ATLAS DE GLACIARES Y AGUAS ANDINOS

EL IMPACTO DEL RETROCESO DE LOS GLACIARES SOBRE LOS RECURSOS HÍDRICOS

Ediciones UNESCO

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

GRID ARENDAL

A Centre collaborating with UN Environment

Desde la sombra de una vivienda de adobe que domina el río Santa, en Perú, Jimmy Melgarejo contempla con los ojos entrecerrados los picos mellizos de la montaña de Huascarán, que se eleva hacia un cielo sin nubes. "La nieve sigue alejándose," dice Melgarejo, un agricultor preocupado por su subsistencia. "Va subiendo, poco a poco. Cuando desaparezca, no habrá agua."

(de Fraser 2012)

Publicado por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), 7, place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP, Francia, y GRID-Arendal, P.O. Box 183, N-4802 Arendal, Noruega

© UNESCO y GRID-Arendal, 2018
UNESCO ISBN 978-92-3-300103-9
GRID-Arendal ISBN 978-82-7701-178-3

Esta publicación está disponible en acceso abierto bajo la licencia Attribution-ShareAlike 3.0 IGO (CC-BY-SA 3.0 IGO) (http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/). Al utilizar el contenido de la presente publicación, los usuarios aceptan las condiciones de utilización del Repositorio UNESCO de acceso abierto (www.unesco.org/open-access/terms-use-ccbysa-sp).

Título original en inglés: The Andean Glacier and Water Atlas

Publicado en 2018 por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura y GRID-Arendal. Esta licencia se aplica exclusivamente al contenido de texto de la publicación. Antes de utilizar cualquier material que no se haya identificado de forma clara como propiedad de la UNESCO o de GRID-Arendal, se debe solicitar permiso a: publication.copyright@unesco.org o UNESCO Publishing, 7, place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP Francia, o a GRID-Arendal, P.O. Box 183, N-4802 Arendal, Noruega.

Los términos empleados en esta publicación y la presentación de los datos que en ella aparecen no implican toma alguna de posición de parte de la UNESCO ni de GRID-Arendal en cuanto al estatuto jurídico de los países, territorios, ciudades o regiones ni respecto de sus autoridades, fronteras o límites.

Las ideas y opiniones expresadas en esta obra son las de los autores y no reflejan necesariamente el punto de vista de la UNESCO ni el de GRID-Arendal, y no comprometen a estas organizaciones.

Flanders
State of the Art

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

Programa Hidrológico Internacional

El Atlas de Glaciares y Aguas Andinos se ha elaborado en el marco del proyecto “Impacto del Retroceso Glaciar en los Andes: Red Internacional para Estrategias de Adaptación”, ejecutado por el Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO con el respaldo del Fondo Fiduciario UNESCO-Flandes en apoyo a la ciencia (FUST).

Citación recomendada: Schoolmeester, T., Johansen, K.S., Alfthan, B., Baker, E., Hesping, M. y Verbist, K., 2018. *Atlas de Glaciares y Aguas Andinos. El impacto del retroceso de los glaciares sobre los recursos hídricos*. UNESCO y GRID-Arendal.

Editores
Tina Schoolmeester, GRID-Arendal, Noruega
Koen Verbist, UNESCO-PHI, Francia

Autores principales
Kari Synnøve Johansen, GRID-Arendal, Noruega
Björn Alfthan, GRID-Arendal, Noruega
Elaine Baker, GRID-Arendal (en la Universidad de Sydney), Noruega
Malena Hesping, GRID-Arendal, Noruega
Tina Schoolmeester, GRID-Arendal, Noruega
Koen Verbist, UNESCO-PHI, Francia

Colaboradores
Wouter Buytaert, Imperial College of London, Reino Unido
Gino Casassa, Geoestudios y Universidad de Magallanes, Chile
Raquel Guaite Llabata, Perú
Rodolfo Iturraspe, Universidad Nacional de Tierra del Fuego, Argentina
Anil Mishra, UNESCO-PHI, Francia
Elma Montaña, Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Mundial (IAI)
Andres Rivera, Centro de Estudios Científicos, Chile
Lucas Ruiz, Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales, Argentina
Wilson Suarez Alayza, SENAMHI, Perú
Mathias Vuille, Universidad de Albany, Universidad Estatal de Nueva York, Estados Unidos de América

Otros colaboradores
Marina Antonova, GRID-Arendal, Noruega
Barbara Avila, UNESCO-PHI, Francia
Louis Dorémus, GRID-Arendal, Noruega
Hanna Lønning Gjerdi, GRID-Arendal, Noruega
Joan Fabres, GRID-Arendal, Noruega
Marie-Claire Hugon, UNESCO-PHI, Francia
Laura Puikkonen, GRID-Arendal, Noruega
Laura Wallace, UNESCO-PHI, Francia
Levi Westerveld, GRID-Arendal, Noruega

Revisores externos
Mathias Vuille, Universidad de Albany, Universidad Estatal de Nueva York, Estados Unidos de América
Bolívar Cáceres, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Ecuador

Maquetación
GRID-Arendal

Edición de originales
Strategic Agenda, London

Cartografía
Riccardo Pravettoni, GEO-GRAPHICS

Fotografías de la portada: iStock/naphtalina y iStock/cta88

ATLAS DE GLACIARES Y AGUAS ANDINOS

EL IMPACTO DEL RETROCESO DE LOS GLACIARES SOBRE LOS RECURSOS HÍDRICOS

7 Prólogo

8 Mensajes clave

10 Recomendaciones de políticas

12 Introducción

14 Picos, mesetas y valles

25 Vivir en los Andes

32 El cambio del clima

41 Disminución del hielo

52 Deshielo acelerado de los glaciares

62 La respuesta a los retos hídricos

70 Recomendaciones de políticas

72 Bibliografía

Prólogo

Es difícil alcanzar y conservar la seguridad hídrica en las zonas vulnerables, como las regiones áridas y montañosas. Sin embargo, las previsiones de aumento de la variabilidad climática apuntan a que, probablemente, la situación se irá complicando. Para hacer frente a estas circunstancias, resulta esencial desarrollar políticas de adaptación y mitigación basadas en el conocimiento científico del impacto del clima sobre la seguridad hídrica. En la región andina, los problemas más importantes son la escasez de agua y la incertidumbre sobre los recursos hídricos; muchos valles andinos sufren sequía estacional y dependen de la escorrentía glaciar para satisfacer las necesidades de los habitantes, incluyendo producción energética y de alimentos, y de los ecosistemas.

El Atlas de glaciares y aguas andinos se ha compilado en el marco de un proyecto multidisciplinar iniciado por la UNESCO y con el apoyo del Fondo Fiduciario de Flandes (FUST). El proyecto "Impacto del Retroceso Glaciar en los Andes: Red Multidisciplinaria Internacional para Estrategias de Adaptación" tiene como objetivo mejorar el conocimiento de las vulnerabilidades, oportunidades y posibilidades de adaptación al cambio, en especial al cambio climático.

El Atlas ilustra la importante reducción de la masa de glaciares que se está observando en toda la región. También cuantifica la contribución de los glaciares al suministro de agua potable para las ciudades, la agricultura, la energía hidroeléctrica y las industrias, como la minería. Las conclusiones destacan el impacto del retroceso de los glaciares sobre la disponibilidad y seguridad del agua para millones de personas.

La dependencia actual del agua de deshielo glaciar junto con los cambios medibles que se están observando indican la necesidad de reforzar el diálogo científico-normativo. Este tipo de debate contribuiría a la concienciación sobre el impacto de los glaciares en retroceso sobre los recursos hídricos. Varios países andinos han puesto en marcha iniciativas de protección y conservación de los glaciares y de sus reservas estratégicas de agua de montaña. Estas medidas ilustran de forma concreta cómo hacer frente a los desafíos sin perder de vista el contexto local.

El Atlas ofrece recomendaciones específicas para abordar las cuestiones de vulnerabilidad y seguridad hídricas, por ejemplo, mejorar el conocimiento sobre los efectos del cambio climático en las comunidades a fin de fortalecer las capacidades locales para desarrollar respuestas adaptativas específicas. La urbanización continuada y la menor escorrentía de los glaciares conllevará retos adicionales para las ciudades montañosas cuyo abastecimiento de agua depende actualmente de los glaciares. La gobernanza mejorada de los recursos hídricos será clave para garantizar que los usos del agua que entren en conflicto se gestionen de forma adecuada pese a la presión adicional.

El Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO continuará prestando apoyo a los países andinos, en concreto a través de su octava fase (2014-2021, "Seguridad hídrica. Respuestas a los retos locales, regionales y globales") y fortaleciendo el Grupo de Trabajo de Nieves y Hielos en América Latina. Además, el Atlas contribuye de forma directa a la aplicación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), el Acuerdo de París y el Marco de Sendái para la Reducción del Riesgo de Desastres.

Nos gustaría dar las gracias al Gobierno de Flandes y al Real Ministerio de Clima y Medio Ambiente de Noruega por su apoyo financiero para la publicación, así como a todas las partes interesadas implicadas, como científicos, organismos gubernamentales, políticos, países participantes y la Familia del Agua del Programa Hidrológico Internacional (PHI).

Blanca Jiménez-Cisneros
Directora de la División de Ciencias del Agua
Secretaria del Programa Hidrológico Internacional (PHI)
en la UNESCO

Peter Harris
Director Ejecutivo
GRID-Arendal

Mensajes clave

Las temperaturas han ido en aumento en los Andes. Hay evidencia de la amplificación por altitud, fenómeno por el que las temperaturas aumentan más rápido a mayor altitud.

La temperatura media anual de la mayoría de los países de los Andes tropicales (Venezuela, Colombia, Ecuador y Perú) creció en 0,8 ºC aproximadamente durante el siglo XX. La altitud de la cota de congelación también ha aumentado en unos 45 m de media en la región. En las montañas andinas de Chile y Argentina, desde mediados de los años setenta, las temperaturas han aumentado entre 0,2 ºC y 0,3 ºC cada decenio.

Según algunas previsiones, las temperaturas podrían aumentar aún más en los Andes tropicales, entre 2 ºC y 5 ºC, antes del fin del siglo XXI. En los Andes meridionales, las temperaturas podrían subir entre 1 ºC y 7 ºC.

Además, es posible que el nivel de calentamiento sea más alto en las zonas más elevadas. También se puede esperar una variabilidad de temperatura interanual mucho mayor y una probabilidad mucho más alta de años extremadamente calurosos. Incluso los años más fríos podrían ser mucho más cálidos que los años más cálidos de la época actual.

Las tendencias pasadas de precipitación son menos claras, pero existen indicios que apuntan a una reducción de la cubierta de nieve en los últimos decenios.

Resulta difícil determinar las tendencias de precipitación de los Andes debido a la ausencia de registros de observación a largo plazo fiables. La precipitación anual ya es sumamente variable porque depende de la ubicación y de la actividad de El Niño. No obstante, la cubierta de nieve ha experimentado una tendencia general a la baja durante los dos últimos decenios, en línea con el aumento de las temperaturas. Esta evolución se ha observado especialmente en la parte central y en las vertientes orientales de los Andes. En los Andes meridionales, la línea de nieve también está subiendo, lo que aumenta el riesgo de crecidas repentinas aguas abajo.

Resulta difícil estimar las tendencias de precipitación futuras, ya que las previsiones muestran un panorama dispar en la región de los Andes.

La mayoría de los modelos pronostican un aumento de las precipitaciones durante la estación húmeda y un descenso durante la estación seca en los Andes tropicales, así como en la región del Altiplano. De acuerdo con el escenario de emisiones altas del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), de aquí a 2100, está previsto que las precipitaciones aumenten en las regiones costeras de Colombia y Ecuador y en algunos lugares de los Andes orientales y al sur del ecuador. Sin embargo, se prevé que, para entonces, las precipitaciones disminuirán en los Andes meridionales (tropicales), con inclusión de las regiones del Altiplano, lo que haría aumentar la sequía. Se esperan reducciones importante de las precipitaciones, de más del 30%, en los Andes meridionales, en especial en Chile y Argentina.

Los glaciares están retrocediendo en todos los países andinos. El proceso más rápido corresponde a los glaciares de menor altitud de los Andes tropicales.

Aunque la mayoría de los glaciares del mundo llevan retrocediendo desde principios del siglo XVIII el rápido retroceso de los glaciares andinos de los últimos tiempos está asociado con el cambio climático antropógenico. El ritmo de retroceso y desaparición de determinados glaciares es especialmente rápido en los Andes tropicales. En Venezuela solo queda un glaciar, y se espera que desaparezca de aquí a 2021. En Colombia se ha registrado un retroceso rápido, que se ha acelerado en los últimos decenios. Es probable que, para mediados del presente siglo, solo permanezcan los glaciares más grandes en los picos más altos. Los glaciares del Ecuador están circunscritos a los picos más altos del país y a dos cordilleras, pero en los últimos 50 o 60 años la reducción glaciar ha sido enorme. El Perú alberga el mayor número de glaciares tropicales del continente. Los glaciares de la Cordillera Blanca, uno de los dos sistemas glaciares nacionales más importantes, han experimentado un retroceso rápido en los últimos decenios, aunque se han registrado algunos períodos de crecimiento breves. Los glaciares de Bolivia también han ido retrocediendo con rapidez desde la década de los ochenta, y algunos de ellos han perdido dos tercios de su masa o más. Muchos de los glaciares con superficie inferior a 0,5 km^2 son tan pequeños que son aún más vulnerables al retroceso. En Chile y Argentina, la mayoría de los glaciares están retrocediendo, y el ritmo de retroceso ha aumentado en los últimos decenios. Los grandes glaciares de agua dulce y marinos, de baja altitud de la Patagonia y Tierra de Fuego han experimentado un retroceso rápido. Este fenómeno también se observa en los glaciares de mayor altitud, aunque a un ritmo menor. Algunos glaciares continúan avanzando debido a la dinámica local del hielo

El retroceso de los glaciares y la pérdida de volumen son una realidad y continuarán en el futuro en todas las regiones de los Andes, lo que provocará cambios hidrológicos importantes. Esto afectará a las comunidades y los ecosistemas.

