



# Criósfera y Regulaciones: Conceptos, Cambios y Tendencias

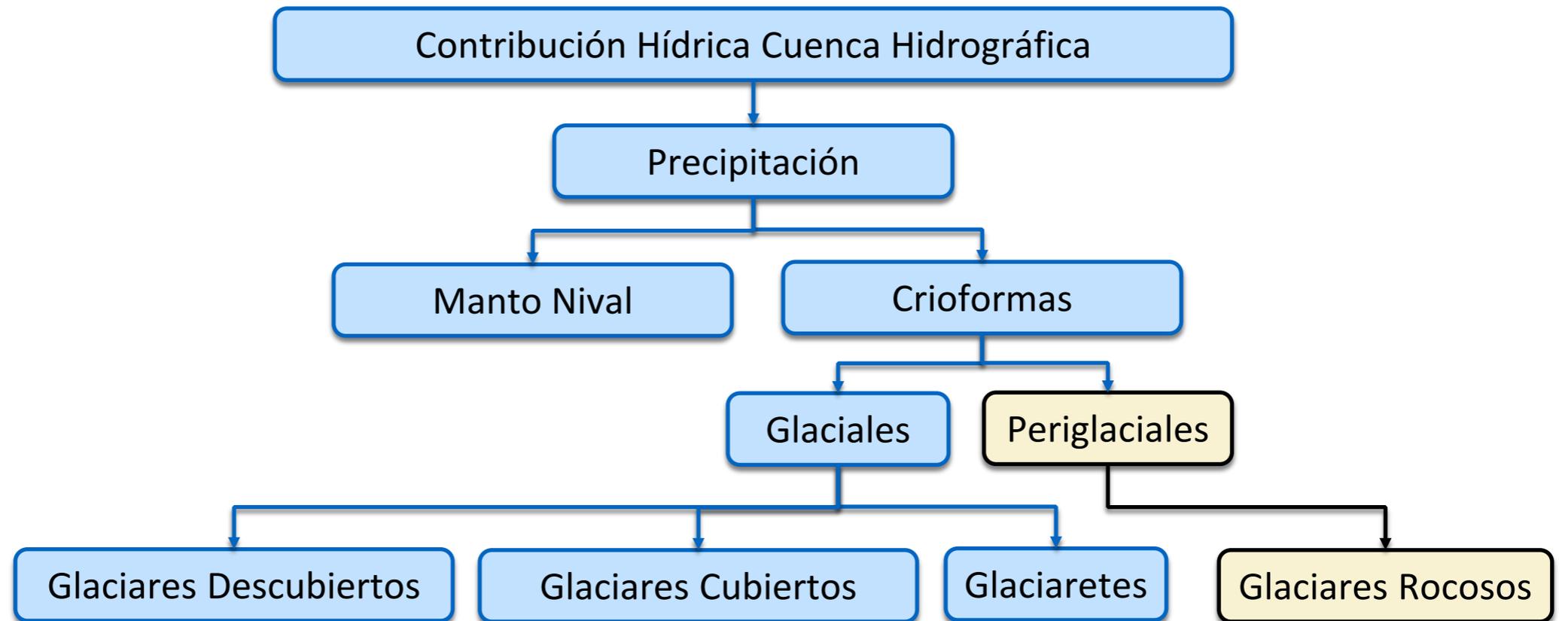
*Dr. Pablo Wainstein y Dr. Lukas Arenson*



