



Illimani (6450 m), Bolivie, 2017
Jourdain (UGA)

© B.

Estado actual y evolución futura de los glaciares andinos

Implicaciones para la sociedad y los ecosistemas

Dr. Antoine RABATEL

Diálogos Regionales sobre Gestión Integral en las Montañas
Andinas 2025

Contenido



- I. **Como funciona un glaciar ? Que mediciones realizan los glaciólogos ?**
- II. Evolución reciente y futura de los glaciares
- III. Impactos sobre la sociedad y los ecosistemas

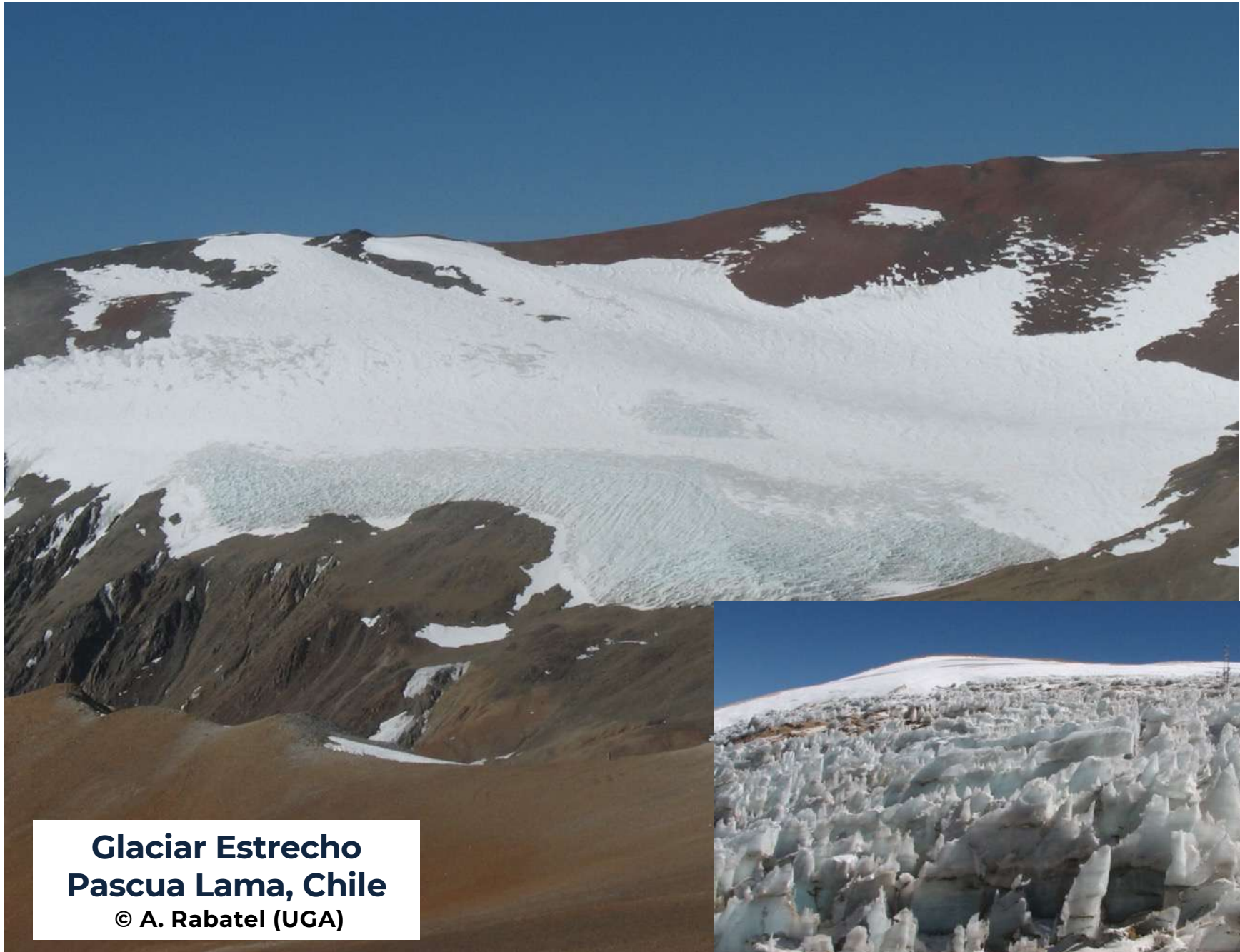


Glaciar Antisana 15
Ecuador
© A. Rabatel (UGA)



**Glaciar Zongo
Cordillera Real,
Bolivia**

© A. Rabatel (UGA)



**Glaciar Estrecho
Pascua Lama, Chile**

© A. Rabatel (UGA)





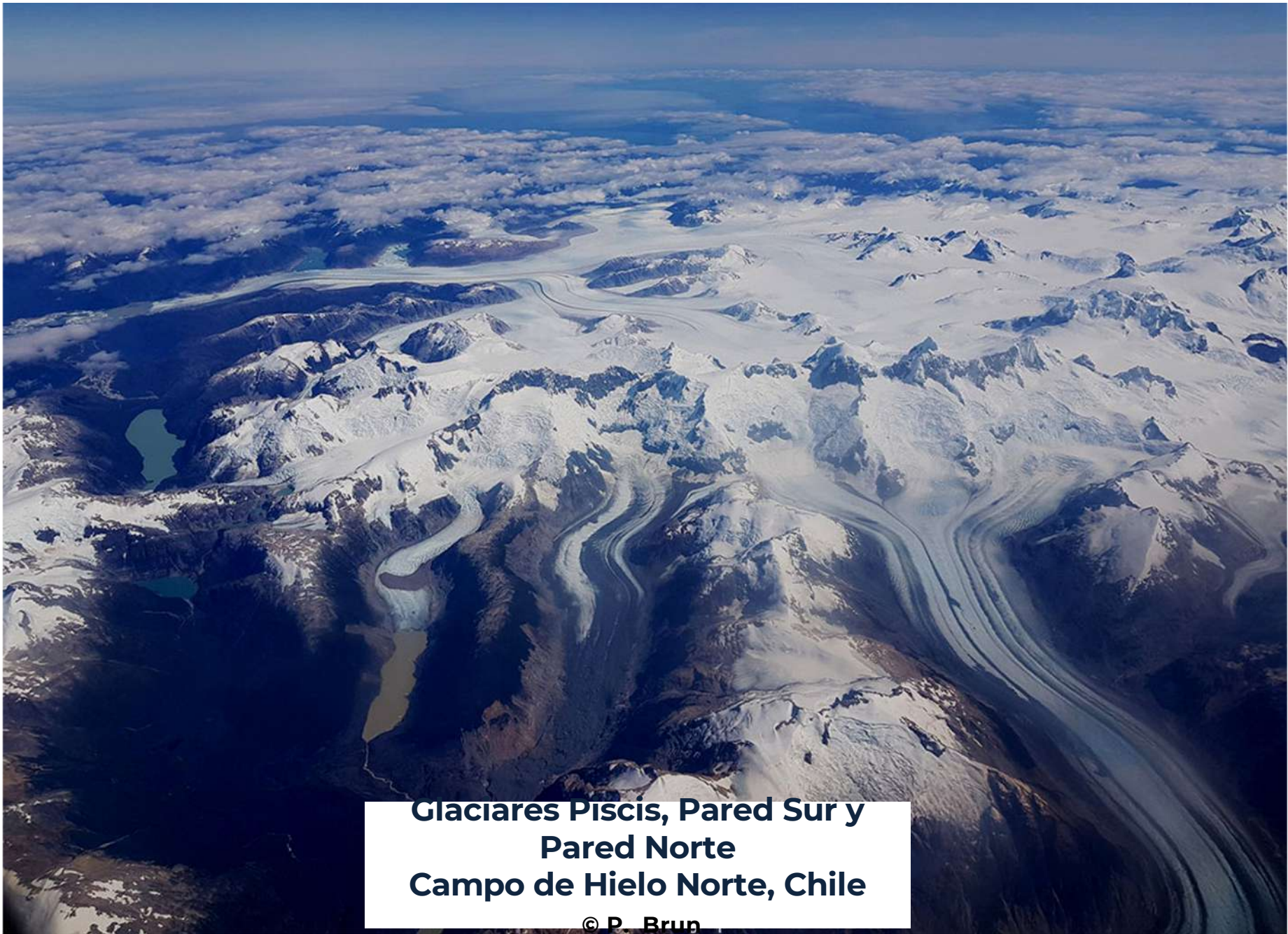
**Glaciar de los Tres
El Chalten,
Argentina**

© A. Rabatel (UGA)



**Glaciar Serrano
Cerro Balmaceda,
Chile**

© A. Rabatel (UGA)



**Glaciares Piscis, Pared Sur y
Pared Norte
Campo de Hielo Norte, Chile**

© P. Brun

Que es un glaciar ?

