



Illimani (6450 m), Bolivie, 2017

© B. Jourdain (UGA)

Glaciares en retroceso, montañas en alerta: señales del cambio climático en América Latina

Dr. Antoine RABATEL

Curso virtual IPROMO 2025 Latinoamericano

Lunes 6 de octubre 2025

Contenido

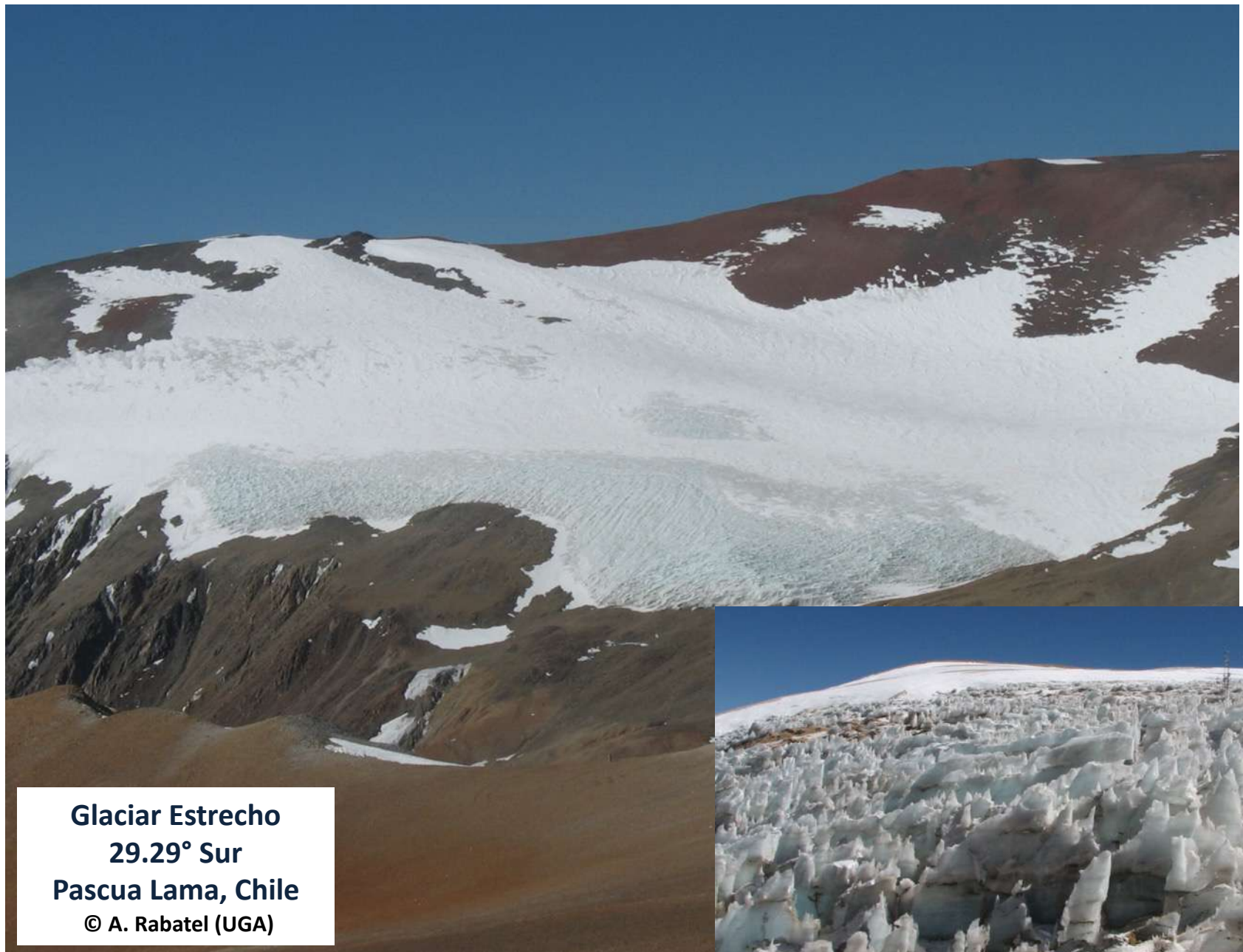
- I. **Como funciona un glaciar ? Que mediciones realizan los glaciólogos ?**
- II. Evolución reciente y futura de los glaciares
- III. Impactos sobre la sociedad y los ecosistemas



Glaciar Antisana 15
0.48° S
Ecuador
© A. Rabatel (UGA)



Glaciar Zongo
16.27° Sur
Cordillera Real, Bolivia
© A. Rabatel (UGA)

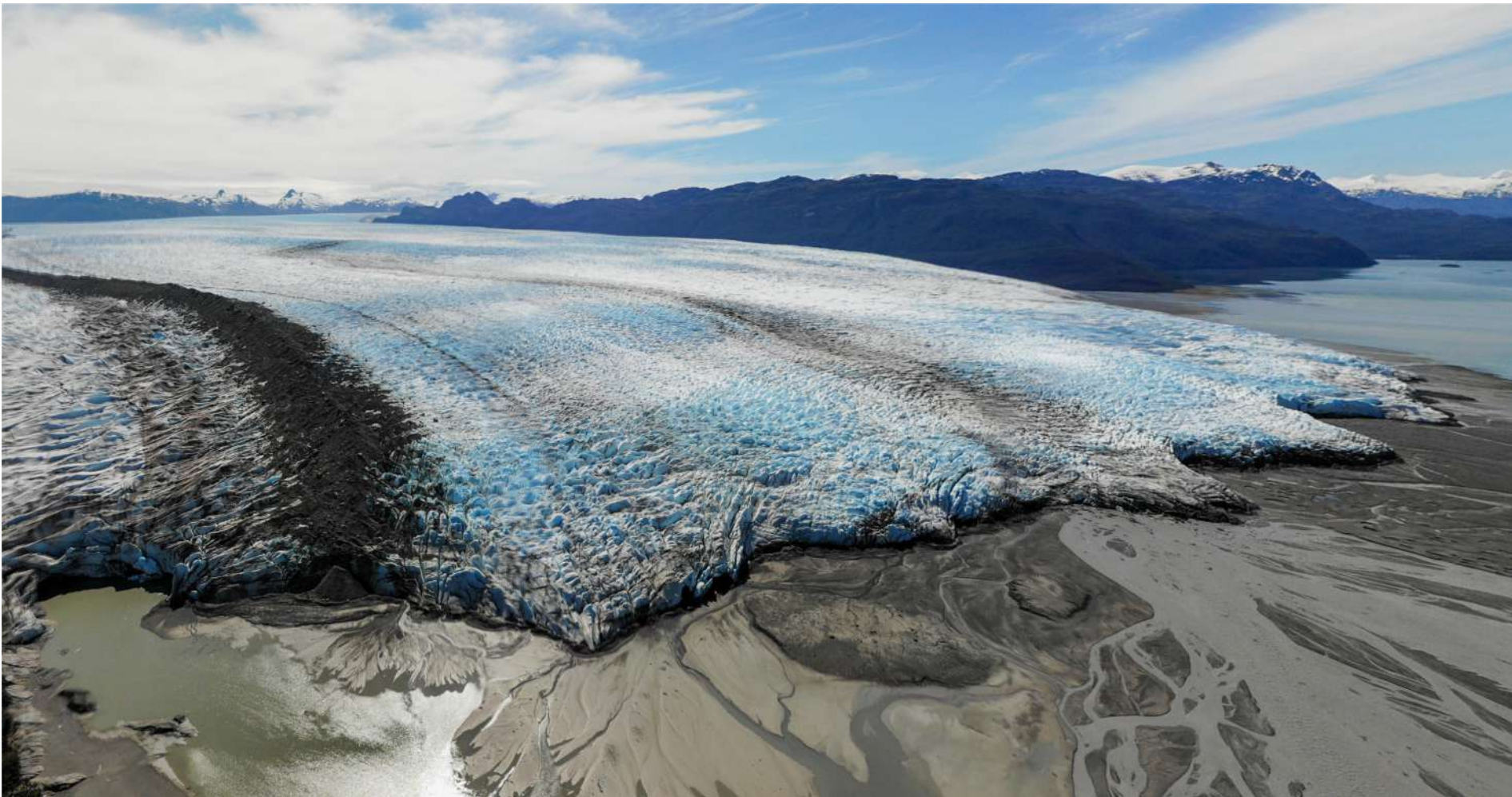


Glaciar Estrecho
29.29° Sur
Pascua Lama, Chile
© A. Rabatel (UGA)





Glaciar de los Tres
49.27° Sur
El Chalten, Argentina
© A. Rabatel (UGA)



**Glaciar Pio XI, 49.21° Sur
Campo de Hielo Sur, Chile**

© Sergio Ríos Rodríguez

Que es un glaciar ?

