



IPROMO Latinoamericano 2025

Glaciares y montañas en transformación: adaptación, cultura y acción climática desde las alturas



El retroceso del gigante: transformación de los glaciares del sur andino”

Alexis Segovia Rocha

alexisegov@uchile.cl

Nieve



Neviza



Hielo



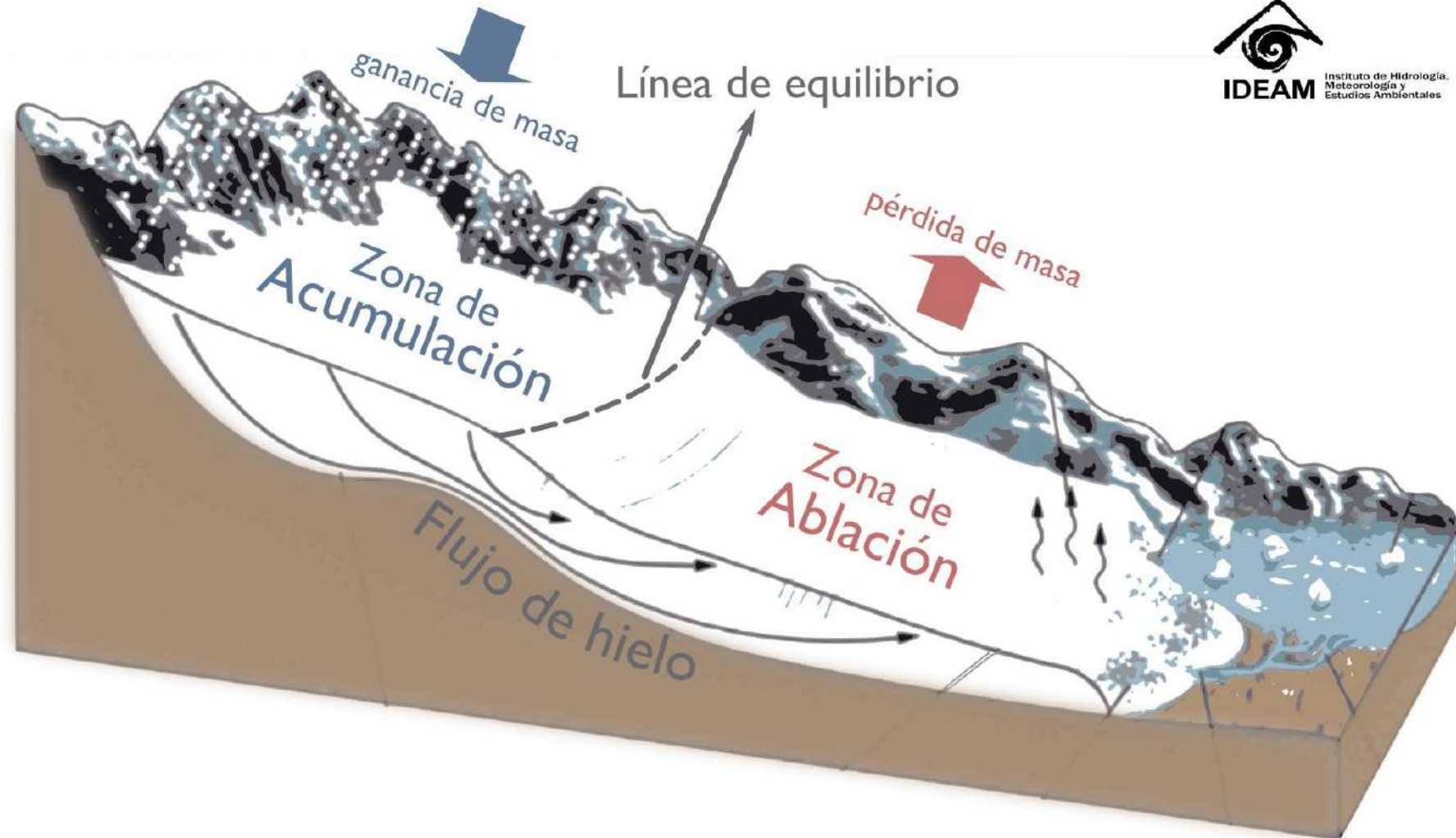
Formación y Definición de Glaciar

Masa permanente de hielo, y posiblemente neviza y nieve, que se origina sobre la superficie terrestre debido a la recrystalización de la nieve y que muestra evidencia de flujos en el pasado o el presente. La masa de los glaciares generalmente aumenta por la acumulación de nieve y se pierde por el deshielo y la descarga de hielo en el mar o en un lago si el glaciar desemboca en un cuerpo de agua (IPCC, 2018).

- Proceso de compactación.
- Perdida de aire y recrystalización de la nieve
- La densidad del hielo puro es de 0,9, lo que implica el bloque de hielo sin impurezas, azul cristalino.



Zonificación de un glaciar



Glaciarete (entre 0,1 a 25 ha)



Glaciar de Montaña (>25 ha)



Glaciar de Valle (>25 ha)



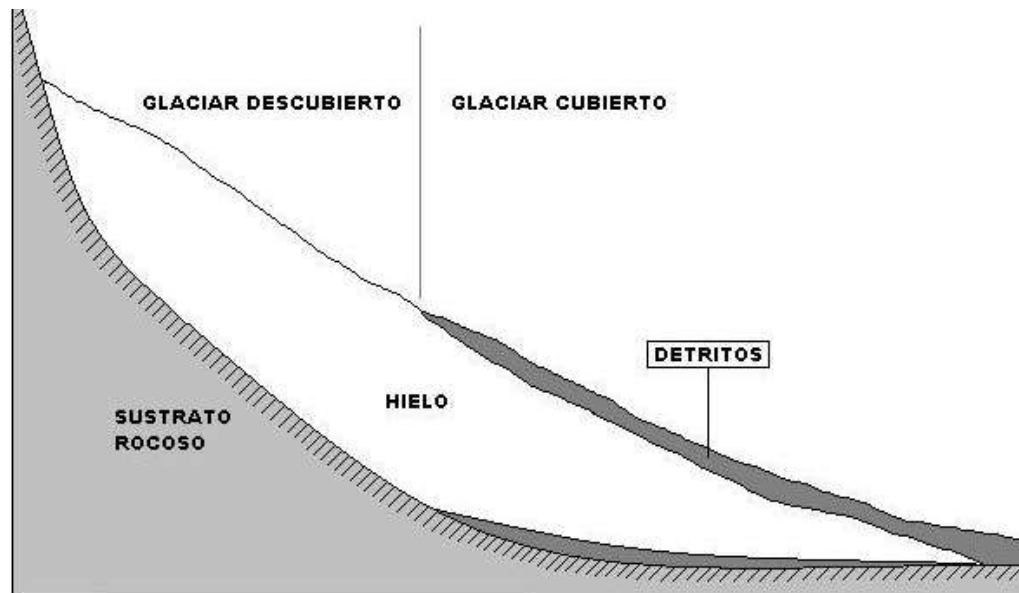
Glaciar Efluente (>25 ha)



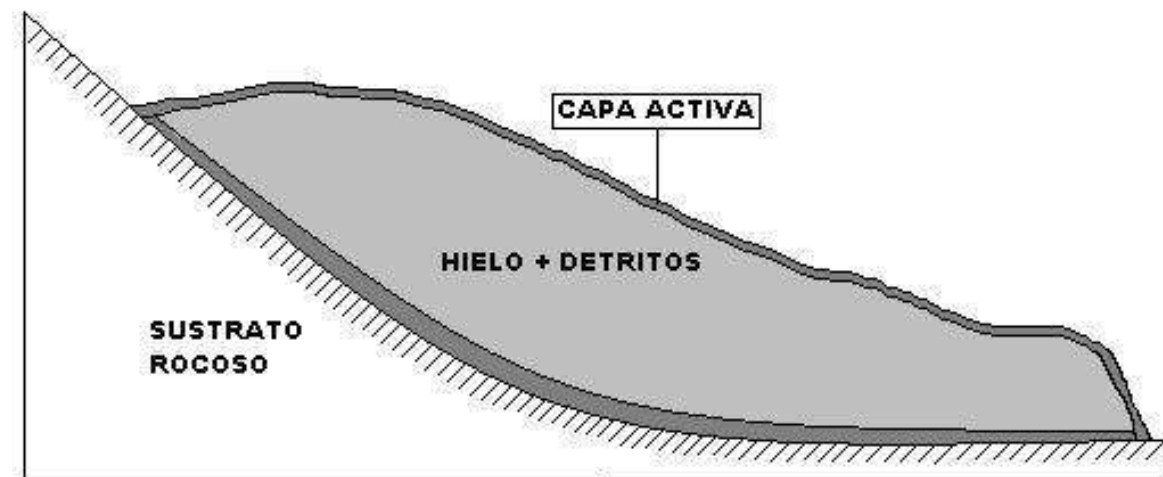
Glaciar Rocos (>1 ha)



Glaciar Cubierto



Glaciar Rocososo





Glaciares Rocosos:

Los glaciares rocosos pueden definirse como un cuerpo en forma de lengua con rocas angulares, en su mayoría presentan crestas, surcos y lóbulos en su superficie y terminan con un frente abrupto (Washburn, 1979). Se componen de fragmentos de roca y otros materiales más finos que contienen hielo intersticial o un núcleo de hielo, además, estos cuerpos evidencian movimiento actual o pasado (Kotlyakov y Komarova, 2007).





IPROMO Latinoamericano 2025

Glaciares y montañas en transformación: adaptación, cultura y acción climática desde las alturas