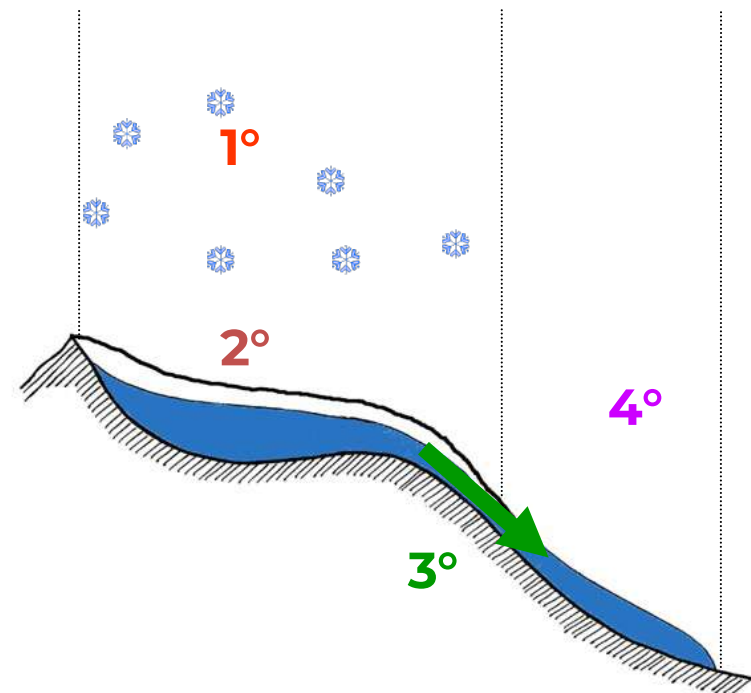
Un glaciar es : una acumulación natural de agua solida, proviniendo de la transformación de la nieve en hielo, animado de un movimiento lento, permanente a escala humana.

1° - Nieve acumulada durante el invierno (o estación húmeda) no se derrite completamente en altura
« **Zona de acumulación** »

2° - Transformación de la nieve en “névé” y hielo
« **Metamorfismo** »

3° - Flujo del hielo hacia abajo
« **Dinámica** »

4° - Fusión de la nieve y del hielo en la parte baja del glaciar
« **Zona de ablación** »



Que mediciones realizan los glaciólogos ?

Variación de masa
Mediciones topográficas



Fusión del glaciar
Mediciones hidroclimáticas



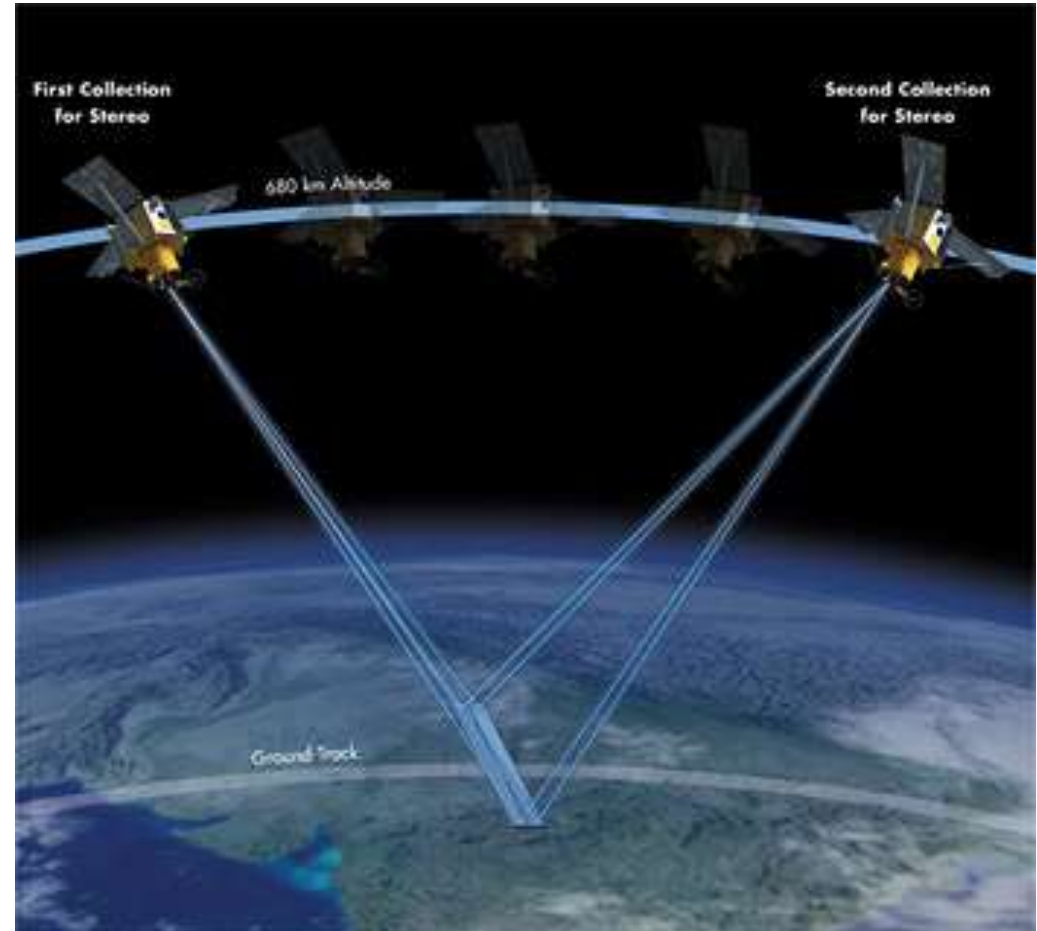
Condiciones climáticas
Mediciones meteorológicas



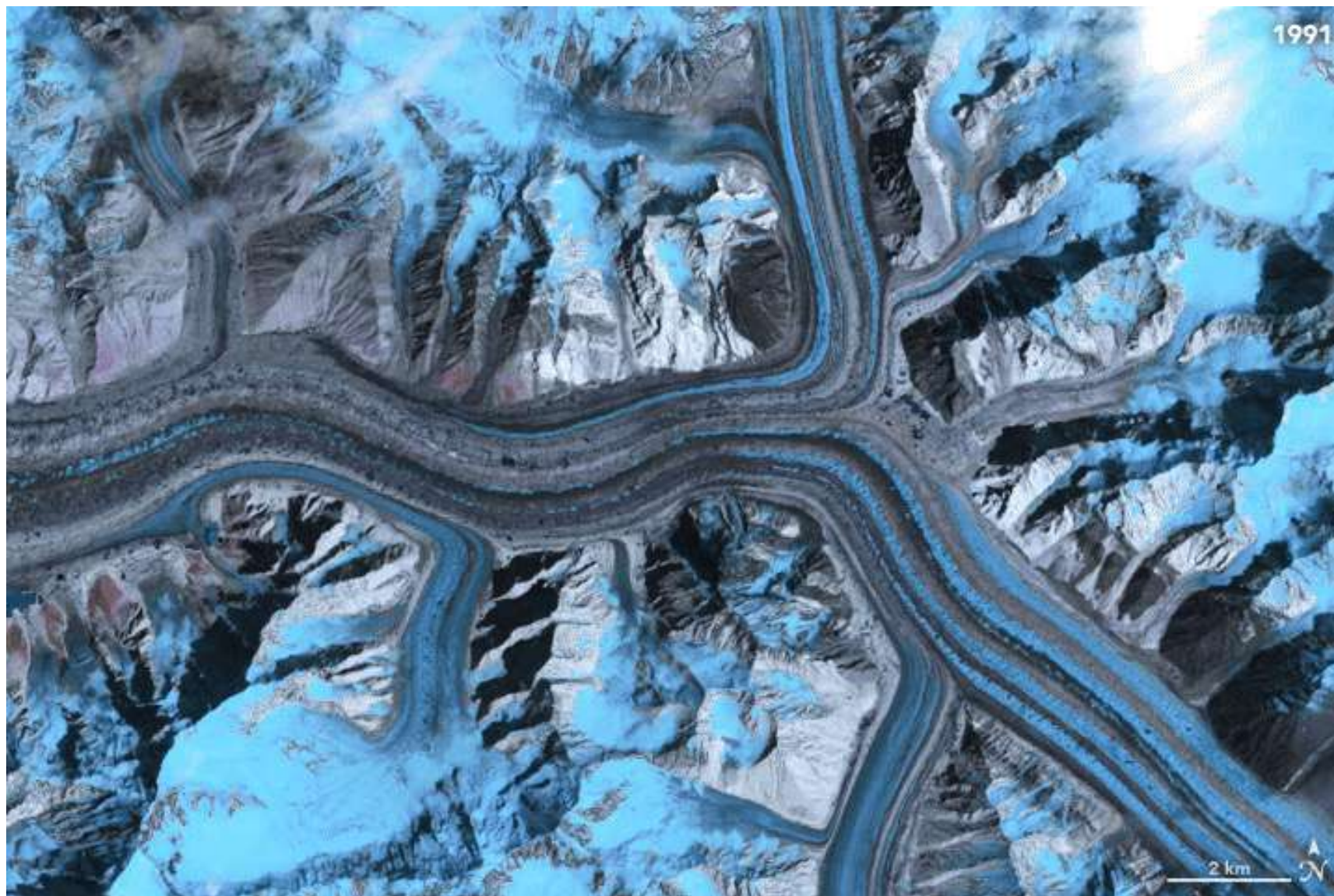
Y para trabajar a escala de una region o a escala global ?