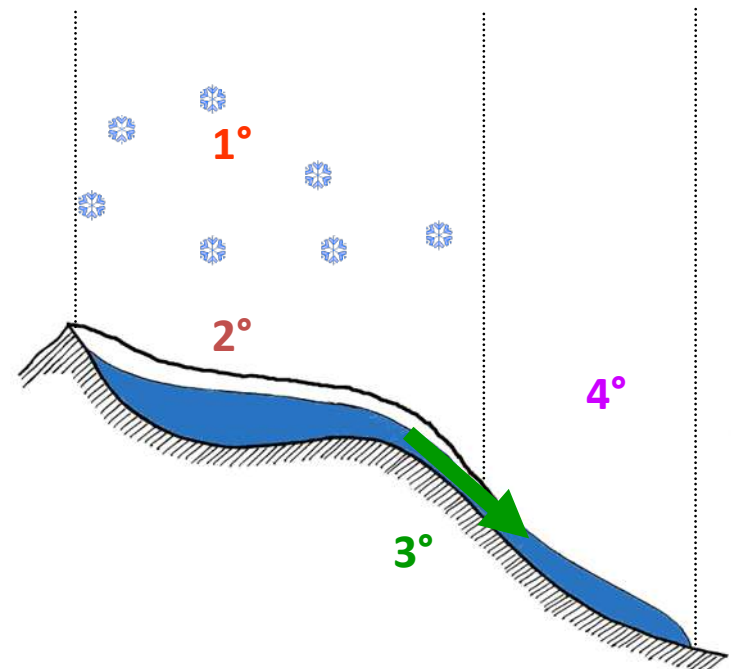
Un glaciar es : una acumulación natural de agua solida, proviniendo de la transformación de la nieve en hielo, animado de un movimiento lento, permanente a escala humana.

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



Condiciones climáticas
Mediciones meteorológicas

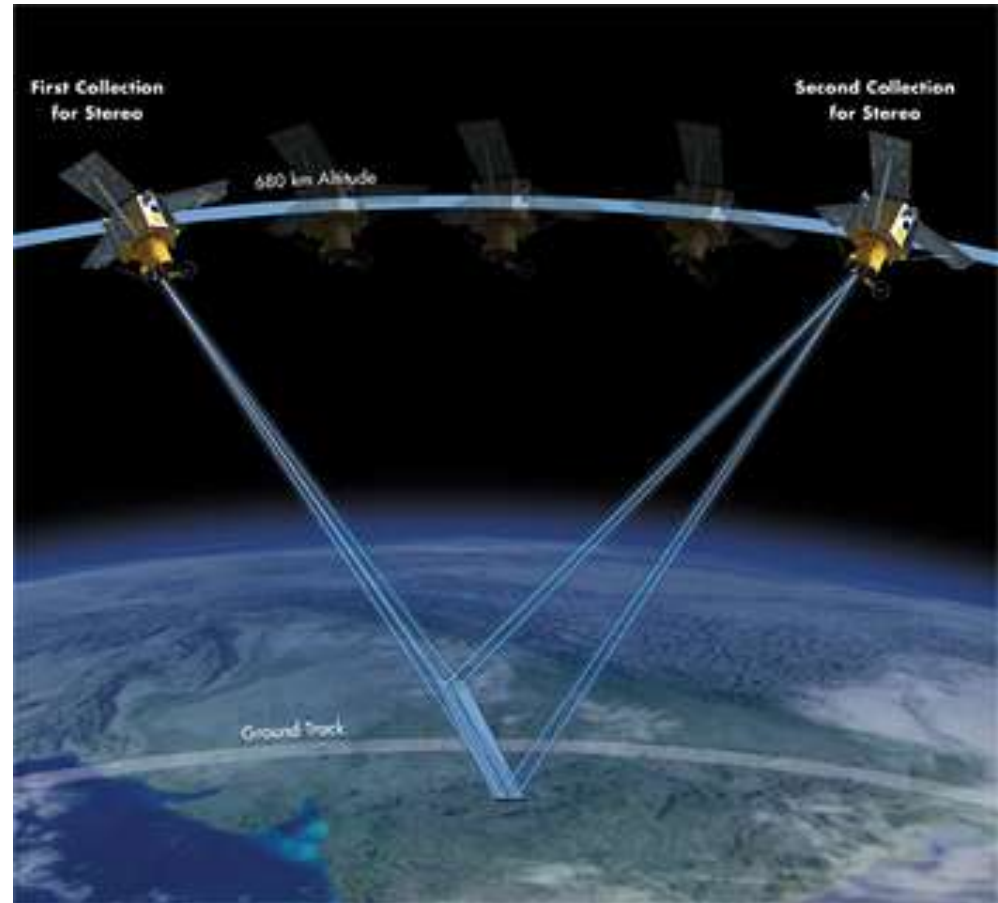


Fusión del glaciar
Mediciones hidrológicas

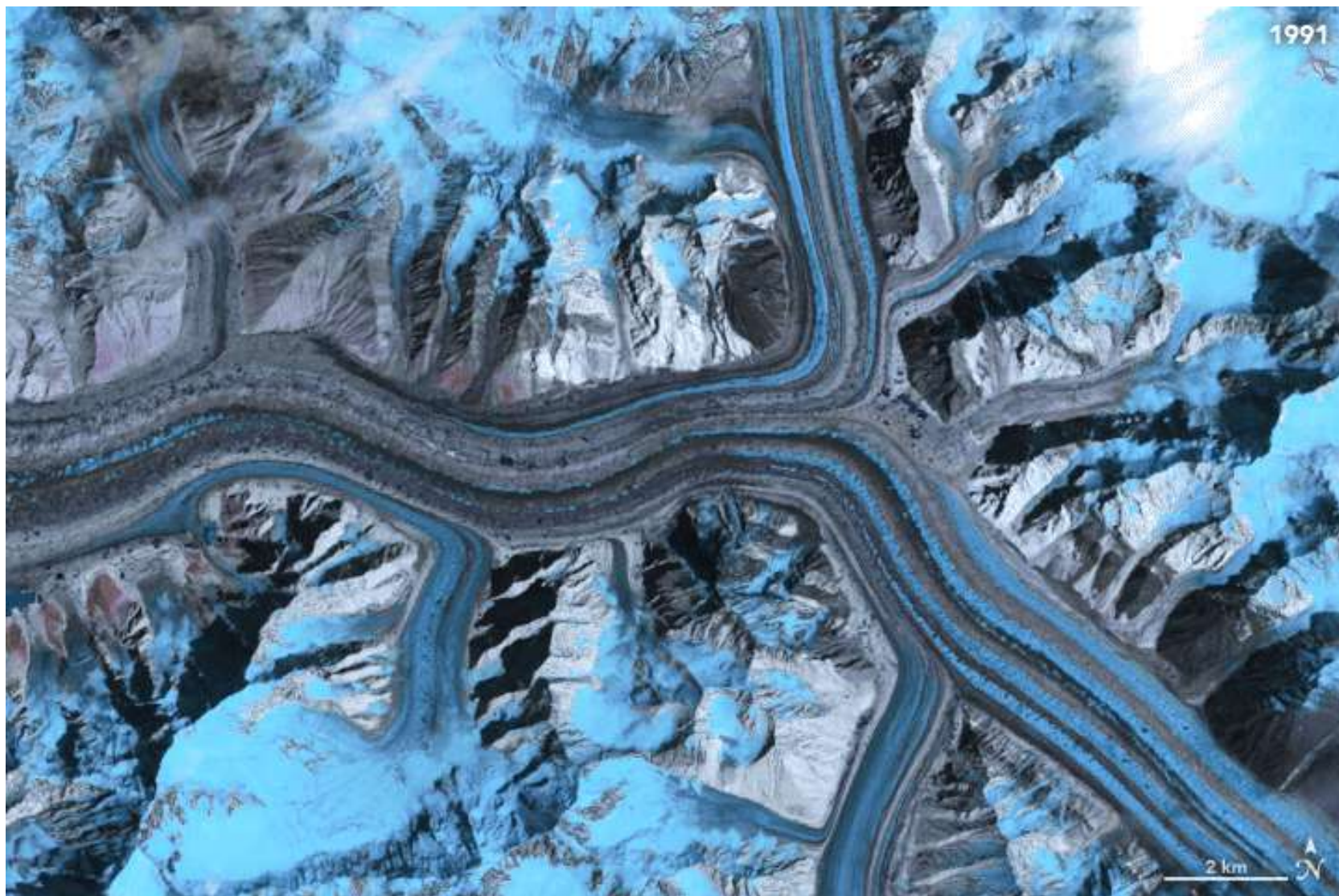
Y para trabajar a escala de una región o a escala global ?

