

INTRODUCCIÓN AL DOSSIER

Geografía de montaña: situación de las fuentes y reservas de agua dulce en los Andes

Mountain geography: situation of fresh water sources and reserves in the Andes

Coordinadores del dossier:

Dr. Andrés Lo Vecchio

 orcid.org/0000-0002-3606-9160

Departamento de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional de Cuyo, Argentina

Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

 anlovecchio@ffyl.uncu.edu.ar

Dr. Sebastián Andrés Crespo

 orcid.org/0000-0003-3142-751X

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile

Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2)

 sebastian.crespo@pucv.cl

La disponibilidad de agua dulce de fácil acceso es apenas una fracción diminuta del total que existe en el planeta Tierra; de hecho, menos de una diez milésima parte de esta se puede usar con facilidad y a un costo razonable (Guhl Nannetti, 2010). El rápido crecimiento de la población mundial se traduce en un aumento de la demanda hídrica y en la contaminación de los reservorios y fuentes de agua dulce, creando una tendencia progresiva hacia la escasez. La posibilidad de conflictos internacionales en cuencas compartidas por varios países ya se evidencia, en

especial en zonas con baja disponibilidad de agua. Por estas razones, las regiones con abundante agua son el objetivo estratégico de intereses que aspiran a crear un mercado basado en el control de un bien indispensable para la vida.

A nivel mundial, cerca del 70% de las reservas de agua dulce se encuentran en glaciares y casquetes polares. Apenas el 0,3% se encuentra en lagos y ríos, mientras que la porción restante está distribuida entre aguas subterráneas, humedad del suelo, pantanos y humedad atmosférica (Williams y Ferrigno 2012). En Sudamérica, la cordillera de los Andes es un eje estructurador del espacio geográfico y desde su levantamiento ha configurado una amplia variedad de topoclimas que resultan en una gran diversidad de fuentes y reservas de agua dulce que históricamente han sido aprovechadas por los enclaves humanos (Secretaría General de la Comunidad Andina, 2007).

A escala regional, las fuentes y reservas de agua estratégicas para los habitantes del dominio andino pueden resumirse en las precipitaciones sólidas y líquidas, en el ambiente glaciar y periglaciar, en los humedales y los acuíferos subterráneos. La significancia de cada una de estas sugiere un claro componente espacial: en el extremo sur de Sudamérica los regímenes hídricos son ultraglaciares (Vich 1996) (ej. río Santa Cruz), situación que comienza a transformarse hacia Patagonia Norte y Andes centrales donde el régimen es particularmente nival (Masiokas et al. 2016, 2009; Lauro et al., 2016), aunque en años secos son los glaciares los que aportan hasta más de la mitad de los caudales (Crespo et al. 2020^{a,b}). El régimen nival domina los ríos andinos de los andes áridos, incluso en el altiplano boliviano-peruano en torno al lago Titicaca. Finalmente, hacia la zona ecuatorial el régimen hídrico de los ríos andinos tiene una fuerte componente pluvial, aunque al igual que en los Andes centrales, en años secos los glaciares juegan un rol preponderante en el sostén de caudales ecológicos (Buytaert et al., 2017).

La reducción y pérdida de masa glaciar ha sido evidenciada sobre los diferentes ambientes glaciales de los Andes, con las máximas pérdidas en los Andes Patagónicos del sur y en los Andes Tropicales (Dussaillant et al. 2019). Mientras que en los Andes extratropicales la causa parece ser la reducción de la precipitación nival (Mernild et al. 2017), en los Andes tropicales el calentamiento del océano Pacífico ha mostrado ser quien modula esa reducción (Veettil y Kamp 2017; Veettil et al., 2018).

De hecho, durante el siglo XX las precipitaciones no reportaron una tendencia negativa o positiva significativa (Rabatel et al. 2013).

En muchas de las regiones áridas y semiáridas de Sudamérica el agua de ablación nivoglaciaria es la única fuente para consumo humano, agricultura, industria, al mismo tiempo que para otros organismos vivos y el sostén de ecosistemas. Incluso, se ha observado el fuerte control de la presencia (ausencia) de ríos perennes en la fundación de asentamientos humanos, especialmente en el sector occidental de la República Argentina (Lo Vecchio 2020). En ese contexto, la deglaciación generalizada y acelerada observada desde principios del siglo XX está impactando en la organización y gestión de las sociedades. Un ejemplo son los nuevos escenarios de riesgo producto del incremento de la exposición a peligros naturales (Orlove et al., 2008).