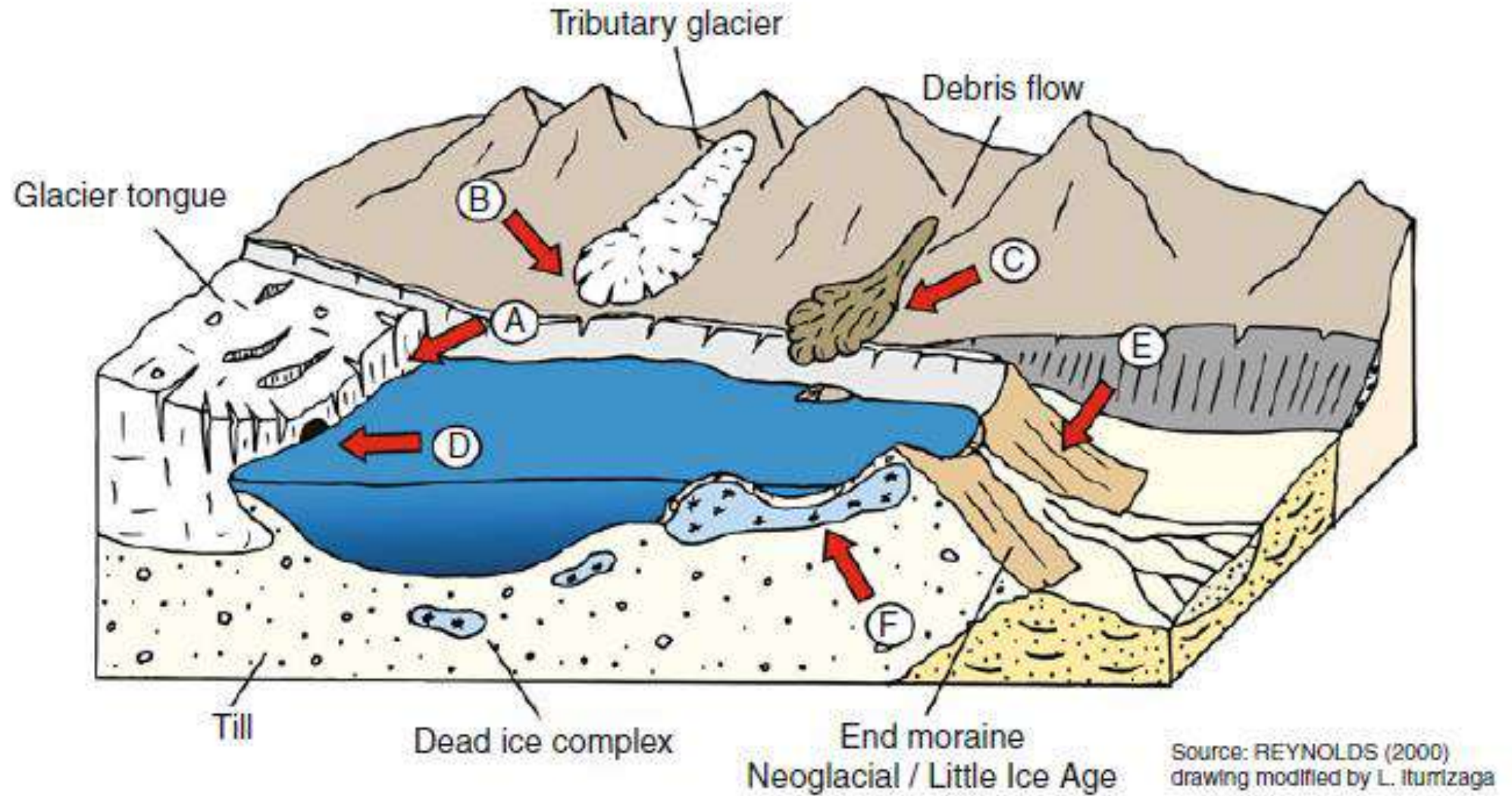
Riesgos asociados a glaciares

Alexis Segovia Rocha

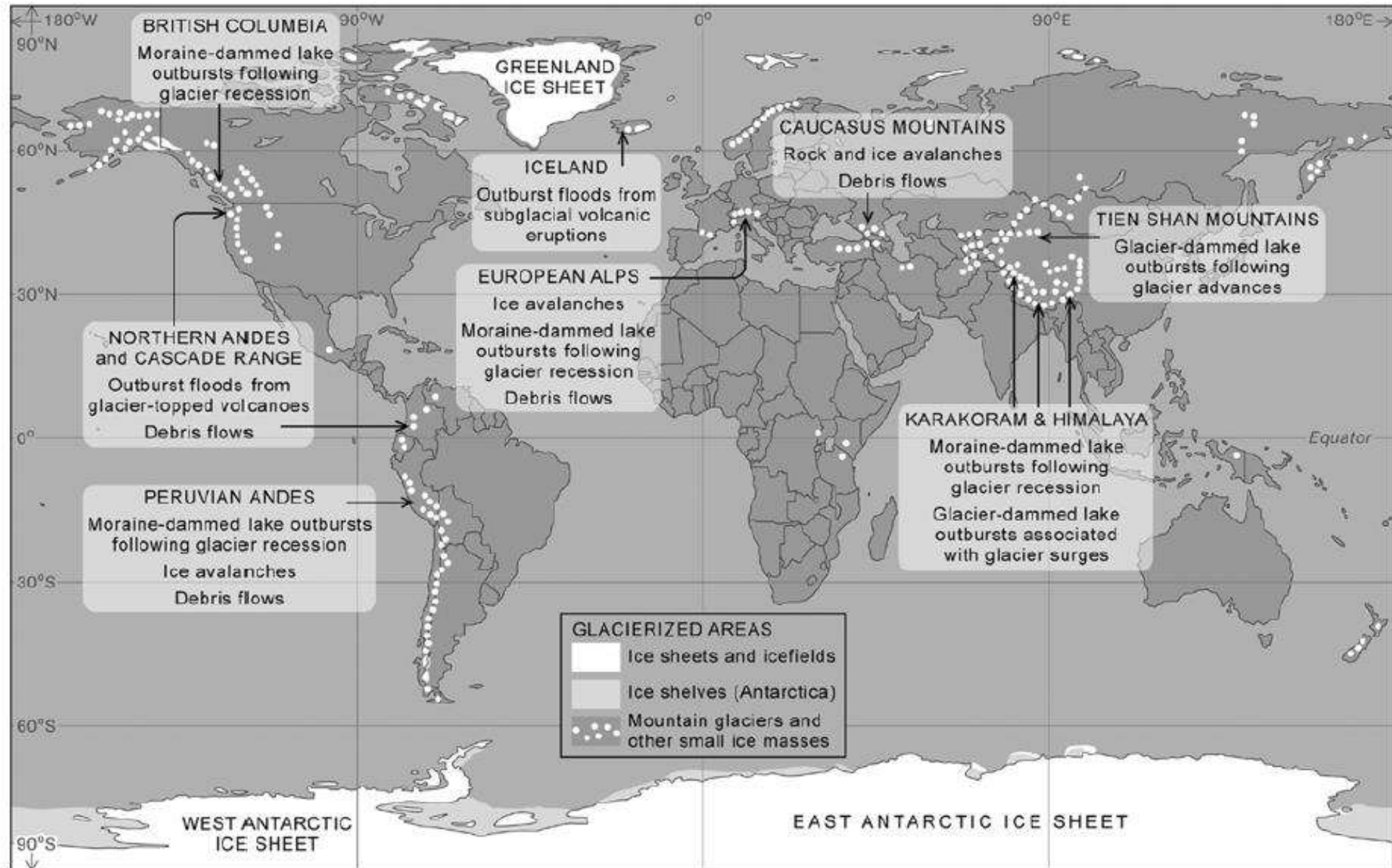
alexisegov@uchile.cl

Vaciamiento de lagos represados por morrenas

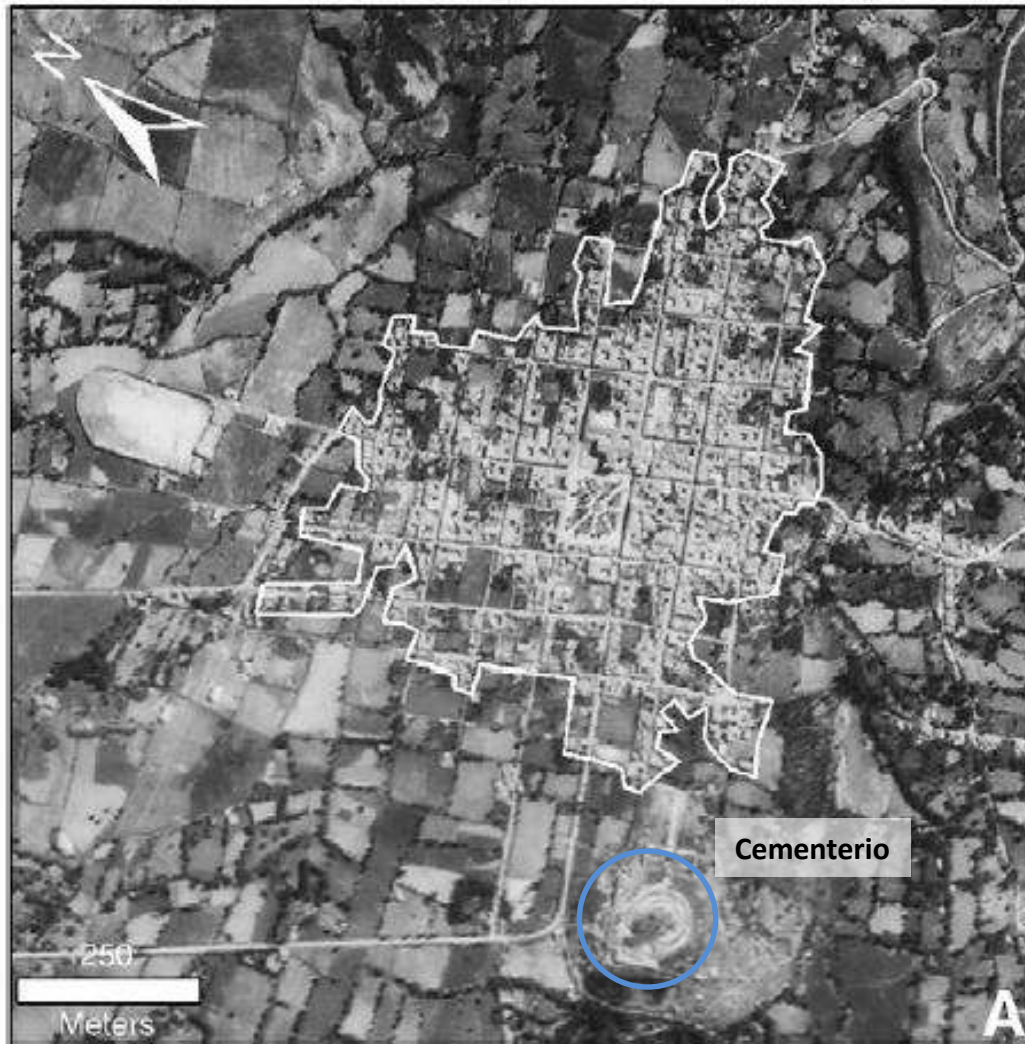
Factores desencadenantes de GLOFs (**glacial lake outburst flood**) en lagos represados por morrenas