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



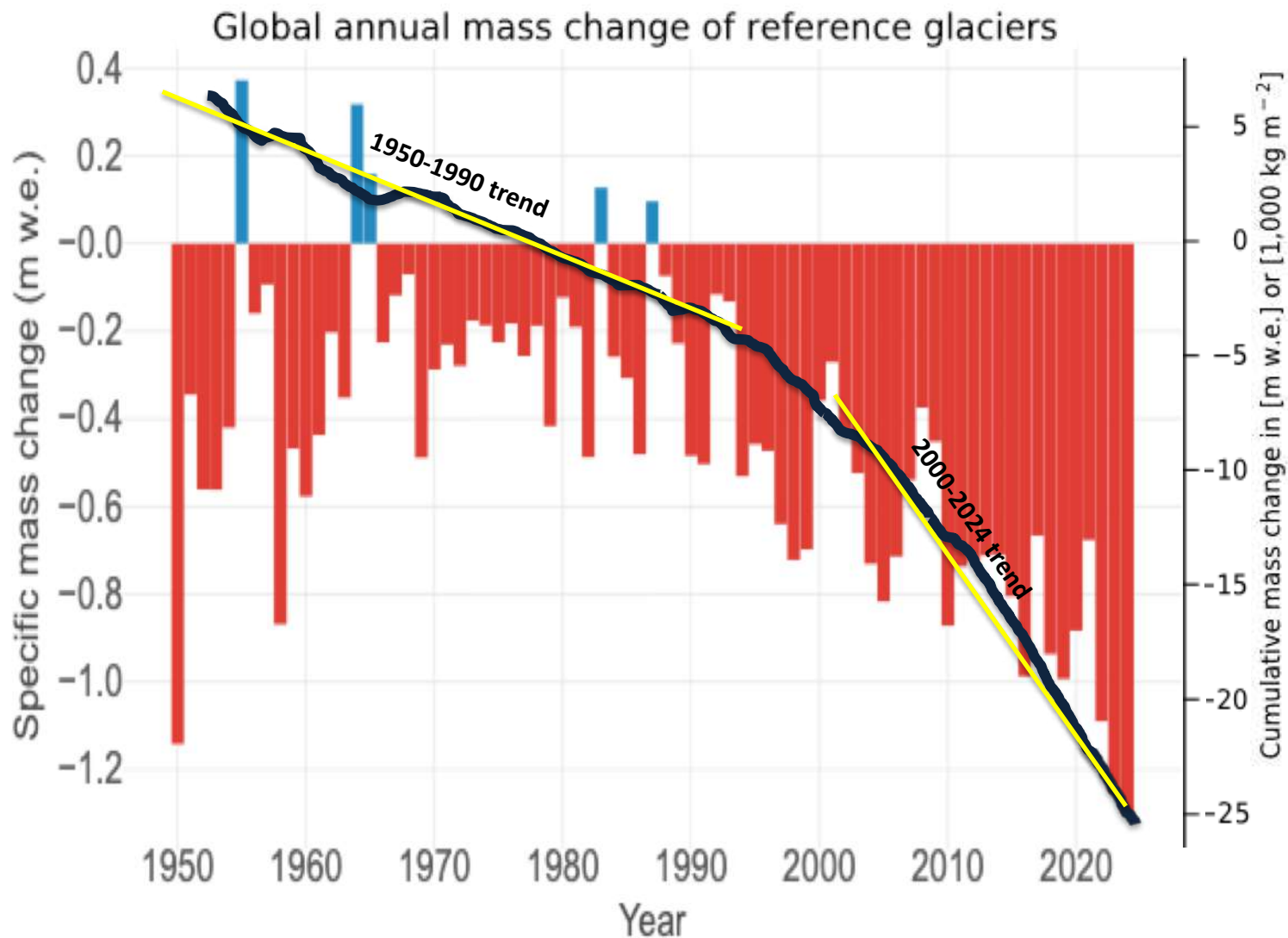
Secuencia de imágenes del satélite LANDSAT (1991-2000)
Glaciar Baltoro, Karakoram, Pakistán

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 escala global

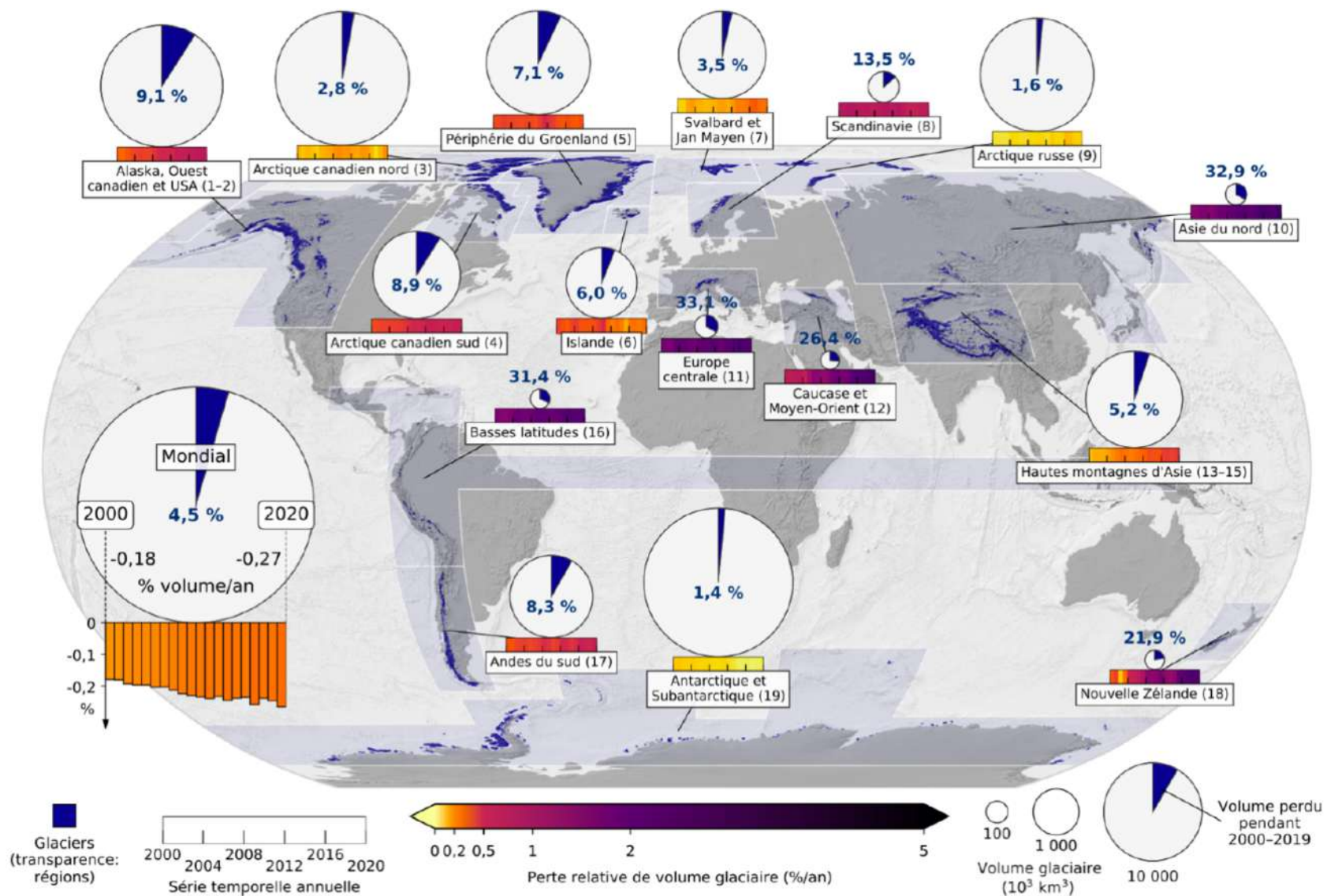
Compilación de datos del WGMS (<https://wgms.ch> ; 2025-09-12)