Las Naciones Unidas estimó que, en el año 2019, 2.200 millones de personas no tuvieron acceso al suministro de agua tratada y 4.200 millones no contaron con acceso al saneamiento básico (WHO-UNICEF, 2019), dos condiciones fundamentales para llevar una vida saludable y digna. Existe una valoración creciente del agua, su importancia funcional, simbólica y recreacional la reafirma como el recurso esencial para la vida (Guhl Nannetti 2010). En ese contexto, la protección y conservación de las fuentes y reservas de agua dulce comienza a ser una preocupación de la comunidad en general, como el caso de Argentina que desde 2010 cuenta con la Ley Nacional de Glaciares (N° 26.639) que establece y considera a los glaciares como reservas estratégicas de recursos hídricos (Zalazar et al. 2017). En ese marco, en la República de Chile se están llevando adelante intentos similares a favor de la legislación que proteja el ambiente glaciar como recurso estratégico.

Persiguiendo un espíritu de contribución y fortalecimiento sobre el conocimiento existente acerca de las fuentes y reserva de agua dulce en los Andes, e incluso sobre los aspectos referidos a su manejo y gestión, este dossier está compuesto por ocho trabajos (seis artículos científicos y dos reseñas). En total, 16 autores han participado de este número.

El factor común entre los diversos trabajos científicos aquí presentados tiene que ver con la identificación y análisis de procesos de sequías naturales y eventualmente

estimuladas por la actividad antrópica, como lo muestra Justinne Rybertt en su trabajo **“Hidrogeología y modelo conceptual del acuífero de Petorca en el sector alto de la cuenca homónima. Región de Valparaíso, Chile”** en donde en un marco de sequía natural, los efectos de la actividad antrópica estarían jugando un rol preponderante en la intensificación de esas condiciones previas.

En ese contexto, el trabajo de J. Rivera, C. Lauro y S. Otta **“Cuantificación del déficit hidrológico reciente en la región de Cuyo a partir de indicadores de caudales bajos”** nos pone de manifiesto las sequías hidrológicas experimentadas por los ríos andinos de la región de Cuyo (Argentina), especialmente a partir de 2010. En particular, los déficits más pronunciados fueron identificados en los registros de los ríos Atuel y Colorado, ambos al sur de la provincia de Mendoza.

En esa sintonía, el trabajo **“Recursos hídricos superficiales de la vertiente oriental de los Andes Centrales (28°-37°S) en contexto de variabilidad hidroclimática”** de C. Lauro, A. Vich, S. Otta, S. Moreiras, E. Vaccarino y L. Bastidas muestra la relación existente en los Andes Centrales argentinos entre la reducción de precipitaciones y caudales, al mismo tiempo que la tendencia es positiva para las temperaturas, lo cual soporta los escenarios de sequías hidrológicas abordados por Rivera y colaboradores. En un esfuerzo equivalente, A. Hernández Duarte en **“Cambios en la cobertura de nieve y su relación con el caudal para la caracterización, monitoreo y gestión de las cuencas de montaña en los Andes extratropicales de Chile entre los 29° y 37°S utilizando teledetección”** muestra la estrecha dependencia de los caudales y la precipitación sólida en Andes Centrales chilenos, con un rango de desfase entre 60 y 160 días de la máxima superficie cubierta de nieve y el máximo caudal registrado.

La reducción de las precipitaciones y el aumento de las temperaturas han estimulado el retroceso del ambiente glaciar, eventualmente traducido en la formación de lagos y lagunas. Estos pueden significar un recurso hídrico alternativo para las comunidades andinas, como también una amenaza. De allí que M. Correas y S. Moreiras en **“El recurso hídrico asociado a lagos en los Andes Centrales de Argentina (31°-36° S)”** mapean y analizan 641 cuerpos de agua localizados en Andes Centrales e identifican su origen como insumo de base para los tomadores de decisiones.

