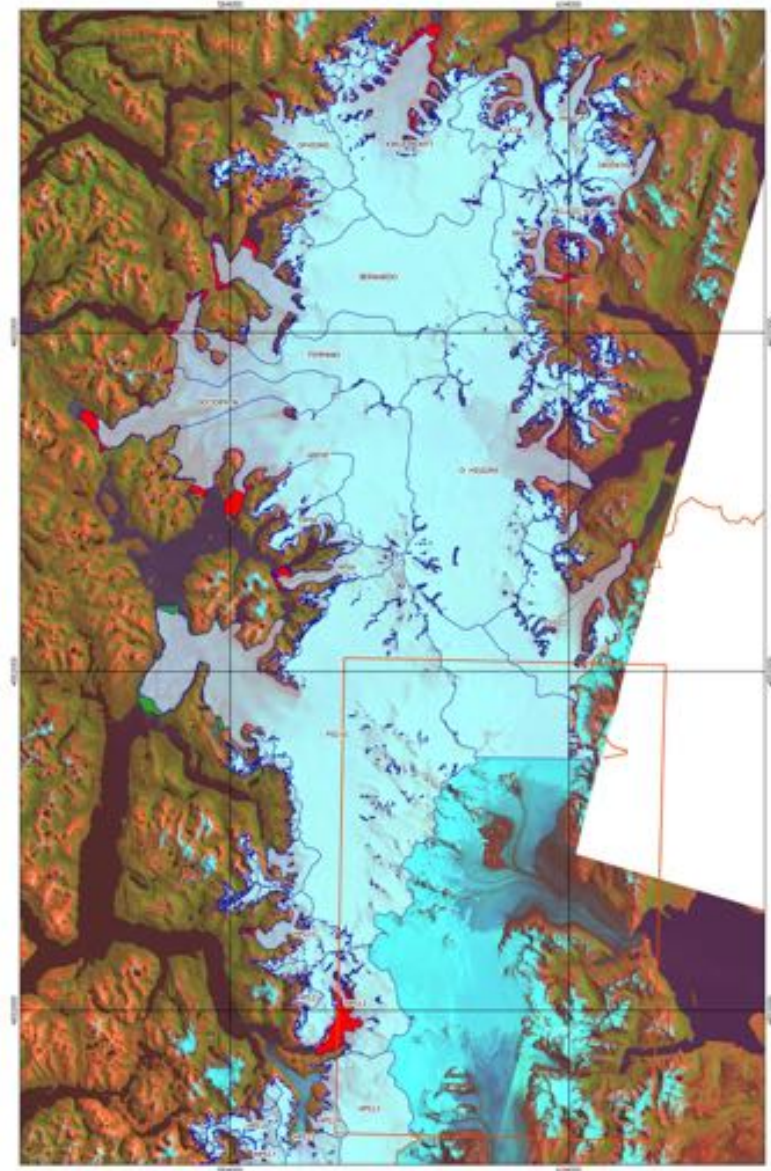
Área total CHS 2015 en Chile: 10.259,83 km²

Pérdidas frontales (2002-2015) en Chile:
220,24 km²

Área principales glaciares efluentes de CHS
en Chile (61 glaciares): 8.614,61 km²

Pérdidas frontales de principales glaciares
efluentes de CHS en Chile (59 glaciares):
165,51 km²

Ganancia de área glaciares Pío XI y Trinidad:
16,95 km²



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**