Detección remota

- Fotografías aéreas (desde los años 1940-50)
- Imágenes de satélite, ópticas (desde ~1970s para los satélites civiles y desde los años 1950-60 para los satélites militares « espías »)
- Imágenes de satélites RADAR, LiDAR



© DigitalGlobe



Secuencia de imágenes del satélite LANDSAT (1991-2000) Glaciar Baltoro, Karakoram, Pakistán

Contenido



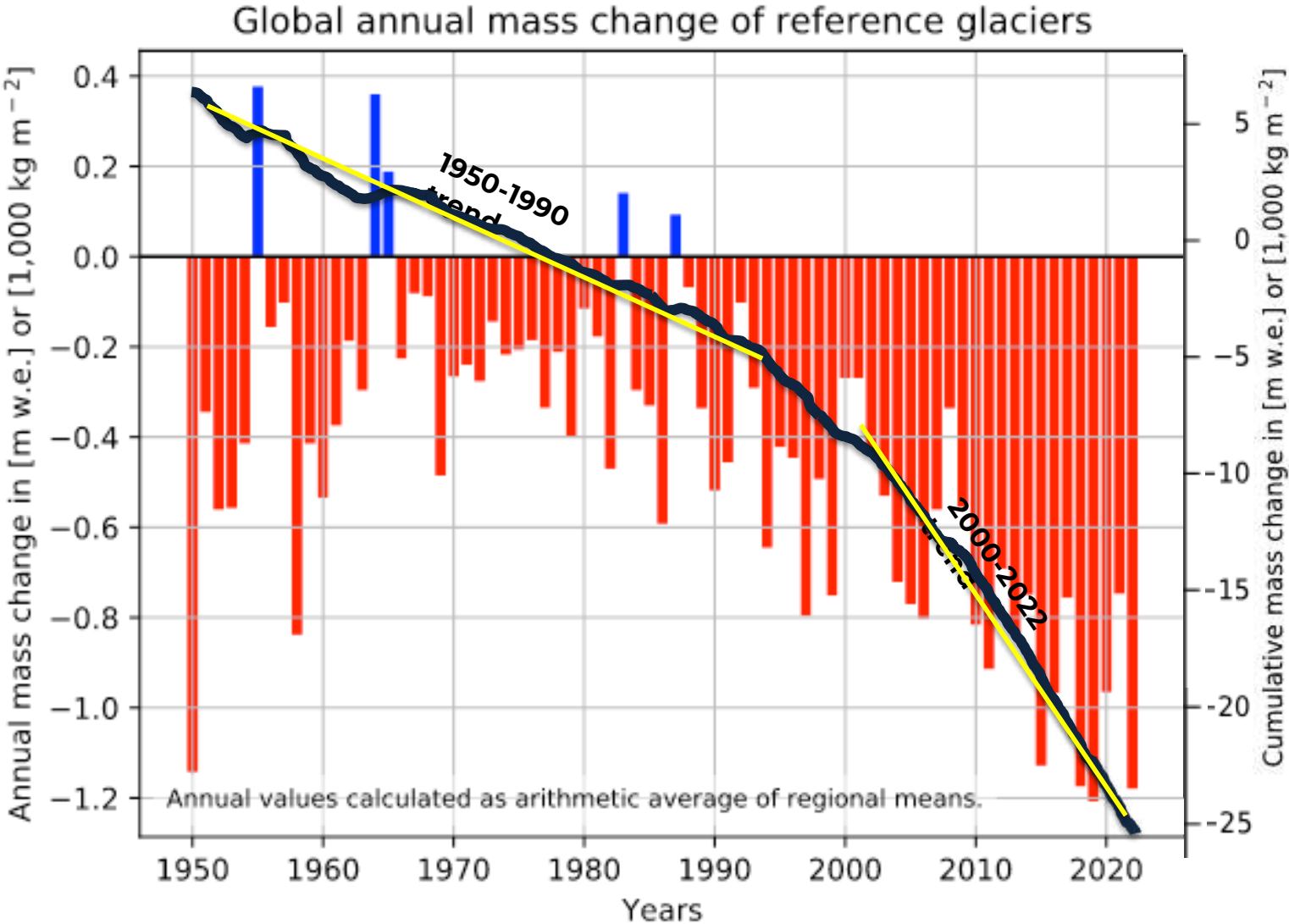
I. Como funciona un glaciar ? Que mediciones realizan los glaciólogos ?

II. Evolución reciente y futura de los glaciares

III. Impactos sobre la sociedad y los ecosistemas

Cambio de masa desde 1950 de los “glaciares de referencia” a

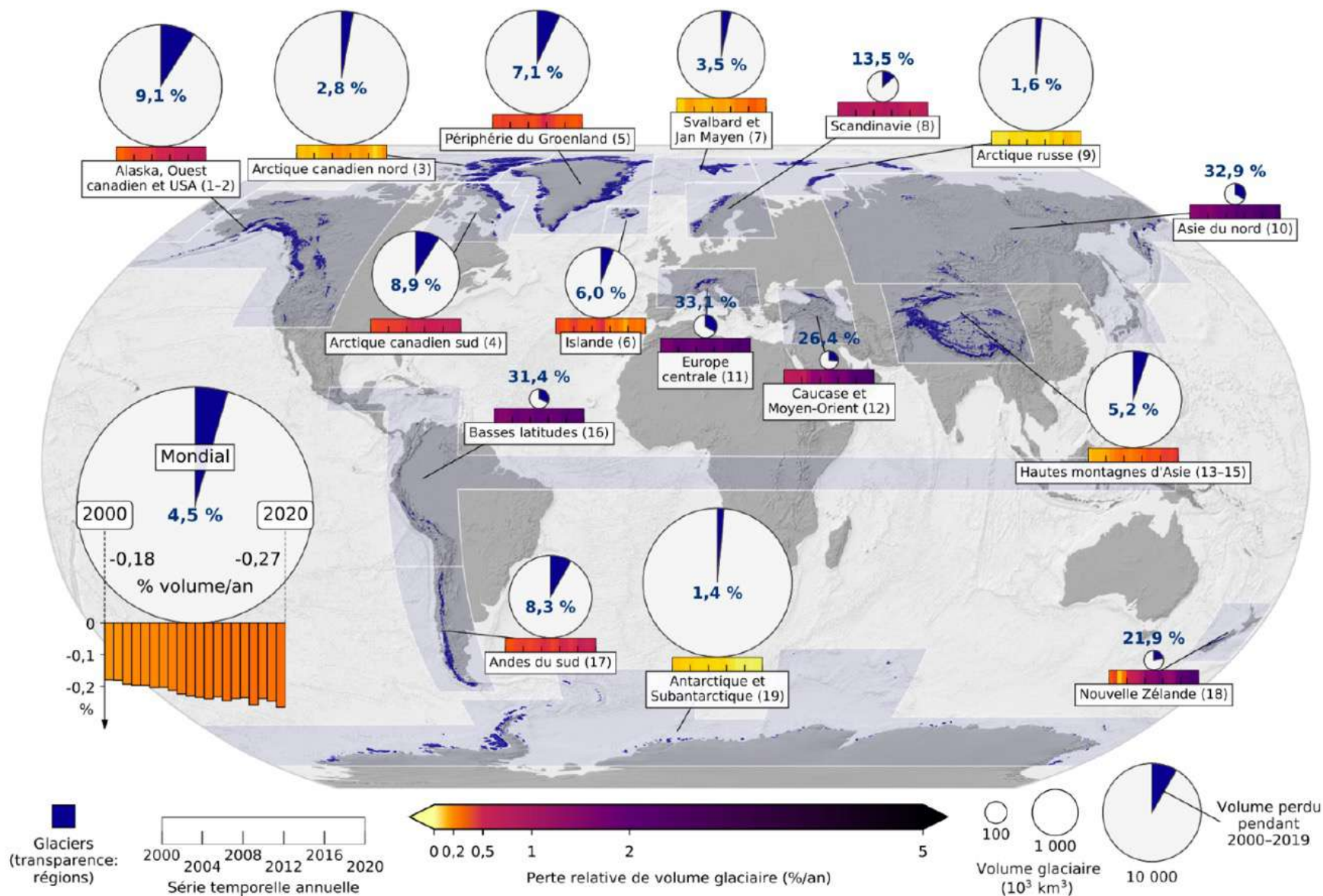
Compilación de datos del WGMS (<https://wgms.ch>; 2022-12-06)