La magnitud de la pérdida proyectada depende del escenario de calentamiento del IPCC en el que se basen las proyecciones. Los glaciares continuarán menguando en todos los casos, incluso en los escenarios con menos calentamiento. Se espera que el retroceso y la pérdida de volumen más drásticos se produzcan en los glaciares tropicales, donde, incluso según los escenarios de calentamiento moderados, se prevén pérdidas del 78% al 97% del volumen antes de finales de siglo. Se espera que los glaciares de los Andes meridionales continúen disminuyendo y que el ritmo de la pérdida se acelere.

En algunas épocas del año, el agua de deshielo de los glaciares es una fuente de agua fundamental para millones de personas, en especial para las poblaciones de las tierras altas andinas de Bolivia, Chile y el Perú.

Sin embargo, su importancia es estacional y desigual a lo largo de los Andes, ya que los habitantes de algunas regiones dependen más de ella que otros. Las tierras altas andinas de Bolivia, el norte de Chile y el sur del Perú son puntos críticos de estrés hídrico debido a su clima semiárido y su marcada estacionalidad. Dada la limitada capacidad hidrológica de almacenamiento de las pequeñas cuencas de las tierras altas, el agua de deshielo glaciar ha constituido hasta hoy en día un importante mecanismo de amortiguación.

Durante los años de sequía, el agua de deshielo de los glaciares resulta crítica para algunas zonas.

El agua de deshielo de los glaciares puede ser extremadamente importante, en especial en la región de los Andes tropicales, que tiene una gran densidad de población y algunos centros demográficos importantes. En un año normal, el agua de deshielo glaciar representa aproximadamente el 5% del suministro de agua en Quito (Ecuador), el 61% en la Paz (Bolivia) y el 67% en Huaraz (el Perú). En un año de sequía, la contribución mensual media máxima de agua de los glaciares llega aproximadamente al 15% en Quito, al 85% en La Paz y al 91% en Huaraz.

Se ha alcanzado el “pico hídrico” (peak water) en muchos glaciares de los Andes, lo que significa que la escorrentía del agua de deshielo continuará disminuyendo en el futuro.

A medida que se derriten, los glaciares suministran agua de deshielo. El pico hídrico es el momento en que la escorrentía de agua de deshielo está en su nivel máximo. En la década de los ochenta se alcanzó el pico hídrico en muchos glaciares de los Andes tropicales, los cuales han ido reduciendo su contribución de agua de deshielo con el paso del tiempo. En muchos glaciares, el pico hídrico se ha alcanzado recientemente o se alcanzará en los próximos 20 años. En el futuro, la pérdida de glaciares provocará la reducción a largo plazo del caudal procedente de cuencas glaciares en la estación seca. Los efectos más graves se percibirán en las zonas donde el agua de deshielo representa una parte importante del suministro de agua disponible, en especial durante la estación seca. En consecuencia, estas son las zonas con más necesidad de adaptarse a la menor disponibilidad de agua de deshielo de los glaciares.

La adaptación al cambio climático es esencial para sociedades y ecosistemas saludables.

La región andina está experimentando cambios climáticos importantes que tendrán consecuencias graves para el medio ambiente y para la vida de muchos lugareños. Las comunidades tendrán que hacer frente a los desafíos derivados del cambio climático, como la escasez y la impredectibilidad de la disponibilidad de agua, las inundaciones y otros peligros de origen climático. Para evitar la maladaptación, la adaptación debe apoyarse en un análisis meticuloso de los factores socioeconómicos subyacentes a la vulnerabilidad al cambio climático.

Recomendaciones de políticas

Aumentar el apoyo para las decisiones sobre políticas basadas en el conocimiento científico

La interacción entre la ciencia y las políticas es con frecuencia débil y se ve obstaculizada por la definición de metas y objetivos comunes. Es necesario abordar los problemas de forma conjunta y conseguir una interacción más efectiva entre el clima efectiva y social y las ciencias dedicadas al impacto. Al fundamentar la política en la ciencia se potenciará la asignación eficaz de los recursos para abordar los desafíos ambientales provocados por el cambio climático en los Andes y la consiguiente amenaza para las vidas y los modos de vida. Es especialmente necesario considerar los sistemas de conocimiento locales e indígenas como una valiosa fuente de información para la gestión sostenible de los ecosistemas montañosos frágiles. Asegurando que la ciencia y el conocimiento tradicional produzcan conjuntamente información adecuada para la formulación de políticas se facilita que estos modos de vida puedan afrontar las dificultades que conllevan los efectos del cambio climático. Los enfoques ascendentes y descendentes tienen la oportunidad de encontrarse y crear un resultado más sólido (Huggel et al. 2015).

Mapear los efectos actuales y previstos del cambio climático en los glaciares andinos

Muchos aspectos del futuro cambio climático siguen siendo muy inciertos debido a que las redes de monitoreo climático y glaciológico existentes son antiguas e insuficientes. Es necesario mejorar la infraestructura de recopilación de datos para efectuar un seguimiento del cambio climático a la cota del glaciar, incluyendo una red de estaciones climáticas automáticas en las zonas de alta elevación y mejor seguimiento in situ. También es urgente mejorar la inclusión de estos datos en las aplicaciones de los sistemas de información geográfica avanzados y de teleobservación. En lo que respecta a la modelización, se requieren previsiones de cambio climático más detallas que se apoyen en distintos modelos y escenarios de emisiones, en especial teniendo en cuenta que los efectos del cambio climático en las montañas son desproporcionadamente altos.

Aplicar medidas preventivas contra los riesgos naturales relacionados con los glaciares

En lo que respecta a los riesgos de desbordamiento repentino de los lagos glaciares, las medidas de adaptación deberían centrarse en la aplicación de acciones preventivas, por ejemplo, crear mapas de riesgo, regular los códigos de construcción y la planificación del uso del terreno y crear sistemas de alerta temprana, complementados con programas integrales de sensibilización y educación (Vuille et al. 2018).

Desarrollar servicios climáticos

Para garantizar que la información de monitoreo y alerta temprana llega a los usuarios del agua en un formato adecuado y de manera oportuna, se necesitan servicios climáticos específicos de gestión de los recursos hídricos. Esto requiere un conocimiento más profundo de las necesidades reales de las partes locales interesadas, de acuerdo con una evaluación ascendente de las vulnerabilidades en materia de seguridad hídrica, a fin de adaptar los servicios climáticos concretos para informar sobre los riesgos actuales y futuros. La llegada de los teléfonos móviles y los teléfonos inteligentes incluso a las ubicaciones más remotas ofrece una vía nueva para la divulgación de información e interacción con los usuarios locales del agua.

Mejorar la comprensión de la demanda y el uso del agua, ahora y en el futuro

Es un hecho reconocido que la utilización del agua depende de las tendencias y factores sociales, por lo que es necesario aumentar el conocimiento de las tendencias de demanda y uso del agua y continuar con las investigaciones detalladas sobre ellas. La dinámica demográfica, la urbanización, los patrones de consumo cambiantes, la demanda de determinados productos en los mercados internacionales y las trayectorias de desarrollo de los diferentes sectores —como la agricultura, la minería y la energía hidroeléctrica— son varios factores que influyen en la utilización del agua. Además, se deberían ejecutar instrumentos de medición de la eficacia y de auditoría hídrica en todos los sectores para determinar en qué esfera pueden aplicarse medidas de conservación de las aguas. Dada la pérdida irreversible de muchos glaciares andinos en el futuro, independientemente de las acciones de mitigación actuales o venideras, se debería trabajar en la elaboración y planificación de escenarios de gestión de los recursos hídricos a fin de anticipar y afrontar cualquier escasez e incertidumbre que pueda surgir.

Aplicar la buena gobernanza de los recursos hídricos

La importancia de la gobernanza de los recursos hídricos debería estar reconocida en el nivel más alto de la toma de decisiones. Se deberían continuar desarrollando los enfoques de gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) en los diferentes países andinos, incorporando al mismo tiempo la nueva información sobre las previsiones de las tendencias y los efectos climáticos.

Promover los mecanismos de aprendizaje para la adaptación

Debería llevarse a cabo un seguimiento y una evaluación a largo plazo de los proyectos y las iniciativas de adaptación a fin de evaluar las acciones de adaptación de acuerdo con un conjunto de criterios predefinido, que pueden incluir, por ejemplo, eficacia, eficiencia, equidad, flexibilidad inherente, aceptabilidad y solidez. Se deberían elaborar plataformas y mecanismos que permitan compartir las experiencias y lecciones tanto dentro de los países como entre ellos, y entre una amplia variedad de partes interesadas (municipios, comunidades rurales, sociedad civil, sector privado, gobiernos nacionales, etc.). El análisis de las decisiones basadas en el riesgo climático (CRIDA, por sus siglas en inglés) proporciona un marco para preparar métodos de adaptación en caso de incertidumbre respecto del cambio climático (UNESCO e ICIWaRM, 2018).

Financiar medidas de adaptación

El mecanismo más eficaz para la respuesta a los cambios de disponibilidad del agua es la mejora de la capacidad de adaptación, entre otras cosas mediante la capacitación de los agricultores y otras partes interesadas, el desarrollo y la aplicación de tecnología o el acceso a ella, y la creación de infraestructura de apoyo. Estas medidas requieren opciones de financiación viables. Para compensar la reducción en la cantidad de agua disponible, que antes se almacenaba en forma de nieve y hielo, es necesario invertir en sistemas de almacenamiento y distribución y en métodos de retención natural del agua. Por ejemplo, se deberían fomentar los sistemas de almacenamiento de agua para múltiples usos, que pueden satisfacer diferentes necesidades de agua, como el agua potable y para riego. También convendría explorar mecanismos de financiación innovadores, como los fondos municipales de agua. Además, al centrarse en aumentar o diversificar la variedad de opciones de modos de vida disponibles para las comunidades locales se ayuda a dar a conocer el riesgo y se posibilita la adopción de diferentes estrategias de adaptación. También se debería explorar, cuando proceda, el acceso a las nuevas tecnologías, en especial a los sistemas descentralizados de energía hidroeléctrica a pequeña escala.

Centrar la política de adaptación en las montañas

En América Latina, cada vez más organizaciones se dedican específicamente al ámbito de la adaptación al cambio climático en las zonas montañosas (ELLA, 2017). Sin embargo, las políticas nacionales de adaptación no suelen reconocer los problemas y desafíos particulares de la alta montaña (Schoolmeester et al., 2016). El marco de vulnerabilidad de las montañas del Banco

Mundial (Brodnig and Prasad, 2010) reconoce las especificidades de las montañas, como la accesibilidad, fragilidad y marginalidad, que se pueden evaluar para formular estrategias de adaptación a medida. El IPCC ha empezado a centrar su atención en los riesgos climáticos de las montañas con la elaboración de un informe especial, que se publicará próximamente. Todo esto debería propiciar la inclusión de las montañas en el próximo informe de evaluación global del IPCC.

Aumentar la coordinación e integración en materia de políticas en los países y entre ellos

Los países podrían aprovechar la armonización de las políticas y la adaptación de las legislaciones nacionales para proteger los entornos montañosos, aprovechando aún más las lecciones aprendidas en algunos de los países andinos que han adoptado enfoques novedosos. La CMNUCC reconoce los beneficios potenciales de las sinergias regionales que promueven los esfuerzos conjuntos para el desarrollo y la aplicación de medidas de adaptación. Algunos de estos beneficios son el intercambio de conocimientos, la eliminación de duplicaciones, las economías de escala y la distribución de costos, así como la minimización de los conflictos.

Introducción

Con frecuencia, las montañas se describen como las torres de agua del mundo, debido a su papel en el suministro de agua a las poblaciones de todo el planeta. Esta referencia es especialmente aplicable en la región andina, donde las montañas desempeñan la función crucial de proporcionar agua a más de 75 millones de personas de la región, y a otros 20 millones de personas de las cuencas inferiores.

Una parte de esta agua procede de la lluvia. En elevaciones más altas, los glaciares llevan mucho tiempo proporcionando un flujo constante de agua de deshielo en los momentos en que más necesaria resulta, durante la estación seca.

Sin embargo, los Andes no son, ni han sido nunca, inmunes al cambio climático. Varios estudios arqueológicos han asociado la tensión climática con el comportamiento cultural de las civilizaciones de los Andes (Binford et al., 1997; Dillehay & Kolata, 2004; Tung et al., 2016). El colapso de la civilización Tiwanaka, por ejemplo, coincidió con un cambio climático importante y rápido; las condiciones más secas habrían influido en las características ecológicas e hidrológicas de la tierra que se utilizaba con fines agrícolas (Binford et al., 1997).

Esta región montañosa está entrando otra vez en un período de cambio sin precedentes. El retroceso de los glaciares andinos es uno de los más rápidos del mundo. En algunas zonas han desaparecido multitud de glaciares, mientras que en otras experimentarán una reducción constante y contínua durante los próximos decenios.