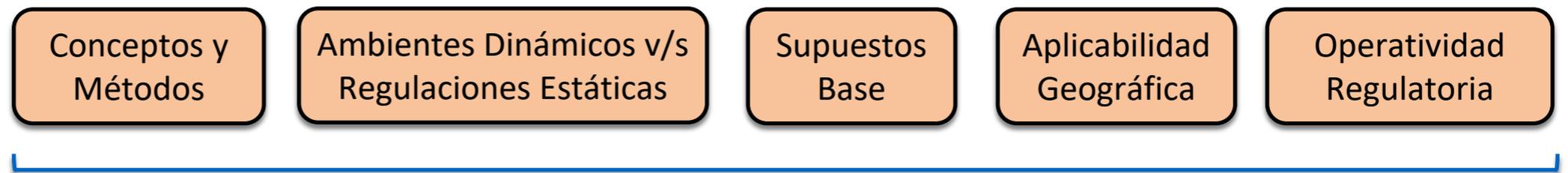
Valparaíso, Julio 17, 2019

# Desafíos Regulatorios de la Criósfera

Generalidades



Desafíos



Deterioro del Sistema de Evaluación

Calificativos Usados

Estratégico

Significativo

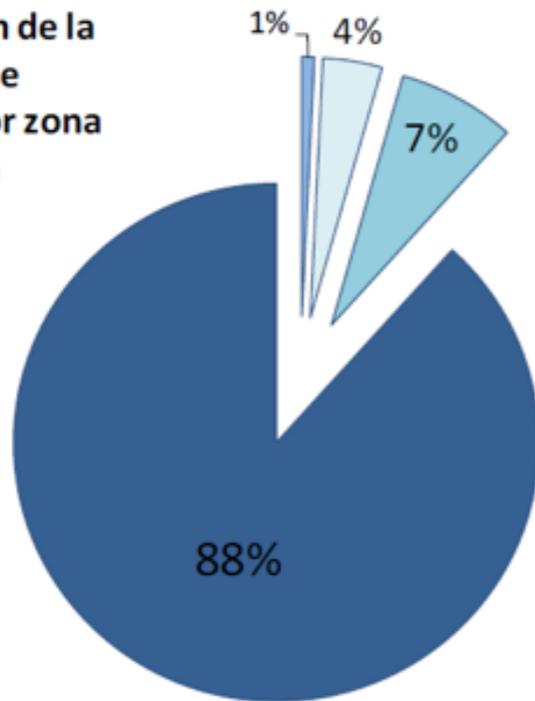
Preservación



# Distribución Geográfica en Chile

## Zonas Glaciológicas

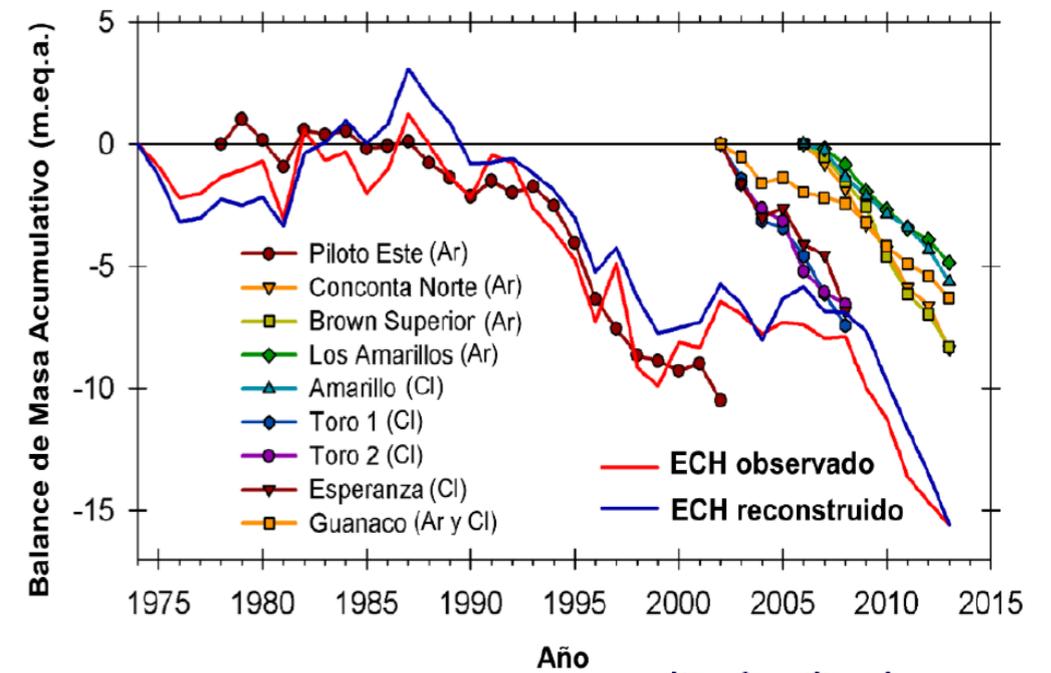
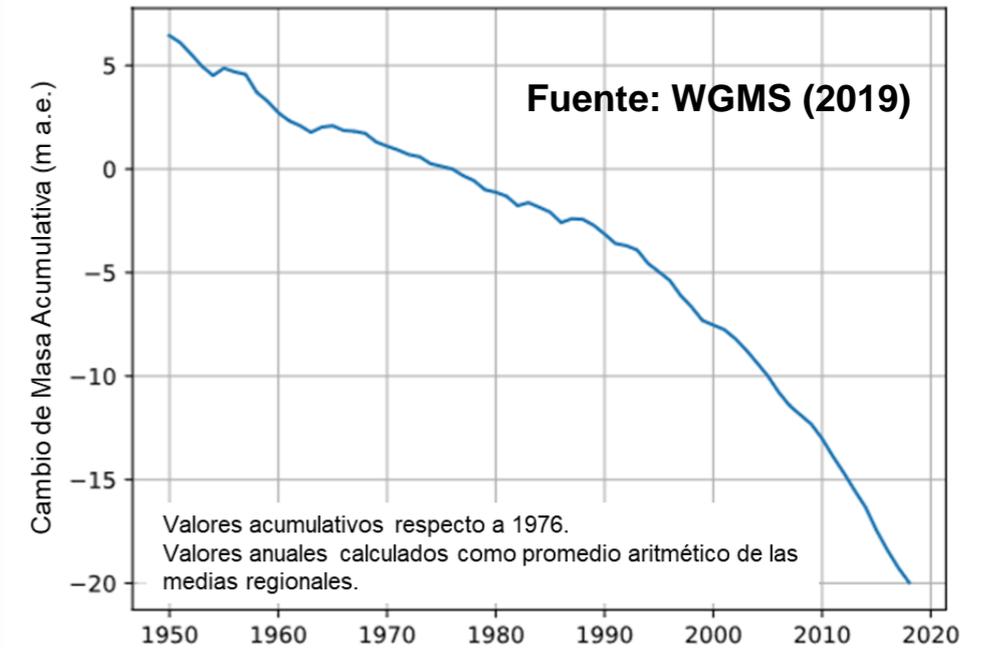
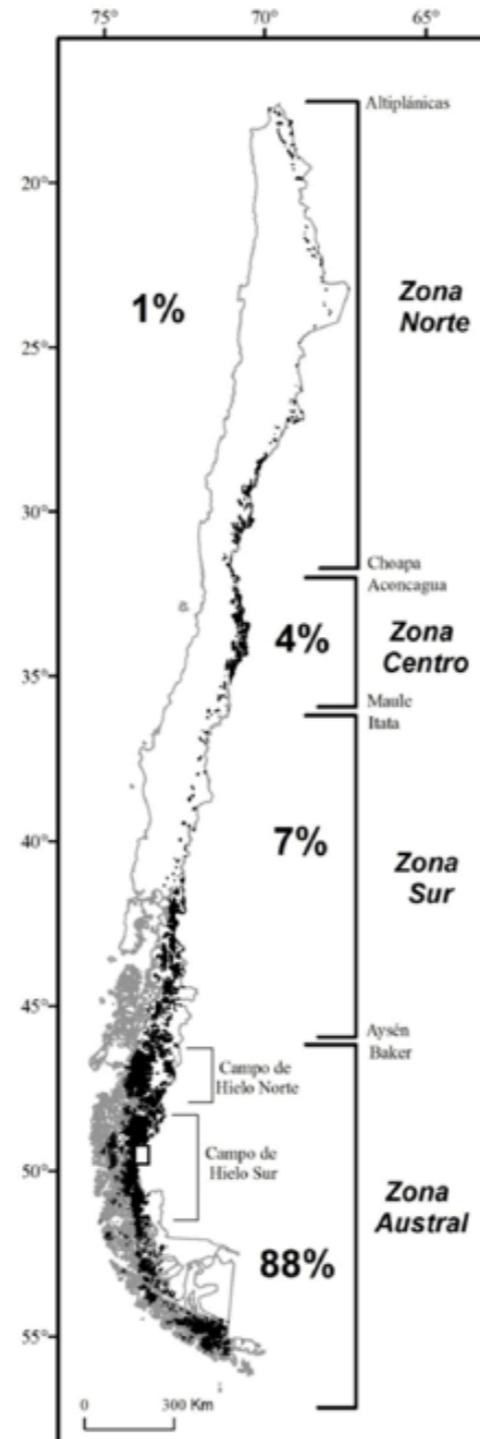
Distribución de la superficie de glaciares por zona glaciológica