En vistas de las sequías hidrológicas presentes y proyectadas, la gestión del recurso hídrico asume un rol preponderante entre las acciones llevadas adelante para mitigar los efectos del Cambio Ambiental Global. En la República Argentina existe un marco jurídico que norma las fuentes y reservas de agua dulce, tema abordado en el artículo de M. Pinto y L. Martín “**Las formas jurídicas de las fuentes y reservas de agua en los Andes argentinos**”. Allí, los autores evalúan el efecto de la modificación del Código Civil y Comercial (2015) respecto de la titularidad dominial del recurso hídrico en las distintas etapas de su ciclo.

En ese contexto, uno de los instrumentos existentes para la protección del recurso hídrico es el Inventario Nacional de Glaciares, quien es presentado en sus principales términos en la reseña de C. Martínez “**Atlas de glaciares de la Argentina**”. De ese inventario se desprende que el 52% de la cubierta glacial presente en los Andes de Argentina está concentrada en la cuenca del río Santa Cruz, la cuenca “del futuro” de acuerdo la reseña de tesis doctoral presentada por A. Lo Vecchio “**Dinámica glacial de la cuenca del río Santa Cruz, Andes Patagónicos Australes: el agua del futuro**”. En esta, se muestra como el comportamiento de los glaciares más extensos del país han experimentado un comportamiento dispar entre ellos, incluso en casos donde comparten zona de alimentación. Esto último pone de manifiesto la necesidad de estudios locales.

BIBLIOGRAFÍA

Crespo, S., Fernandoy, F., Cara, L., Klarian, S., y Lavergne, C.. (2020)^a. First snow, glacier and groundwater contribution quantification in the upper Mendoza River basin using stable water isotopes. *Isotopes in Environmental and Health Studies* 56 (5-6): 566-85. <https://doi.org/10.1080/10256016.2020.1797713>.

Crespo, S., Lavergne, C., Fernandoy, F., Muñoz, A., Cara, L., y Olfos-Vargas, S.,. 2020^b. Where does the Chilean Aconcagua river come from? Use of natural tracers for water genesis characterization in glacial and periglacial environments. *Water (Switzerland)* 12 (9). <https://doi.org/10.3390/w12092630>.

Dussailant, I., Berthier, E., Brun, F., Masiokas, M., Hugonnet, R., Favier, V., Rabatel, A., Pitte, P. y L. Ruiz. 2019. «Two decades of glacier mass loss along the Andes». *Nature Geoscience* 12 (10): 802-8. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0432-5>.

Guhl Nannetti, E., (2010). *El agua de los Andes. Un recurso clave para el desarrollo e integración de la región*. Lima. <http://www.flickr.com/photos/twiga269>.

Lauro, C., Vich, A., y Moreiras, M., (2016). Streamflow variability of river basins from Cuyo region. *Geoacta* 40 (2): 28-51.

Lo Vecchio, A.. (2020). "Dinámica glaciar de la cuenca del río Santa Cruz, Andes Patagónicos Australes: estudio y análisis multiescalar mediante el uso de geotecnologías". Tesis de Doctorado en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras ,Universidad Nacional de Cuyo.

Masiokas, M., Christie, D., Le Quesne, C., Pitte, P., Ruiz, L., Villalba,R., Luckman, B., et al. (2016). Reconstructing the annual mass balance of the Echaurren Norte glacier (Central Andes, 33.5° S) using local and regional hydroclimatic data. *Cryosphere* 10 (2): 927-40. <https://doi.org/10.5194/tc-10-927-2016>.

Masiokas, M., Rivera, A., Espizua,L., Villalba,R., Delgado,S, y Aravena,J. C., 2009. Glacier fluctuations in extratropical South America during the past 1000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281 (3-4): 242-68. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2009.08.006>.

Mernild, S. , Liston, G., Hiemstra, C., Malmros, J., C. Yde, J., y McPhee, J., (2017). The Andes Cordillera. Part I: snow distribution, properties, and trends (1979–2014). *International Journal of Climatology* 37 (4): 1680-98. <https://doi.org/10.1002/joc.4804>.

Orlove, B.,Wiegandt, E., y Luckman.B., (2008). *Darkening peaks : glacier retreat, science, and society*. University of California Press. https://books.google.com.ar/books?hl=es&lr=&id=vgJ1EKyK8RoC&oi=fnd&pg=PA3&dq=darkening+peaks&ots=Wh0xE5xDX8&sig=xeswnRma8WenH2CP9L_cMNSMqwU&redir_esc=y#v=onepage&q=darkening+peaks&f=false.