El caso de los glaciares en rápido retroceso es paradójico. En los últimos decenios, muchas de las comunidades que pueblan las zonas por debajo de ellos pueden haber disfrutado de un período con un suministro de agua relativamente más abundante, dado que los glaciares han liberado su agua de deshielo. Los datos actuales demuestran que la mayoría de los glaciares han alcanzado su pico hídrico de producción o lo harán en los próximos decenios.

Las señales son claras. Indican que es urgente entender mejor los cambios ambientales futuros y aplicar respuestas de adaptación adecuadas.

Este Atlas se ha concebido con el propósito de ofrecer una perspectiva completa de la situación de los glaciares de la región andina y las opciones de adaptación. Está destinado a los encargados de formular políticas de la región, así como al público general. En su parte inicial, el Atlas se centra en presentar la región desde una perspectiva geográfica, histórica y socioeconómica. A continuación, describe el clima y examina específicamente las tendencias de temperatura y precipitaciones pasadas y previstas. En la sección titulada “Disminución del hielo” se ofrece información más detallada sobre las tendencias glaciares en cada país andino y sobre las tendencias previstas. En la sección “Deshielo acelerado de los glaciares” se examina el impacto del deshielo y los desbordamientos glaciares repentinos sobre las comunidades y diferentes sectores. A continuación se ofrece una presentación no exhaustiva de las opciones de adaptación, así como una serie de casos de buenas prácticas. El Atlas concluye con varias recomendaciones, dirigidas en especial a los encargados de formular políticas.

PARTE 1

LOS ANDES

Picos, mesetas y valles

Los Andes son la cordillera continental más larga del mundo, con más de 7.000 km desde Venezuela al norte hasta Argentina al sur. Desde el punto de vista geográfico pueden dividirse en tres regiones: los Andes septentrionales, que incluyen las montañas de Venezuela, Colombia y Ecuador; los Andes centrales, que engloban las montañas del Perú y Bolivia; y los Andes meridionales, compuestos por las montañas chilenas y argentinas. Juntos, los Andes septentrionales y los Andes centrales forman los Andes tropicales. Los Andes meridionales se denominan con frecuencia los Andes extratropicales.

Los Andes se formaron como resultado de la subducción de placas oceánicas por debajo de la placa continental de América del Sur, proceso que se inició hace unos 140 millones de años (Isacks, 1988). Esta colisión provocó la formación de una serie de cordilleras paralelas, salpicadas de picos altos, mesetas y valles. Los Andes son la segunda cordillera más alta, por detrás del Himalaya, y constituyen un rasgo distintivo del continente sudamericano. Con una altitud media de 4.000 m, muchos de sus picos superan los 6.000 m sobre el nivel del mar (Arana, 2016). La montaña más alta, el Monte Aconcagua de Argentina, alcanza los 6.908 m. El movimiento tectónico permanente en los Andes genera actividad volcánica y terremotos frecuentes. En la región existen múltiples volcanes activos o extintos, entre los que figura el volcán más alto del planeta, Ojos del Salado en Chile, de 6.893 m de altitud (Borsdorf & Stadel, 2015).

Diversidad climática

Los Andes atraviesan siete países (Venezuela, Colombia, Ecuador, el Perú, Bolivia, Argentina y Chile) y abarcan tres grandes zonas climáticas, que suelen denominarse Andes tropicales, Andes húmedos y Andes secos. Sin embargo, dentro de estas zonas amplias existe una variación climática considerable —también de este a oeste— que se refleja en las múltiples subzonas complejas resultantes de la orografía, los patrones locales y regionales de circulación atmosférica y las corrientes oceánicas.

Los Andes tropicales se extienden desde su punto más septentrional (incluyendo islas elevadas en el Caribe) hasta la frontera boliviana en el sur (Cuesta et at., 2012). La parte septentrional de los Andes tropicales es muy húmeda y está expuesta a una baja variabilidad térmica estacional. Las abundantes precipitaciones alimentan los densos bosques higrofíticos nubosos. Los Andes tropicales del sur son más secos, con precipitaciones más abundantes en los meses estivales y una estación seca acentuada desde abril hasta septiembre (Espinoza et al., 2015).

Los Andes secos ocupan casi toda la zona occidental de Argentina y Chile central y se dividen en dos subzonas: los Andes desérticos, desde la frontera norte de Chile hasta la cuenca del Choapa (~17°30′–32° S) y los Andes centrales, más pequeños (32–36° S) (Lliboutry 1998; Barcaza et al., 2017). Debido a las escasas precipitaciones, no existen glaciares en los Andes desérticos, tan solo hay bancos de nieve permanentes o neveros y glaciares diminutos o glaciaretes (Lliboutry 1998). En contraste, hay muchos glaciares grandes en los Andes centrales más húmedos, que presentan un clima mediterráneo con inviernos húmedos (abril-septiembre) y veranos secos (octubre-marzo) (Barcaza et al., 2017).

Los Andes húmedos son la subregión meridional de las Andes de Argentina y el sur de Chile. Se extienden por el sur del río Itata, donde la elevación de las montañas desciende de forma brusca, hasta el Cabo de Hornos. Esta zona incluye los Andes patagónicos, con multitud de glaciares, y el archipiélago subártico Tierra del Fuego, y se caracteriza por una mayor precipitación anual con un fuerte gradiente de oeste a este (Garreaud, 2009; Barcaza et al., 2017).

Esta compleja topografía, en combinación con la elevación, la latitud y los gradientes climáticos, ha convertido a los Andes en uno de los sistemas montañosos con mayor diversidad ecológica (Borsdorf & Stadel, 2015). La gran variedad de ecosistemas con una rica flora y fauna brindan apoyo desde hace mucho tiempo a los asentamientos humanos. Entre sus características destacan los altiplanos, conocidos en ocasiones como nudos montañosos, que se forman en los puntos de confluencia entre cadenas montañosas. Algunas de las ciudades más altas del mundo, como La Paz, en Bolivia, y Quito, en Ecuador, están situadas en estos altiplanos.

La criosfera andina

La criosfera, término que procede de la palabra griega kryos (nieve), está formada por las zonas en las que el agua está congelada. Incluye áreas con temperaturas bajo cero, bien de forma estacional, bien con carácter permanente. La criosfera terrestre incluye zonas cubiertas de nieve, glaciares, calotas glaciarias, inlandsis, hielo lacustre y fluvial, permafrost y suelo estacionalmente congelado. La criosfera desempeña una función importante para el clima, con muchas retroalimentaciones y vínculos directos que influyen en los flujos superficiales de energía y humedad, la formación de nubes, la precipitación y la circulación atmosférica y oceánica (Khromova, 2010). En los Andes, el régimen de congelación y deshielo de la nieve y el hielo afecta de forma significativa la hidrología y ecología alpinas (Diaz et al., 2003).

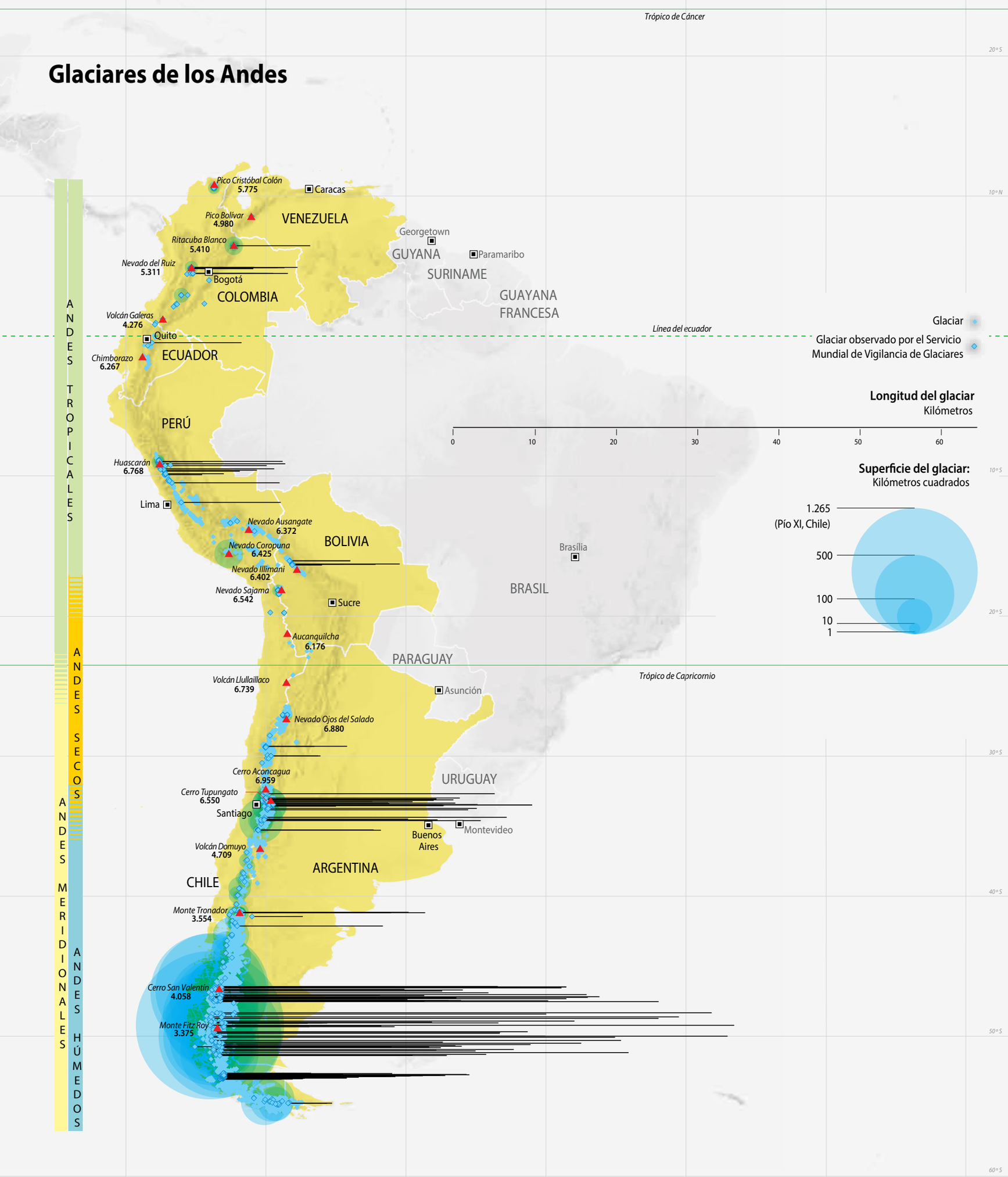
Los glaciares andinos

Los glaciares son masas de hielo gruesas que fluyen con lentitud bajo el efecto de la gravedad. Los glaciares, con inclusión de los inlandsis de Groenlandia y la Antártica, representan aproximadamente el 10% de la superficie terrestre del planeta y almacenan en torno al 75% del agua dulce mundial (National Snow and Ice Data Center, 2018).

En los Andes, la concentración más alta de glaciares (aproximadamente 4.000) se encuentra en la frontera entre Chile y Argentina. Aunque en números y concetraciones menores los glaciares localizados en los Andes tropicales conforman más del 95% de los glaciares tropicales del mundo (Vuille et al., 2008). La mayoría de los glaciares tropicales están en los Andes peruanos; la calota glaciar Quelccaya, ubicada en la cordillera Vilcanota, es por sí sola la masa de agua más grande del Perú (Hastenrath, 1998).

En los Andes solo hay glaciares por encima de la línea de nieve, donde la nieve se mantiene durante todo el año. Su formación depende de la latitud, la altitud y la precipitación anual. La nieve, a medida que se acumula, comprime la nieve subyacente y crea así una capa densa, llamada firn. A medida que la nieve continúa acumulándose, aumenta la presión y el firn se hace aún más compacto hasta convertirse en hielo de glaciar sólido. Cuando este hielo es lo suficientemente grueso, el glaciar comienza a fluir por efecto de la fuerza de la gravedad sobre su propia masa, bien mediante deslizamiento o por deformación interna.

Glaciares de los Andes



Fuente: base de datos del Servicio Mundial de Vigilancia de Glaciares, consultada en febrero de 2018.