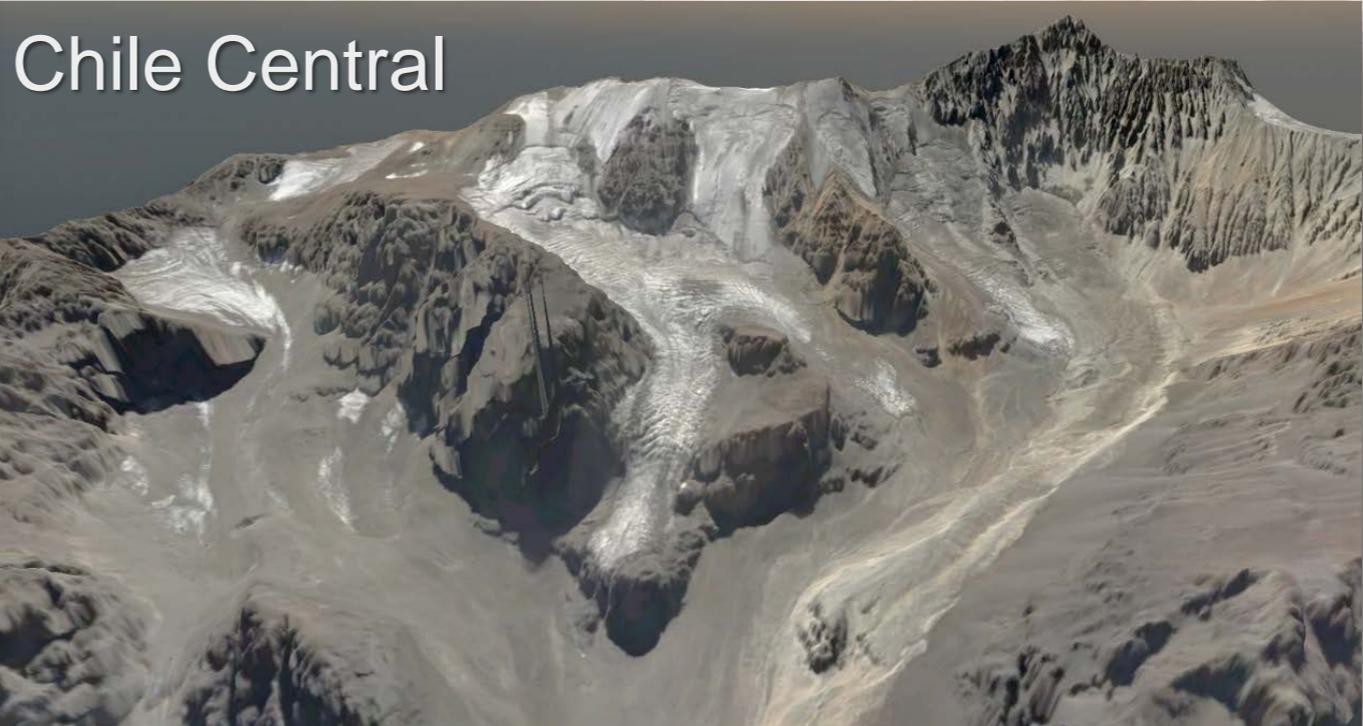
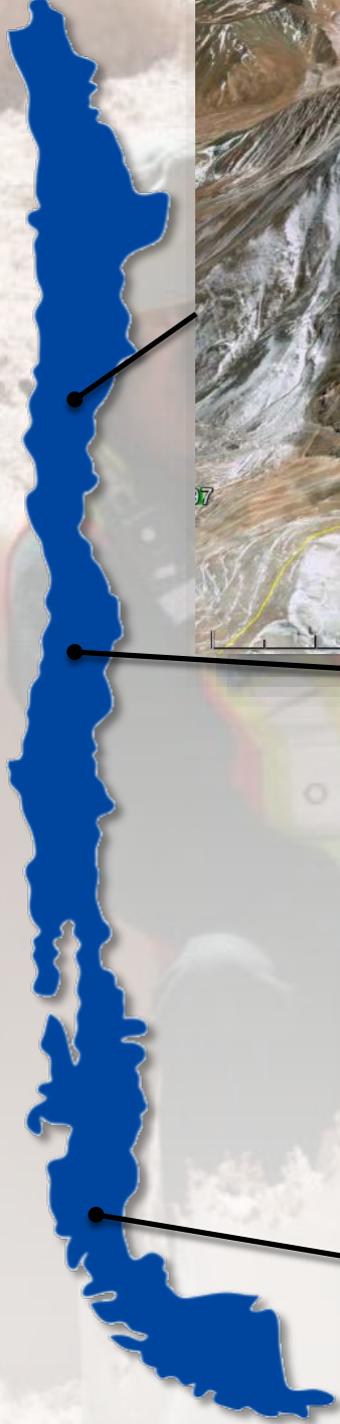
- Norte
- Sur
- Centro
- Austral

Fuente: Segovia & Videla, 2017.

