



VARIACIONES DEL GLACIAR ECHAURREN NORTE EN LAS ÚLTIMAS DÉCADAS INDUCIDO POR CAMBIOS EN LA TEMPERATURA, ANDES SUBTROPICALES DE ARGENTINA Y CHILE

Álvaro González – Reyes^{1,3}, James McPhee^{2,3}, Xavier Bodin⁴ y Claudio Bravo⁵

¹Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile; alvarogonzalezreyes@u.uchile.cl.

²Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

³Centro Avanzado de Estudios de Minería AMTC, Universidad de Chile.

⁴Laboratoire EDYTEM, Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne, CNRS / Université de Savoie, Chambéry, Francia

⁵Departamento de Geofísica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

La acumulación nival y el derretimiento de hielo glaciar en los Andes juegan un rol fundamental ya que regulan el abastecimiento de agua para consumo doméstico de muchas ciudades de Sudamérica (e.g. Santiago, Mendoza, Huaraz), y permiten el desarrollo de actividades agro-industriales, especialmente en los períodos de sequías, donde la cordillera funciona como una “torre de agua”. Los glaciares de montaña son indicadores clave del cambio climático, e investigaciones recientes han revelado cambios severos en muchos glaciares, como por ejemplo: en los Andes Tropicales, donde estos han retrocedido particularmente en las últimas tres décadas (Rabatel *et al.* 2013). Más al sur, en los Andes Subtropicales de Argentina y Chile (30° - 36° L.S.), existen extensos registros de balance de masa como el del glaciar Echaurren Norte, el cual se encuentra emplazado en la cuenca del río Maipo (33° 33' L.S., 70° 08' L.O.), a una altitud media de 3750 m.s.n.m. (Figura 1). Gracias al trabajo de los técnicos de la Dirección General de Aguas DGA–MOP, que colectaron en terreno los datos de este glaciar desde el año 1975, ha sido posible mantener vigente el registro de balance de masa anual más antiguo de Sudamérica (Zemp *et al.* 2009). Estudios en el Glaciar Echaurren Norte señalan una estrecha relación entre la precipitación invernal, El Niño Oscilación del Sur ENSO y el balance de masa anual (Escobar *et al.* 1995). La relación del balance de masa con ENSO y la precipitación invernal ha sido también registrada con el balance de masa del glaciar Piloto - Este en Argentina (Leiva *et al.* 2007). El objetivo central de este trabajo ha sido analizar las relaciones entre el balance de masa anual del glaciar Echaurren Norte y las temperaturas máxima, media y mínima del aire medidas en la estación El Yeso, ubicada a 2475 m.s.n.m., entre el período 1977-2010.

Los resultados obtenidos muestran una significativa disminución en la acumulación y el balance de masa anual del glaciar Echaurren Norte entre los años 2000–2010 ($P < 0,05$), y un aumento significativo de la ablación desde 1993 ($P < 0,1$). En el período 1977-2010, la temperatura máxima mensual muestra un incremento significativo en enero y febrero ($P < 0,05$), lo mismo ocurre con las temperaturas medias de junio ($P < 0,05$), octubre ($P < 0,05$) y de verano (diciembre – febrero; $P < 0,01$).

Además para el período 1977-2010, se obtuvieron relaciones significativas entre:

- La temperatura máxima promedio de junio – diciembre con la ablación ($r = 0,57$, $P < 0,001$) y el balance de masa anual ($r = -0,76$, $P < 0,001$)
- La acumulación con la temperatura máxima promedio de agosto – diciembre ($r = -0,63$, $P < 0,001$)
- La acumulación con la temperatura media de abril – junio ($r = -0,46$, $P < 0,01$)
- La temperatura media de abril - diciembre con la ablación ($r = 0,49$, $P < 0,01$)

La acumulación promedio entre 1977-2010 ha sido de 2,68 m eq.a, y los valores superiores al promedio ocurren principalmente en los períodos 1977-1990 y 1997-2002.

Los resultados sugieren que los cambios en las temperaturas de primavera y verano estarían induciendo en parte el aumento en la ablación y un balance de masa negativo del glaciar Echaurren Norte, particularmente en la última década.

En el caso de la precipitación en Chile Central, la principal fuente de acumulación de masa, no ha registrado una clara tendencia en las últimas décadas del siglo XX (Quintana 2004), sin embargo se ha registrado una fuerte variabilidad decadal e inter-decadal en el último siglo, y una disminución de la precipitación en Chile Central especialmente en los primeros años del siglo XXI (*ver* Quintana y Aceituno 2012). Un descenso de las precipitaciones anuales y de invierno han sido registradas también en la estación El Yeso entre los años 2000-

2010. Una futura evaluación de este extenso registro con otras variables físicas (e.g. tasa de fusión nival y hielo glaciar) podría ayudar a comprender en mayor profundidad la evolución de este importante glaciar. El cambio observado en el Echaurren Norte desde hace varios años, de un glaciar “blanco” hacia un glaciar cubierto por detritos es muy representativo de la criósfera de los Andes centrales de Chile (Figura 1). La comprensión de las consecuencias que eso tiene en el balance de masa merece también ser mejorada (Bodin *et al.* 2010).