GEO-GRAPHICS / GRID-Arendal 2018

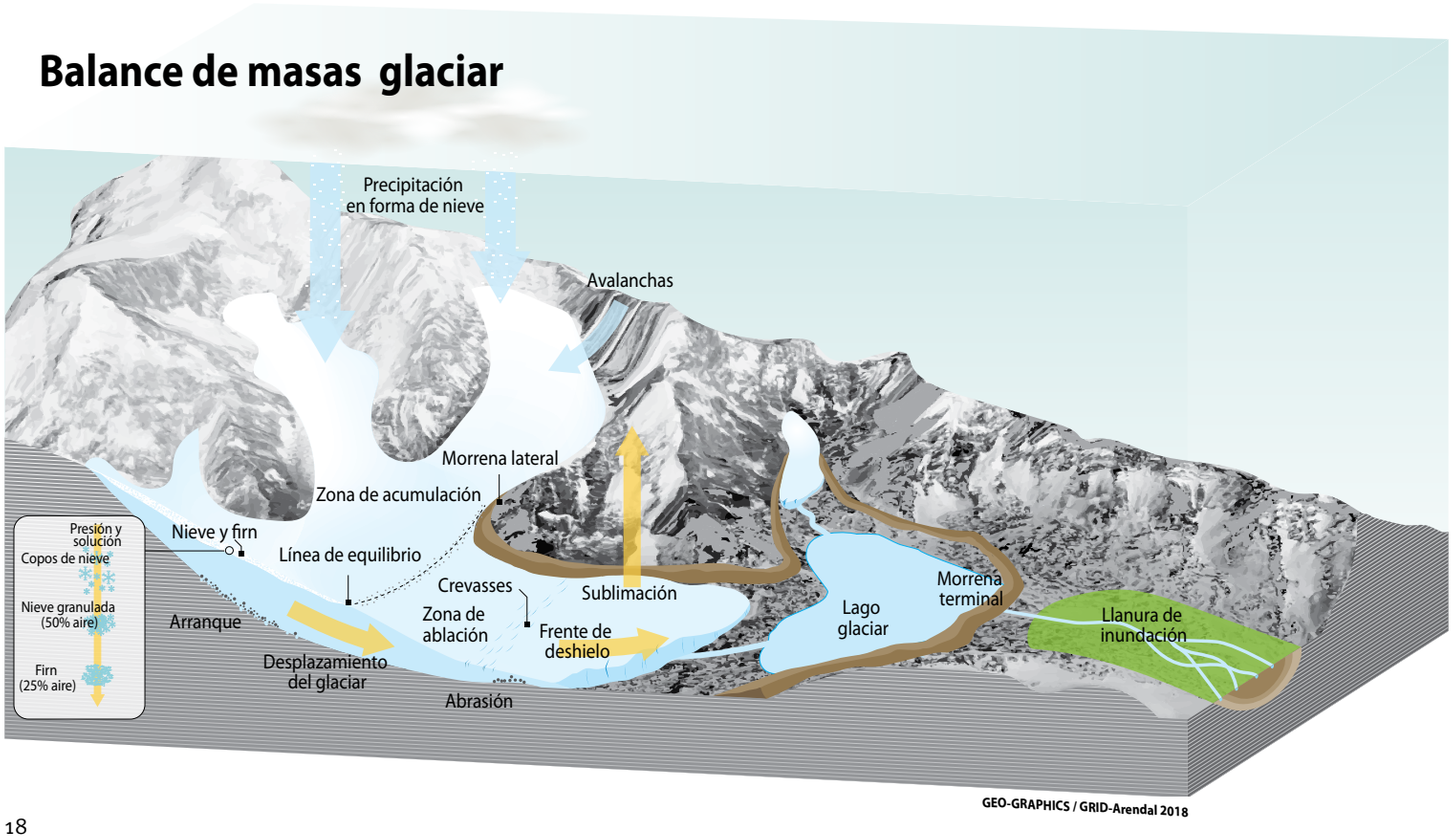
Un glaciar puede dividirse en dos zonas: la zona de acumulación superior, donde la masa de nieve se acumula, y la zona de ablación inferior, donde se pierde más masa glaciar que la que se capta gracias a las nevadas. La ablación puede ser el resultado del deshielo, la erosión por el viento y los desprediminetos frontales "calving" (Centro Nacional de Datos sobre Nieve y Hielos, 2018). El punto entre las dos zonas donde la acumulación es igual a la ablación se denomina línea de equilibrio. La línea de equilibrio es visible en los glaciares templados. Es la línea que marca el límite entre la nieve nueva y la nieve antigua (firm) y que queda expuesta tras el deshielo. Sin embargo, la línea tiende a ser difusa en los glaciares politérmicos, que presentan una estructura térmica complicada (Hambrey & Alean, 2016).

En los períodos de mayor ablación o acumulación de nieve, el equilibrio se deteriora y el glaciar bien avanzará o bien retrocederá más de lo normal (Centro Nacional de Datos sobre Nieve y Hielos, 2018). Pocos glaciares permanecen en situación de equilibrio por largos periodos.

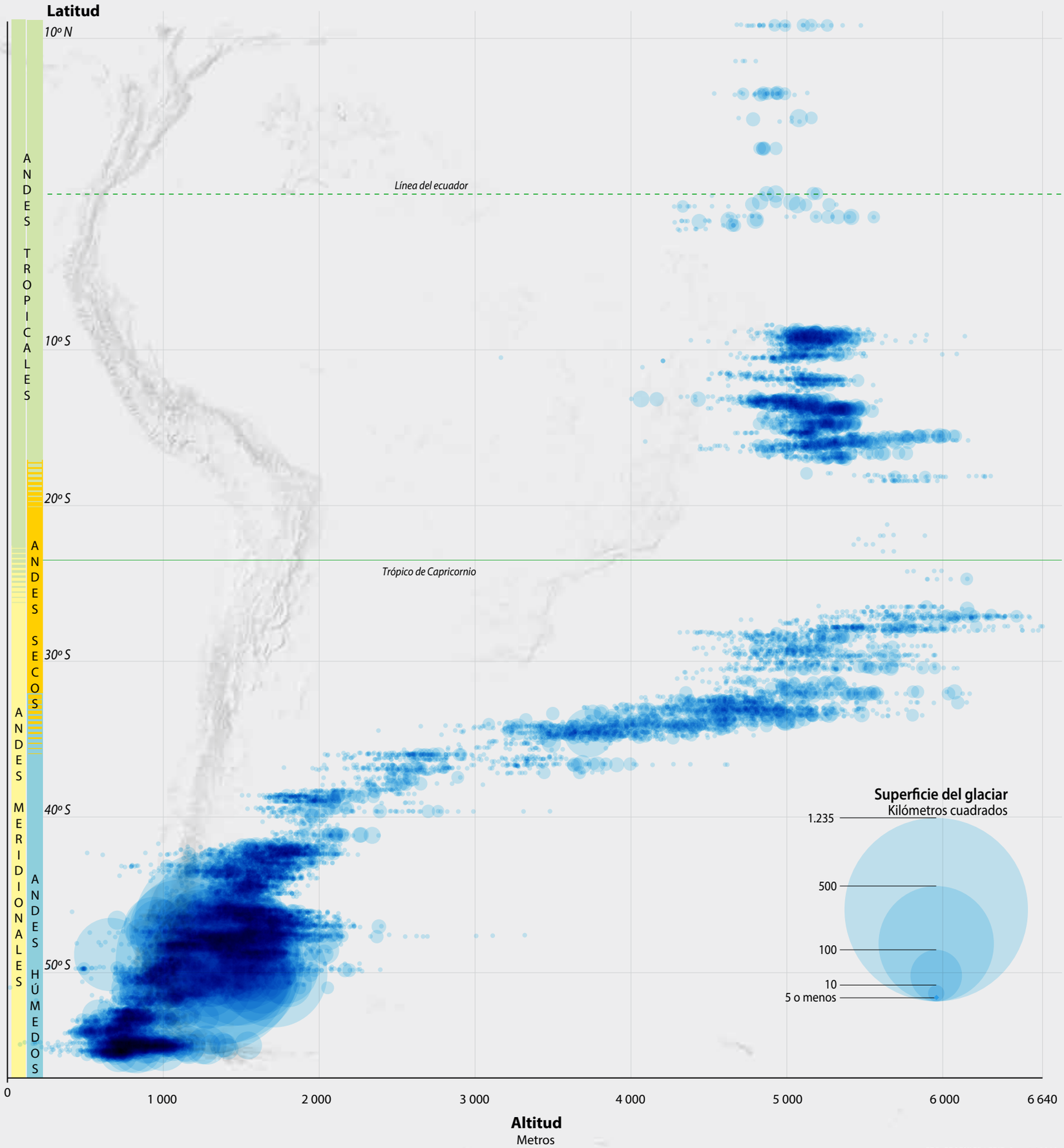
Los glaciares, además de ser extremadamente sensibles a los cambios ambientales y climáticos, influyen en el clima mundial. Por ejemplo, la capacidad reflectante del hielo y la nieve es importante para la regulación de la temperatura atmosférica.

El término albedo describe la capacidad de las superficies para reflejar la radiación solar. Las superficies oscuras tienen un albedo bajo, es decir, absorben más energía y se calientan, mientras que las superficies blancas tienen un albedo alto, por lo que reflejan gran parte de la energía solar de vuelta al espacio. El albedo alto del hielo y la nieve mantiene las superficies más frías. A más subida de las temperaturas atmosféricas, reducción de los glaciares y desaparición de la cubierta de nieve, más absorción de la radiación por el suelo circundante más oscuro, lo que provoca un calentamiento y potencia el deshielo. Esto es un ejemplo de bucle de retroalimentación positiva.

Los glaciares en disminución y la menor cubierta de nieve no son la única preocupación respecto del albedo cambiante del planeta. Este es el caso del carbono negro, las partículas pequeñas que se emiten al aire como resultado de una combustión incompleta, por ejemplo, de las cocinas de leña o de motores diésel. Cuando las partículas se entierran en el suelo, crean una capa de hollín. Estas pequeñas partículas pueden recorrer distancias relativamente largas por el aire y, al cubrir los glaciares o la nieve, oscurecen la superficie y reducen el albedo de los glaciares. En consecuencia, los glaciares absorben más luz solar y se calientan. Las investigaciones muestran que los glaciares cercanos a los centros demográficos con concentración de actividades contaminantes están más afectados por la contaminación por carbono negro que los que están más alejados (Schmitt et al., 2014).



Distribución de los glaciares, superficie y altitud en los Andes



Fuente: base de datos del Servicio Mundial de Vigilancia de Glaciares, consultada en febrero de 2018.

GEO-GRAPHICS / GRID-Arendal 2018

Clasificación de los glaciares

Morfología: clasificación primaria

basada en el Servicio Mundial de Vigilancia de Glaciares (WGMS) y el proyecto Global Land Ice Measurements from Space (GLIMS)

Se desarrolla en zonas montañosas altas y puede incluir desde pequeñas masas de hielo glaciar hasta grandes sistemas de valle. Los glaciares de montaña pueden ser de tipo circo, nicho o cráter, glaciares colgantes y aprones de hielo. El 91% de los glaciares de la cordillera Blanca del Perú son glaciares de montaña.

Glaciar que fluye hacia la parte inferior de un valle y cuenta con una zona de captación bien definida. Habitualmente las laderas que rodean el glaciar se encuentran libres de hielo.

Masa de hielo de pequeño tamaño y forma indefinida que se forma en depresiones, lechos fluviales y laderas protegidas. Se crean a partir de ventisqueros, avalanchas y acumulaciones por nevadas fuertes en determinados años. No suele existir un patrón de flujo visible y prácticamente no hay movimiento del hielo. Normalmente las zonas de acumulación y ablación no están definidas con claridad.

Fluye desde un inlandsis, un campo de hielo o una calota glaciar sobrepasando sus márgenes. No tiene zona de captación definida con claridad y por regla general sigue las depresiones topográficas locales.

Masas de hielo glaciar con forma de cúpula y flujo radial. Un ejemplo es la calota Quelccaya del Perú. La altitud media de la calota glaciar es de 5.470 m y su superficie alcanza los 44 km^2 (Thompson et al., 1985)

Es una zona cubierta de hielo, más o menos horizontal (sin forma de cúpula), de menos de 50.000 km^2. Las masas de hielo no son lo suficientemente gruesas como para ocultar la topografía subsuperficial. Dos de los campos de hielo más extensos del mundo pertenecen a la Patagonia.

Una masa de rocas en un circo o valle que contiene hielo intersticial y forma de glaciar, que se mueve ladera abajo con lentitud como una masa de detritos.

Clasificación de los glaciares

Tipos de glaciar seleccionados de los Andes, de acuerdo con características secundarias

(WGMS y el proyecto GLIMS)

Glaciar de circo

Un tipo especial de glaciar de montaña que se forma en un circo, es decir, una depresión con forma de anfiteatro situada en el lado de una montaña en la que se acumula nieve y hielo. A medida que crecen, los glaciares de circo pueden extenderse a valles y formar glaciares de valle.

Glaciar colgante

Glaciar colgado de una ladera escarpada o que sale de un valle colgante.

Apron de hielo

Laderas de montaña escarpados y cubiertos de hielo. Suele ser una masa de hielo fina que se adhiere a la ladera o cresta de una montaña.

Glaciar marino

Glaciares que fluyen hasta llegar al mar. A menudo generan numerosos icebergs pequeños. Frecuentemente los glaciares marinos de la Patagonia tienen su origen en campos de hielo y terminan en los fiordos chilenos.

Glaciar de piedemonte

Un tipo de campo de hielo formado en una planicie por la expansión lateral de un glaciar o la coalescencia de varios glaciares.

Glaciar cubierto de escombros

Un glaciar de montaña cuya zona de ablación está cubierta por escombros rocosos. Los escombros proceden principalmente de desprendimientos de rocas pero también pueden contener detritos basales que han llegado a la superficie debido a los procesos de deformación. En la zona de acumulación, los escombros rocosos se mezclan con nieve. Cuando llegan a la zona de ablación, el deshielo aumenta la concentración de escombros en la superficie.

Fuentes: Cogley et al., 2011; Rau et al. 2005; Centro Nacional de Datos sobre Nieve y Hielos, 2018; Hambrey & Alean 2016; y Braun & Bezada, 2013

Ríos, cuencas y lagos

La mayoría de los grandes ríos de América del Sur están alimentados por agua de la cadena montañosa andina. Estas montañas altas suelen recibir más precipitaciones que las planicies. En general, también tienen glaciares y zonas cubiertas de nieve, que constituyen una reserva significativa de agua. Esta capacidad de almacenamiento y la liberación de agua de deshielo revisten una importancia especial en las regiones con un alto grado de variación estacional y con niveles de precipitación bajos.