Aumento de la pérdida de masa a partir de los años 2000

Perdida relativa de volumen durante las ultimas 2 décadas

Datos satelitales únicamente



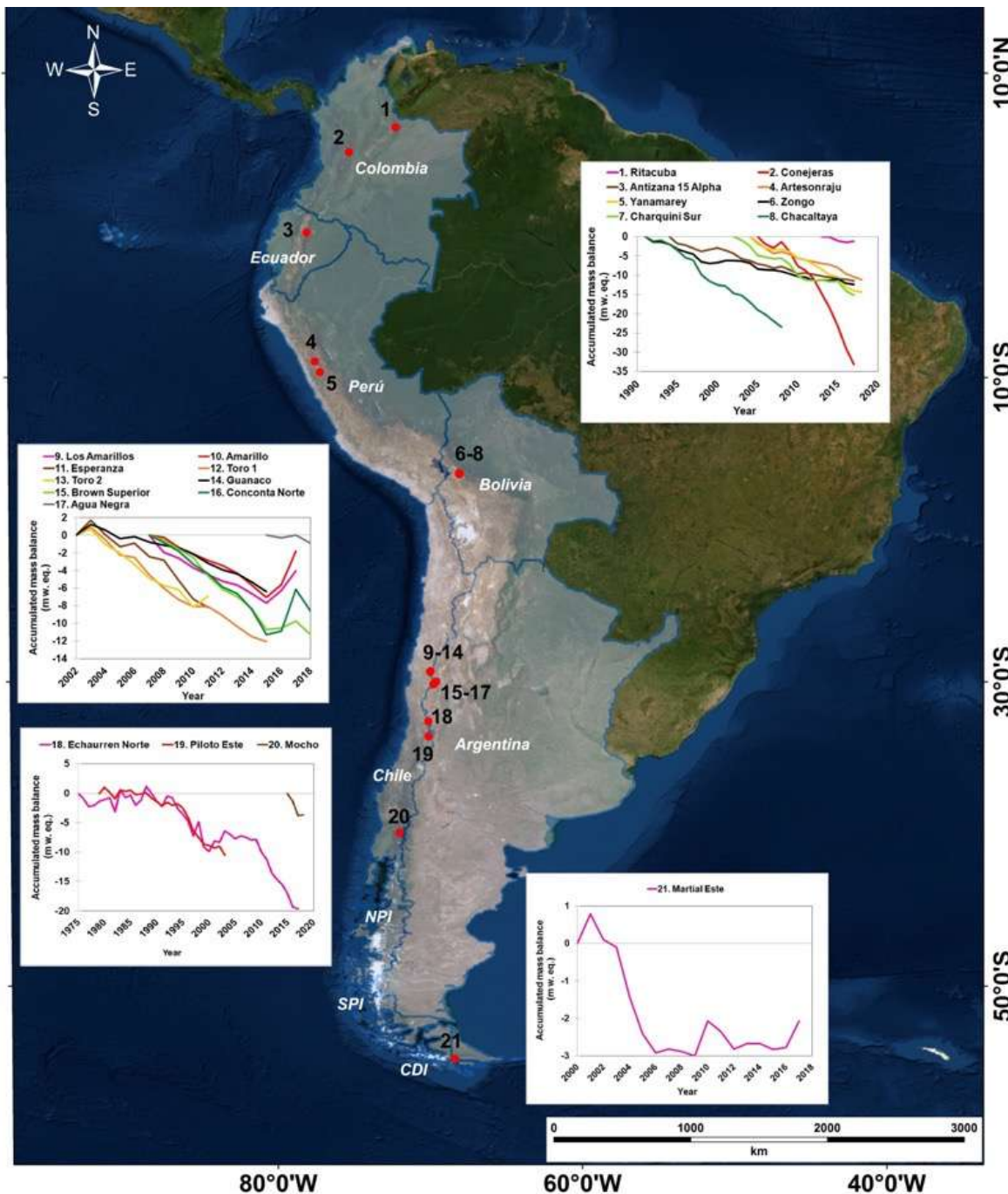
Y en América del Sur ?

De los trópicos
(a mas de 5000 m de altura)

hasta la

Tierra del fuego
(al nivel del mar)

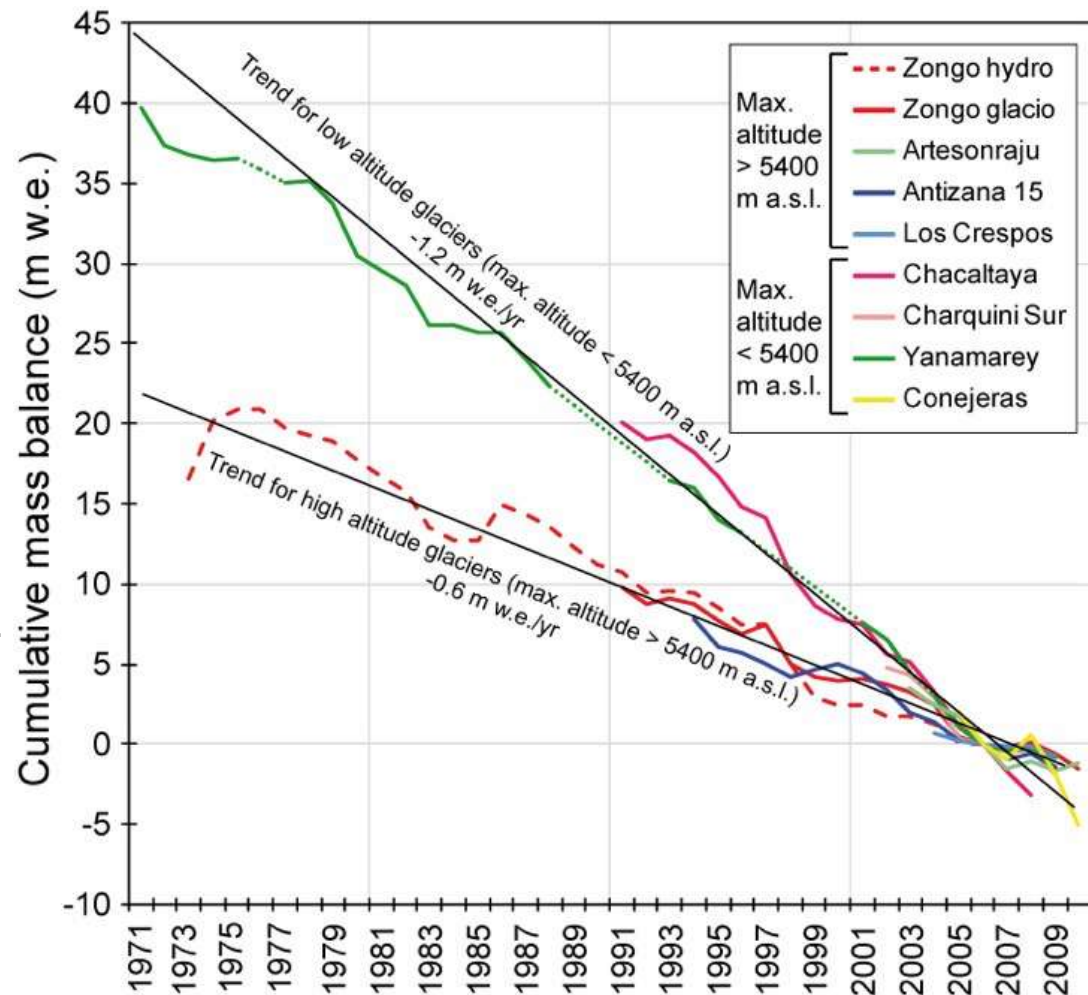
Masiokas et al., *Frontiers Earth Sci.*,
2020



Cambios en los Andes tropicales desde 1950s

Dos tendencias distintas

- (1) Glaciares con altura máxima < 5400 m a.s.l. tienen una tasa de -1,2 m w.e./yr
- (2) Glaciares con altura máxima > 5400 m a.s.l. tienen una tasa de -0,6 m w.e./yr