Rabatel, A., Francou, A. Soruco, J. Gomez, B. Cáceres, J. L. Ceballos, Basantes, R., et al. (2013). Current state of glaciers in the tropical Andes: A multi-century perspective on glacier evolution and climate change. *Cryosphere* 7 (1): 81-102. <https://doi.org/10.5194/tc-7-81-2013>.

Secretaría General de la Comunidad Andina, Instituto de Investigación para el Desarrollo, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, y Agencia Española de Cooperación Internacional. (2007). *¿El Fin de las Cumbres Nevadas? Glaciares y Cambio Climático en la Comunidad Andina*. http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-03/010042829.pdf.

Veettil, Bijeesh K., y Kamp.U., (2017). Remote sensing of glaciers in the tropical Andes: a review. *International Journal of Remote Sensing* 38 (23): 7101-37. <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1371868>.

Bijeesh Kozhikkodan, V., Wang, S., Cardia Simões, J., Ruiz Pereira,S y Florêncio de Souza.S., (2018). Regional climate forcing and topographic influence on glacier shrinkage: eastern cordilleras of Perú. *International Journal of Climatology* 38 (2): 979-95. <https://doi.org/10.1002/joc.5226>.

Vich, A., (1996). *Aguas continentales: formas y procesos*. Primera. Mendoza: Centro de Economía, Legislación y Administración del Agua.

WHO-UNICEF. (2019). Agua | Naciones Unidas. *Agua*. 2019. <https://www.un.org/es/global-issues/water>.

Williams, R. y Ferrigno. J. (2012). State of the Earth's Cryosphere at the Beginning of the 21st Century: Glaciers, Global Snow Cover, Floating Ice, and Permafrost and Periglacial Environments - Global Snow Cover. *Satellite Image Atlas of Glaciers of the World*, 254. <http://pubs.usgs.gov/pp/p1386a/gallery1-fig16.html>.

Wouter, B., Moulds, S., Acosta, L., De Bièvre, B., Olmos, C., Villacis, M., Tovar, C., y Verbist, K., (2017). Glacial melt content of water use in the tropical Andes, *Environmental Research Letters* 12 (11). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa926c>.

Zalazar, L., Ferri, L., Castro, M., Gargantini, H., Giménez, M., Pitte, P., Ruiz, L. y Masiokas, M., (2017). Glaciares de Argentina : Resultados Preliminares del Inventario Nacional de Glaciares Glaciers of Argentina : Preliminary Results of the National Inventory of Glaciers, (2), (13-22 pp.) October.

LOS AUTORES

Andrés Lo Vecchio Repetto, es Geógrafo profesional y Doctor en Geografía por la Universidad Nacional de Cuyo. Actualmente posee una beca postdoctoral de CONICET y es Profesor Asociado Interino de las de Filosofía y Letras (UNCuyo). Su actividad científica está mayormente orientada al estudio de la dinámica glaciar en los Andes Argentinos a través de la integración de técnicas geomáticas, todo ello traducido en más de 10 publicaciones científicas en revistas de relevancia internacional. Además, también está interesado en el desarrollo y aplicación de herramientas digitales en la enseñanza de la Geografía a través de la construcción de la primera Mesa Topográfica Digital de una Universidad Pública de la República Argentina y en el desarrollo de modelos de Realidad Aumentada de diversos escenarios naturales y humanizados.

Sebastián Andrés Crespo Oliva, es Ingeniero Agrónomo de la Universidad Nacional de Cuyo, Doctor en Ciencias Aplicadas otorgado por la Universidad Nacional de Luján y doctorando en Ciencias Sociales con orientación en Geografía de la Universidad Nacional de Tucumán. Realizó y finalizó un postdoctorado en CONICET (Argentina) y otro en CONICYT (Chile, Fondecyt N°3180682). Actualmente es Director del Laboratorio de Territorios Hidrosociales y Cambio Climático, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile. Es investigador del Centro de Acción Climática y Profesor Asociado en el Instituto de Geografía de dicha universidad. Es investigador del Centro de Ciencia del Clima y Resiliencia (CR)2.