La cuenca del río Amazonas es la cuenca de drenaje más grande del mundo, con una superficie de casi 6 millones de km^2. Ocupa más de un tercio de la masa terrestre de América del Sur y proporciona casi el 20% de la descarga de agua dulce al océano (Calléde et al., 2010; FAO 2015). La cuenca transfronteriza tiene cinco afluentes principales: el río Negro, que drena el escudo brasileño en la zona norte del Amazonas; el río Solimões, que drena los Andes septentrionales y centrales y una gran parte de las planicies; el río Madeira, que drena los Andes meridionales, las cuencas de antepaís meridionales y parte del escudo brasileño; y los ríos Tapajós y Xingu, que drenan la zona restante del escudo brasileño (Bouchez et al., 2017). Los glaciares de las cordilleras orientales de Bolivia y Perú participan en el ciclo hidrológico de la cuenca del Amazonas. Sin embargo, su influencia se suele ir reduciendo con rapidez aguas abajo debido a la elevada contribución de las precipitaciones a lo largo de las laderas orientales de los Andes (Bookhagen y Strecker, 2008). Se calcula que la pluviselva amazónica genera y recicla hasta el 50% de estas precipitaciones (Jones et al., 2017).

En el lado oriental de la cordillera y al sur de la cuenca del Amazonas, la cuenca de La Plata abarca una superficie de 3,1 millones de km^2 aproximadamente. Esta cuenca transfronteriza incluye partes del Brasil, Argentina, Paraguay, Bolivia y Uruguay. Está compuesta por tres grandes subcuencas, alimentadas principalmente por los ríos Paraná, Paraguay y Uruguay. Los ríos Paraná y Uruguay se unen al río de la Plata, que desemboca en el océano Atlántico cerca de Buenos Aires.

Además de los ríos, los lagos desempeñan una función vital en la hidrología de los Andes y proporcionan agua y energía hidroeléctrica a muchas comunidades. Muchos de los lagos a gran altitud se formaron como consecuencia del movimiento glaciar y se alimentan de agua de deshielo, fría y turbia, procedente de la ablación glaciar (Barta et al., 2017). En los Andes septentrionales, los humedales, denominados páramos, y los bosques higrofíticos nubosos contribuyen en gran medida al almacenamiento de agua (Buytaert et al., 2017). En estas regiones normalmente húmedas, el rendimiento hídrico es alto, dado que los suelos de los humedales suelen estar saturados y, por tanto, presentan una escorrentía elevada (Mosquera, Lazo, Célleri, Wilcox, & Crespo, 2015).

Vivir en los Andes

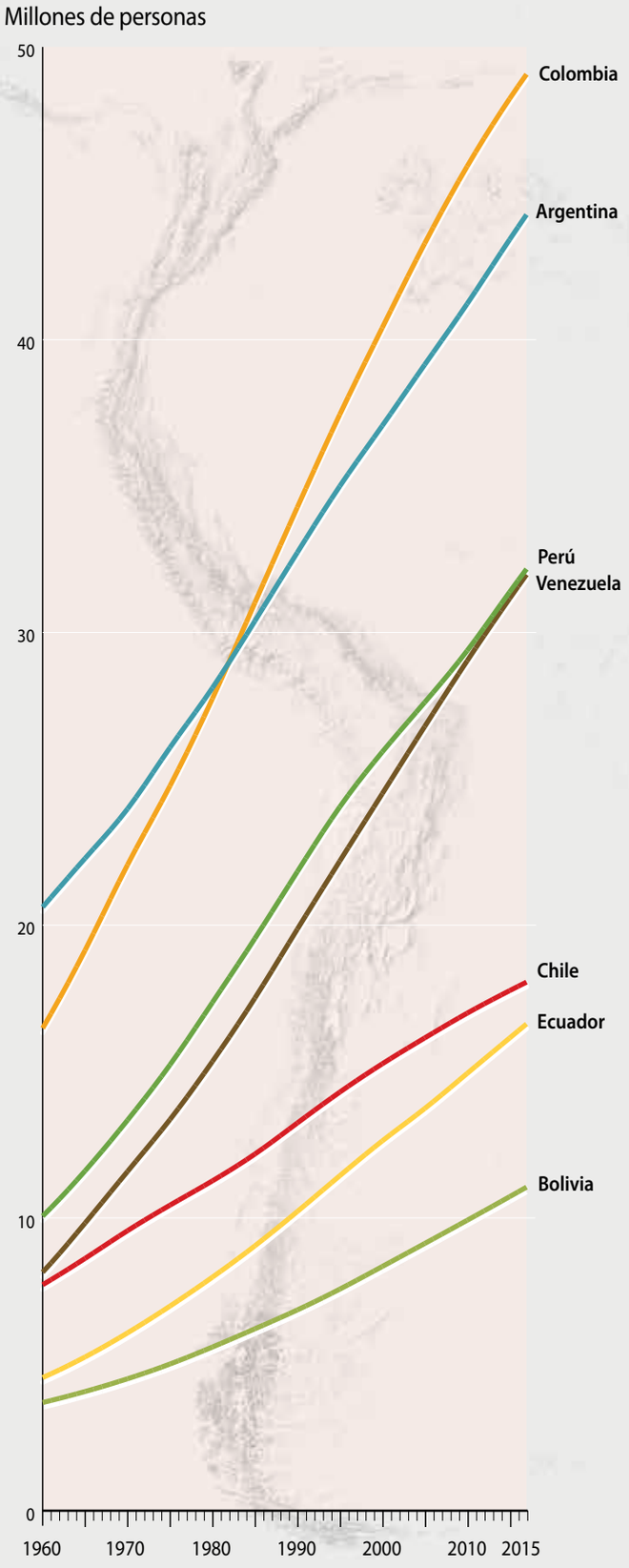
Los humanos han sobrevivido y prosperado en los Andes desde hace miles de años. Se cree que el asentamiento a gran altitud más antiguo del mundo, descubierto en los Andes peruanos a 4.500 m sobre el nivel del mar, tiene más de 12.000 años. Esto sugiere que los recolectores-cazadores ocuparon entornos andinos a gran altitud exactamente 2.000 años después de llegar por primera vez en América del Sur (Rademaker et al., 2014).

Se piensa que el proceso regional de domesticación de los cultivos y el ganado comenzó hace 8.000-9.000 años, con productos vitales como la patata, la calabaza, el algodón y quizás el maíz (Dillehay et al., 2007; Piperno & Dillehay, 2008). Esto coincidió con el rápido crecimiento demográfico de la parte central y meridional de los Andes (Perez et al., 2017)

A principios del siglo XVI, los Andes centrales eran el centro del imperio Inca, el imperio más grande conocido en el Nuevo Mundo. Se cree que unos 15 millones de personas poblaban las montañas andinas (Denevan, 1992). Se piensa que gran parte de la expansión del imperio Inca hacia lo que ahora es Colombia, Ecuador, Chile y Bolivia, desde el año 1100 hasta la llegada de los españoles en 1532, es el resultado de la mayor productividad agrícola, junto con condiciones climáticas favorables y un período de calentamiento de 400 años. De esta manera, los Incas y sus predecesores pudieron explotar areas más elevadas y construir terrazas agrícolas con riego alimentado por el agua del deshielo glaciar (Chepstow-Lusty et al., 2009).

Actualmente, los Andes siguen ejerciendo una influencia importante en 7 de los 14 países sudamericanos, tras dejar su marca indeleble en la cultura y el idioma de la región. Según las cifras registradas en 2012, aproximadamente el 44% (75 millones de personas en 2012) de la población total de esos siete países viven en la región montañosa de los Andes (Devenish & Gianella, 2012). Se habla español en todos los países, y en la región se hablan muchos otros idiomas indígenas. Un ejemplo son las variaciones de la lengua Quechua, que han sobrevivido desde los tiempos incaicos y que utilizan unos 10 millones de personas. Los idiomas indígenas son idiomas oficiales en el Perú y Bolivia, así como en regiones de Colombia y Ecuador, y están reconocidos en las constituciones políticas de Venezuela y Ecuador.

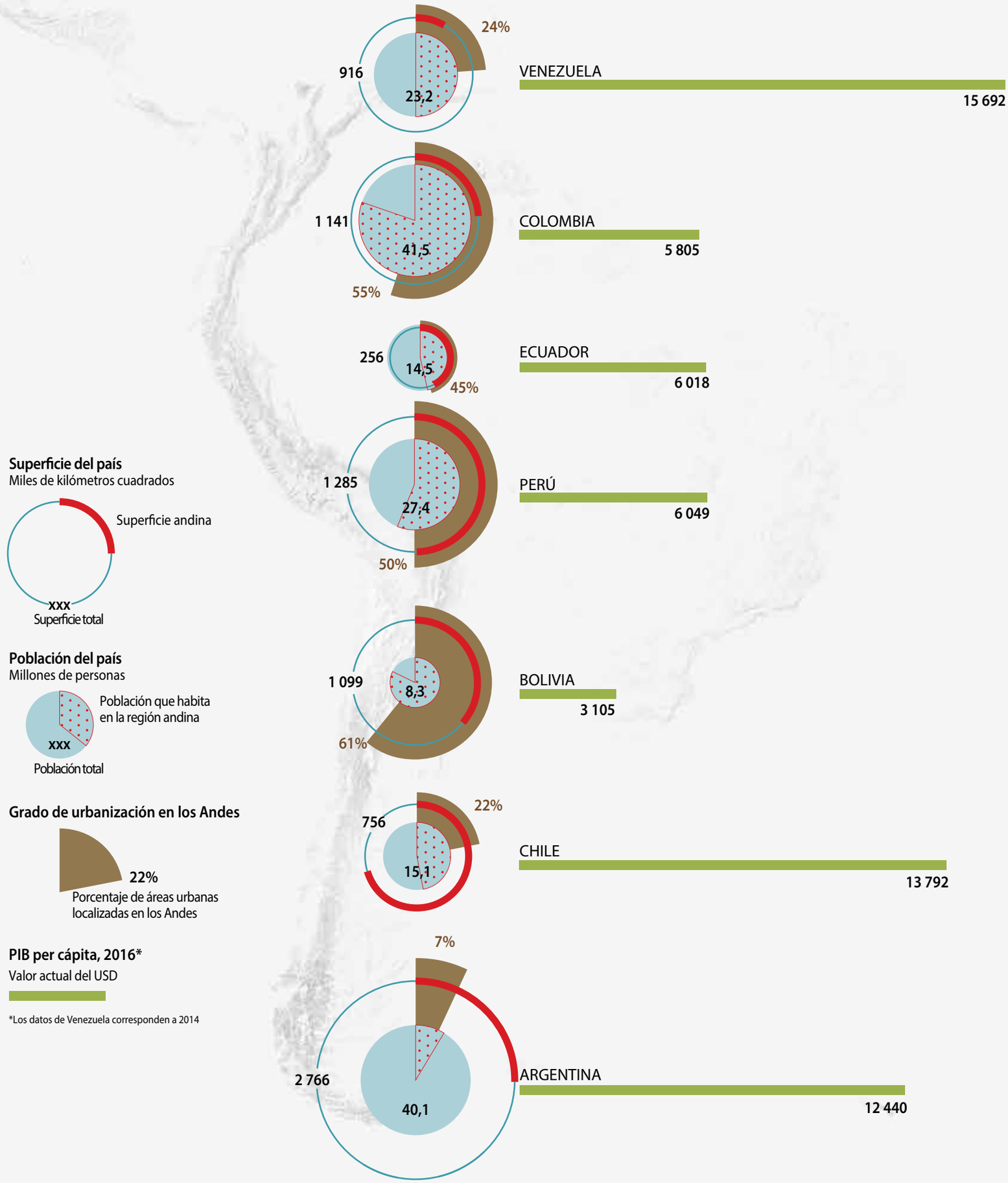
Población en la región andina



Fuente: Banco Mundial, 2018

GEO-GRAPHICS / GRID-Arendal 2018

Los países andinos en cifras



Fuente: CONDESAN, Sustainable Mountain Development in the Andes, 2012; Banco Mundial, 2018