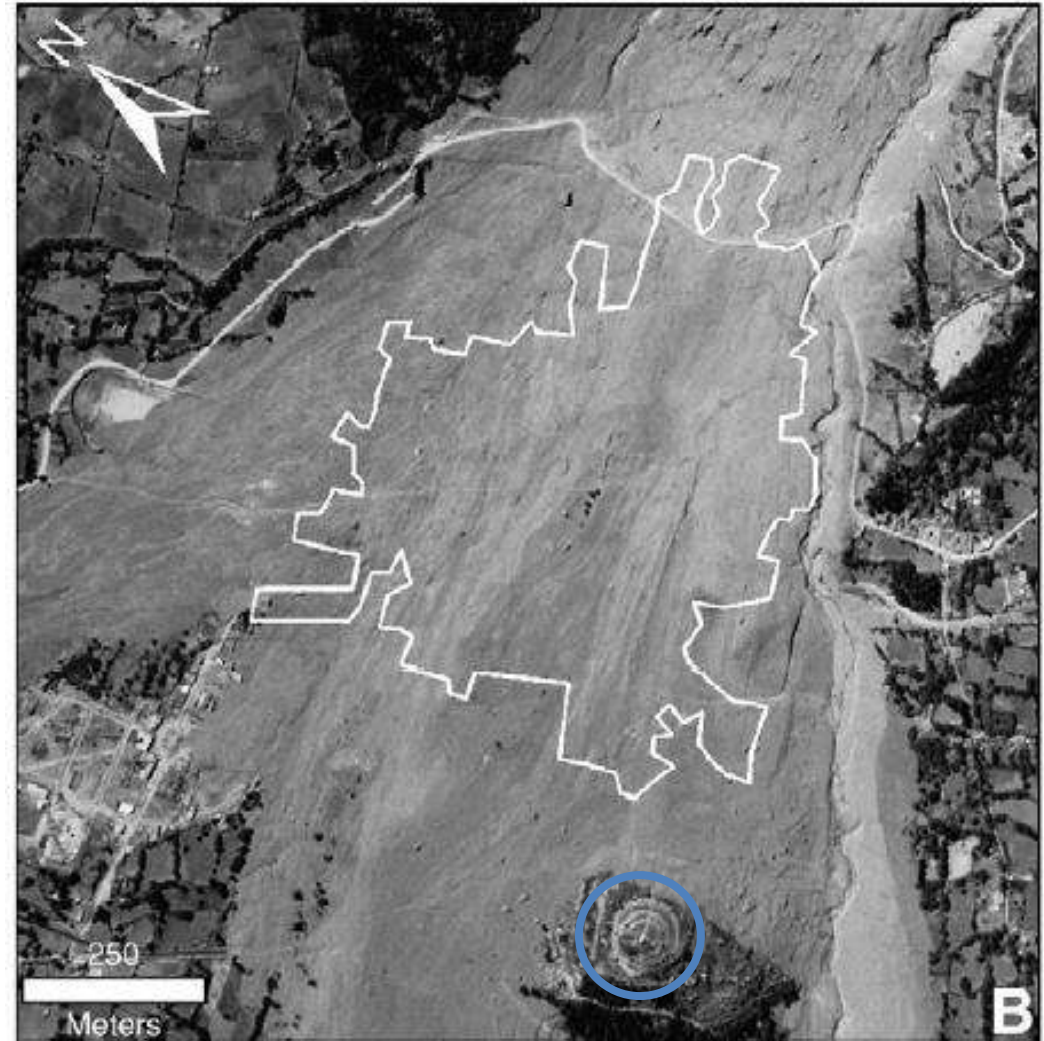
Zonas mayormente afectadas



Relevancia social



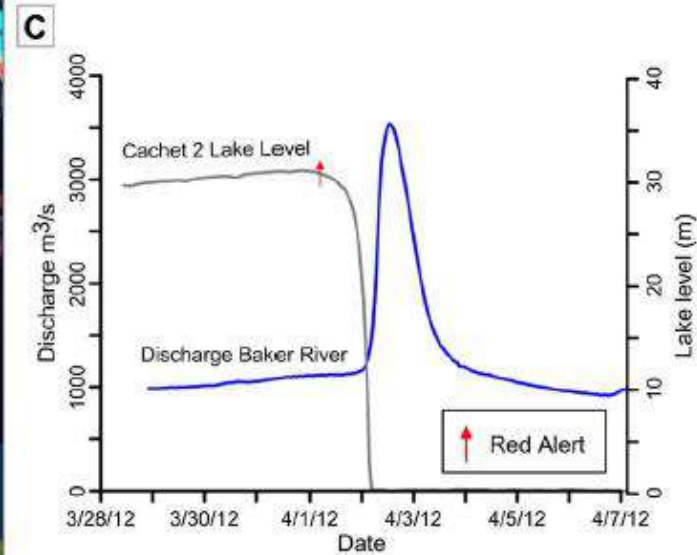
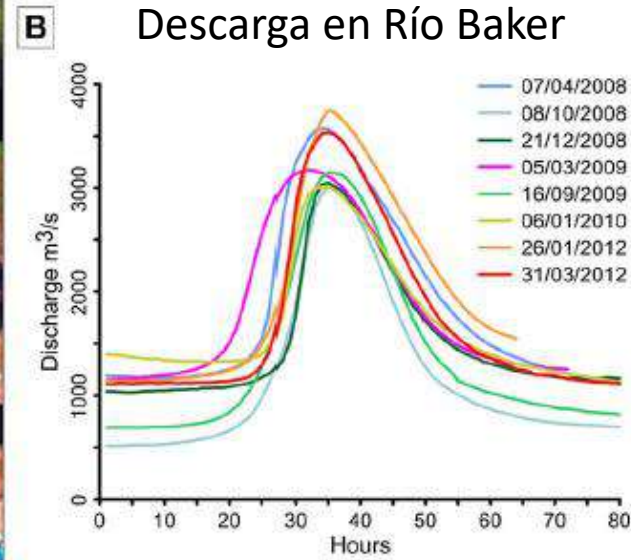
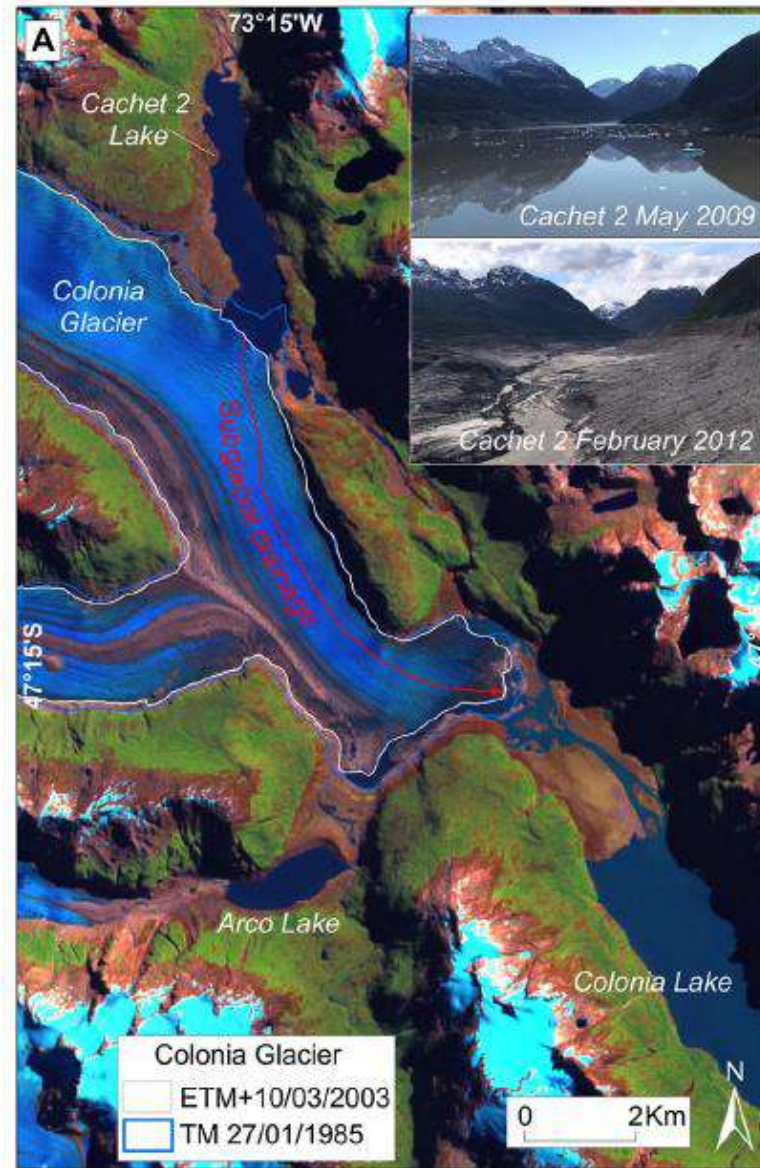
Yungay, Perú 1970



Evans et al., (2009)

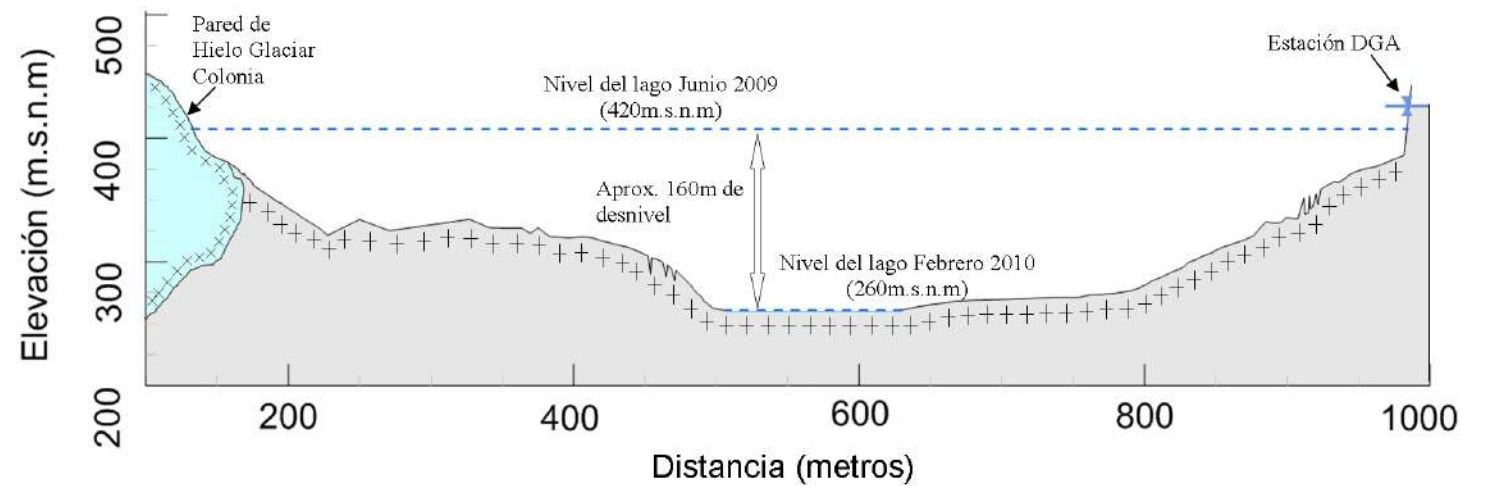
Vaciamiento de lagos represados por glaciares

Ejemplo de vaciamiento en Chile



Iribarren et al., (2015)

Lago Cachet-2







IPROMO Latinoamericano 2025

Glaciares y montañas en transformación: adaptación, cultura y acción climática desde las alturas



(Cambio Climático y Potencial Hídrico de Glaciares)