Atlas del Agua, 2016



# Ambiente Glacial



# Ambiente Periglacial

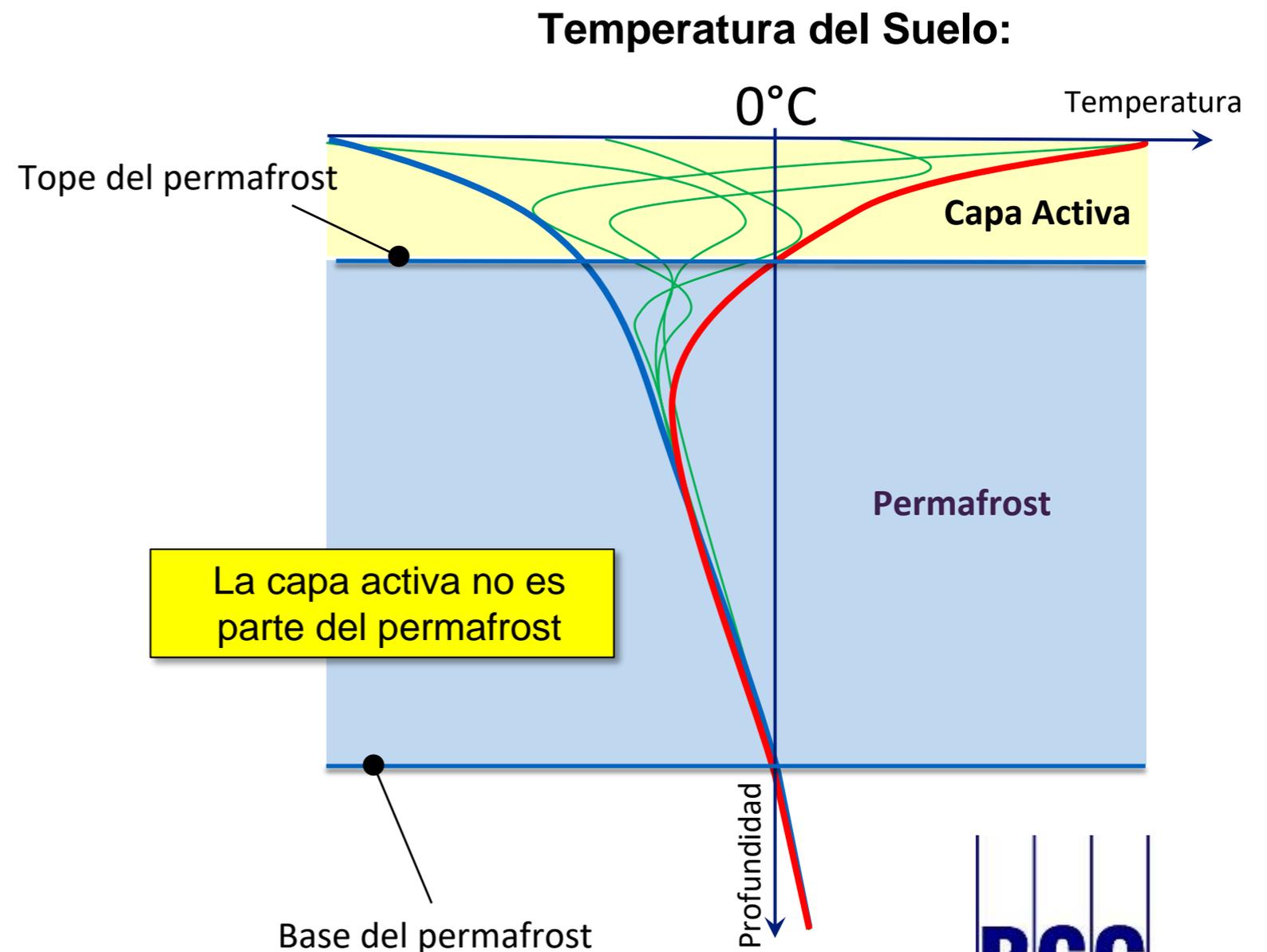


No se necesita de la presencia de un glaciar para tener ambiente periglacial

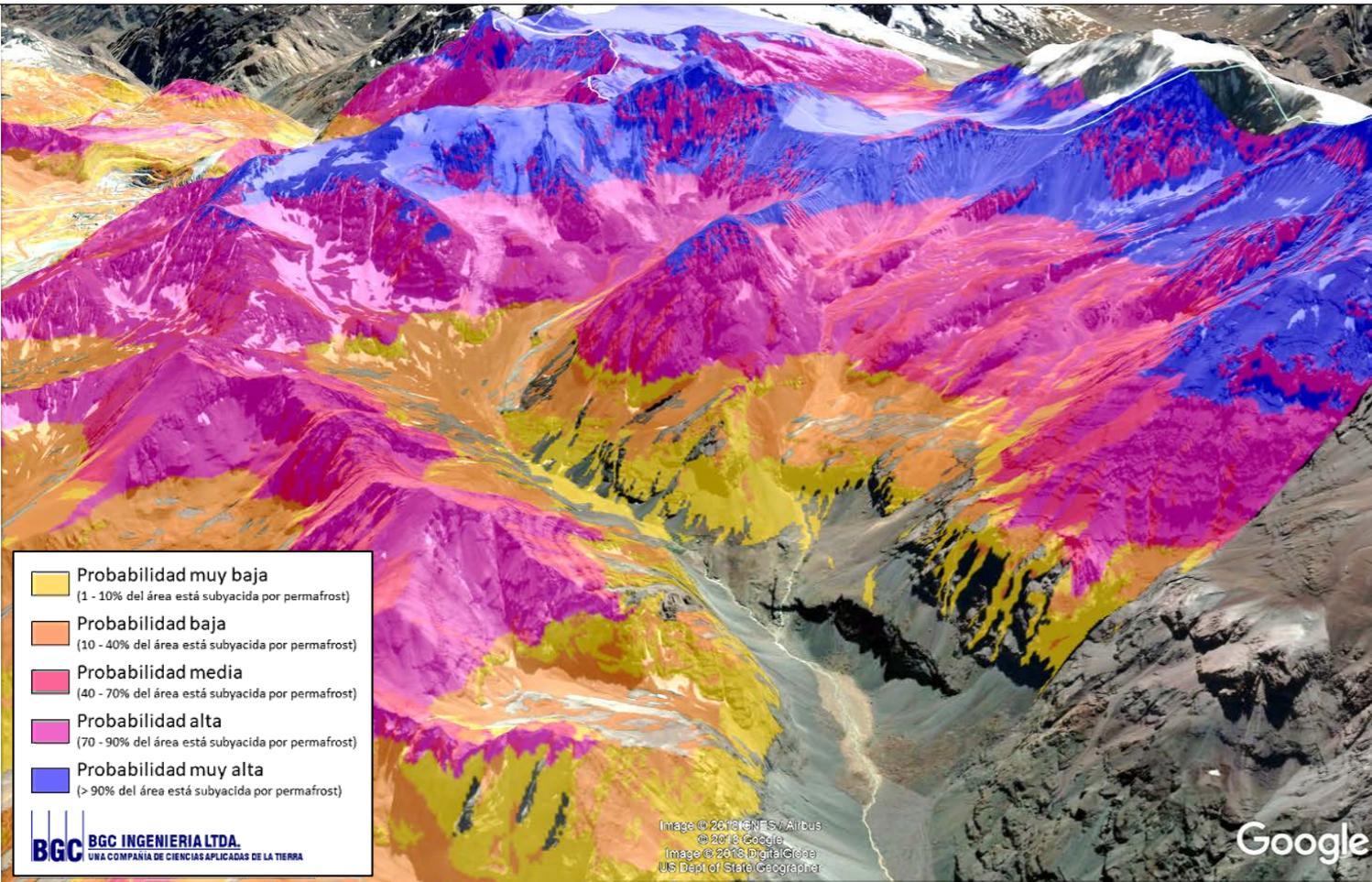
# Permafrost

“Suelo o roca, con o sin agua, que ha permanecido a  $0^{\circ}\text{C}$  o menos, por 2 o más años consecutivos.”

- No es un tipo de suelo.
- No es una crioforma.

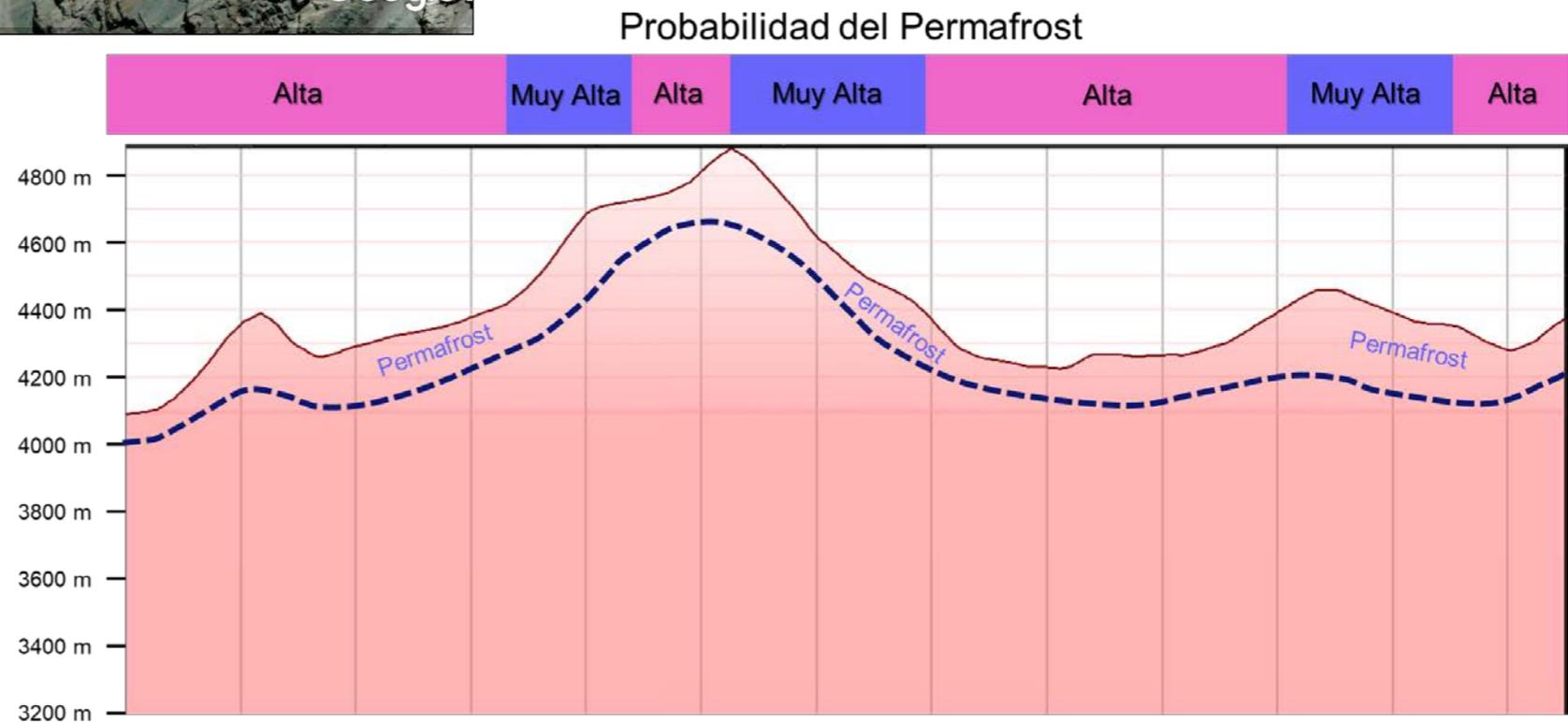


# Distribución Espacial Permafrost



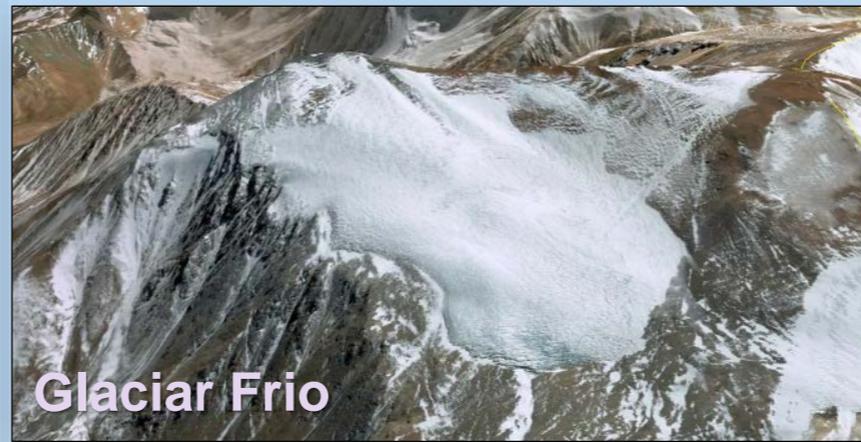
La distribución espacial de permafrost de montaña es probabilística y no solo dependiente de la altitud.