GEO-GRAPHICS / GRID-Arendal 2018

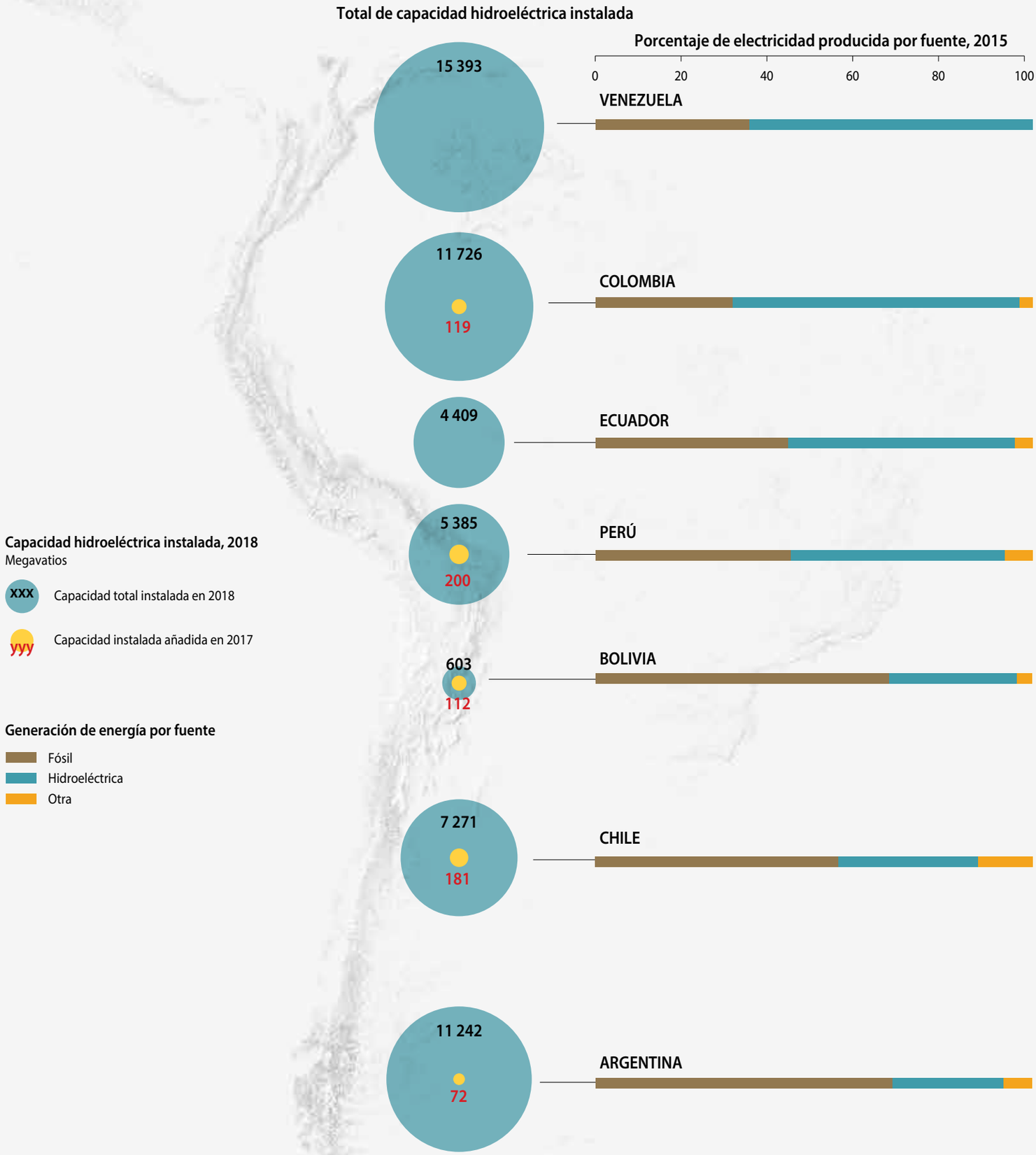
La realidad social, económica y política de los países andinos varía de forma considerable, aunque también existen varios aspectos comunes. Los países han experimentado crecimiento económico y reducción de la pobreza durante los últimos decenios, pero también se han registrado ejemplos de retrocesos graves como resultado de crisis financieras nacionales o mundiales. Aún persiste la disparidad económica entre los países andinos económicamente más fuertes y más débiles y, pese a los avances realizados, la pobreza continúa siendo un problema central. La industria de las drogas ilícitas y la corrupción siguen ocupando lugares importantes en las agendas nacionales en el ámbito de los desafíos socioeconómicos (Thoumi, 2002).

Las poblaciones de los siete países andinos han experimentado un proceso de urbanización constante durante decenios, y la población urbana total oscila entre el 63,9% en Ecuador y el 91,8% en Argentina (División de Población de las Naciones Unidas, 2014). Los motivos de la urbanización tienen múltiples dimensiones, como la pobreza de las zonas rurales, las oportunidades de subsistencia temporales o estacionales y el desplazamiento interno por problemas de inseguridad (Castles, de Haas & Miller, 2014; Grau & Aide, 2007). Las poblaciones rurales también se trasladan a las ciudades atraídas por mejores condiciones de vida, por ejemplo, ingresos más altos, menor mortalidad infantil y mayor esperanza de vida (Grau & Aide, 2007).

Con frecuencia, las comunidades montañosas rurales, que en muchos casos son indígenas, son desproporcionadamente pobres y tienen más probabilidades de experimentar exclusión social, por ejemplo, cuando el acceso de algunas personas o grupos a diferentes derechos, oportunidades y recursos es menor o está bloqueado por sistema. En los países andinos, tradicionalmente la población indígena y las comunidades rurales han vivido en condiciones de vida inferiores y con niveles de educación más bajos, y han carecido de acceso a los mercados económicos y a la toma de decisiones políticas (Borsdorf & Stadel, 2015). Esto también ha influido en su acceso a la tierra, el agua y otros recursos. La marginalización de las comunidades indígenas continúa constituyendo un desafío para varios países andinos, aunque cada vez existe más conciencia sobre este tema. En Bolivia y el Perú, por ejemplo, se ha observado un aumento del empoderamiento y la autonomía de las comunidades indígenas (Andolina, Laurie & Radcliffe, 2009; Borsdorf & Stadel, 2015; Martin & Wilmer, 2008).

La influencia de los Andes trasciende su alcance geográfico y contribuye significativamente al producto interno bruto (PIB) de los países andinos. Por ejemplo, además de satisfacer las necesidades de los millones de personas de la propia región, el agua de los Andes tropicales reviste una importancia crucial para al menos otros 20 millones de personas que viven aguas abajo. Casi todas las ciudades importantes de la ladera occidental del Pacífico de los Andes dependen en gran medida del agua y de la energía hidroeléctrica, que les proporcionan las montañas andinas (Devenish & Gianella, 2012). Los Andes son esenciales como fuente de recursos minerales y tierra agrícola.

Producción de energía hidroeléctrica y de otros tipos en los países andinos

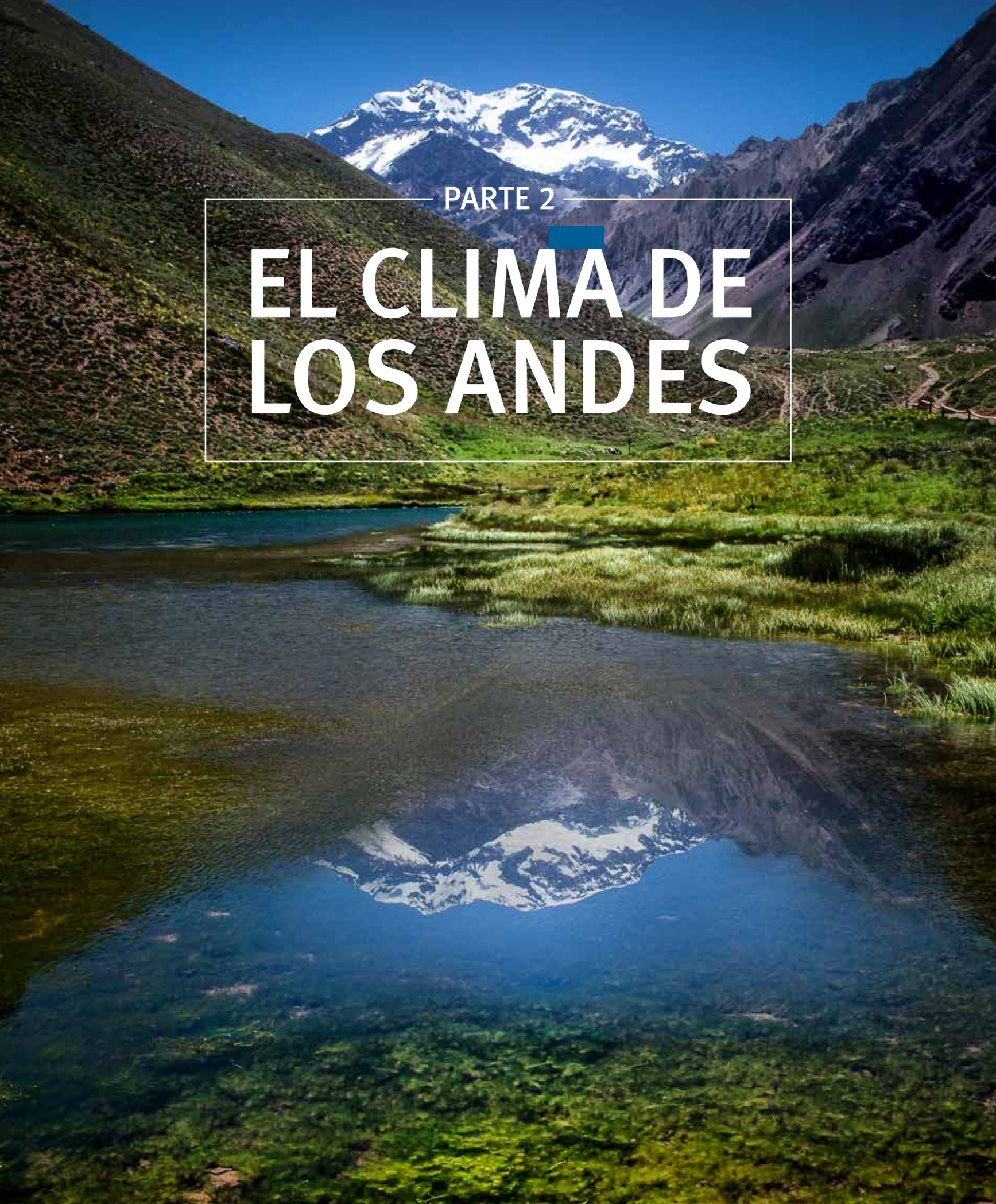


Fuente: Asociación Internacional de la Hidroelectricidad, 2018; base de datos EIA, consultada en septiembre de 2018

GEO-GRAPHICS / GRID-Arendal 2018

La agricultura y la minería son sectores de larga tradición en la región y siguen desempeñando un papel importante en varias economías nacionales (Borsdorf & Stadel, 2015). Entre el 15% y el 17% del total de la tierra para cultivo de los países andinos está ubicada en las montañas de los Andes, en su mayor parte en el norte: el Perú, Colombia y Ecuador (Devenish & Gianella, 2012).

Chile es uno de los principales países productores de cobre (Romero, Smith, & Vasquez, 2009) y también acoge la mayor mina de cobre a cielo abierto del mundo, Chuquicamata. Argentina, Perú y Bolivia también tienen grandes depósitos de plata, oro, estaño, cobre y zinc (Borsdorf and Stadel, 2015). Varios países andinos tienen una capacidad considerable para desarrollar la energía hidroeléctrica y la están aprovechando cada vez más (IHA, 2018).



PARTE 2

EL CLIMA DE LOS ANDES

El cambio del clima

Para garantizar el mantenimiento de los ecosistemas y los recursos hídricos es esencial entender la variabilidad espaciotemporal de las precipitaciones en las regiones montañosas, como los Andes. Debido a su escala, los Andes presentan condiciones climáticas diferentes entre el este y el oeste, y entre el norte y el sur. Las altas montañas actúan como barrera de la circulación atmosférica, lo que significa que las precipitaciones y las temperaturas pueden variar en gran medida según la vertiente de la cordillera. En general, los Andes tropicales y subtropicales son relativamente frescos y secos a lo largo de la costa del Pacífico y en las laderas occidentales, mientras que las laderas orientales presentan condiciones húmedas y cálidas. Esta situación se invierte al sur de los 35° (alrededor de la parte central de Chile y Argentina), donde las laderas occidentales son húmedas y las orientales son semiáridas (Garreaud, 2009).

El sistema monzónico sudamericano es un importante elemento de control del clima en el continente. La diferencia de temperatura entre el océano Atlántico y América del Sur es el principal factor impulsor de este ciclo estacional (de Carvalho & Cavalcanti, 2016). Durante el verano austral (diciembre, enero y febrero), el monzón del este transporta humedad desde el océano Atlántico, que se libera parcialmente en forma de lluvia en el lado oriental de los Andes (Garreaud, 2009). Existe un fuerte gradiente de precipitación con la elevación; la mayor parte de la lluvia se concentra por debajo de los 3.000 m (Espinoza et al., 2009). Las intensas precipitaciones pueden provocar inundaciones y niveles de erosión elevados (Espinoza et al., 2015). La interacción que se produce entre la barrera montañosa y el viento cargado de humedad en los Andes tropicales también se observa en los Andes centrales subtropicales y genera un gradiente de precipitaciones en ladera similar entre las regiones húmedas de baja elevación y las regiones semiáridas o áridas de alta elevación (Castino, Bookhagen & Strecker, 2017).

Las montañas altas también desvían los vientos alisios monzónicos hacia una corriente estrecha que canaliza el flujo cercano a la superficie entre los trópicos y las latitudes medias (el low level jet). Este aire de movimiento rápido transporta la

humedad de la cuenca amazónica hacia el sur del Brasil y el norte de Argentina (Marengo, Douglas & Silva Dias, 2002). Las altas precipitaciones propician los humedales y las zonas agrícolas productivas (Garreaud, 2009). En el otro lado de la cordillera, las costas del norte de Chile y el sur del Perú son extremadamente secas, como demuestra el desarrollo de zonas áridas, por ejemplo, el desierto de Atacama, el más seco del planeta (Garreaud, 2009; Schulz, Boisier & Aceituno, 2012).