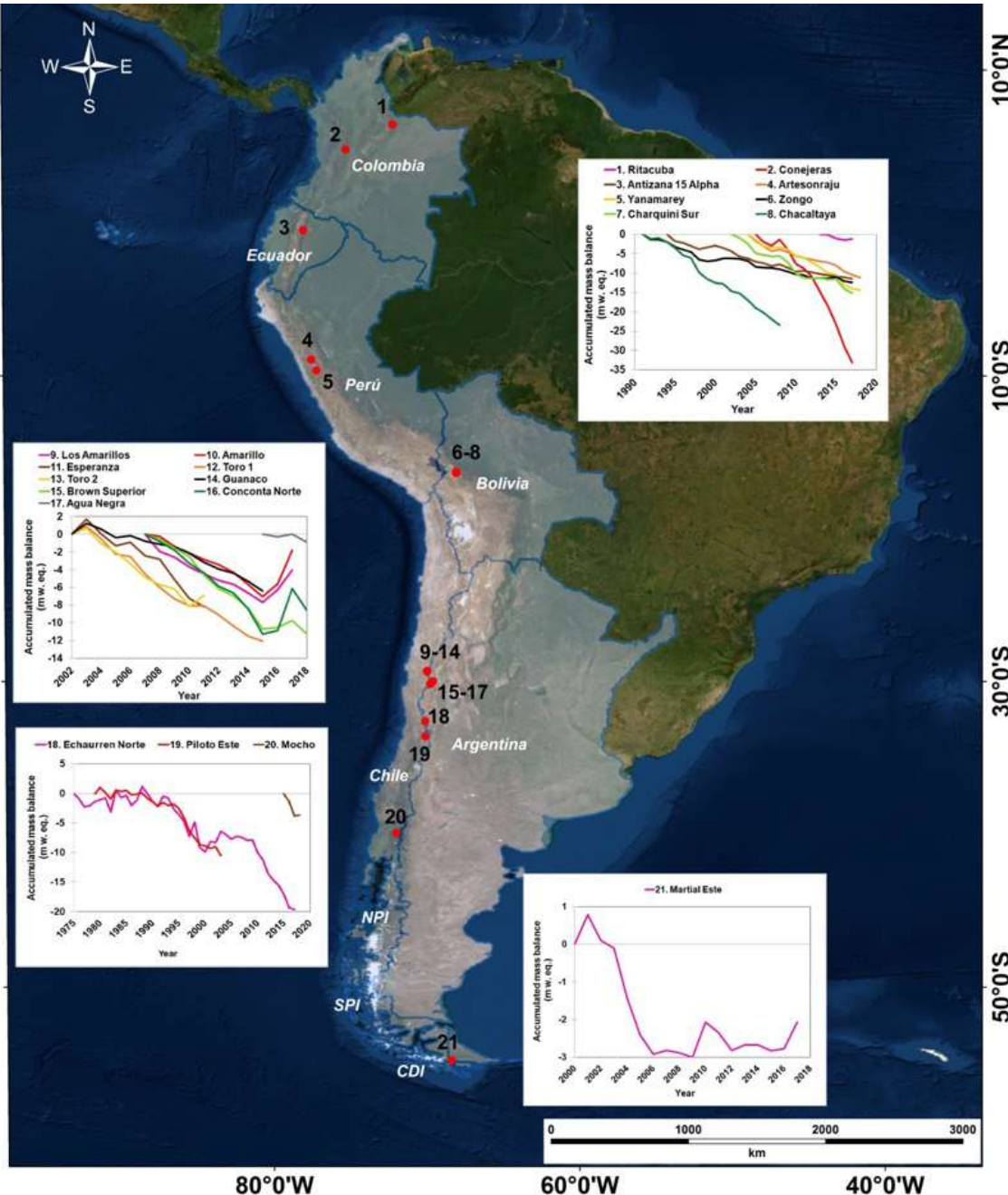
Aumento de la pérdida
de masa a partir de los
años 1990-2000

Perdida relativa de volumen durante las ultimas 2 décadas

Datos satelitales únicamente



Hugonnet et al., La Météorologie, 2023



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

2010



**Nevado Santa Isabel
(4950 m)
Glaciar Conejeras
4.81° Norte
Colombia**

Fotos : J.L. Ceballos, IDEAM

2023



Glaciar Olivares Alfa, región Metropolitana, Chile

33.15° Sur

1953



© L. Lliboutry

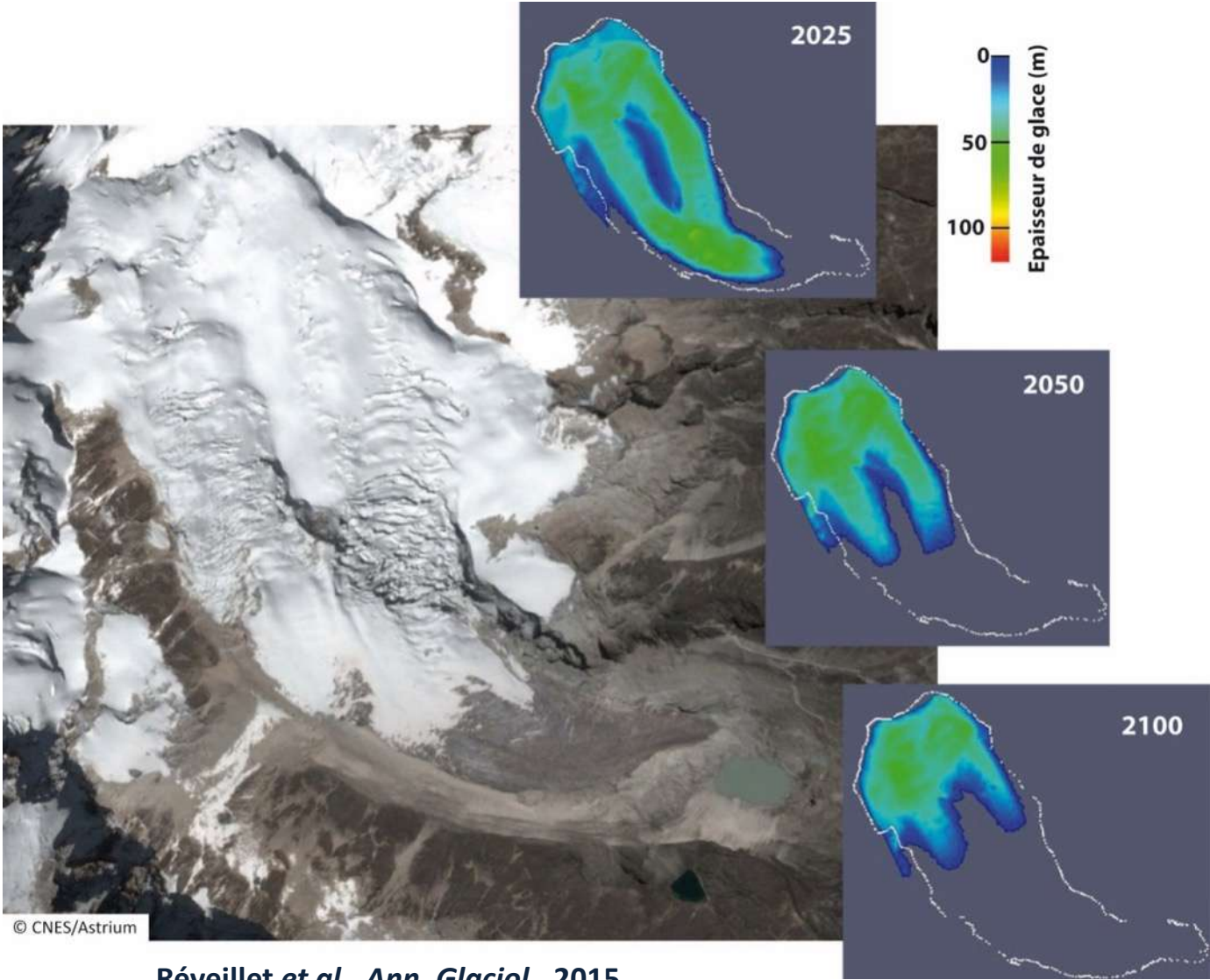
2020



© M. Turrel

Simulación de la evolución futura del Glaciar Zongo (Bolivia)