Alexis Segovia Rocha

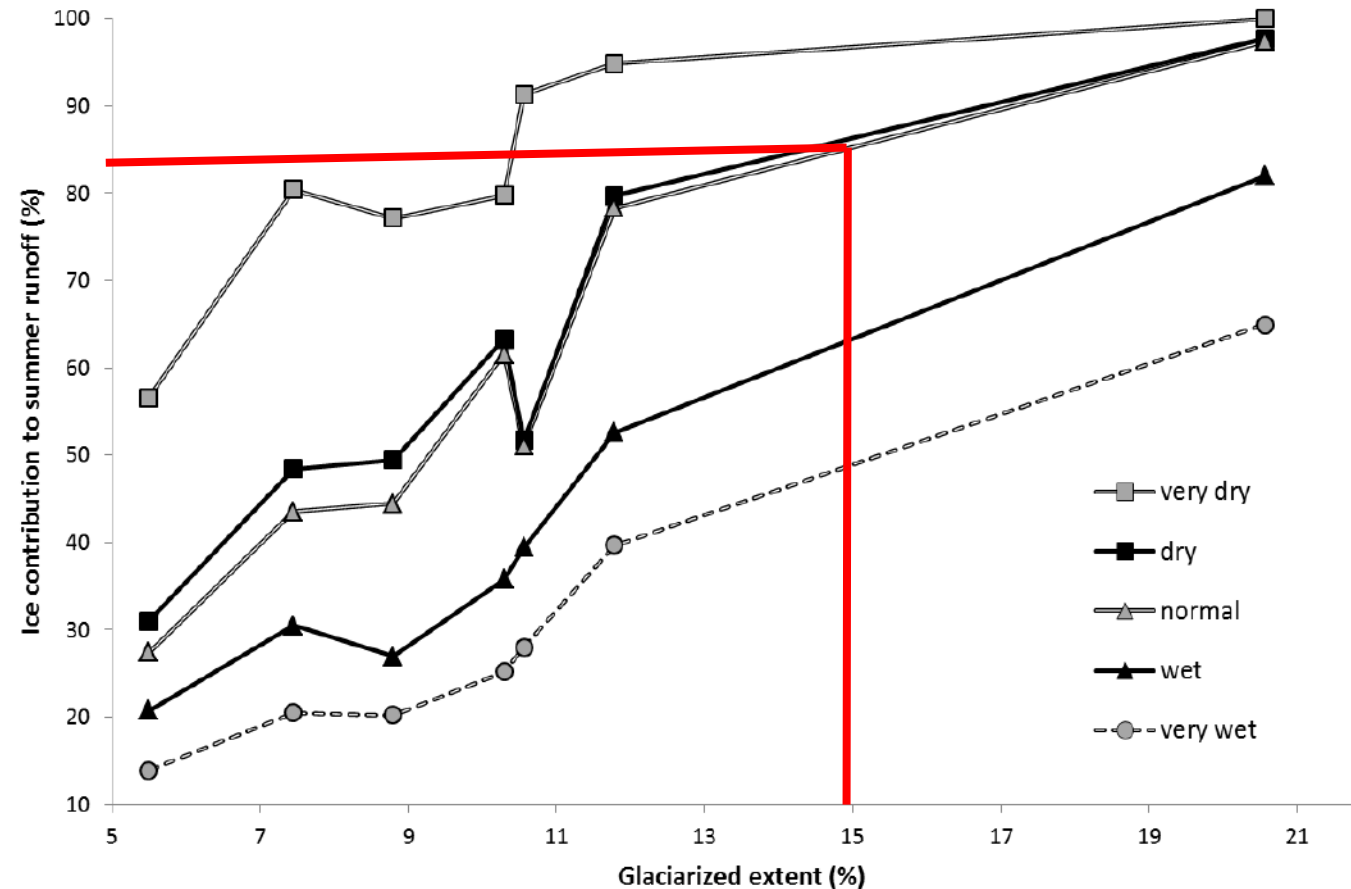
alexisegov@uchile.cl



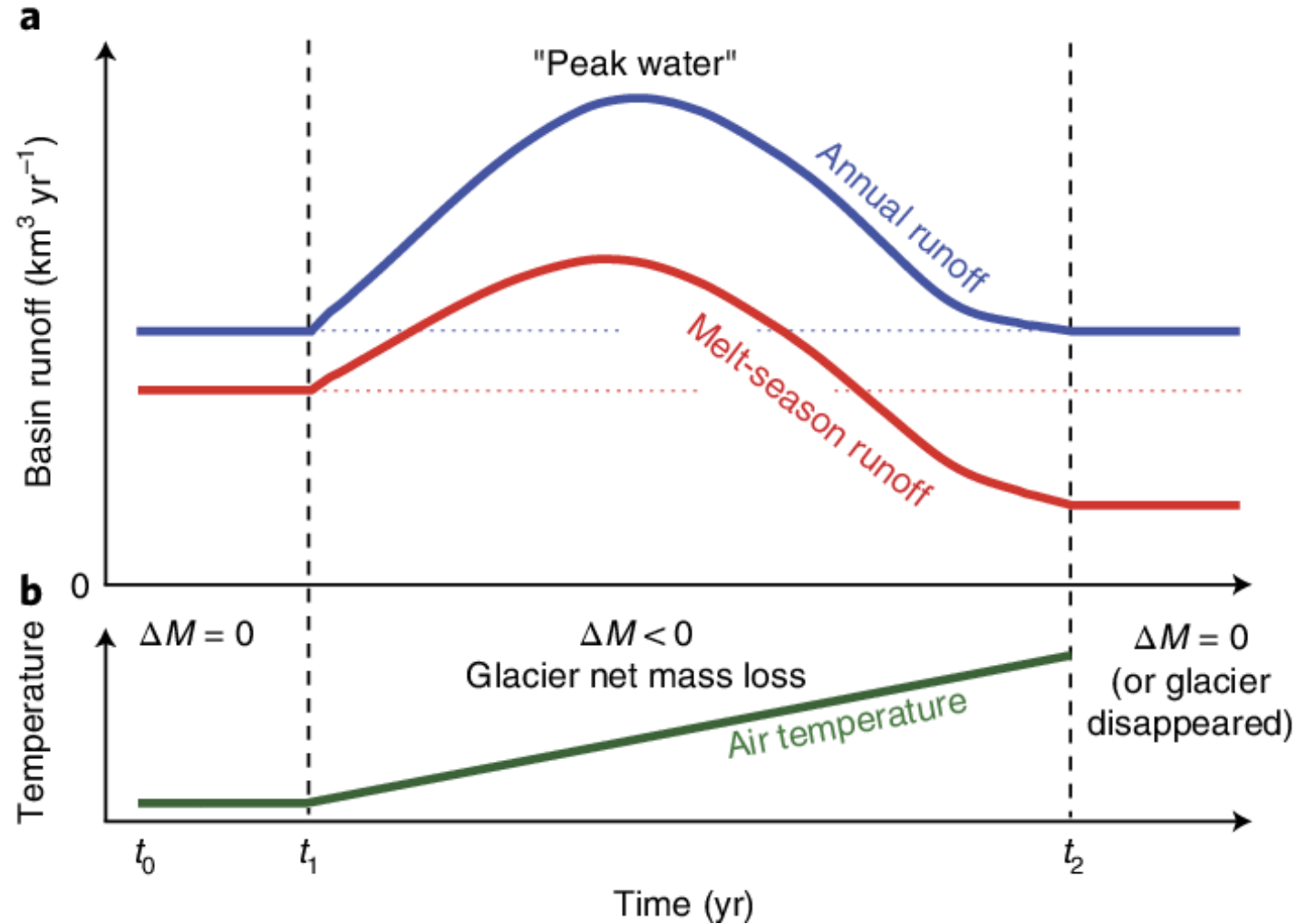


La contribución del hielo glaciar al régimen hidrológico de una determinada cuenca está fuertemente relacionado con:

- El porcentaje de la cuenca que se encuentra cubierto por glaciares;
- Por el tipo de año, desde muy húmedo a muy seco (disponibilidad hídrica)
- Los años entre normal y muy seco, se **acercan al 100% del caudal pasado el 20%** de superficie cubierta por glaciar.



Fuente: Castillo, 2015.



Cambios en la escorrentía de una cuenca glacial en respuesta al calentamiento atmosférico continuo. El glaciar está inicialmente en equilibrio, y se supone que todos los componentes del equilibrio hídrico, excepto el cambio de almacenamiento del glaciar, permanecen inalterados. Los cambios en la escorrentía de la temporada de derretimiento ilustrados aquí son típicos de los glaciares en climas con una temporada pronunciada de derretimiento y acumulación.

Fuente: Huss, M. & Hock, R. 2018.



IPROMO Latinoamericano 2025

Glaciares y montañas en transformación: adaptación, cultura y acción climática desde las alturas



Monitoreo de glaciares

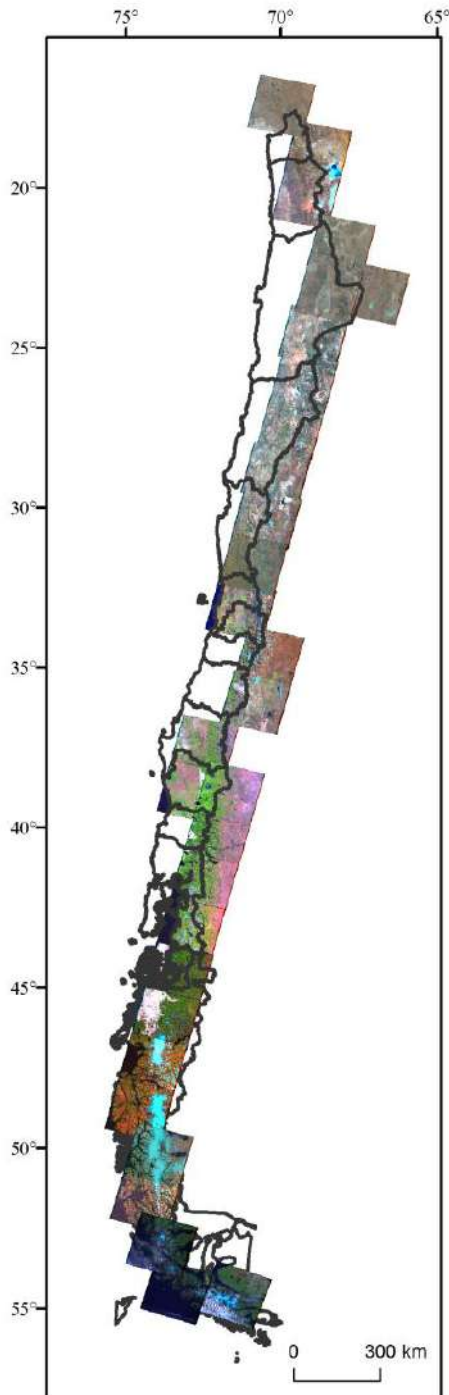
Alexis Segovia Rocha

alexisegov@uchile.cl

Inventario de Glaciares

Imágenes Satelitales para Trabajo con Glaciares

- 1) Permiten realizar un trabajo en gabinete para grandes superficies de territorio de manera rápida y relativamente económica.
- 2) Permiten la visualización general del comportamiento estacional en diferentes zonas geográficas.
- 3) Permiten la detección de hielo y nieve mediante técnicas de clasificación basadas en los rangos de valores que presentan los pixels de cada elemento presente en el territorio analizado.
- 4) Permiten la categorización de los tipos de glaciares.
- 5) Permiten la comparación en el tiempo del comportamiento de las masas de hielo y nieve.
- 6) En el caso de los DEMs (Modelos Digital de Elevación) Permiten obtener la elevación (m.s.n.m), exposición (N-S-E-W) y generar curvas de nivel entre otras aplicaciones.