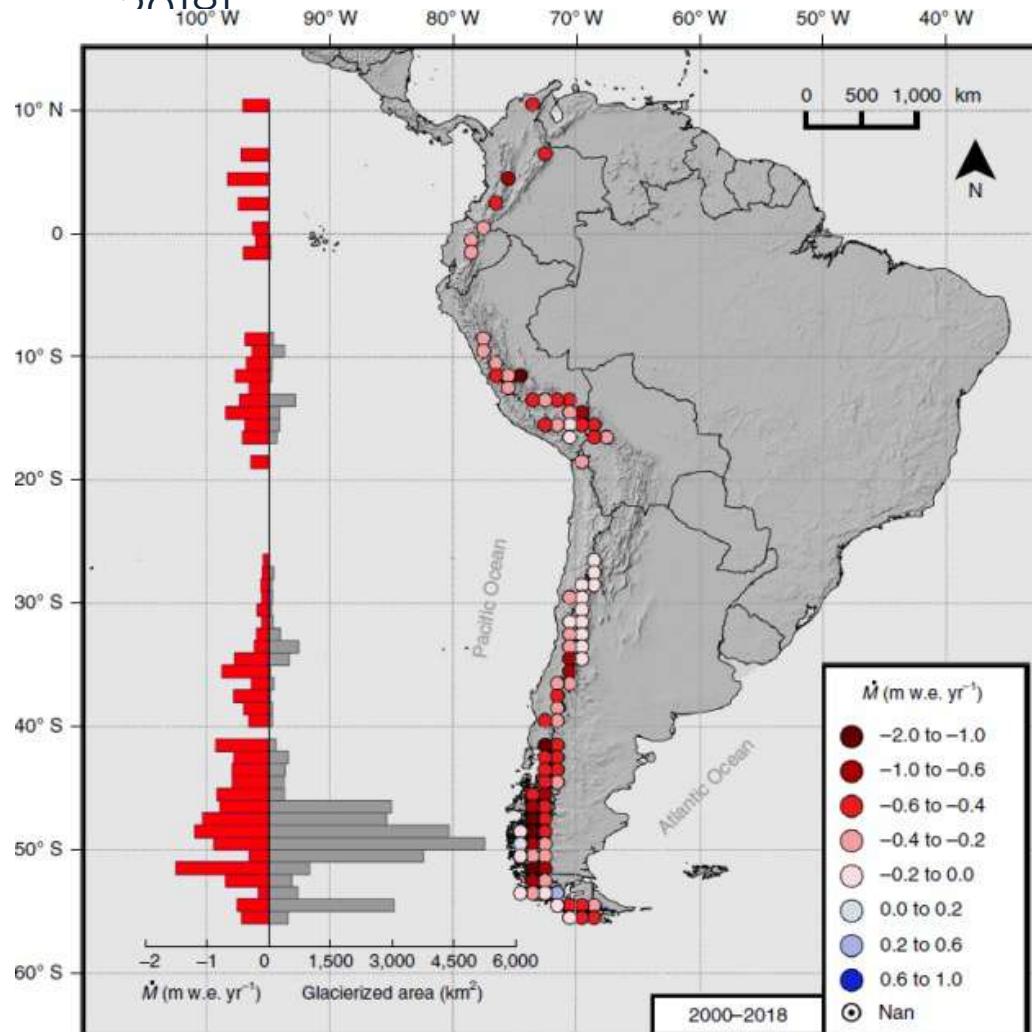
Rabatel et al., 2013

Tasa anual de pérdida de masa durante el periodo 2000-2018

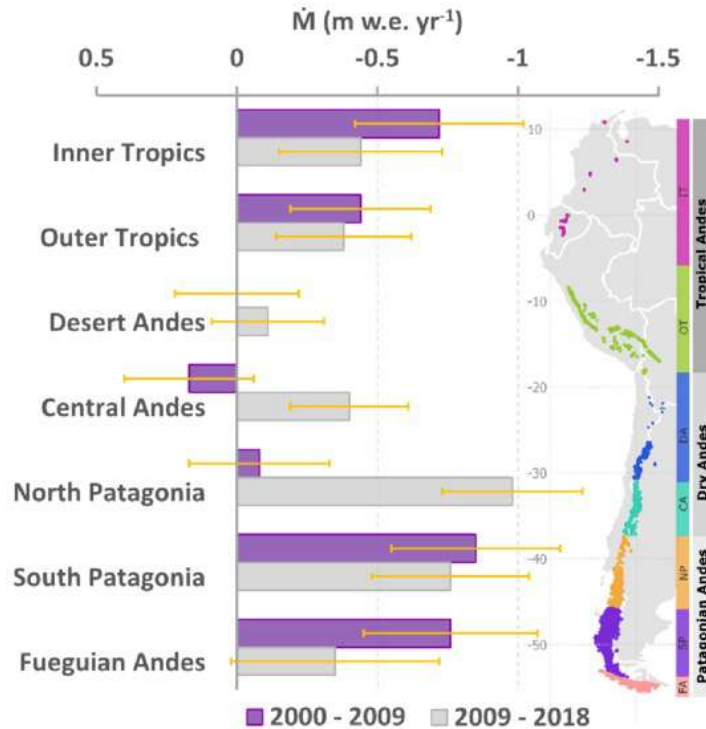
32,000 km² de glaciares

Perdida anual de 22.9 ± 5.9 Gt/a [2000-

2018]



Dussailant et al., Nat. Geosc., 2019



Evolución contrastada entre los sub-periodos 2000-09 y 2009-2018 según la ubicación.

- Tasa constante en los trópicos externos (PE, BO) y el sur de la Patagonia
- Fuerte aumento de la pérdida en los Andes áridos, centrales y el norte de la Patagonia
- Disminución en los trópicos internos y Tierra



Nevado Santa Isabel (4950 m) Glaciar Conejeras

Colombia

Fotos : J.L. Ceballos,
IDEAM



Glaciar Olivares Alfa, región Metropolitana, Chile

1953



© L. Lliboutry

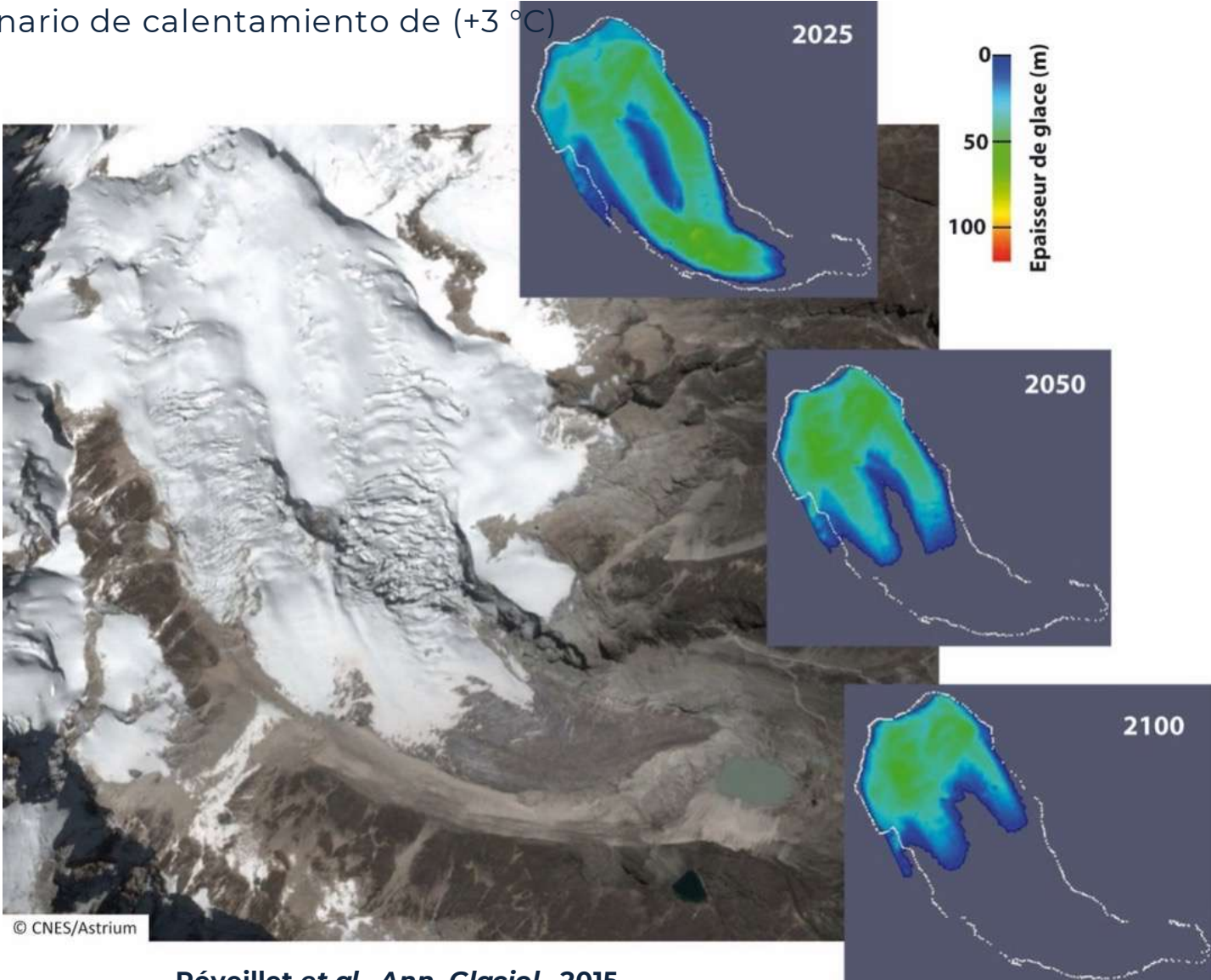
2020



© M. Turrel

Simulación de la evolución futura del Glaciar Zongo (Bolivia)

Considerando un escenario de calentamiento de (+3 °C)