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

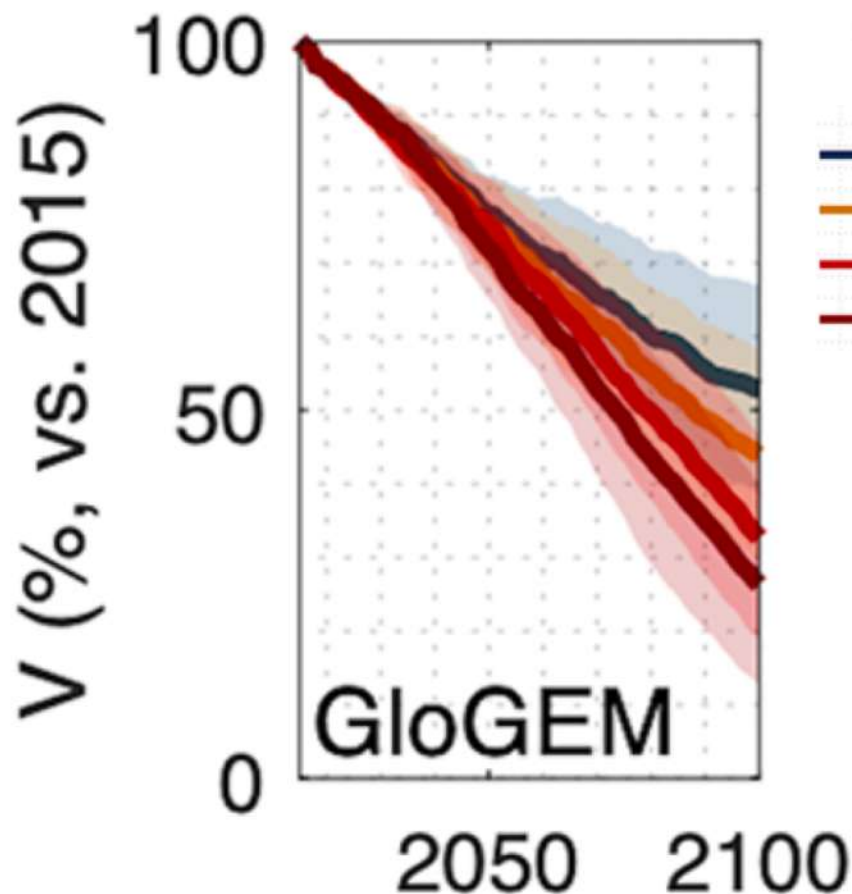


© CNES/Astrium

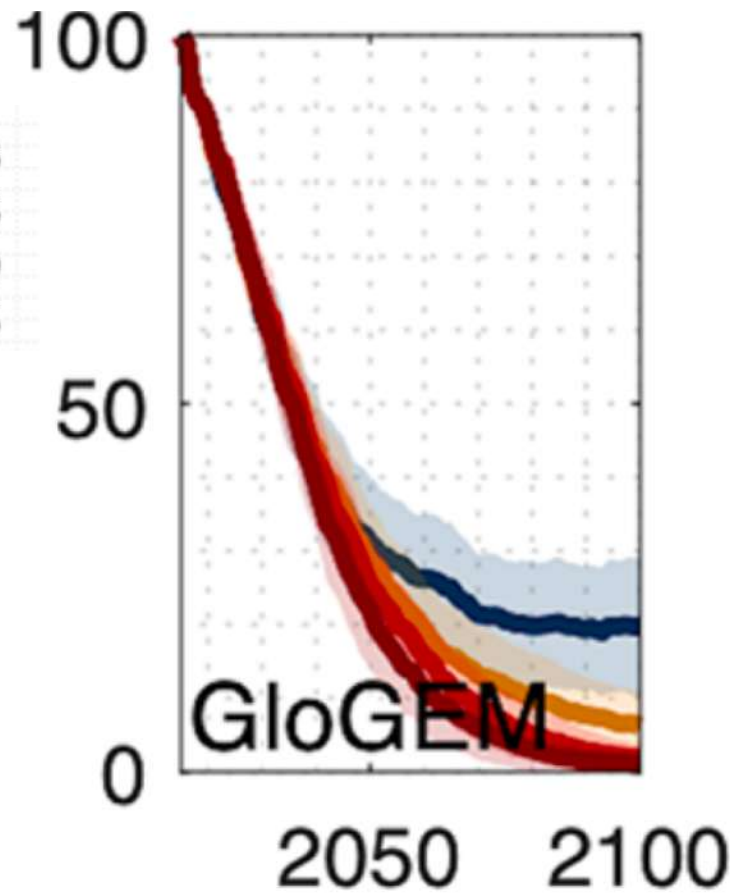
Réveillet *et al.*, *Ann. Glaciol.*, 2015

Al nivel de todos los glaciares Andinos [2015-2100]

Andes del Sur



Andes tropicales



Zekollari et al., *The Cryosphere*, 2024

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



Hacia el mar / océano

Elevación del nivel del mar

Recursos en agua

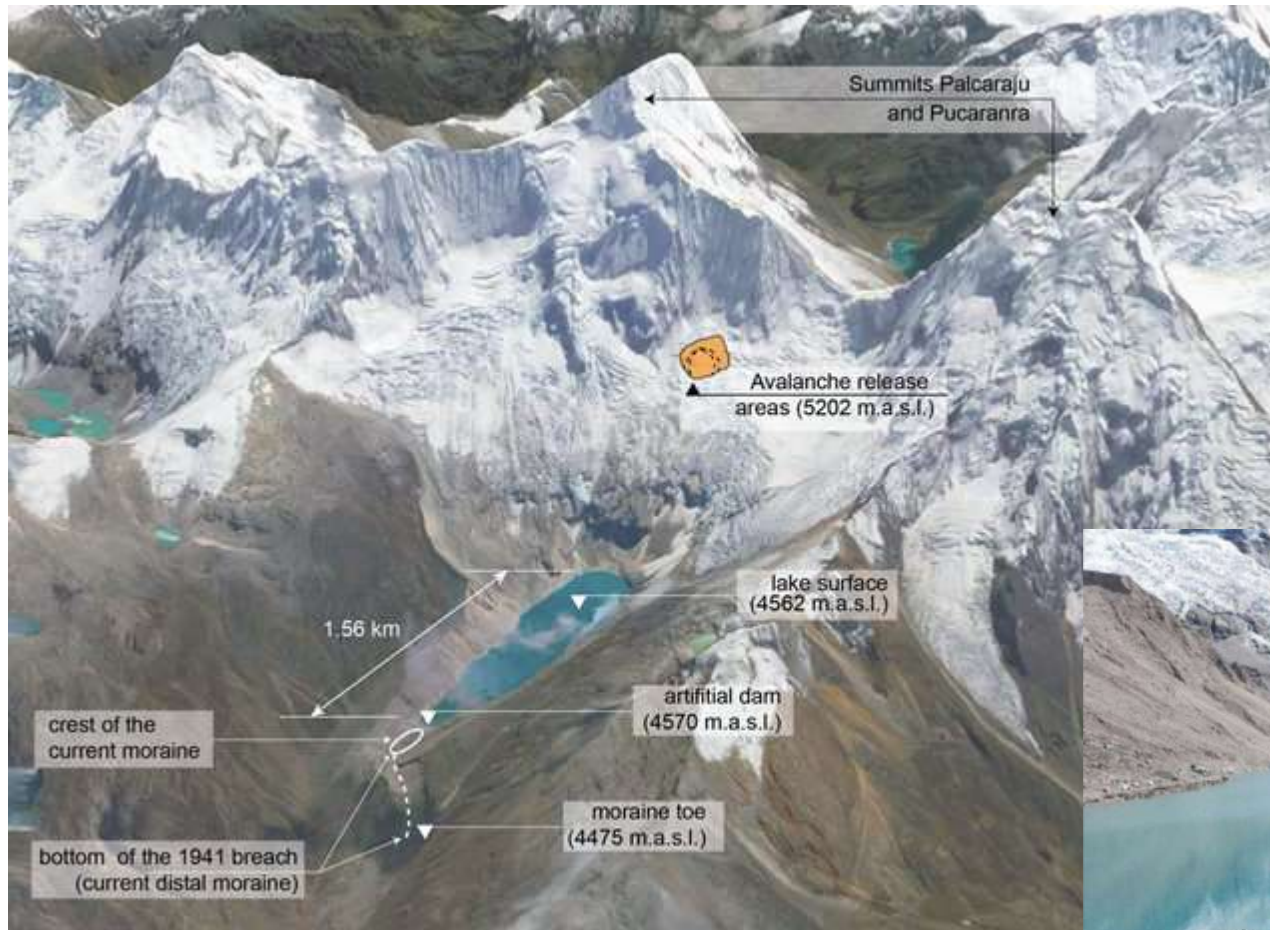
- Riego
- Producción hidroeléctrica
- Consumo de agua potable