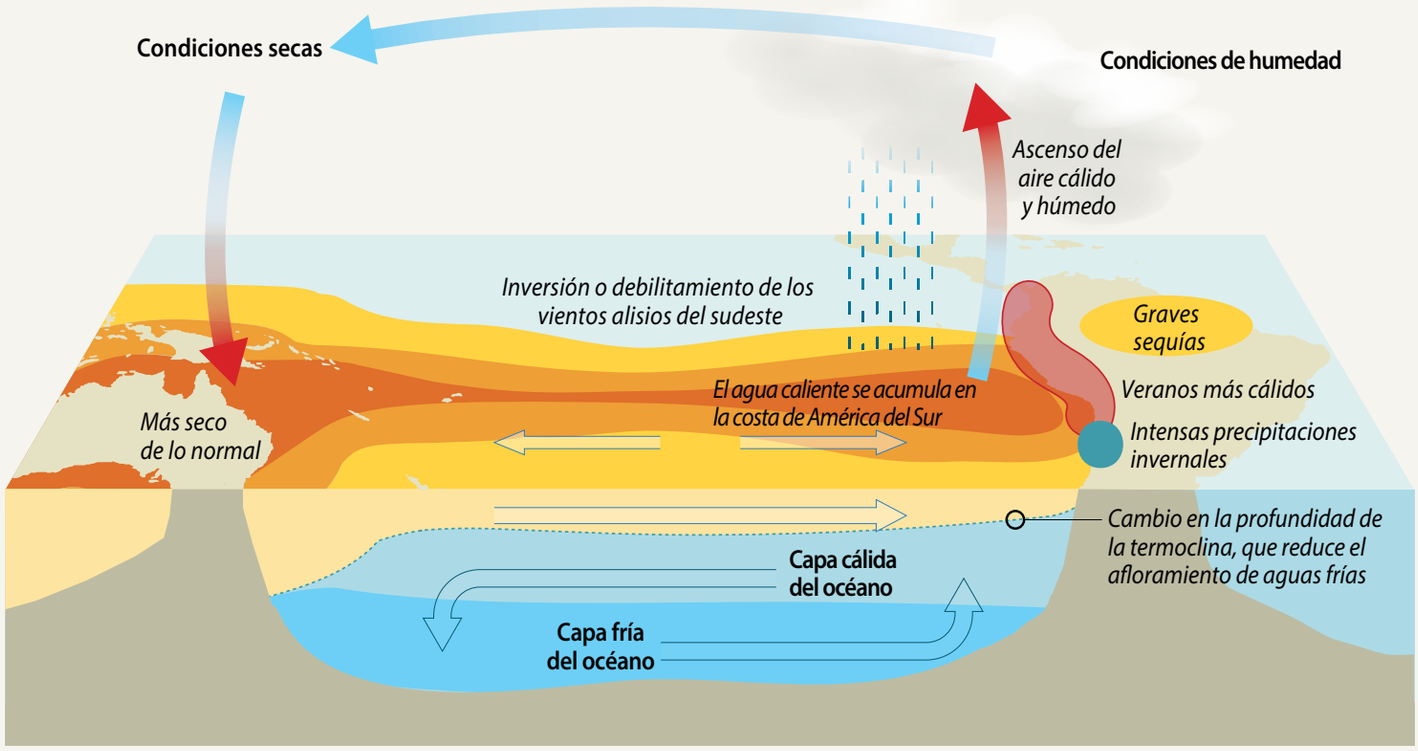
Más al sur, en los Andes húmedos, la lluvia se debe sobre todo a los fuertes vientos de superficie con alto contenido de humedad procedentes del Pacífico (Garreaud, 2009). Los vientos son más fuertes durante los meses de invierno, cuando pueden llegar aún más al norte, hasta el centro de Chile. Las depresiones ciclónicas, impulsadas por los vientos del oeste, se elevan por encima de los Andes y producen precipitaciones importantes en las laderas que se encuentran enfrentadas al Pacífico, mientras que las laderas orientales reciben un nivel de precipitaciones mucho menor (Aravena & Luckman, 2009). Las precipitaciones anuales al sur de los 40º superan los 5000 mm de media en las faldas occidentales, disminuyen a menos de 1000 mm en las laderas orientales y caen a menos de 500 mm en las estepas argentinas de baja altitud (Lenaerts et al., 2014). En consecuencia, el lado occidental de la cordillera presenta una vegetación floreciente a menos altitud y glaciares enormes a más altitud, mientras que las laderas orientales tienen menos vegetación (Ruiz et al., 2017).

Precipitaciones

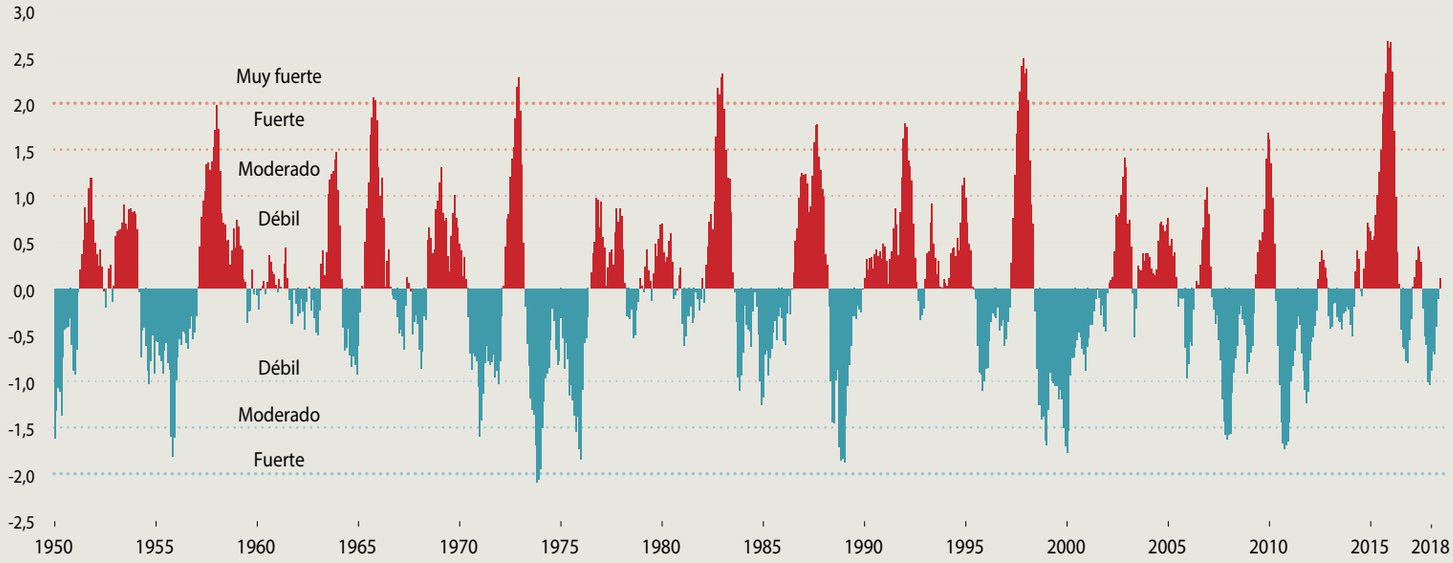
Resulta difícil establecer las tendencias de precipitación de los Andes debido a la falta de registros de observación fiables y a largo plazo y a la variabilidad, por lo general alta, de las precipitaciones anuales (Vuille et al., 2018). Varios estudios revelan una intensificación de las precipitaciones, frente al aumento de la frecuencia o duración de los días húmedos, lo que se traduce básicamente en un cambio de la variación estacional y una mayor ocurrencia de los fenómenos de lluvia extrema (por ejemplo, de los Milagros Skansi et al., 2013; Castino et al., 2017; Vuille et al., 2018). Sin embargo, la precipitación anual puede cambiar de forma notable, con una reducción o un aumento importante de los volúmenes anuales, en función de la ubicación y de la influencia de los fenómenos de ENSO (por ejemplo, Heidinger et al., 2018; Ruiz et al., 2017; Lenaerts et al., 2014; Garreaud, 2009).

Los estudios que se ocupan de la cubierta de nieve apuntan a una tendencia decreciente general durante los dos últimos decenios, vinculada a la subida de las temperaturas. La pérdida de nieve ha sido especialmente importante en la parte central y en las faldas orientales de los Andes (Saavedra et al. 2018). En los Andes meridionales, la línea de nieve también está subiendo. Se observan fluctuaciones interanuales bastante pronunciadas y existe un vínculo convincente con el ENSO, aunque resulta difícil realizar previsiones a largo plazo (Malmros et al., 2018).

El efecto de El Niño sobre el clima en los Andes



Episodios fríos y cálidos
Índice oceánico de El Niño



Fuente: National Oceanic And Atmospheric Administration

GEO-GRAPHICS / GRID-Arendal 2018

El efecto de El Niño sobre el clima de los Andes

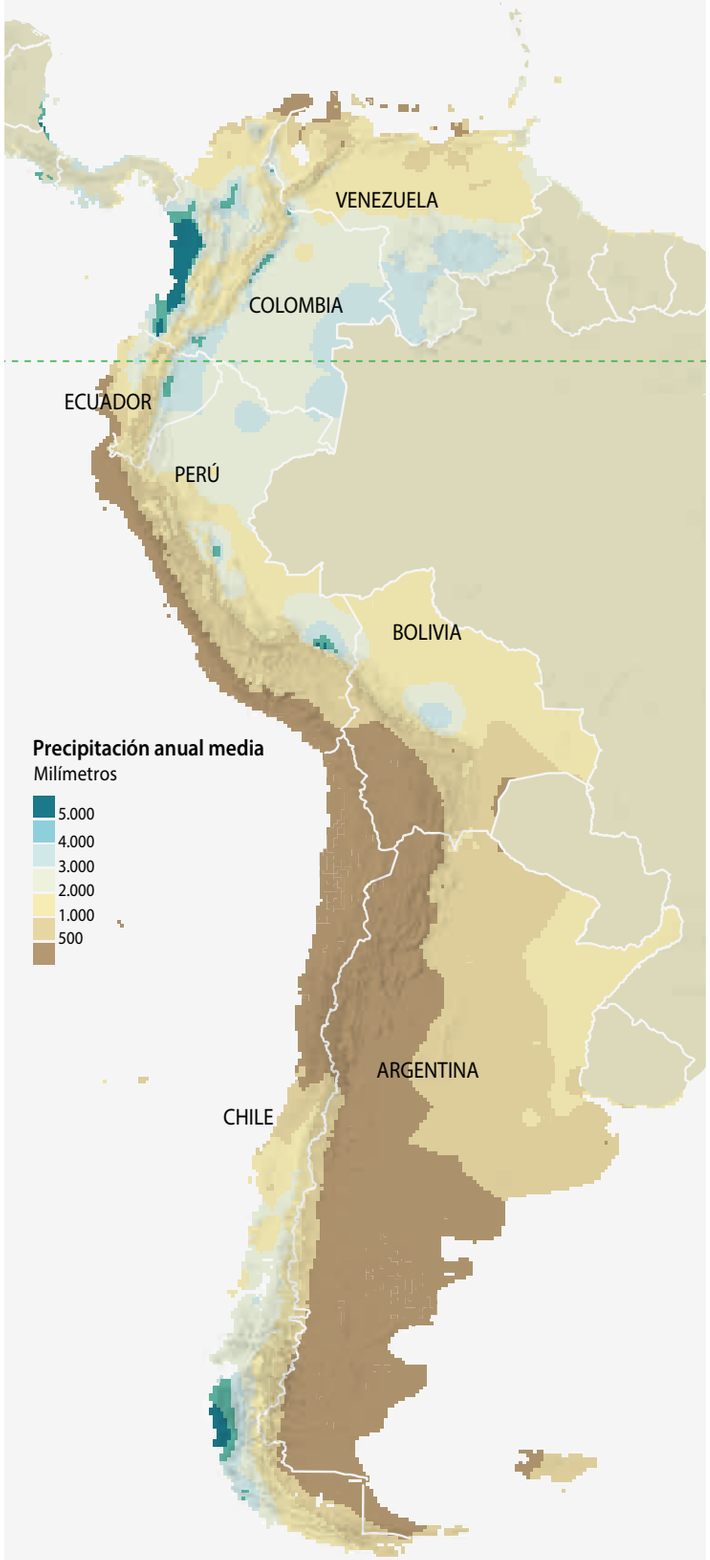
En el clima andino influyen los fenómenos de El Niño u Oscilación Austral (ENSO), que están asociados con una franja de agua caliente que se crea en el Pacífico ecuatorial. Por regla general, los fenómenos de El Niño producen precipitaciones intensas a poca altitud en la vertiente pacífica de los Andes, mientras que las zonas situadas por encima de los 2.000 metros reciben menos lluvia y experimentan temperaturas más altas que en condiciones normales (Garreaud, 2009). Las mayores anomalías pluviales por El Niño se producen durante el verano austral (diciembre, enero y febrero) y se asocian con precipitaciones fuertes e inundaciones en la costa del norte del Perú y el sur del Ecuador (Sulca et al., 2017). Durante los años de La Niña (cuando la temperatura de la superficie del mar del Pacífico ecuatorial es más baja de lo habitual), suele observarse la situación opuesta (Garreaud, 2009). En el centro y el sur de los Andes, el ENSO tiene menos influencia, pero El Niño se ha asociado, por ejemplo, con un aumento de las precipitaciones en el invierno austral (junio-septiembre) en la zona central de Chile (Verbist et al., 2010; Robertson et al., 2013) y del caudal en la Patagonia (Rivera et al., 2018). Pese a ello, en los Andes tropicales, las variaciones del equilibrio en la masa de los glaciares están sujetas al ENSO (Veettil et al., 2017).