La presencia de permafrost en profundidad alcanza hasta solamente un punto dado.



# Tipos de Crioformas

## Ambiente Glacial



## Ambiente Periglacial



# Consecuencias de Diferencias Terminológicas

vct@mercurio.cl @VCT\_ElMercurio

SANTIAGO DE CHILE, JUEVES 13 DE JUNIO DE 2019

Expertos consideran que deberían ser incorporados explícitamente al proyecto de ley de glaciares que se discute en el Congreso.

RICHARD GARCÍA

Pese a la megasequía que ha afectado al país, especialmente entre 2010 y 2015, el río Putaendo, afluente del Aconcagua, logró mantener entre 30% a 40% de su caudal. "Fue una cantidad suficiente de agua para que el valle no tuviera mayores problemas de riego y abastecimiento", destaca el glaciólogo Francisco Ferrando, investigador del Departamento de Geografía de la U. de Chile. El detalle es que durante todo ese período no cayó nieve en ese sector del valle, por lo que el agua provino en su totalidad de glaciares rocosos.

A simple vista parecen una acumulación de sedimentos, pero bajo muchos de ellos hay hielo equivalente al que se observa en los llamados glaciares blancos, es decir, en los que el hielo está expuesto en la superficie.

Estos últimos son los que vienen a la mente a legisladores, autoridades de gobierno y empresarios que por estos días discuten los alcances de la futura ley de protección de glaciares, que pasó a la comisión de Medio Ambiente y Minería de la Cámara de Diputados. En cambio, los glaciares de roca o rocosos son menos conocidos, aunque fueron justamente ellos los que quería trasladar de lugar el proyecto minero Pascua Lama durante la década pasada, lo que abrió el debate sobre la protección de los glaciares en el país.

A diferencia de los de hielo, estos están cubiertos por sedimentos:

## Los glaciares rocosos son reservas de agua clave, en especial en la zona central



Glaciar rocoso Pirámide, en la cabecera del río Yeso, afluente, a su vez, del río Maipo. Destaca claramente el hielo debajo de la capa de sedimento.

“En un escenario hídrico como el que atraviesa nuestro país, en particular, y el mundo, en general, todos los glaciares, sea cual sea su tipología, cumplen un rol fundamental para los ecosistemas y, por lo tanto, deben ser protegidos ante cualquier tipo de amenaza”.

GINO CASASSA  
JEFE DE LA UNIDAD DE GLACIOLOGÍA Y NIEVES  
DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS DEL MOP

“A medida que la atmósfera se caliente, los glaciares de roca se irán derritiendo y, eventualmente, desaparecerán, pero a un ritmo más lento en comparación con los glaciares regulares”.

SEBASTIAN MERNILD  
GLACIOLOGO, U. DE MAGALLANES Y NANSEN  
ENVIRONMENTAL AND REMOTE SENSING  
CENTER (NORUEGA)

“La futura ley debería mencionarlos específicamente y tendrían que ser tratados como cualquier otro glaciar, porque se afecta a un recurso hídrico”.