San Rafael Glacier

January 20 - February 10

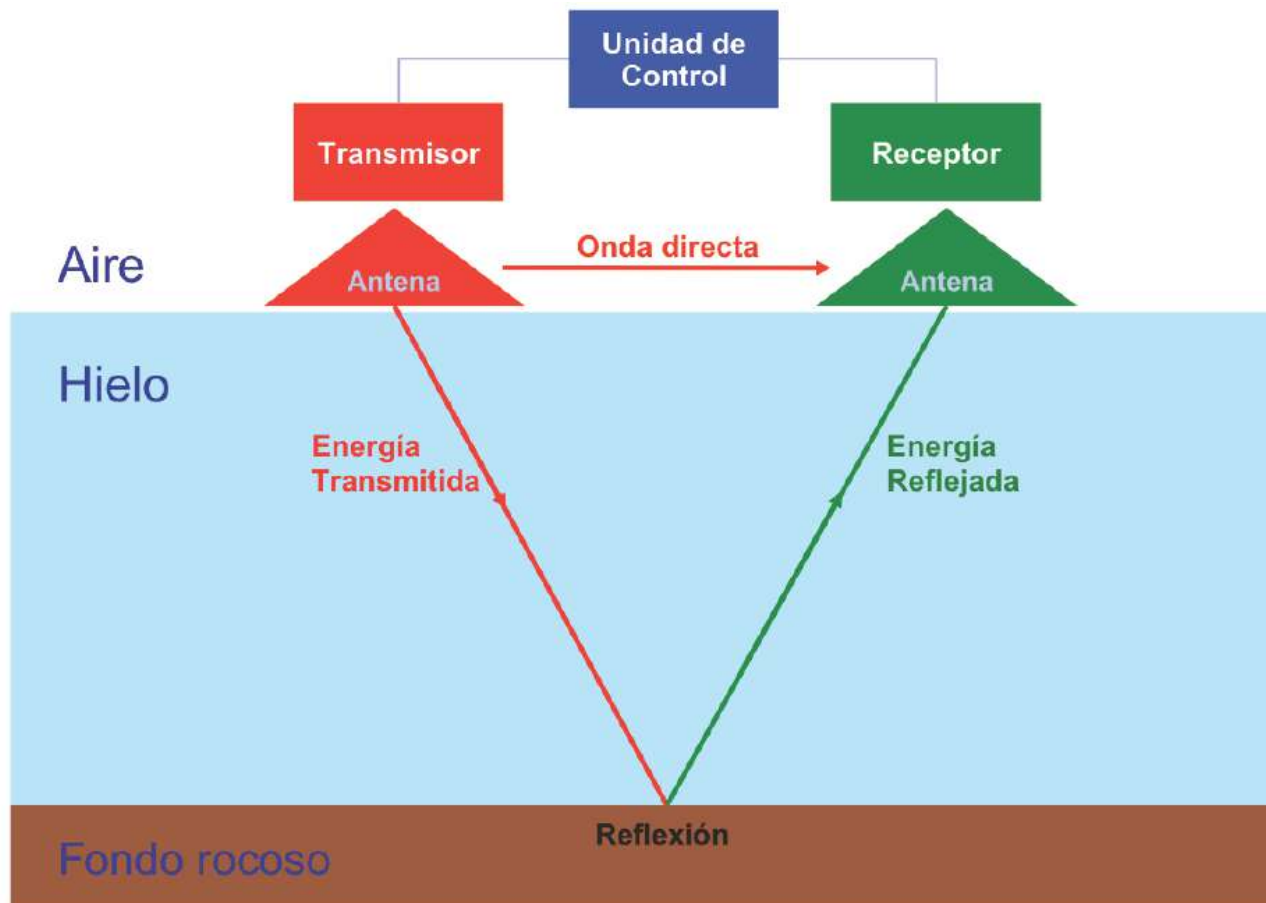
Northern Patagonian Ice Field

CECs
CENTRO
DE ESTUDIOS
CIENTÍFICOS

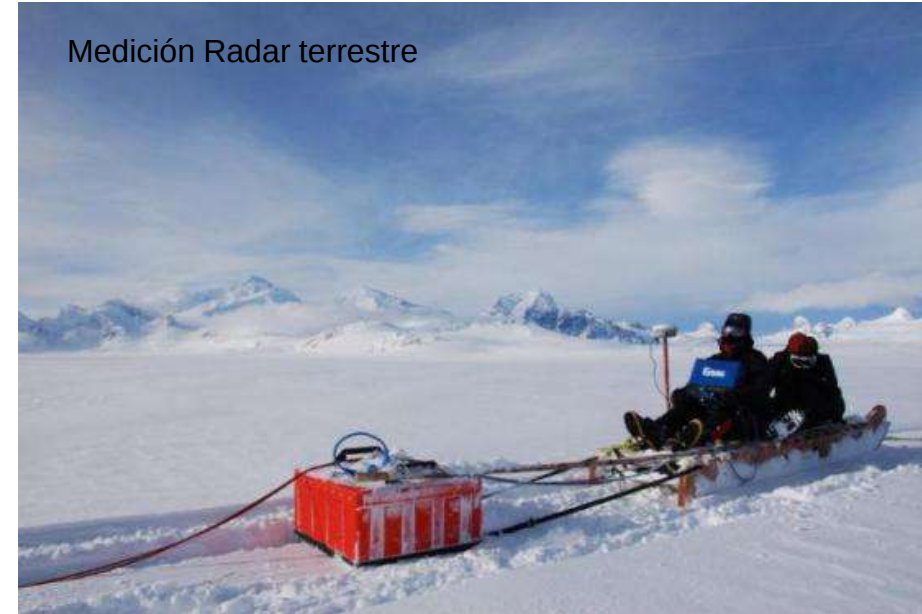


Mediciones de espesor de hielo con Radar

El método de Radar se basa en el rebote de las ondas transmitidas en reflectores internos del hielo y en el fondo del glaciar, siendo captadas en la superficie por medio de un receptor. El espesor del hielo se calcula en base a una función del tiempo de retorno.



Medición Radar terrestre



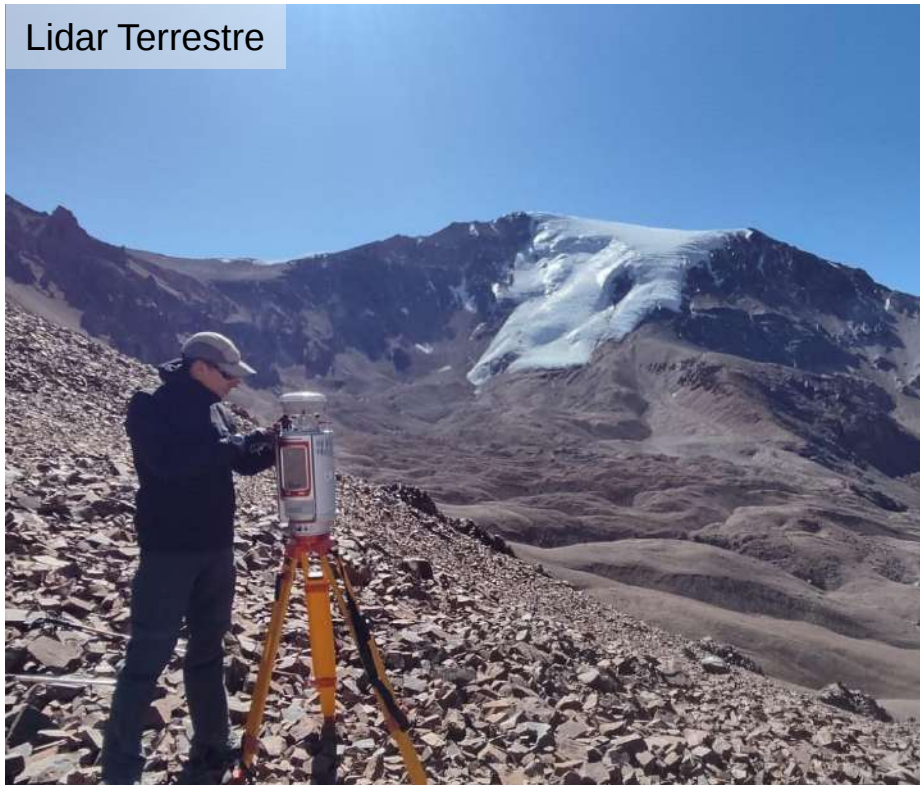
Medición Radar aéreo



Mediciones de Topografía superficial con Light Detection and Ranging (LiDAR)

Es un sistema de teledetección activa que emite pulsos de luz láser en el espectro electromagnético, para capturar la señal reflejada (eco) por la superficie topográfica barrida, obteniendo de esta forma las elevaciones del terreno mediante el sistema escaneo laser aéreo.

Lidar Terrestre



Mediciones meteorológicas (comportamiento ante el cambio climático)





IPROMO Latinoamericano 2025

Glaciares y montañas en transformación: adaptación, cultura y acción climática desde las alturas



Glaciares de los andes del sur

Alexis Segovia Rocha

alexisegov@uchile.cl

Inventario Público de Glaciares oficial de Chile IPG2022_v2”:

Número total: 26.180 glaciares

Área (km²) : 21.012,2 km².



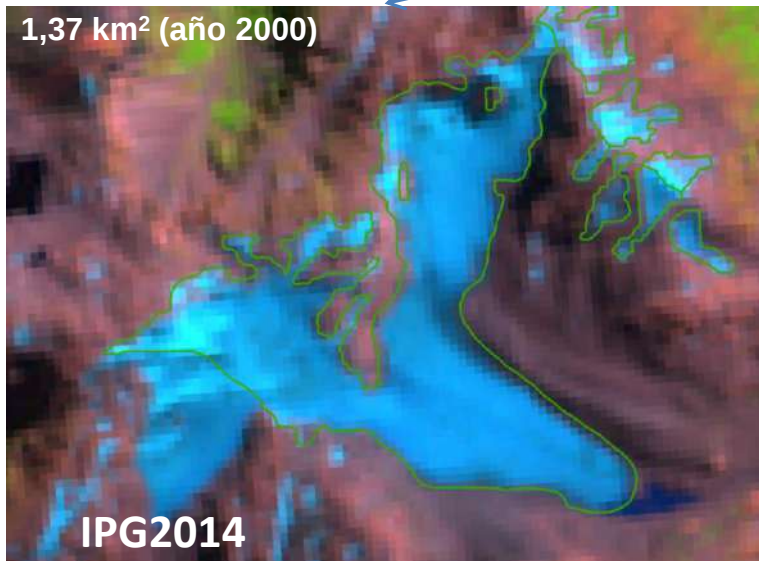
Reducción de superficie (km²) y fragmentación.

Un glaciar de valle en
2000

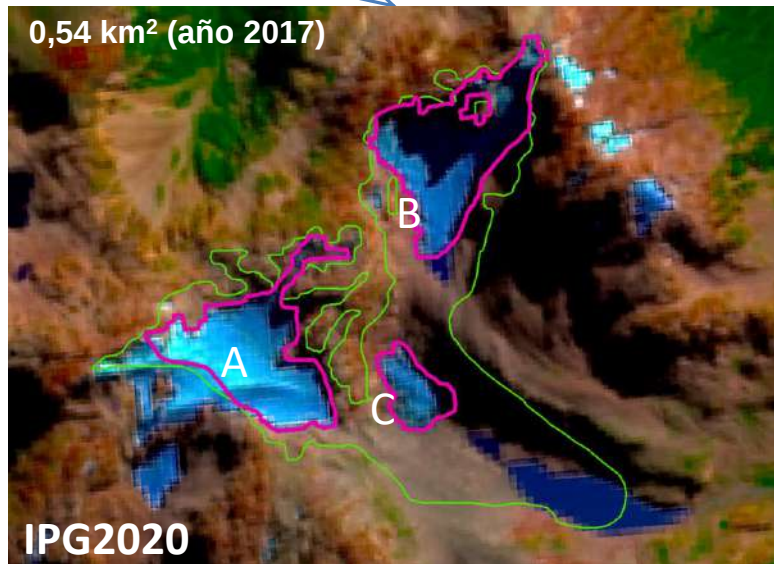
60% menos de superficie en 17 años

Tres glaciaretes en
2017

1,37 km² (año 2000)



0,54 km² (año 2017)