Riesgos

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

Riesgos naturales

- Lagunas pro/supra-glaciares (GLOFs)

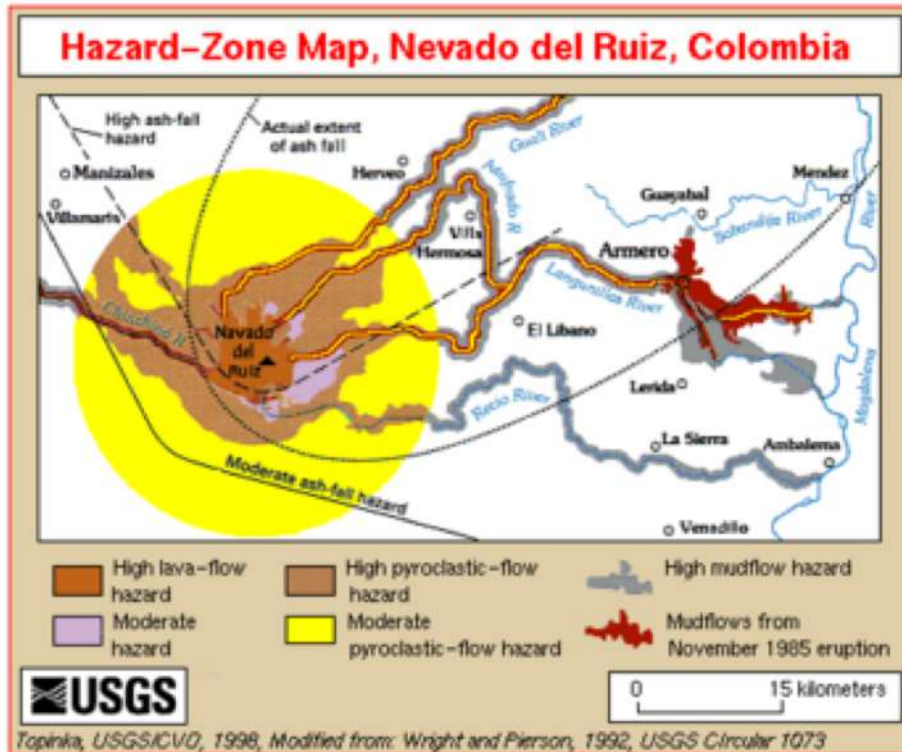


Laguna Palcacocha, Perú (1941)
~4 000 muertos



Riesgos naturales

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

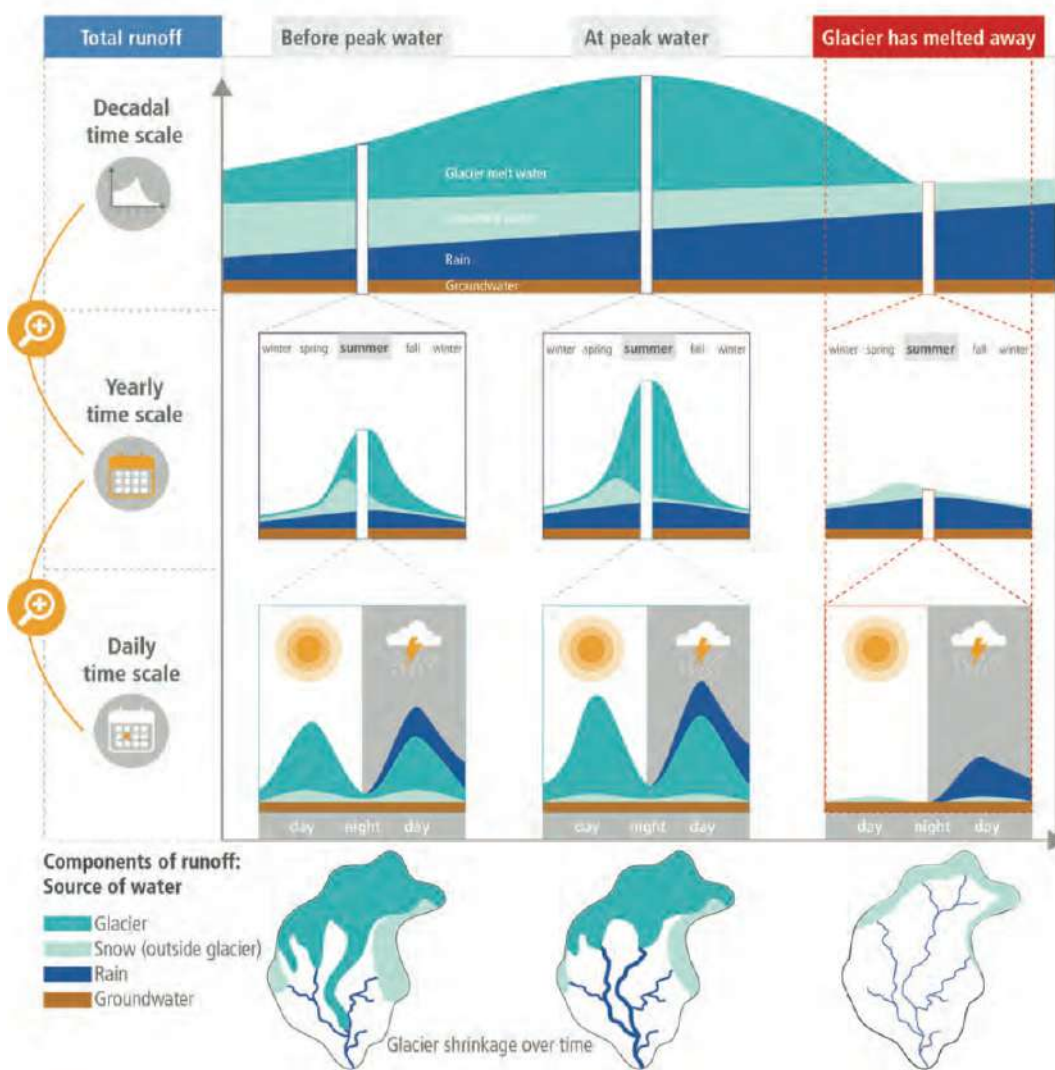


*Erupción del Nevado del Ruiz, Colombia (1985)
~25 000 muertos*



*Avalancha de hielo del Huascarán, 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

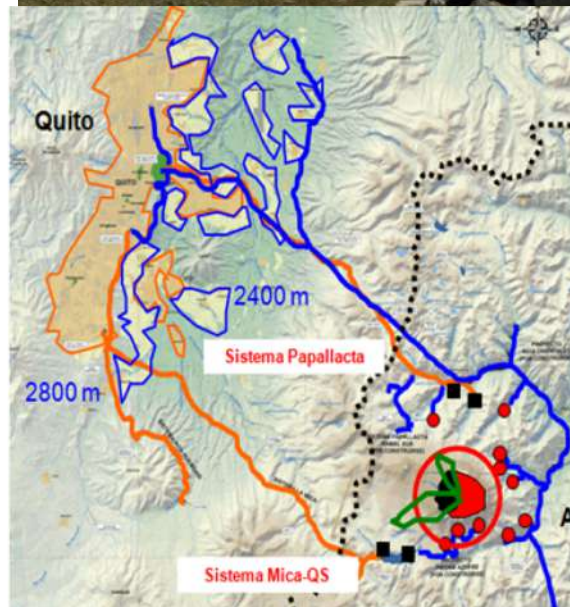
Recursos en agua, funcionamiento hídrico de las cuencas



Represa Zongo al pie del Huayna Potosi (Bolivia)

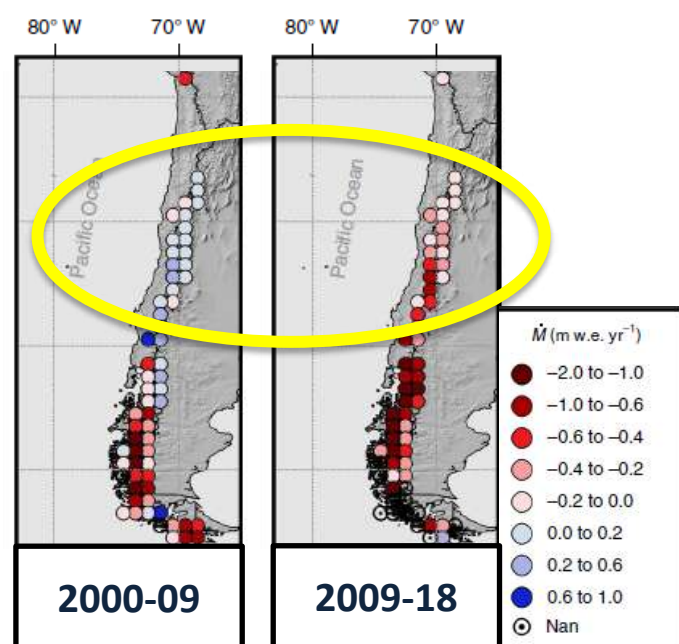


Estación hidrométrica Humboldt (Antisana, Ecuador)