FRANCISCO FERRANDO  
GLACIOLOGO, DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA, U.  
DE CHILE

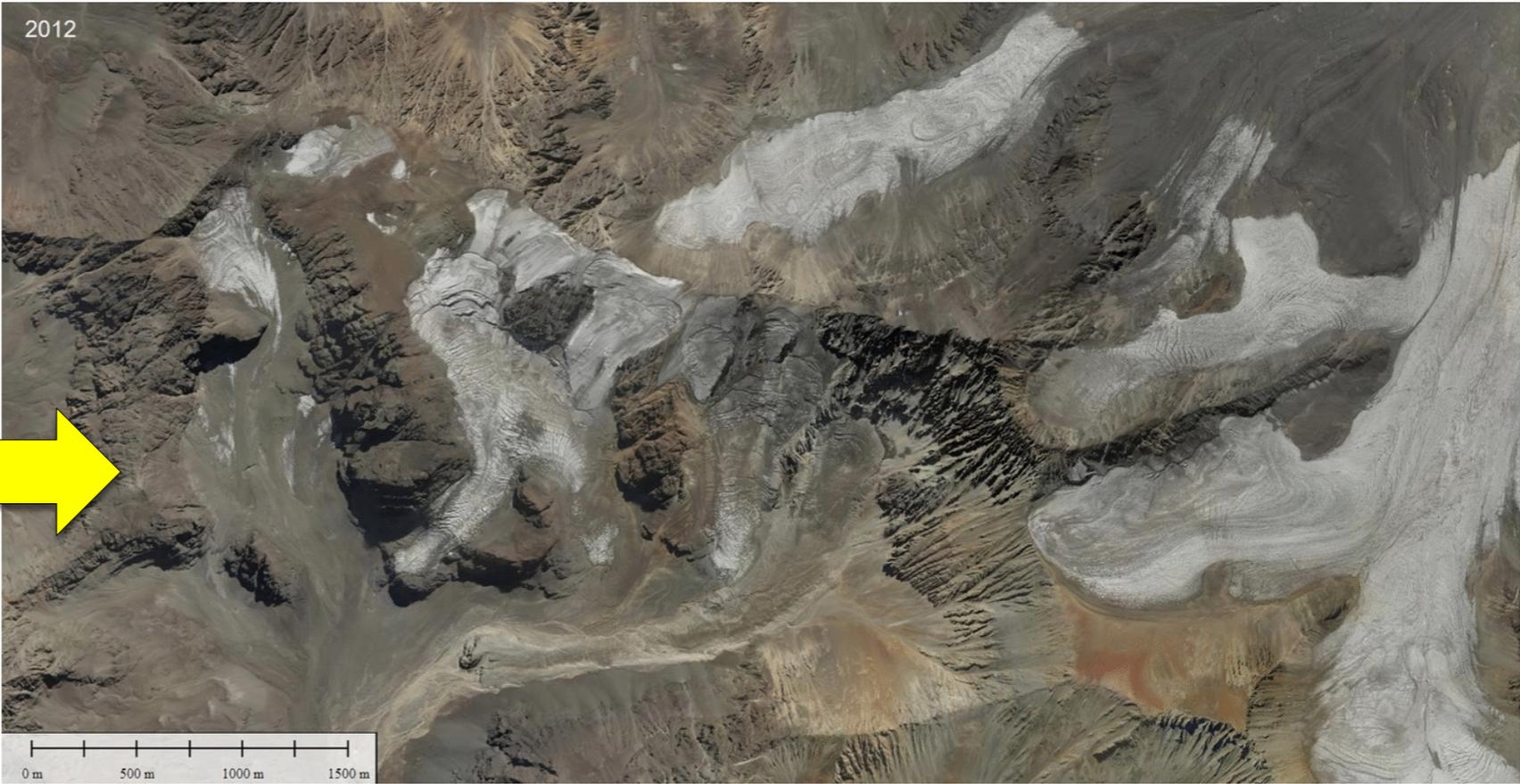
BGC

# Glaciares v/s Glaciares Rocosos

- Glaciares rocosos pertenecen al ambiente periglacial (Barsch, 1996)
- Glaciares rocosos son deslizamientos periglaciales (Trombotto et al., 2014)
- Diferencias en deformaciones y velocidades totales (Arenson et al., 2002; Haeberli et al., 2006; Arenson et al., 2016).
- Diferencias en la dinámica del hielo y su edad (Haeberli et al., 1999; Arenson et al., 2002; Haeberli et al., 2006)
- No hay capa activa en un glaciar (Benn y Evans, 2010; Duguay et al., 2015)
- Diferencias en el rol hídrico (Duguay et al., 2015; Krainer et al., 2015; Harrison et al., en preparación)
- Un glaciar rocoso no puede retroceder (Barsch, 1996)
- Glaciares responden a meteorología anual, mientras que glaciares rocosos lo hacen a condiciones climatológicas de largo plazo (siglos)

Los glaciares rocosos **NO** son un caso especial de glaciares, están compuestos por lo general de **suelos congelados**

# Glaciares vs. Glaciares Rocoso



# Notas sobre Supuestos Base

Daniel Falaschi,<sup>1\*</sup> Mariano Castro,<sup>1</sup> Mariano Masiokas,<sup>1</sup> Takeo Tadono<sup>2</sup> and Ana Lía Ahumada<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), CCT-CONICET Mendoza, Mendoza, Argentina

<sup>2</sup> Earth Observation Research Center (EORC), Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), Sengen, Tsukuba, Ibaraki, Japan

<sup>3</sup> Fundación Miguel Lillo-CONICET, Miguel Lillo, Tucumán, Argentina

## ABSTRACT

Rock glaciers near the Andean mountains of central and northwestern Argentina provide an important supply of water for agriculture, but data on their number, size, geographic distribution and altitudinal range are poorly known. Here, we provide the first detailed rock glacier inventory of the Valles Calchaquíes region of Salta, Argentina, based on 2.5 m x 2.5 m resolution Advanced Land Observing Satellite PRISM (Panchromatic Remote-sensing Instruments for Stereo Mapping) satellite images. Rock glacier outlines were manually digitised and a total of 488 were identified, which cover a total area of c. 59 km<sup>2</sup>. The lower limits of intact and fossil rock glaciers are at c. 4300 m asl and 4100 m asl, respectively. Because rock glaciers are protected by law in Argentina, the inventory provides an important basis for political decision-making about water resources and for further periglacial and environmental studies in this region. Copyright © 2014 John Wiley & Sons, Ltd.

KEY WORDS: rock glacier inventory; ALOS; Valles Calchaquíes; Cordillera Oriental; Argentina

## Rock glaciers as a water resource in a changing climate in the semiarid Chilean Andes

Nicole Schaffer<sup>1</sup>  • Shelley MacDonell<sup>1</sup> • Marion Réveillet<sup>1</sup> • Eduardo Yáñez<sup>1,2</sup> • Rémi Valois<sup>1</sup>

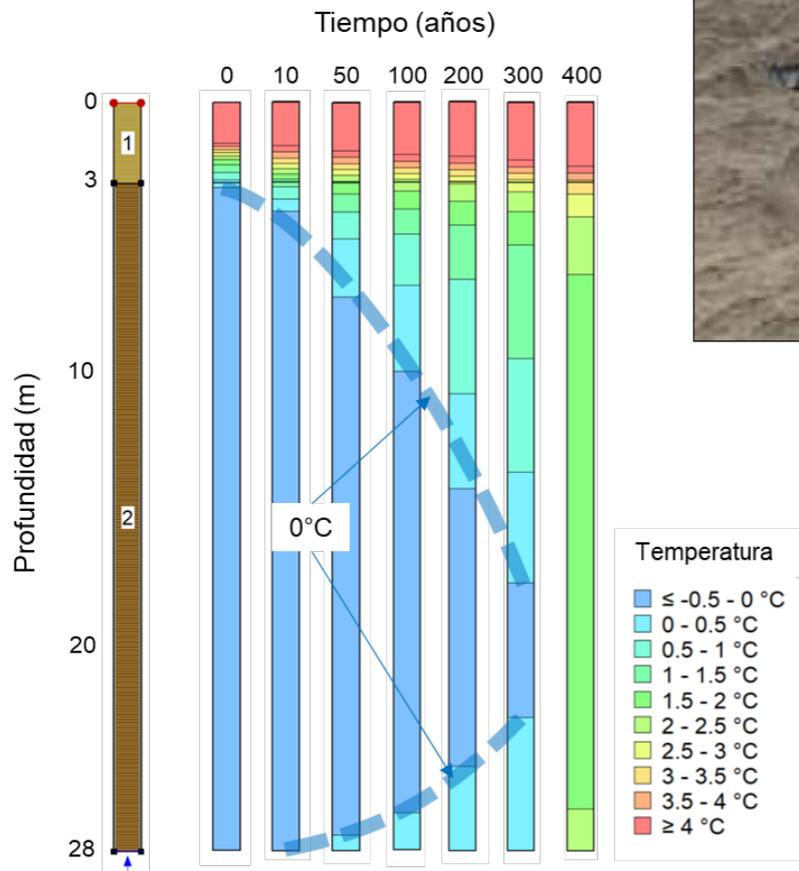
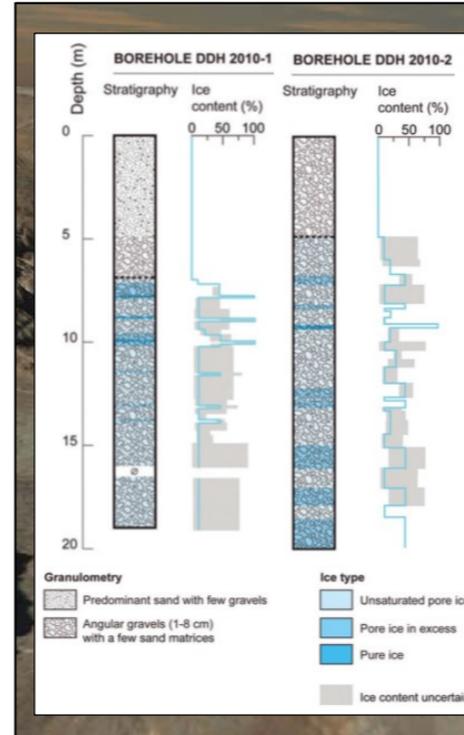
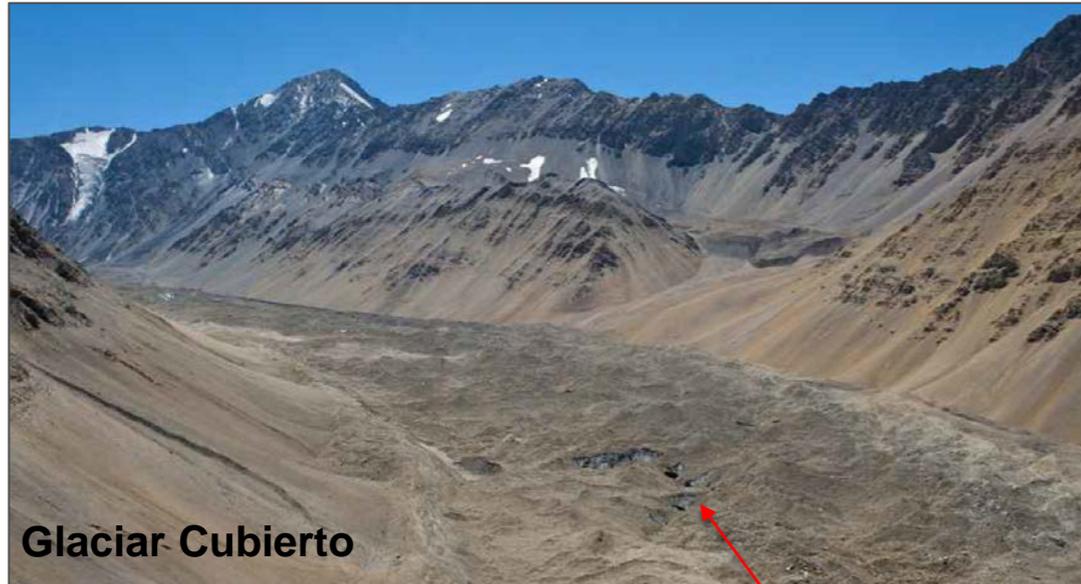
Received: 16 January 2018 / Accepted: 18 December 2018

© Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2019

### Abstract

Rock glaciers likely play an important hydrological role in the semiarid Andes (SA; 27°–35°S). They supplement streamflow when water is needed most, especially during dry years in the late summer months. Despite their assumed importance, there are no publications that quantify their hydrological contribution to streamflow in the SA of Chile, based on measurements of rock glacier ice loss or discharge. In this study, we assess the available information on the hydrological importance of rock glaciers in the SA and provide suggestions on how future research can address knowledge gaps. We conclude that there is insufficient data available to quantify the hydrological contribution of rock glaciers in the SA. Measurements of glacier discharge are limited to unpublished data sets from which only very limited conclusions can be drawn. There are no ice volume change measurements or proxies available for individual rock glaciers. Approximations of rock glacier ice volume, calculated from areal extent, thickness, and percentage of ice content are available, and these data provide an initial baseline for calculating ice volume change in the future. While these baseline data are very valuable, they represent rough estimates due to a scarcity of studies, especially on glacier thickness and percentage of ice content. With increased temperatures and a decrease in precipitation expected in the future, rock glaciers could become an increasingly critical water resource in this region, especially in the Elqui and Juncal catchments. Improved estimates of rock glacier discharge, water content, processes, and hydrology are required to model their future evolution and evaluate their contribution to water resources.

# Supuestos Hídricos



TIPO	APORTE HÍDRICO	Nº GLACIARES	SUP. [Km <sup>2</sup> ]
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

Análisis Hídrico Valle Yerba Loca. Casassa et al., 2016

Modelación de degradación de un glaciar rocoso frente a cambio climático



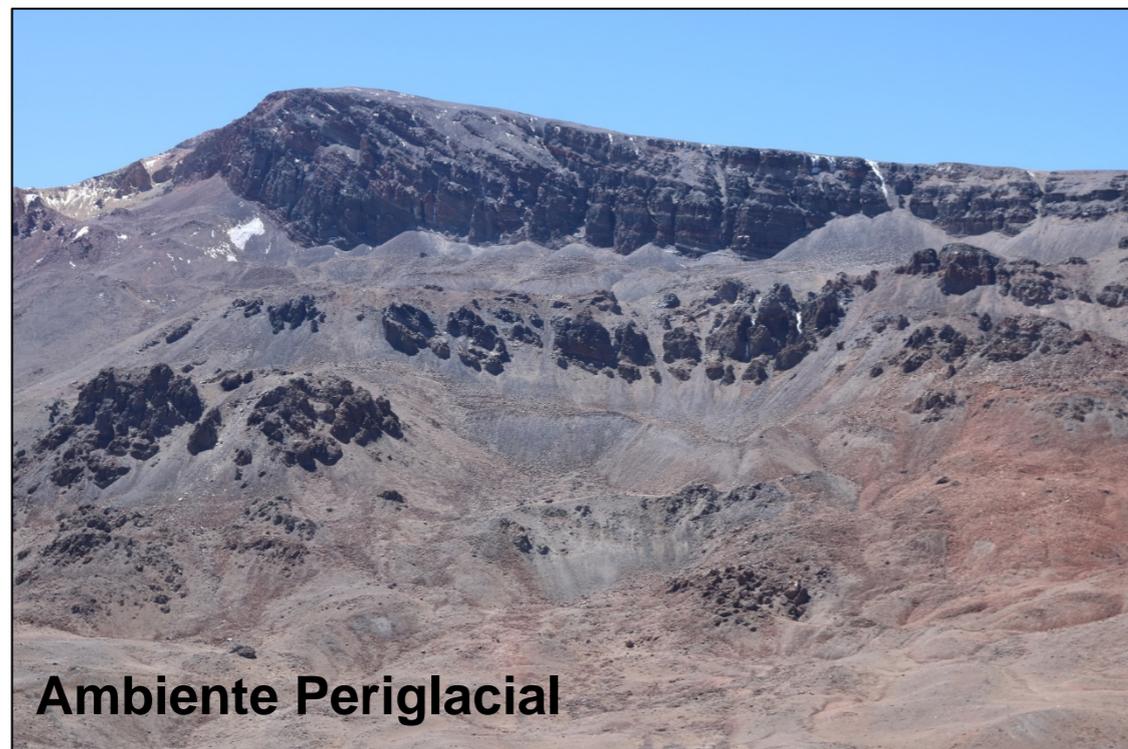
# Delimitación Geográfica

**Glaciar**



Crioformas pueden ser identificadas y mapeadas, aunque en algunos casos con ciertas dificultades, especialmente para cuerpos pequeños y variables en el tiempo (p. ej. ENOS) y espacio.

**Glaciarete**



**Ambiente Periglacial**

Los límites espaciales del ambiente periglacial no pueden ser mapeados con precisión a fin de delimitar áreas a ser objeto de protección.