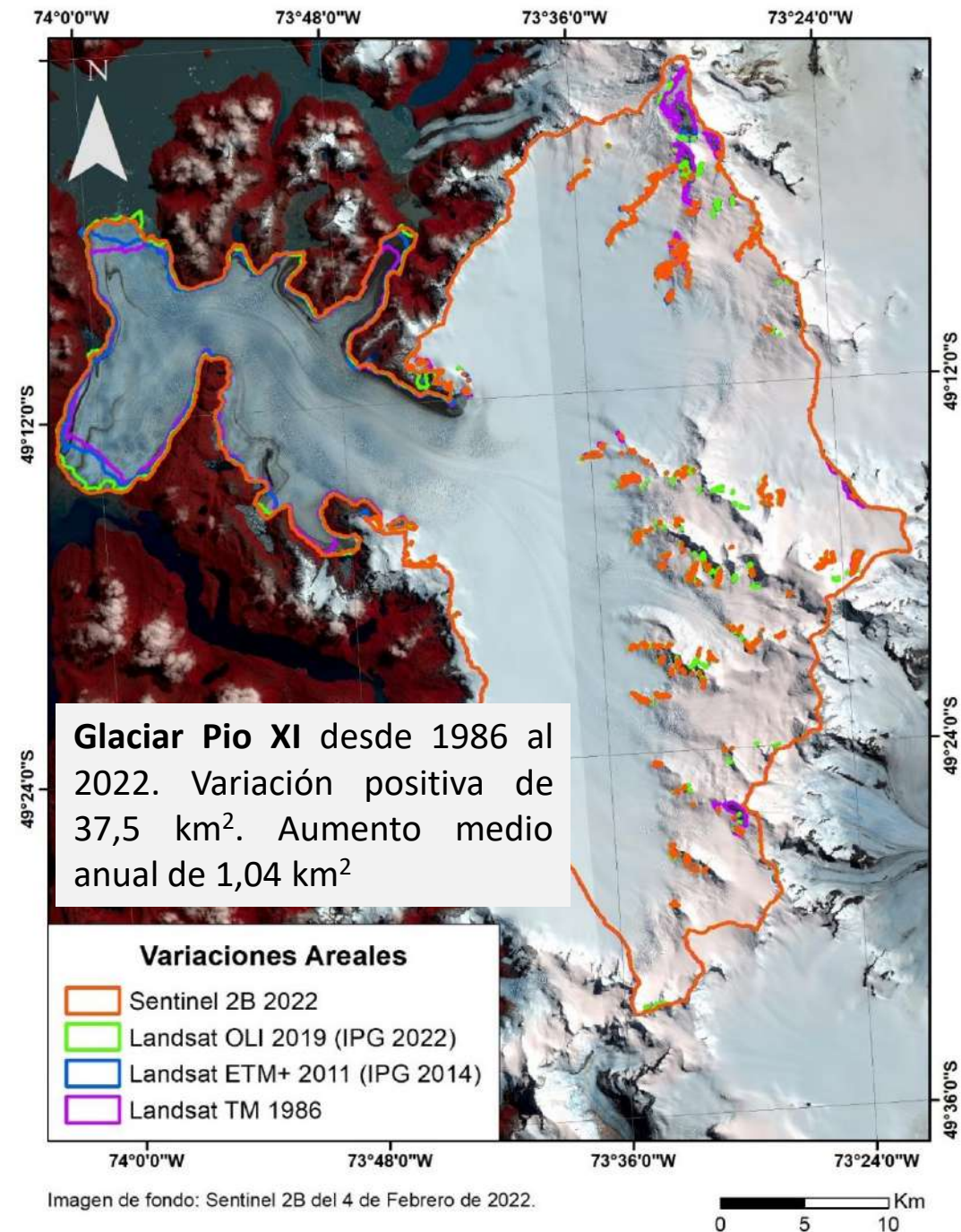
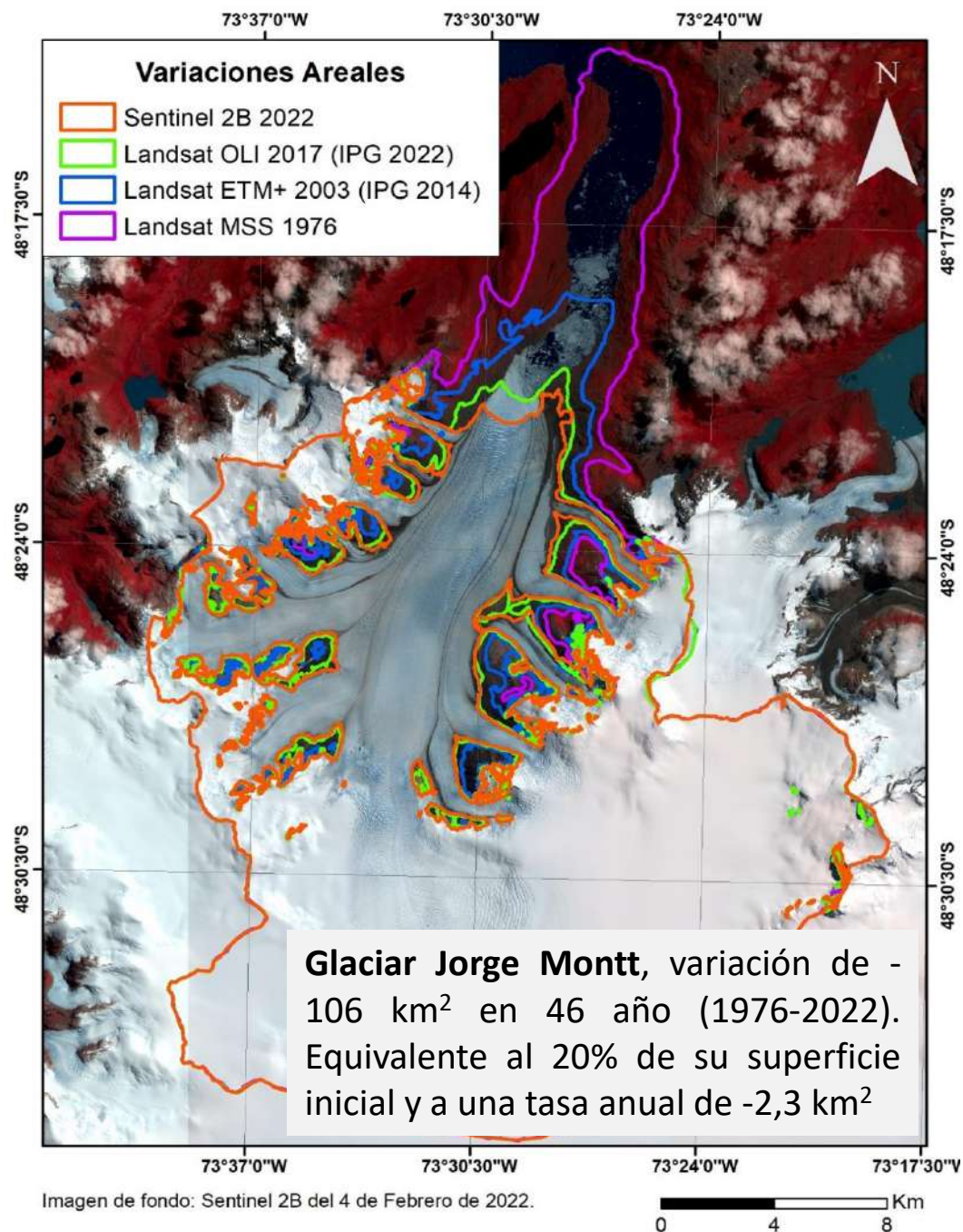
Código IPG2014: CL111024001
Clasificación IPG2014: Glaciar de valle
Región: Aysén
Cuenca: Río Palena y Costeras Límite Décima Región
Área IPG2014: 1,37 km²
Imagen IPG2014: LANDSAT ETM+ 08/03/2000



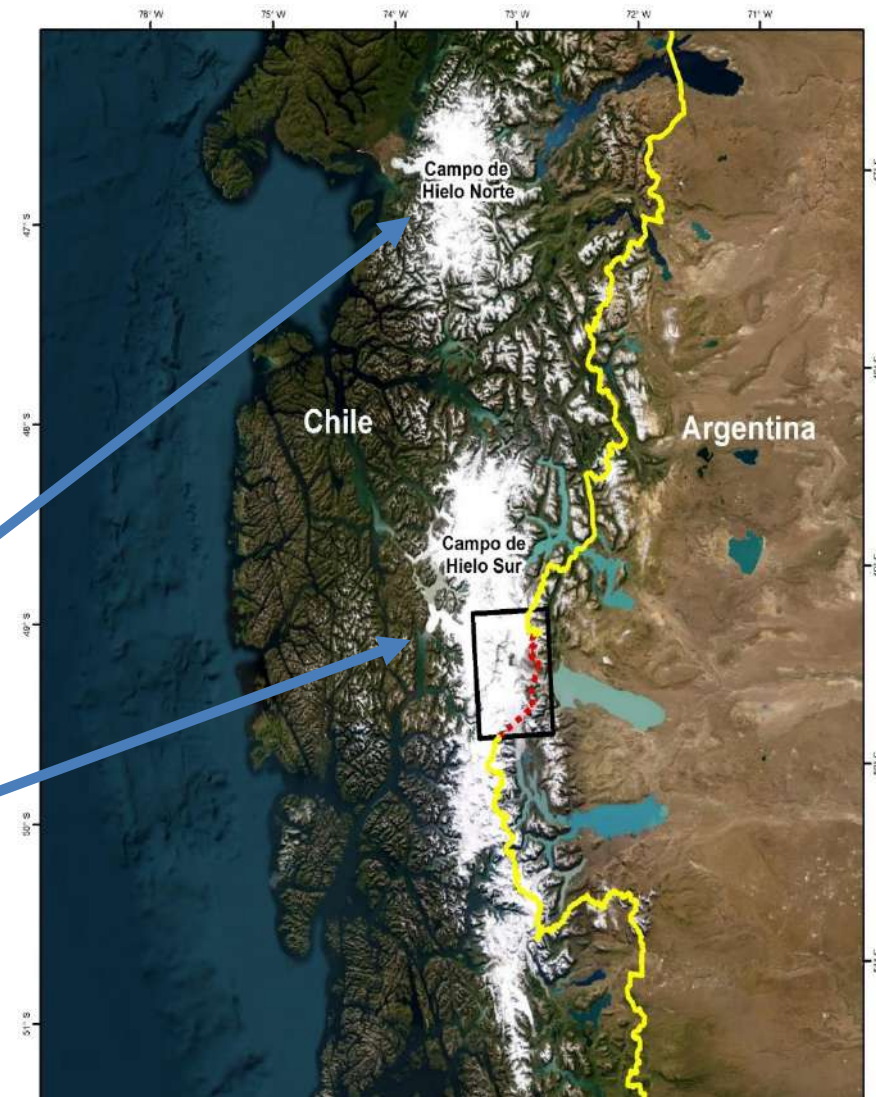
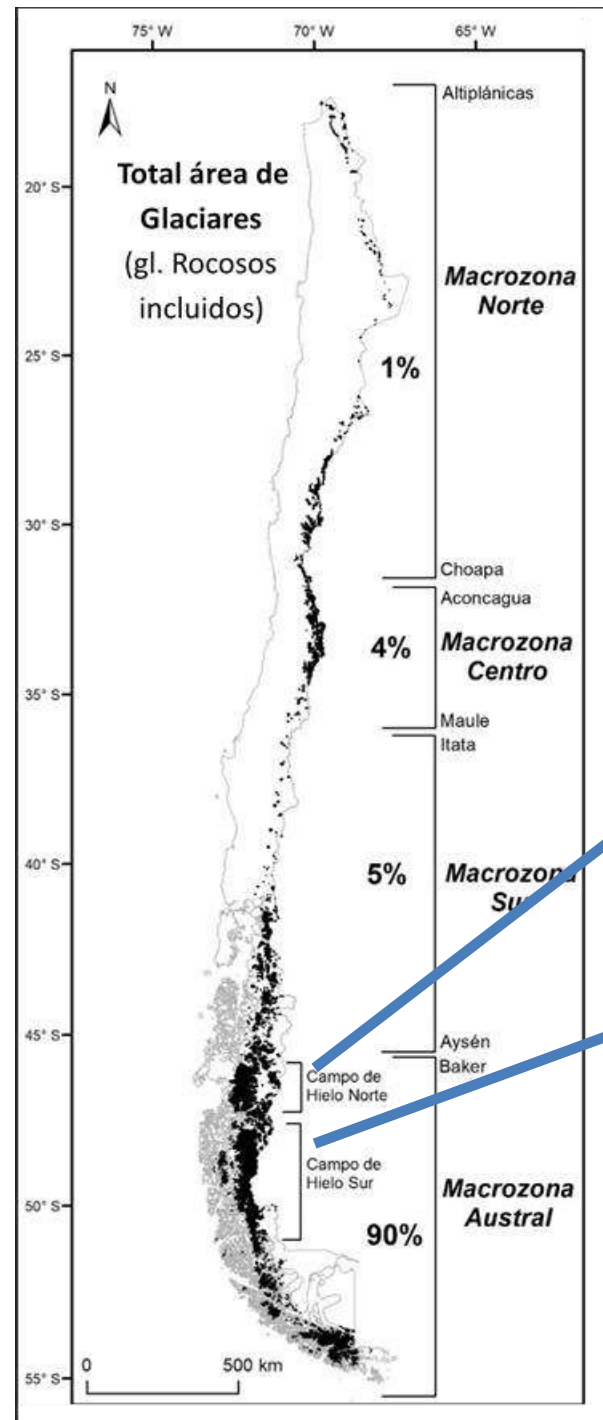
Aysén, Comuna de
Puerto Cisnes
(SSCC 11024)