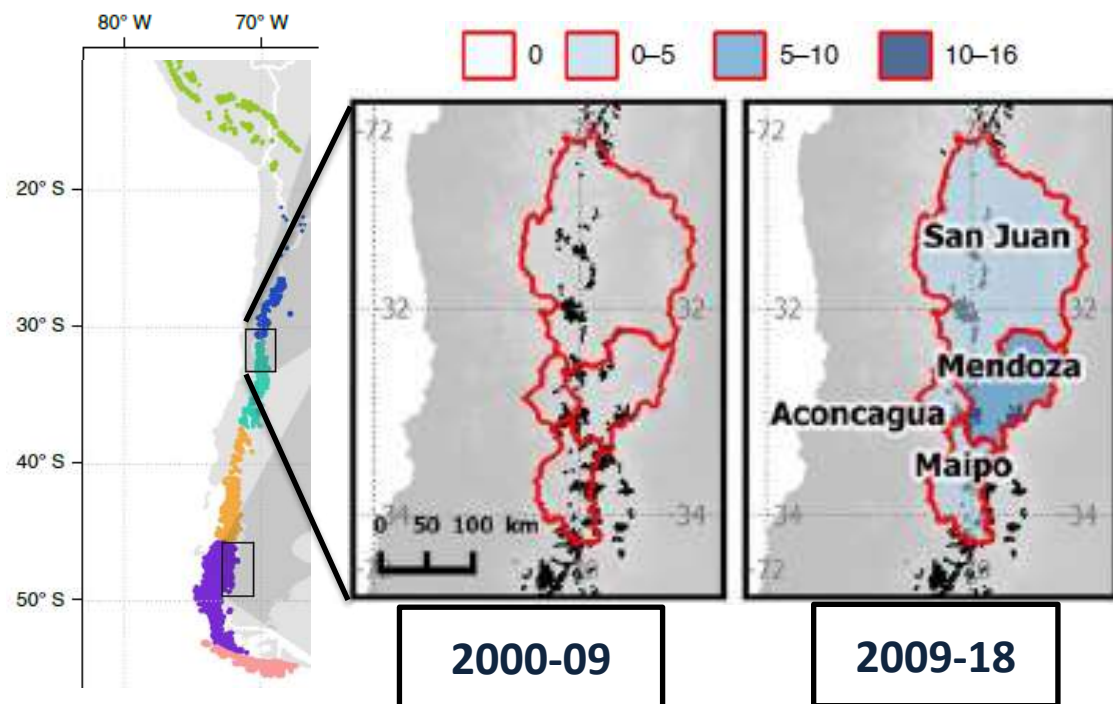


Sistema de aducción de agua a la ciudad de Quito desde el sector del Antisana

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



Dussaillant *et al.*, *Nat. Geosc.*, 2019

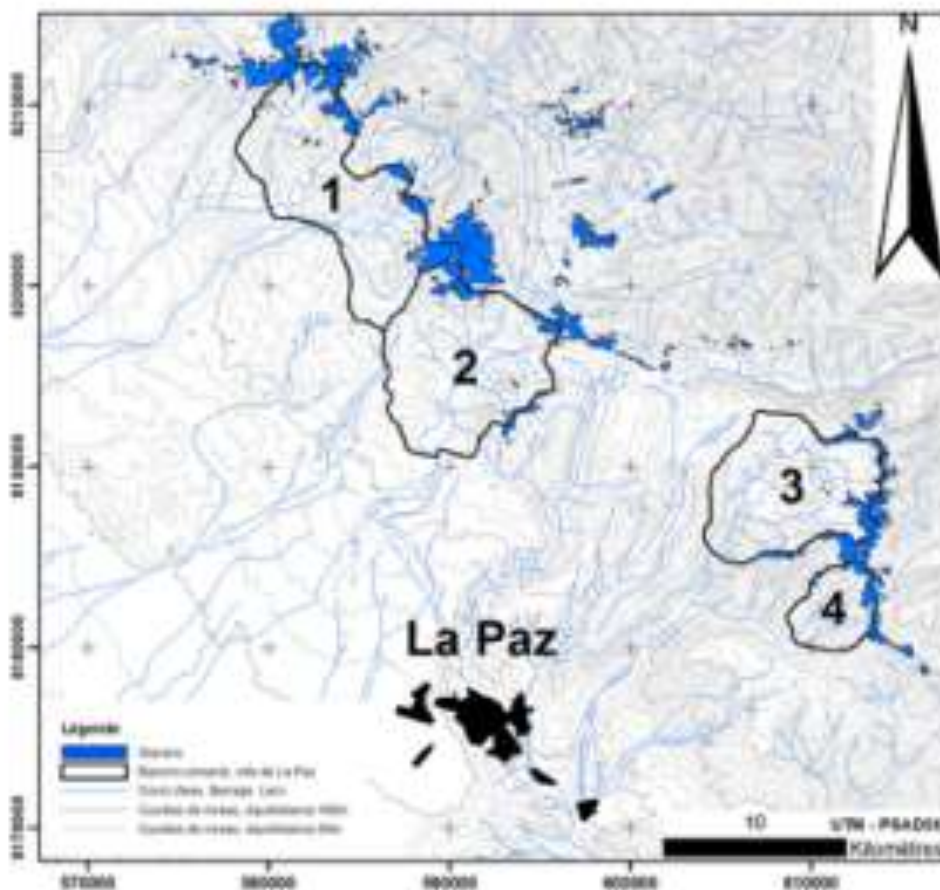


4 cuencas de los Andes centrales de Chile y Argentina (San Juan, Mendoza, Aconcagua y Maipo)

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 8%**

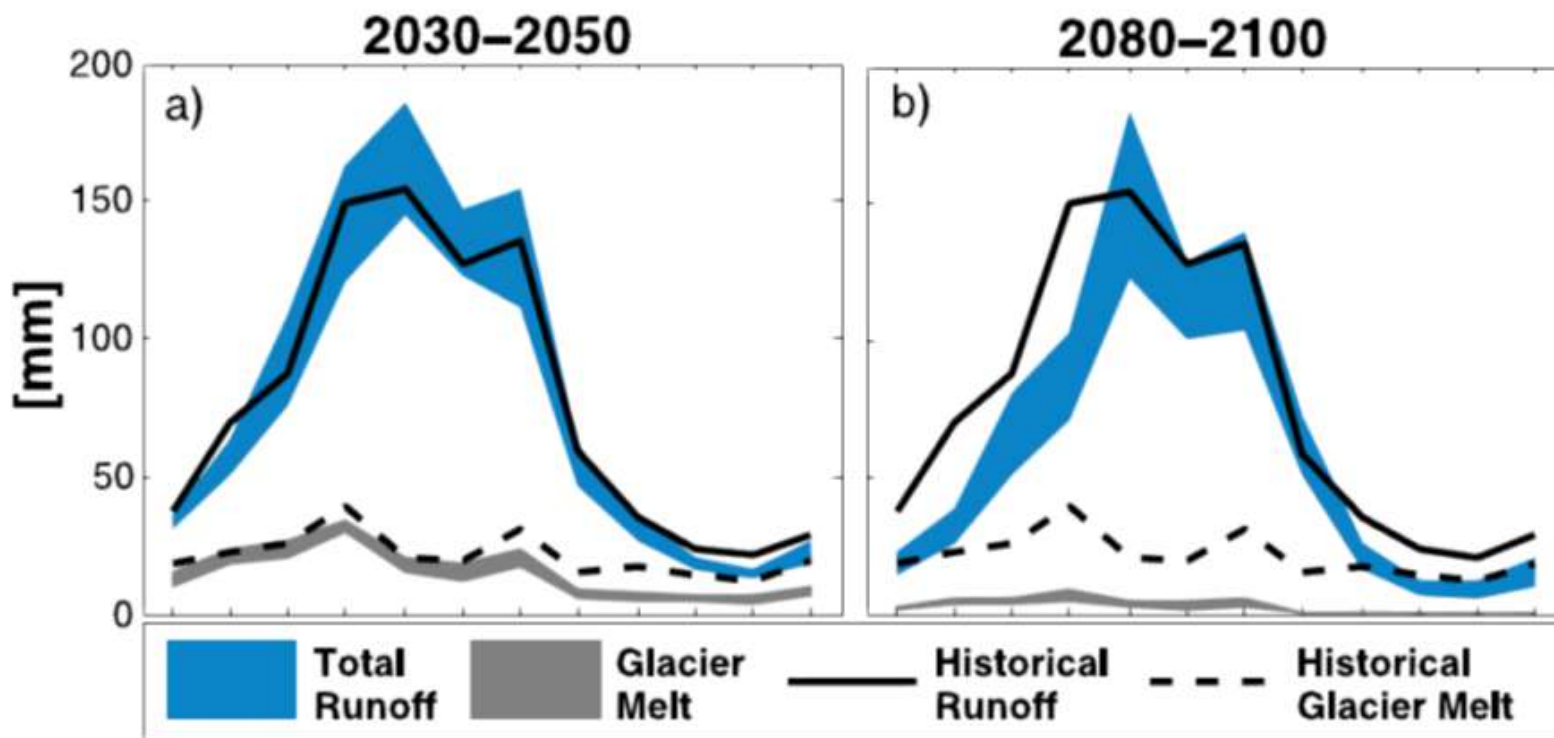
Contribución de los glaciares a los recursos hídricos. Ejemplo de La Paz – El Alto, periodo 1975-2006