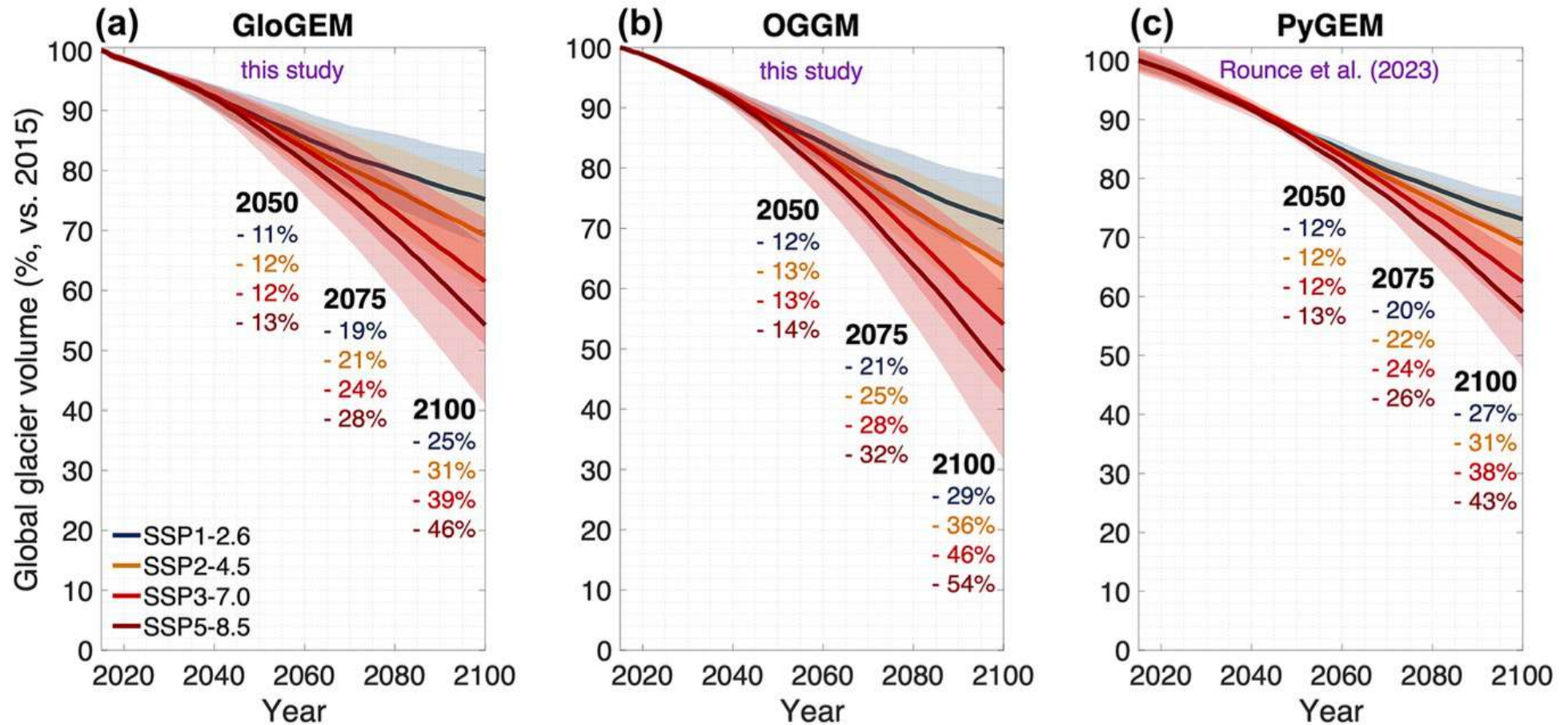


© CNES/Astrium

Réveillet et al., *Ann. Glaciol.*, 2015

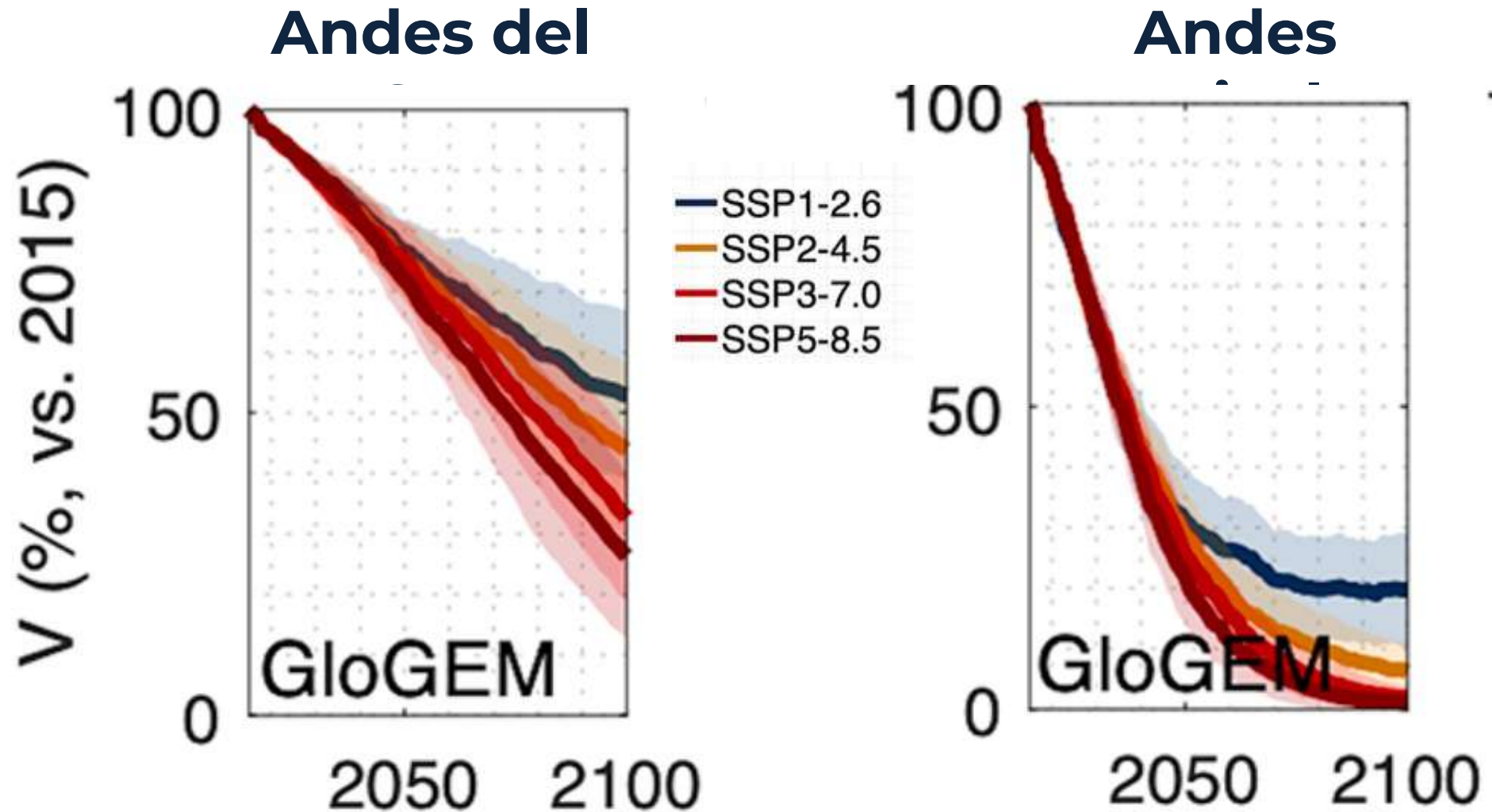
Simulación para todos los glaciares a escala global

[2015-2100]



Zekollari et al., *The Cryosphere*, 2024

Zoom sobre los glaciares Andinos [2015-2100]



Contenido

- I. Como funciona un glaciar ? Que mediciones realizan los glaciólogos ?
- II. Evolución reciente y futura de los glaciares
- III. Impactos sobre la sociedad y los ecosistemas

Los impactos



Elevación del nivel del mar

Recursos en agua

- Riego
- Producción hidroeléctrica
- Consumo de agua potable

Riesgos

- Ruptura de lagos glaciares
- Caídas de hielo
- Destabilización glaciar

Hacia el mar /
océano

Riesgos naturales

- Lagunas pro/supra-glaciares (GLOFs)



Laguna Palcacocha, Perú (1941)
~4 000 muertos

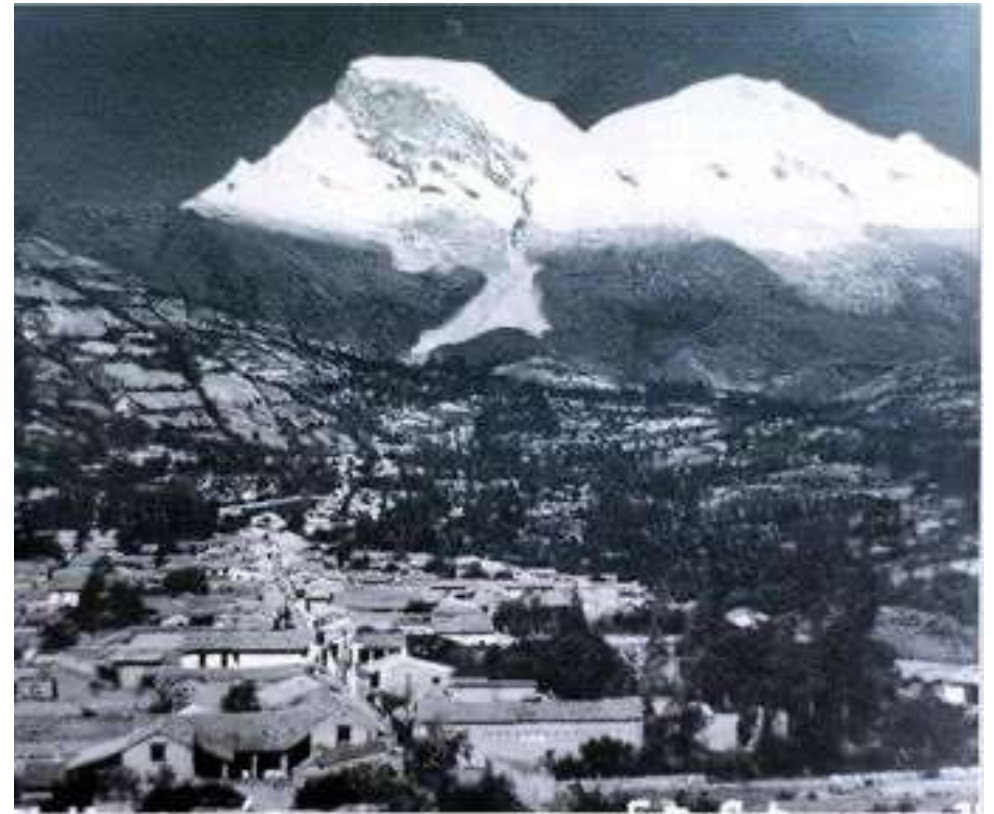


Riesgos naturales

- Caídas de seracs (bloques de hielo)
- Lahares (flujos torrenciales sobre volcanes englaciados)