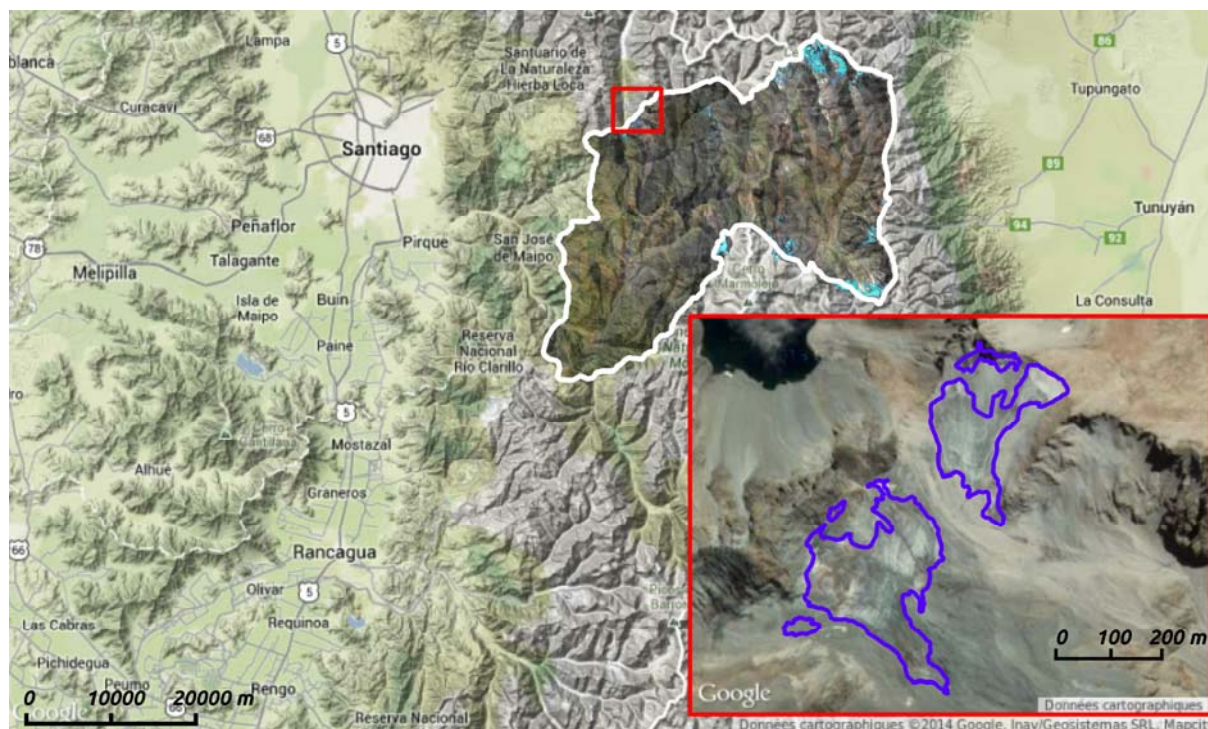


Figura 1: Ubicación del glaciar Echaurren Norte, en la sub cuenca del río El Yeso (línea blanca). El cuadro abajo muestra la delimitación (línea azul) de los 2 cuerpos principales (fuente: DGA). Es notable la importancia de la cobertura de detritos. Mapas con OpenLayer plugin in QGIS.

- Bodin, X., Rojas, F. y Brenning, A. 2010. State and recent evolution of the cryosphere in the Andes of Santiago (Chile, 33.5°S). *Geomorphology*, 118: 3-4. 453-464. DOI: 10.1016/j.geomorph.2010.02.016 .
- Escobar, B., Cassassa, G. y Pozo, V. 1995. Variaciones de un glaciar de montaña en los Andes de Chile Central en las últimas dos décadas. *Bull. Inst. fr. études andines*. 24 (3): 683 – 695.
- Leiva, J.C., Cabrera, G. y Lenzano, L.E. 2007. 20 years of mass balances on the Piloto glacier, Las Cuevas River basin, Mendoza, Argentina. *Global and Planetary Change*. 59: 10 – 16.
- Quintana, J. 2004. Estudio de los factores que explican la variabilidad de la precipitación en Chile en escalas de tiempo interdecadal. MSc Thesis, Departamento de Geofísica, Universidad de Chile, 88 p.
- Quintana, J.M. y Aceituno, P. 2012. Changes in the rainfall regime along the extratropical west coast of South America (Chile): 30-43°S. *Atmósfera*. 25: 1 – 22.
- Rabatel, A., Francou, B., Soruco, A., Gómez, J., Cáceres, B., Ceballos, J. L., Basantes R., Vuille, M., Sicart, J.E., Huggel, C., Scheel, M., Lejeune, Y., Arnaud, Y., Collet, M., Condom, T., Consoli, G., Favier, V., Jomelli, V., Galarraga, R., Ginot, P., Maisincho, L., Mendoza, J., Ménégos, M., Ramírez, E., Ribstein, P., Suarez, W., Villacis, M. y Wagnon, P. 2013. Current state of glaciers in the tropical Andes: a multi-century perspective on glacier evolution and climate change. *Cryosphere* 7: 81–102.
- Zemp, M., Hoelzle, M. y Haeberly, W. 2009. Six decades of glacier mass-balance observations: a review of the worldwide monitoring network. *Annals of Glaciology* 50: 101 – 111.