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

Soruco et al., 2015

Simulación glacio-hidrológica del Glaciar Zongo para el siglo 21



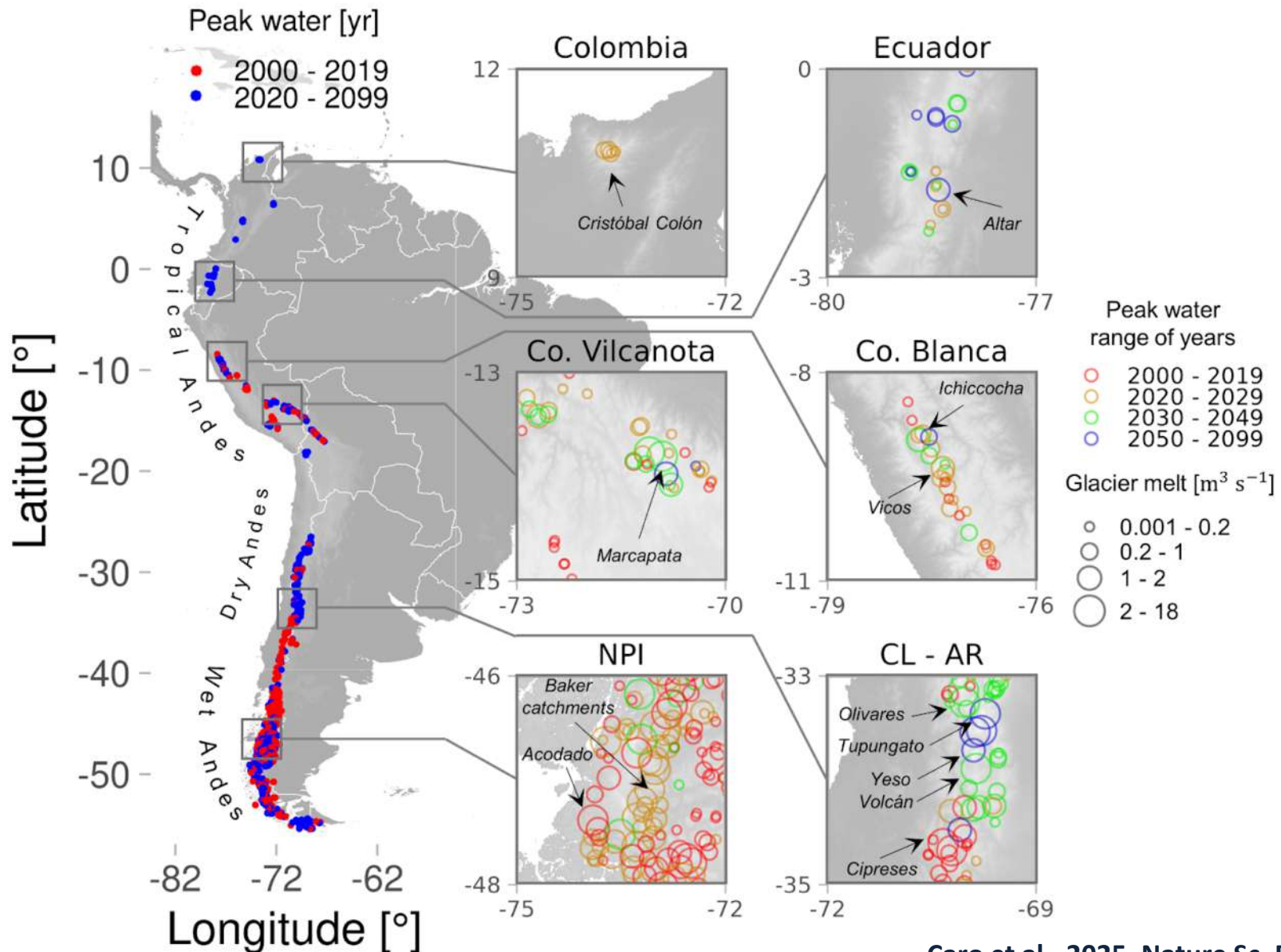
Evolución del caudal total y de la contribución glaciaria para dos periodos

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

Transición hacia un régimen pluvial al final del siglo

Frans et al., 2015

Andean peak water 2000-2099 SSP5-8.5



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

Referencias bibliográficas

- Caro, A., Condom, T., Rabatel, A., Aguayo, R., & Champollion, N. (2025). Future glacio-hydrological changes in the Andes: a focus on near-future projections up to 2050. *Scientific Reports*, 15(1), 10991.
- Dussaillant, I., Berthier, E., Brun, F., Masiokas, M., Hugonnet, R., Favier, V., ... & Ruiz, L. (2019). Two decades of glacier mass loss along the Andes. *Nature Geoscience*, 12(10), 802-808.
- Frans, C., Istanbuluoglu, E., Lettenmaier, D. P., Naz, B. S., Clarke, G. K., Condom, T., ... & Nolin, A. W. (2015). Predicting glacio-hydrologic change in the headwaters of the Zongo River, Cordillera Real, Bolivia. *Water Resources Research*, 51(11), 9029-9052.
- Hugonnet, R., Millan, R., Mouginot, J., Rabatel, A., & Berthier, É. (2023). Un atlas mondial pour caractériser la réponse des glaciers au changement climatique. *La Météorologie*, (120), 037.
- IPCC (2019). IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate. chap. Polar Regions, Cambridge University Press, Cambridge, 215.
- Masiokas, M. H., Rabatel, A., Rivera, A., Ruiz, L., Pitte, P., Ceballos, J. L., ... & MacDonell, S. (2020). A review of the current state and recent changes of the Andean cryosphere. *Frontiers in Earth science*, 8, 99.
- Réveillet, M., Rabatel, A., Gillet-Chaulet, F., & Soruco, A. (2015). Simulations of changes to Glaciar Zongo, Bolivia (16 S), over the 21st century using a 3-D full-Stokes model and CMIP5 climate projections. *Annals of Glaciology*, 56(70), 89-97.
- Soruco, A., Vincent, C., Rabatel, A., Francou, B., Thibert, E., Sicart, J. E., & Condom, T. (2015). Contribution of glacier runoff to water resources of La Paz city, Bolivia (16 S). *Annals of Glaciology*, 56(70), 147-154.
- Zekollari, H., Huss, M., Schuster, L., Maussion, F., Rounce, D. R., Aguayo, R., ... & Farinotti, D. (2024). Twenty-first century global glacier evolution under CMIP6 scenarios and the role of glacier-specific observations. *The Cryosphere*, 18(11), 5045-5066.



Video de presentación del libro:

<https://youtu.be/McT1MvVHTDQ?feature=shared>

<https://www.editions.ird.fr/produit/735/9782709930734/>



Tian Shan, Kyrgyzstan

Gracias por su atención

antoine.rabatel@univ-grenoble-alpes.fr