# Áreas de Desarrollo Afectadas

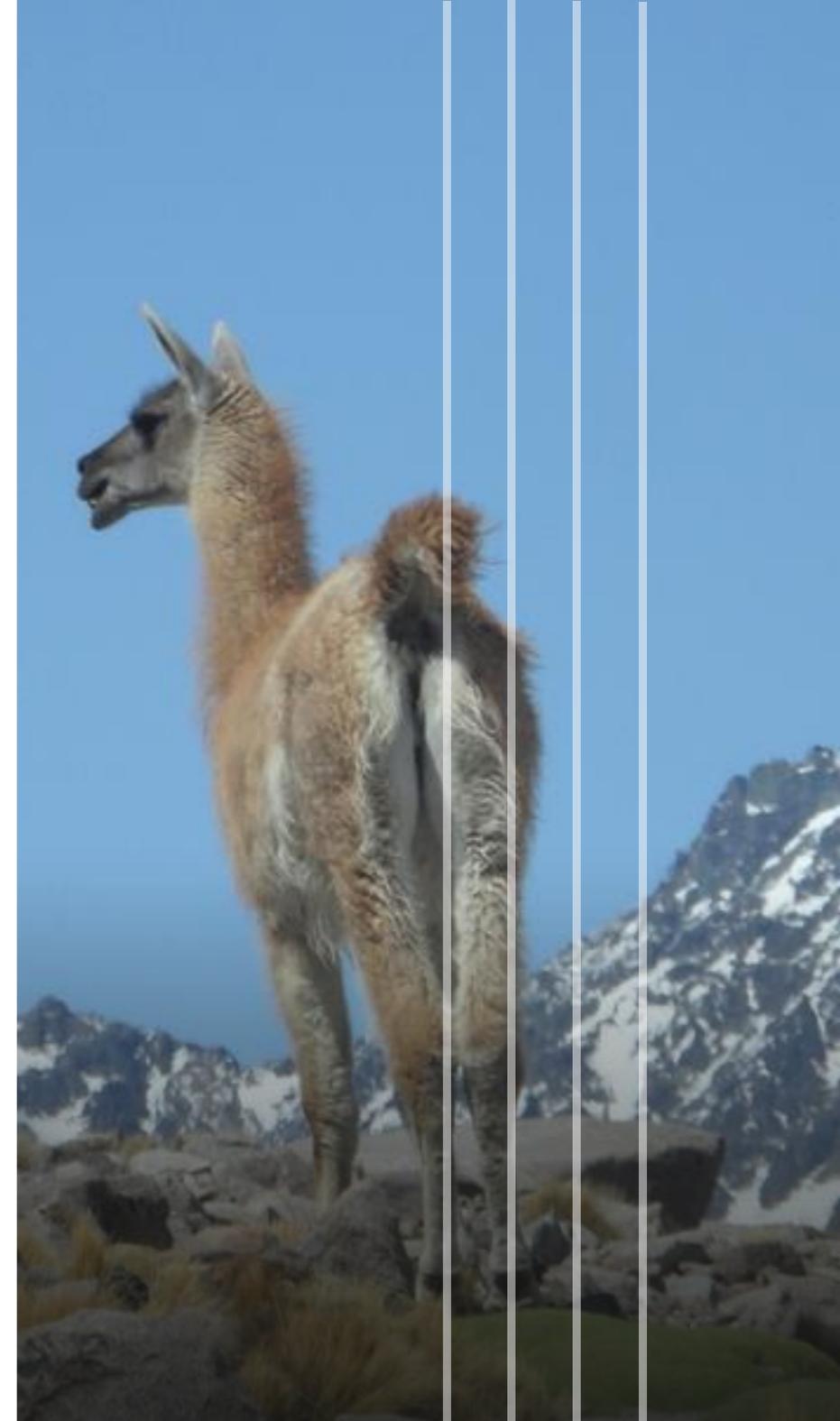
La inclusión del ambiente periglacial (permafrost) como objeto de protección y la posibilidad de revisión retroactiva de RCAs afectaría las siguientes áreas de desarrollo:

- Infraestructura caminera en montaña e interconectividad internacional
- Interconectividad energética e hídrica lineal (p. ej. Gaseoductos o acueductos en montaña)
- Minería en montaña
- Generación hidroeléctrica en montaña
- Generación de energía geotérmica en montaña
- Centros de turismo de montaña
- Protecciones de geopeligros
- Investigación (p. ej. Observatorios)

# Conceptos Finales

- El punto focal debiese ser la evaluación hídrica global de una cuenca y sus aportes relativos.
- Conceptos y terminología local muchas veces no siguen convenciones internacionales, produciendo algunas confusiones.
- Se aplican supuestos base en los que no hay consenso científico.
- El rol hídrico es considerablemente diferente según el tipo y características de cada crioforma. No todas son estratégicas ni significativas.
- La aplicabilidad en términos geográficos es debatible debido a elementos no trazables con precisión.
- Deterioro del sistema de evaluación ambiental y de desarrollo sustentable.
- Es necesario hacer una evaluación de los efectos nacionales de este tipo de iniciativas legales, incluyendo aspectos sociales, económicos y ambientales.

# Boletín No 11.876-12



# Boletín No 11.876-12

Boletín N° 11.876-12

Proyecto de ley, iniciado en moción de los Honorables Senadores señor Girardi, señoras Allende y Órdenes, y señores Ossandón y Prohens, sobre protección de glaciares.

**Artículo Primero:** Objeto. La presente ley tiene por objeto la protección de los glaciares, ambiente periglacial y permafrost con el objeto de preservarlos y conservarlos como reservas estratégicas de recursos hídricos, como proveedores de agua para la recarga de cuencas hidrográficas, para la protección de la biodiversidad, como fuente de información científica y para el turismo sustentable .

# Boletín No 11.876-12

**Artículo Segundo:** Definiciones. Para todos los efectos legales se entenderá por:

a) Glaciar: toda masa de hielo perenne estable o que fluye lentamente, con o sin agua intersticial, formado por la recristalización de nieve, ubicado en diferentes ecosistemas, cualquiera sea su forma, dimensión y estado de conservación. Son parte constituyente de cada glaciar el material detrítico rocoso y los cursos internos y superficiales de agua. La ley reconoce expresamente que los glaciares son ecosistemas complejos asociados a los ambientes glaciares y periglaciares y son parte del ciclo hidrológico de las aguas.

b) Ambiente periglacial Es se entiende por ambiente periglacial en la alta montaña, al área con suelos congelados que actúa como regulador del recurso hídrico. En la media y baja montaña al área que funciona como regulador de recursos hídricos con suelos saturados en hielo.

Es donde se encuentran geofomas generadas por la acción cíclica del congelamiento del agua y su deshielo, sea en lapsos anuales o de mayor espacio de tiempo. Corresponde al espacio o ambientes que se encuentran cerca o casi del dominio glaciar. Son ambientes dinámicos que se van modificando dependiendo de las tendencias climáticas.

# Boletín No 11.876-12

**Artículo Segundo:** Definiciones. Para todos los efectos legales se entenderá por:

c) *Permafrost*: un tipo de suelo o roca con una fracción permanentemente congelada, con hielo y materia orgánica, que incluye suelo seco-congelado y suelo húmedo-congelado que permanece por debajo de los 0°C por 2 o más años consecutivos. Este término se aplica técnicamente independiente de que exista o no hielo en el suelo, por lo que se entenderá como parte del ecosistema mencionado en esta Ley, pudiendo ser también clasificado como glaciar de roca, por lo que su presencia en el territorio queda sujeto a todos los efectos de esta Ley.

Existen múltiples contradicciones, por ejemplo, la definición que dice que los glaciares rocosos caerían bajo un tipo de glaciar, y por ende, producir escorrentía.

Luego se catalogan como una característica del permafrost y del ambiente periglacial, en la que el suelo permanece permanentemente congelado, es decir, sin producir escorrentía.

# Boletín No 11.876-12

**Artículo Quinto.** Actividades prohibidas. En los glaciares quedan prohibidas las actividades que puedan afectar su condición natural o las funciones, las que impliquen su destrucción o traslado o interfieran en su avance, en particular las siguientes:

- a) La liberación, dispersión o disposición de sustancias o elementos contaminantes, productos químicos o residuos de cualquier naturaleza o volumen. Se incluyen en dicha restricción aquellas que se desarrollen en el ambiente periglacial;
- b) La construcción de obras de arquitectura o infraestructura con excepción de aquellas necesarias para la investigación científica y las prevenciones de riesgos;
- c) La exploración y explotación minera e hidrocarburífera. Se incluyen en dicha restricción aquellas que se desarrollen en el ambiente periglacial;
- d) La instalación de industrias o desarrollo de obras o actividades industriales.

# Muchas Gracias ¿Preguntas?

Criósfera y Regulaciones:  
Conceptos, Cambios y  
Tendencias

*Dr. Pablo Wainstein y Dr. Lukas Arenson*