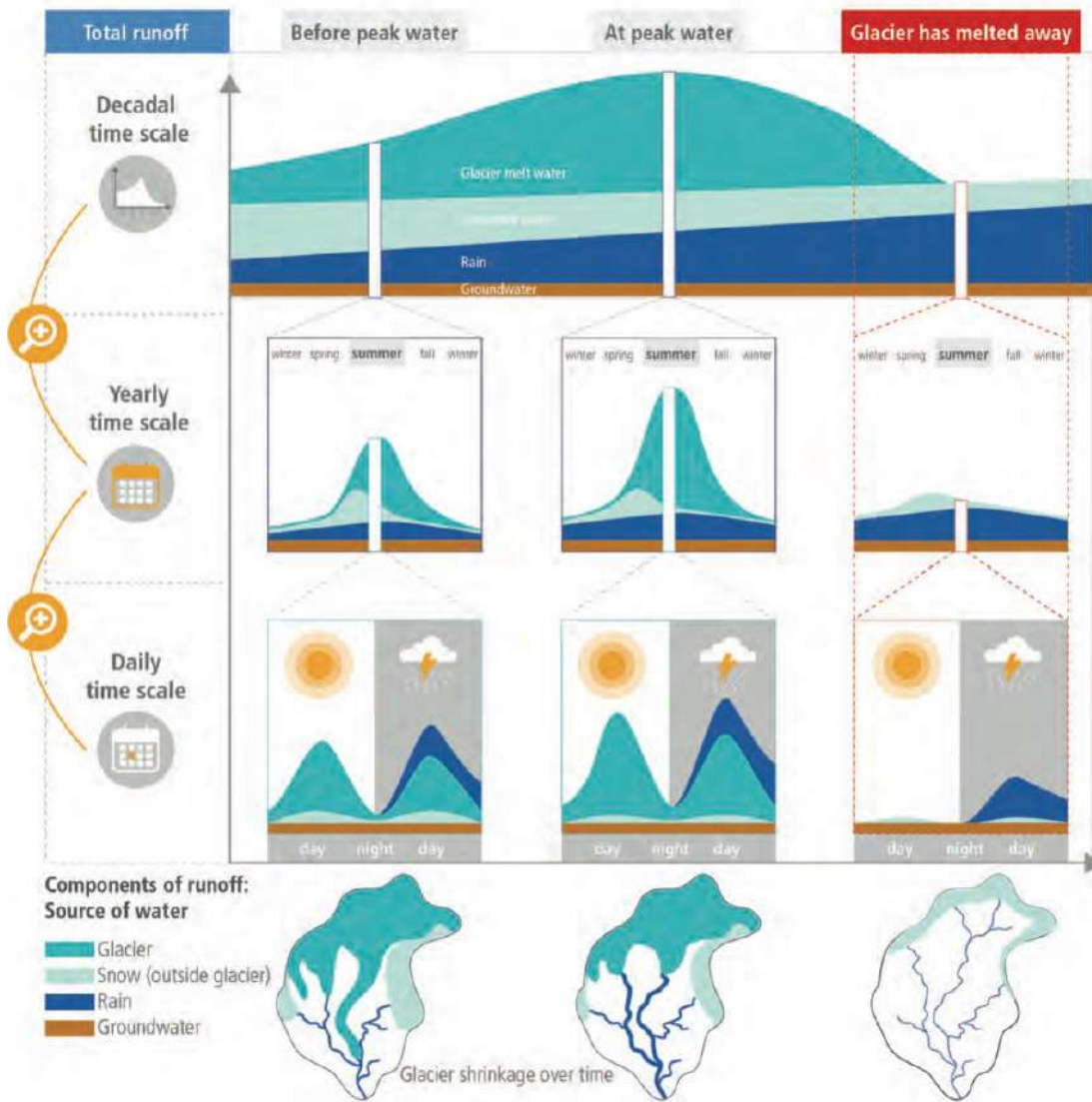


*Erupción del Nevado del Ruiz, Colombia
(1985)
~25 000 muertos*



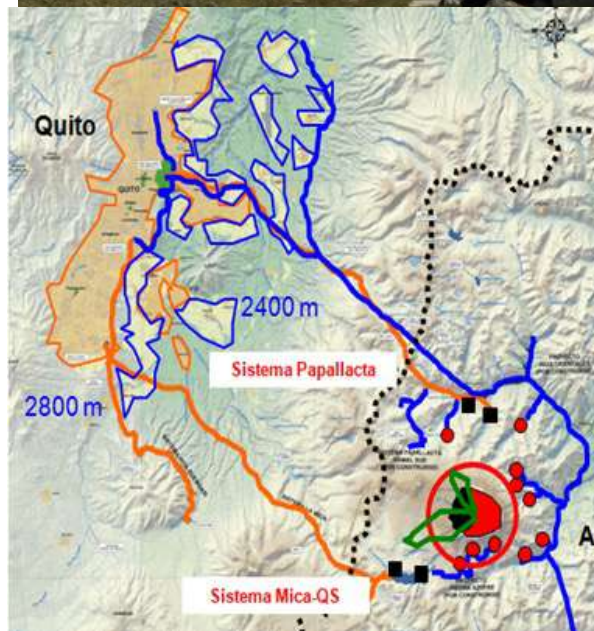
*Avalancha de hielo del Huascaran,
Perú (1970)
~22 000 muertos*

Recursos en agua, funcionamiento hídrico de las cuencas



IPCC *Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*, 2019

Recursos en agua, funcionamiento hídrico de las cuencas



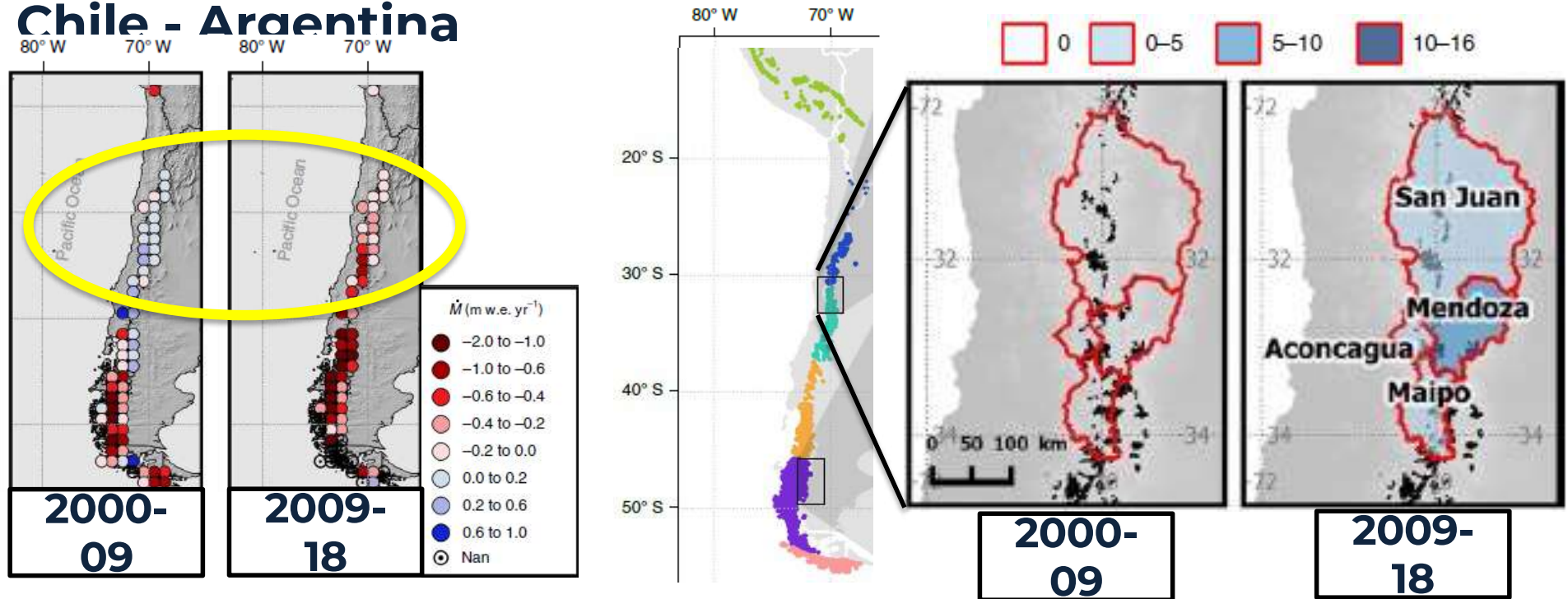
Estación hidrométrica Humboldt (Antisana, Ecuador)

Sistema de aducción de agua a la ciudad de Quito desde el sector del Antisana

Rol de los glaciares para mitigar los impactos de la mega-sequia

Dussailant et al., Nat. Geosc., 2019

Chile - Argentina

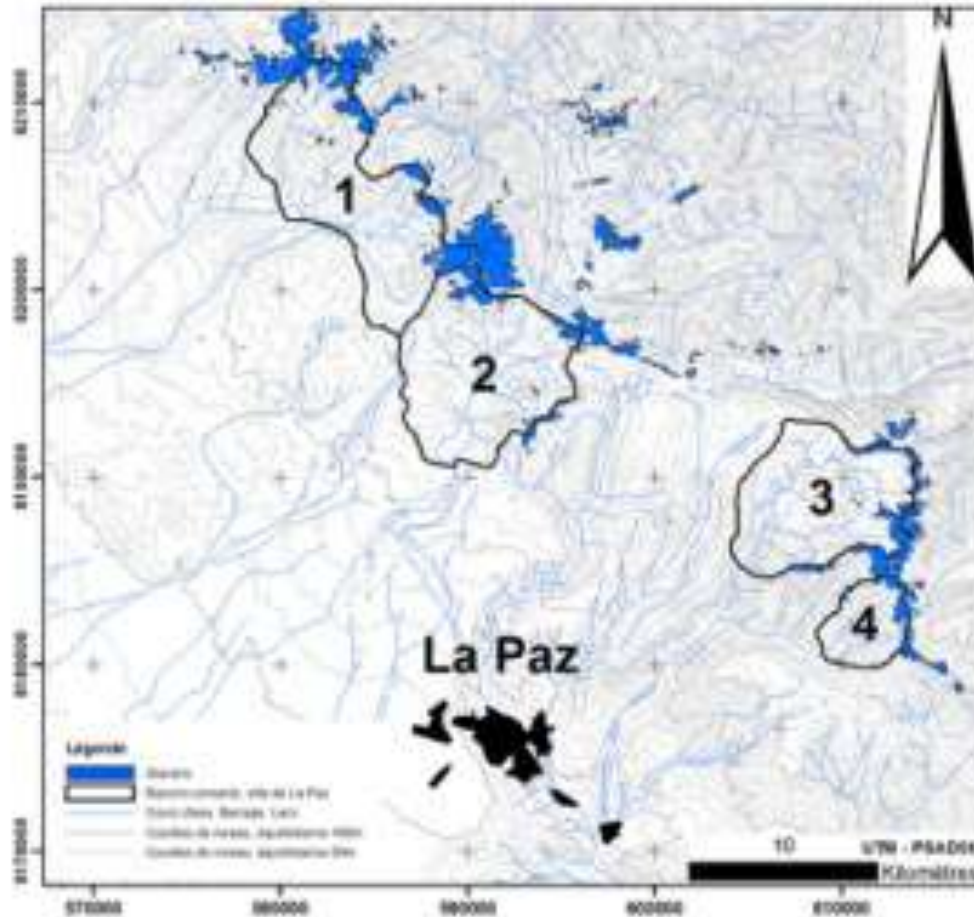


4 cuencas de los Andes centrales de Chile y Argentina (San Juan, Mendoza, Aconcagua y Maipo)