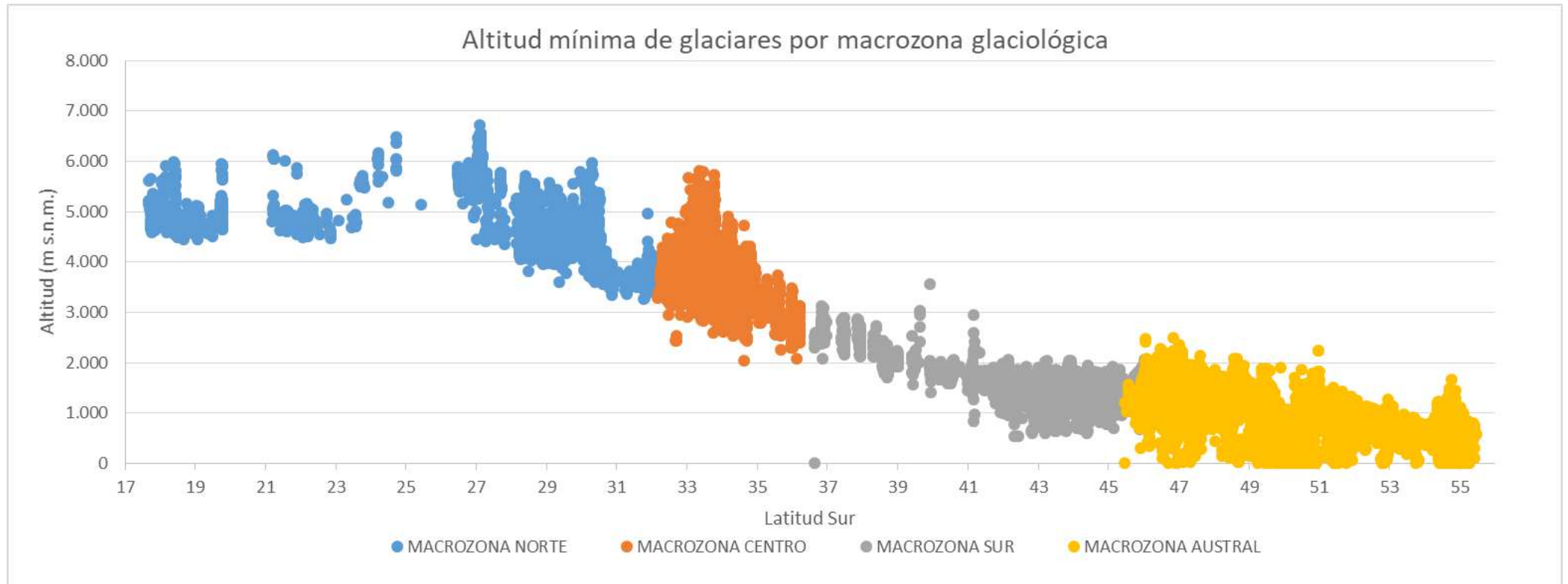
IPG2014 IPG2022

Código IPG2022: CL111024001A, B y C
Clasificación IPG2022: Glaciaretes
Región: Aysén
Cuenca: Río Palena y Costeras Límite Décima Región
Área total IPG2022: 0,54 km²
Imagen IPG2014: LANDSAT OLI 16/04/2017



Glaciares en Chile







IPROMO Latinoamericano 2025

Glaciares y montañas en transformación: adaptación, cultura y acción climática desde las alturas

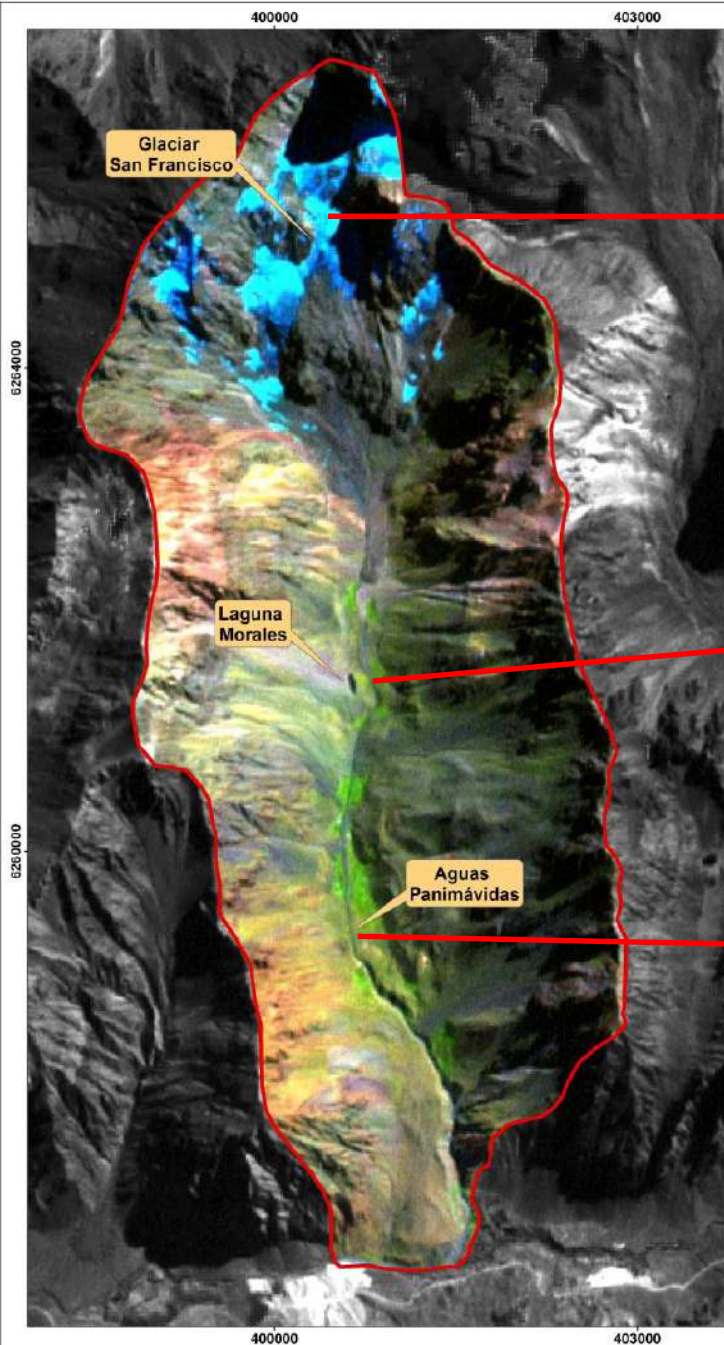


Glaciares y sociedad

Alexis Segovia Rocha

alexisegov@uchile.cl

UNIDADES PAISAJÍSTICAS DEMARCADAS DENTRO DEL MONUMENTO NATURAL EL MORADO



Glaciar San Francisco



Fuente: Elaboración propia 2014.

Laguna Morales



Fuente: www.marketing-coop.trekkingchile.com

Aguas Panimávidas



Fuente: www.pancoratio.com

SIMBOLOGÍA

 Cuenca "Monumento Natural El Morado"

0 0.5 1 km



Fuente:

Elaboración propia en base a:

Glaciares: Inventario de Glaciares del DGA-UGN, 2013.

Imagen: Landsat ETM+, 2002. R(5) G(4) B(1).

Proyección: DATUM WGS84 HUSO 19s



Servicio Ecosistémico de Turismo y Recreación:

- En base a **preferencias personales** de los visitantes por ciertas unidades paisajístico ambientales, mediante la aplicación de una **encuesta en terreno**.

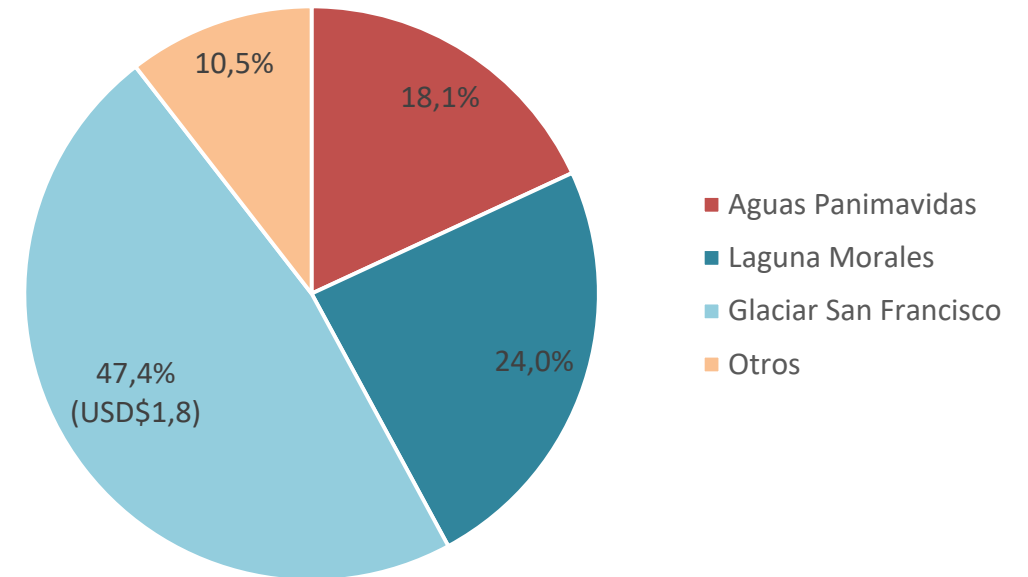


$$VSE_T = \text{División del precio de cada entrada al Sitio Protegido por cada unidad paisajística} \times \text{Nº de visitantes de un año promedio al Sitio Protegido}$$

Resultados preferencias personales

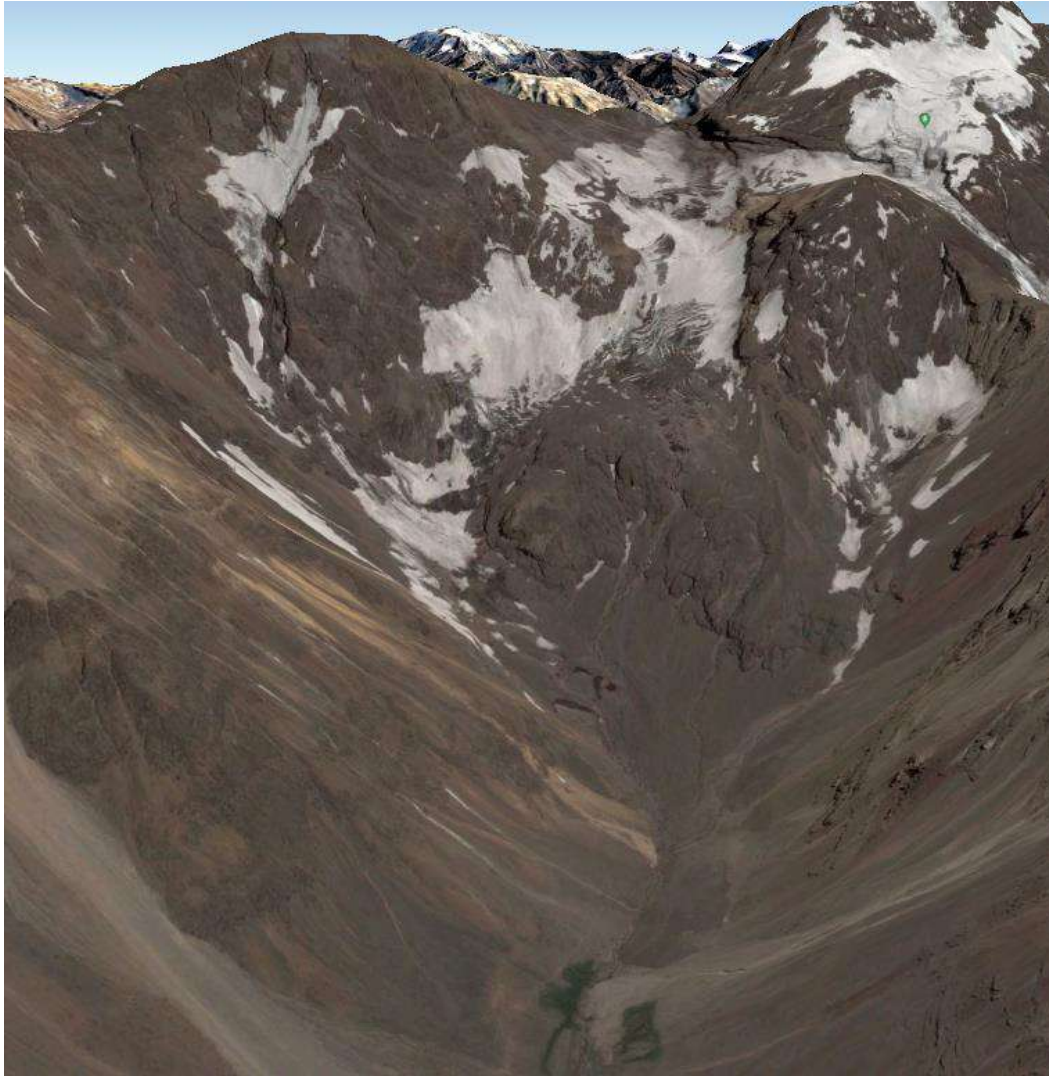
- En promedio **USD\$1,88 (47%)** de cada entrada corresponde a los glaciares.
- **Valor presente a 50 años (VP) es de USD\$274.130.-**
- **Valor anual es de USD\$17.392.-**