Periodos 2000-09 y 2009-18 : disminución del caudal de los ríos de 28 a 46%, en relación al periodo de sequia excepcional desde 2010

⇒ **Aumento de la fusión de los glaciares permitió compensar una pequeña parte de la disminución de las lluvias con un aporte suplementario del 3 al**

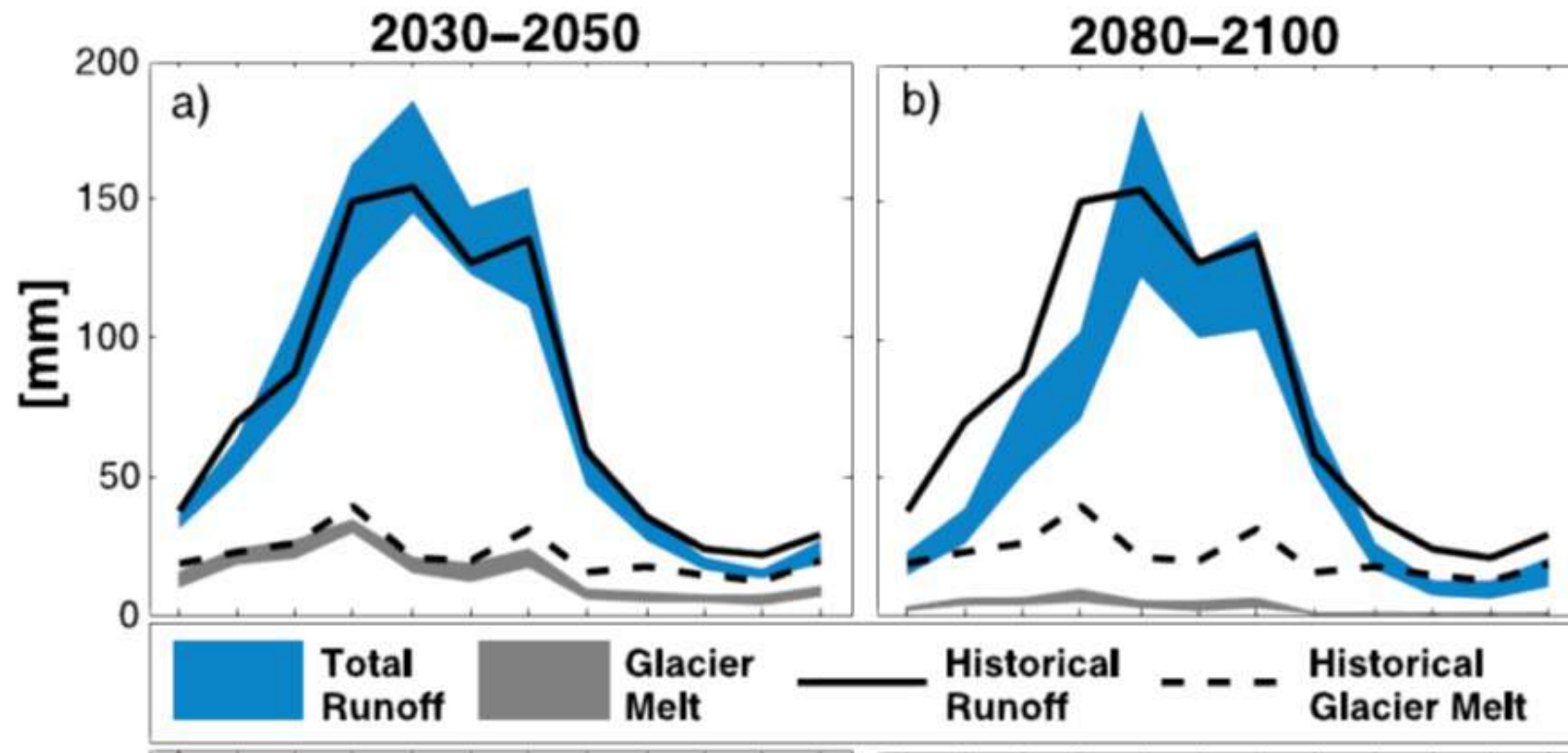
Contribución de los glaciares a los recursos hídricos. Ejemplo de La Paz – El Alto, periodo 1975-2006



Cuenca	Temporada seca	Anual
1	22%	38%
2	7%	13%
3	12%	22%
4	20%	36%
Promedio	15%	27%

Soruco et al., 2015

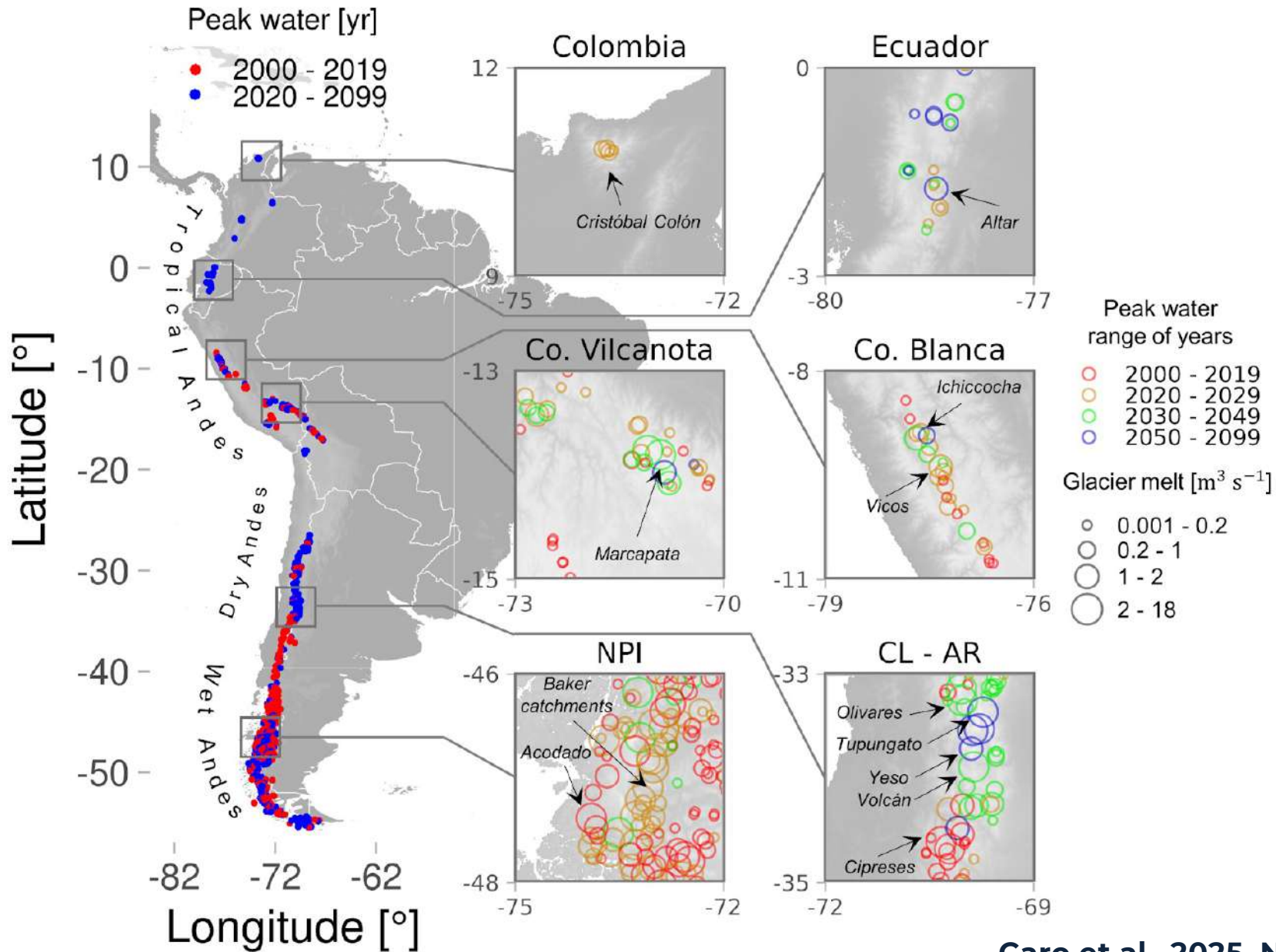
Simulación glacio-hidrográfica del Glaciar Zongo para el siglo XXI



Evolución del caudal total y de la contribución glaciar para dos periodos

Para 2030-2050, la contribución glaciar sigue importante en la estación de lluvias pero una disminución empieza durante la temporada seca

Andean peak water 2000-2099 SSP5-8.5



Caro et al., 2025, Nature Sc. Rep.



Tian Shan,
Kyrgyzstan

Gracias por su atención

antoine.rabatel@univ-grenoble-alpes.fr