Método de preferencias personales

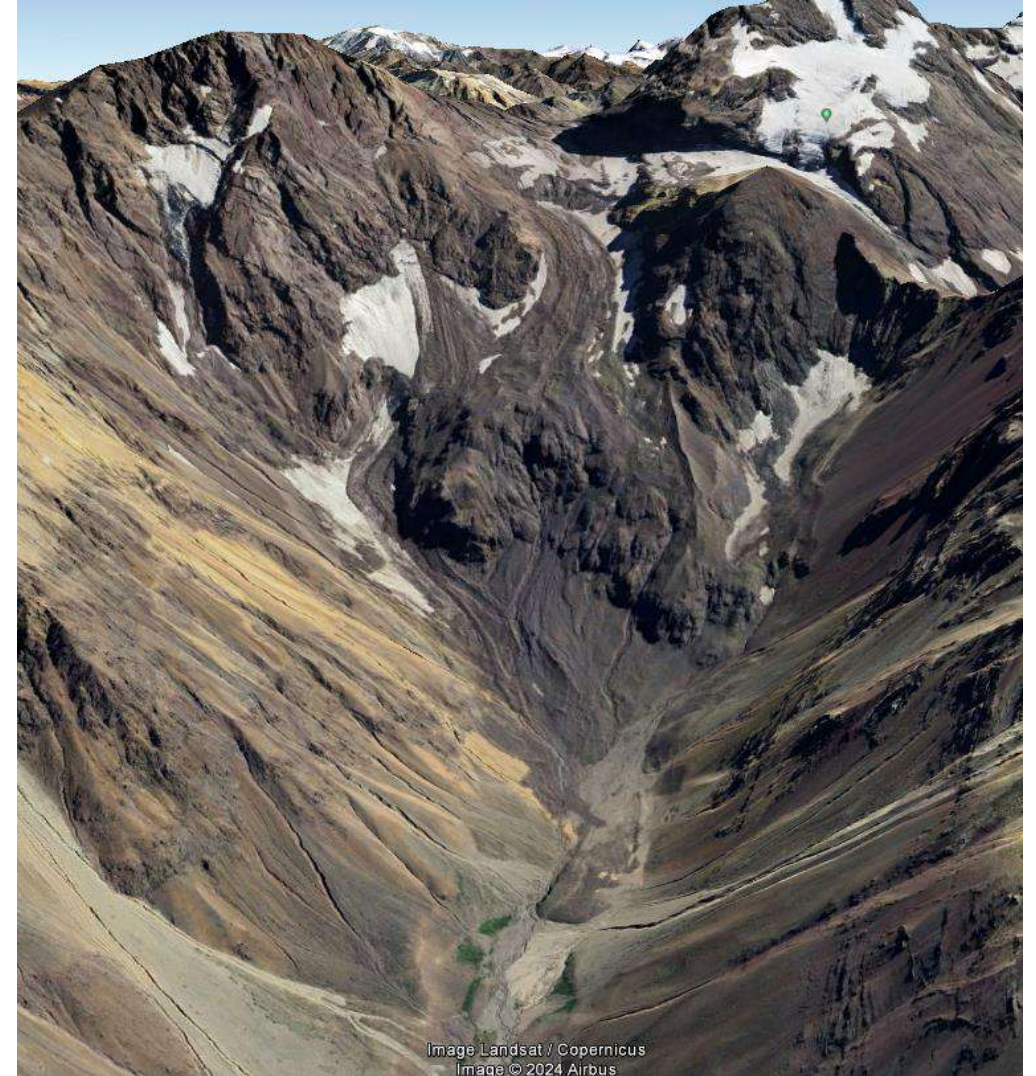


Tipo de visitante	Promedio visitantes (2004-2013)	Valor entrada MNM (USD\$)	Total valor económicos anual MNM (USD\$)	Total valor económico anual de glaciares del MNM (USD\$)	VPN de glaciares a 50 años (USD\$)
Adultos	9.251	4	37.004	17.392	274.130

2014



2024





LEY DE GLACIARES: RESPUESTA A UN CONFLICTO SOCIOAMBIENTAL

Alexis Segovia Rocha

alexsego@uchile.cl

Estatuto jurídico de los glaciares en otros países

a) Criterio de Protección Directa: Se presenta en todos aquellos casos en que se incluyen expresamente como glaciares en la legislación sectorial aplicable, o bien, a través de leyes específicas de protección de glaciares.

b) Criterio de Protección Indirecta: Consiste en la protección de los glaciares a través de su inclusión, en forma expresa o tácita, en normas jurídicas que se encargan de la protección de Áreas de Protección Oficial.

España:

En la década de los '80 la comunidad autónoma de Aragón dictó la Ley Nº 2, que declara **Monumentos Naturales a los Glaciares Pirenaicos** (protección directa).

Francia:

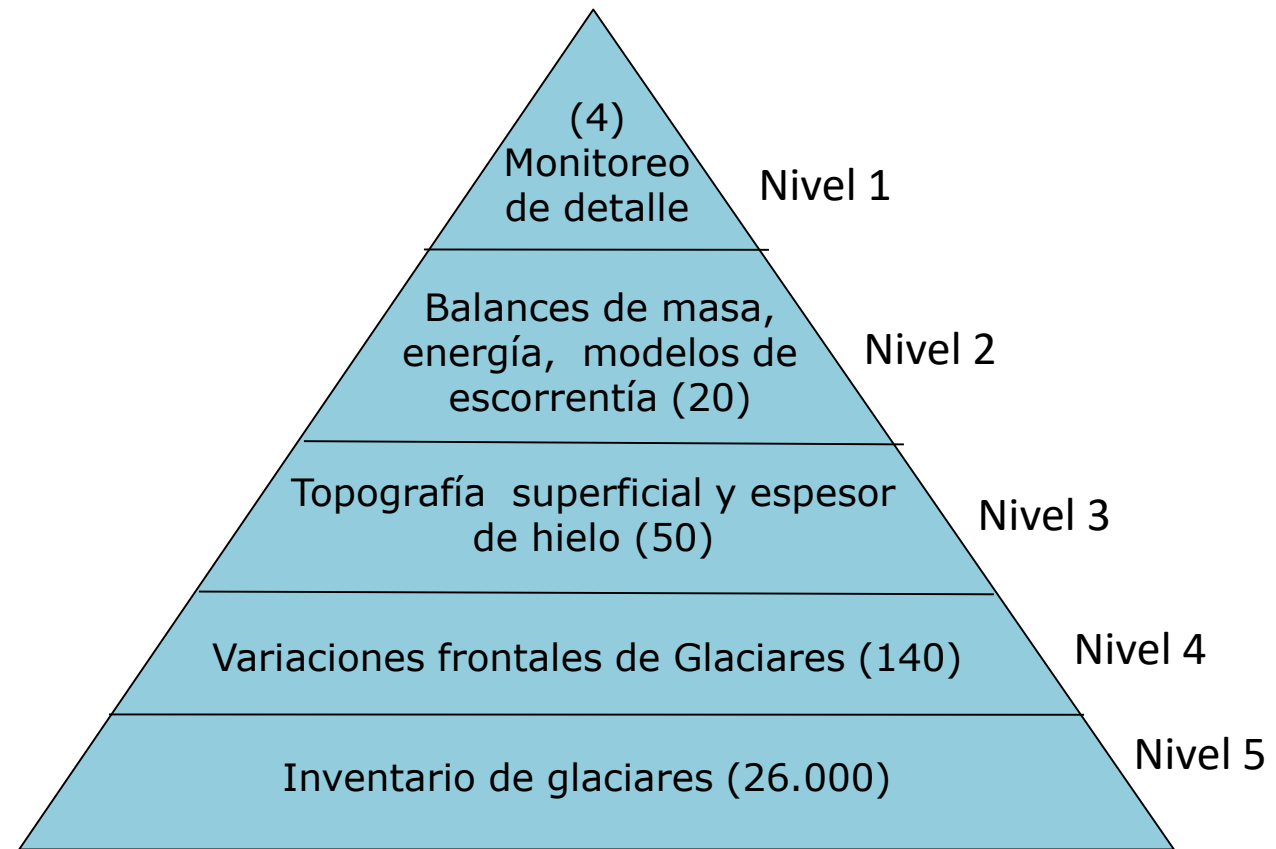
Todos los glaciares se encuentran en áreas protegidas. No existe una legislación especial para proteger a los glaciares.

Países Sudamericanos:

Los glaciares andinos **no han sido considerados como bienes jurídicos objetos de protección específica** y carecen de una legislación especial de conservación, a excepción de Argentina.

Estrategia Nacional de Glaciares

- Incrementar el conocimiento científico - técnico en un horizonte de 5, 10 y 20 años
- Tienen un sistema integrado de 5 niveles de observación jerárquica para estudiar todos los glaciares del país con distintos niveles de detalle



Fuente: Segovia, 2014.



Origen del Conflicto

- Se origina con el conflicto de **Pascua Lama (2001-2004)**.

2001 Pascua Lama de Minera Barrick Gold, invertirá US\$ 35 MM en proyectos en Chile Perú y Argentina.

Propuesta inicial: **remover alrededor de 20 hectáreas de glaciares**, y depositarlos en la cumbre del glaciar Guanaco, de una superficie de 190 hectáreas. Luego estos se fusionarán unos con otros por recongelamiento y deformación (Diario Atacama, 2005).



Mapa sintético de actores opositores en torno a la ley de glaciares:



Fuente: Herrera & Segovia, 2019



Desafíos para una ley de glaciares

- ¿Conservar o no los glaciares?
- ¿Se requiere una ley especial o basta con el SEIA?
- ¿Es necesario proteger el permafrost?
- ¿Es necesario proteger el periglacial?
- ¿Sobre que medida se debe considerar una masa de hielo como glaciar? (0.1ha, 0.5ha, 1ha).
- ¿Es necesario proteger glaciaretos y glaciares rocosos?
- ¿Se podrá realizar obras de infraestructura para protección civil?
- ¿La ley debe ser retroactiva?



IPROMO Latinoamericano 2025

Glaciares y montañas en transformación: adaptación, cultura y acción climática desde las alturas

Gracias

Alexis Segovia Rocha

alexisegov@uchile.cl