Las previsiones que se muestran en los mapas siguientes (Precipitaciones en los Andes; Variación estacional de las precipitaciones en los Andes; y Temperatura anual media en los Andes) se basan en interpolaciones espaciales de alta resolución, que están sujetas a limitaciones en las zonas de topografía compleja como los Andes. Estas previsiones no muestran el calentamiento en función de la elevación (amplificación por altitud) ni otros efectos topográficos, ya que los modelos climáticos no disponen de esa información de partida (se necesitan datos de las estaciones meteorológicas, que son escasas, para calibrar y validar estos modelos climáticos). En lo que respecta a las previsiones a corto plazo, son muy distintas de las observaciones reales. No obstante, pueden proporcionar un indicador de las tendencias a largo plazo. Por lo general se observa un grado de acierto ligeramente mayor en las previsiones de temperatura que en las previsiones de precipitaciones.

Resulta difícil calcular las previsiones de precipitaciones futuras. A pesar de ello, la mayoría de los modelos pronostican un aumento de las precipitaciones durante la estación húmeda y un descenso durante la estación seca en los Andes tropicales (Vera et al., 2006). Esto parece aplicarse también a la región del Altiplano (Seth et al., 2010; Minvielle & Garreaud, 2011, Neukom et al., 2015). De acuerdo con el escenario de emisiones altas del IPCC (Jiang et al. 2000), de aquí a 2100 está previsto que las

Precipitación en los Andes

Base de referencia, 1950-2000

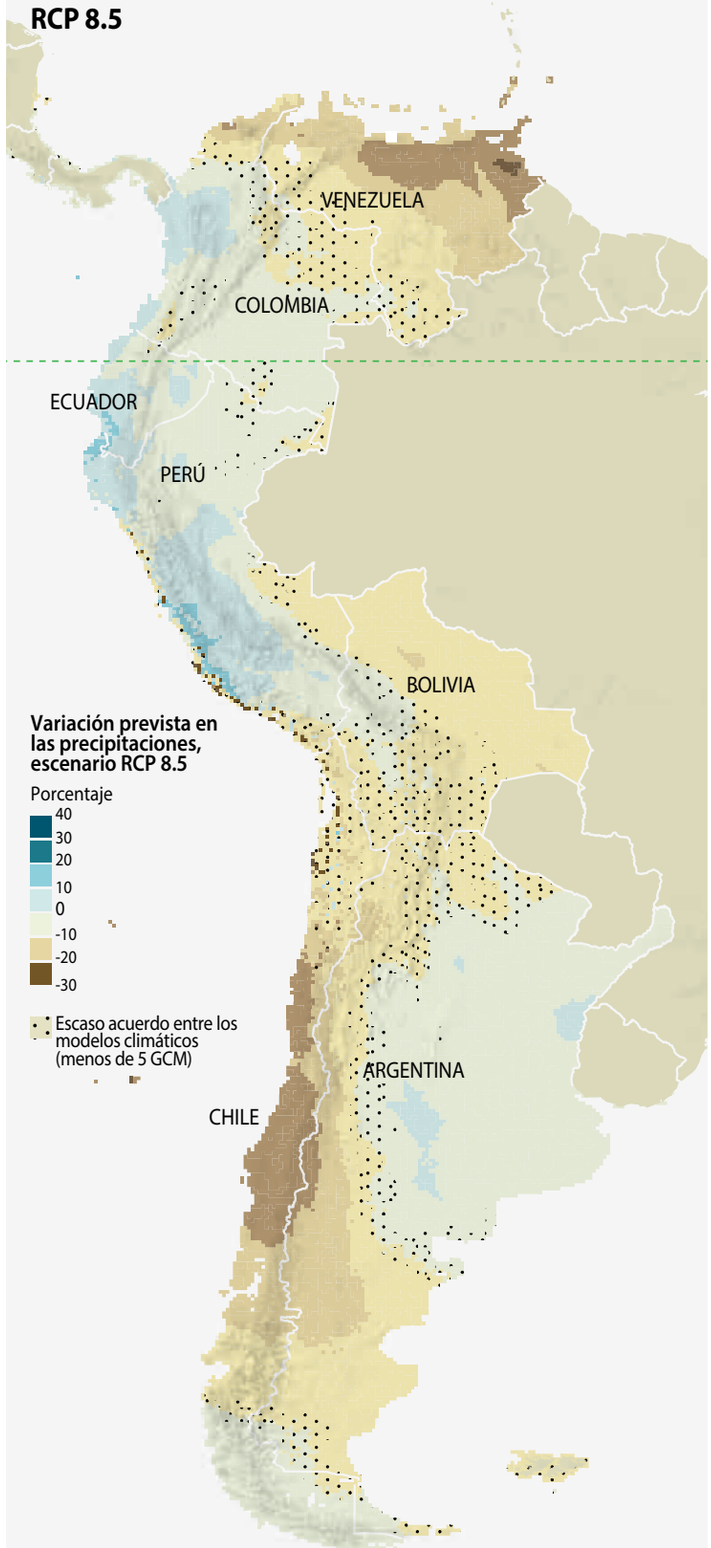


Fuentes: Hijmans, R.J., et al., «Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas», 2005, en worldclim.org

GEO-GRAPHICS / GRID-Arendal 2018

Proyección para 2061-2080

RCP 8.5

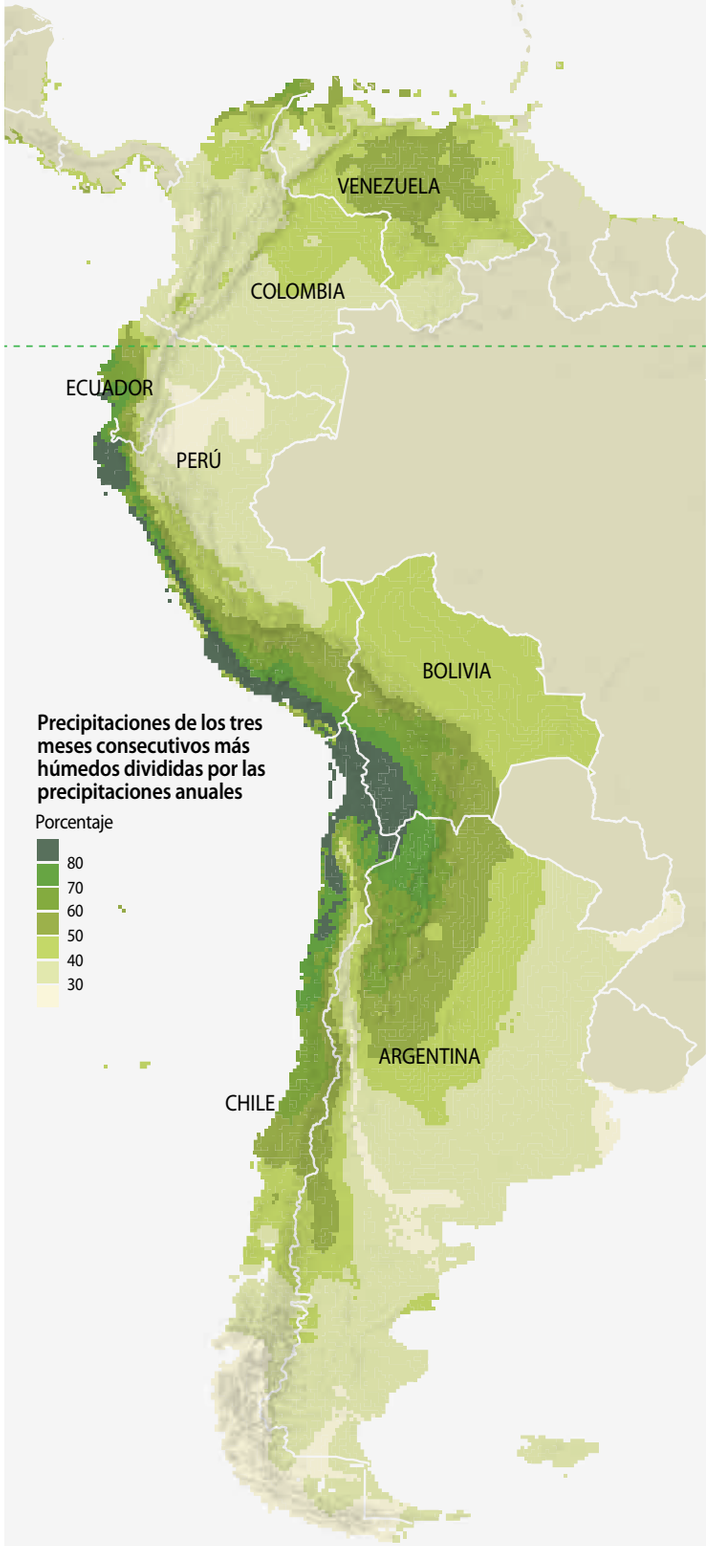


El RCP 8.5 es un escenario que combina hipótesis sobre una elevada población y un crecimiento relativamente lento de los ingresos con tasas moderadas de cambio tecnológico y mejoras de la intensidad energética, que a largo plazo conducirán a una demanda energética y unas emisiones de gases de efecto invernadero elevadas en ausencia de políticas sobre el cambio climático

Fuentes: Hijmans, R.J., et al., «Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas», 2005, en worldclim.org

Estacionalidad de las precipitaciones en los Andes

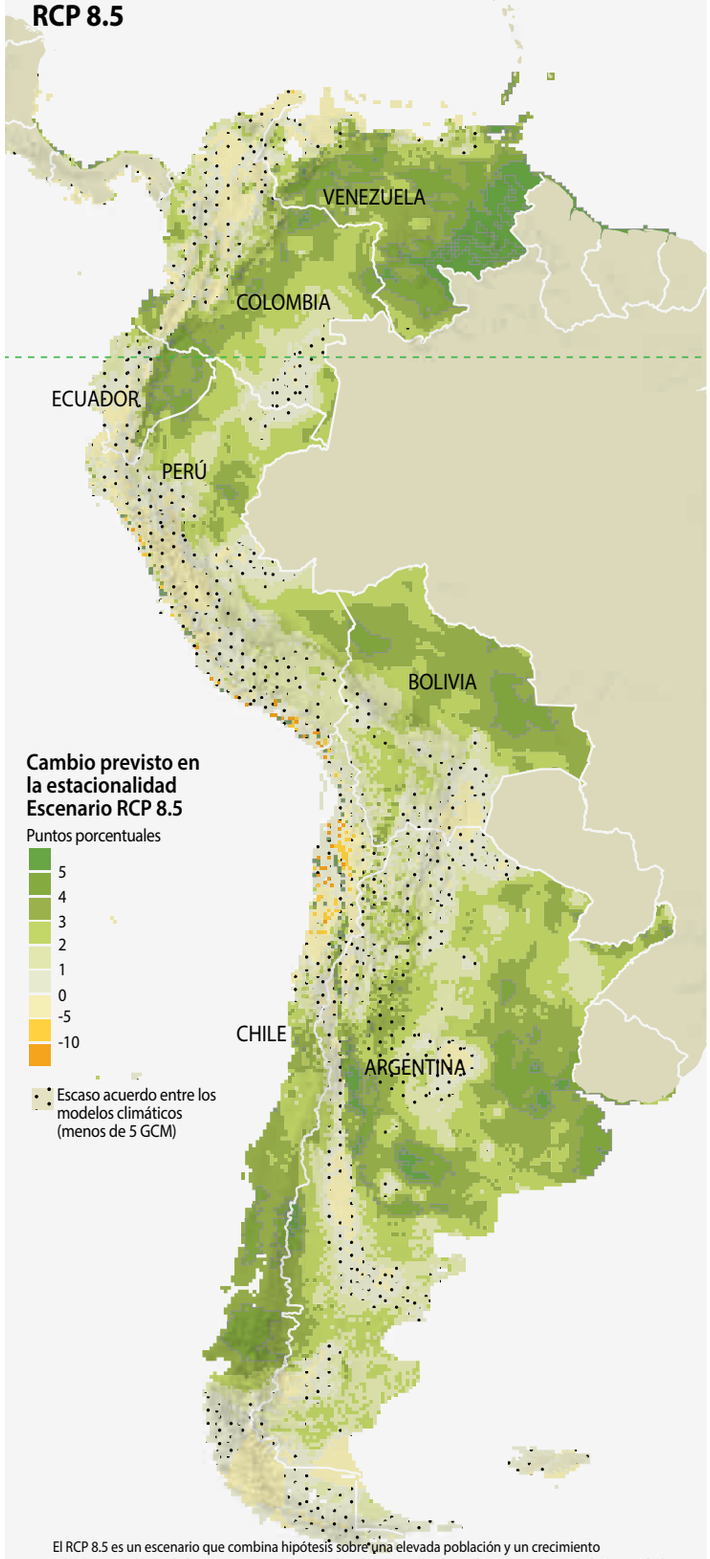
Base de referencia, 1950-2000



Fuentes: Hijmans, R.J., et al., «Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas», 2005, en worldclim.org

GEO-GRAPHICS / GRID-Arendal 2018

Proyección para 2061-2080 RCP 8.5



El RCP 8.5 es un escenario que combina hipótesis sobre una elevada población y un crecimiento relativamente lento de los ingresos con tasas moderadas de cambio tecnológico y mejoras de la intensidad energética, que a largo plazo conducirán a una demanda energética y unas emisiones de gases de efecto invernadero elevadas en ausencia de políticas sobre el cambio climático

Fuentes: Hijmans, R.J., et al., «Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas», 2005, en worldclim.org

precipitaciones aumenten en las regiones costeras de Colombia y Ecuador y en algunos lugares de los Andes orientales, al sur del ecuador. Sin embargo, para 2100 se espera que las precipitaciones disminuyan en los Andes meridionales (tropicales), con inclusión de las regiones del Altiplano, lo que haría aumentar la sequía.

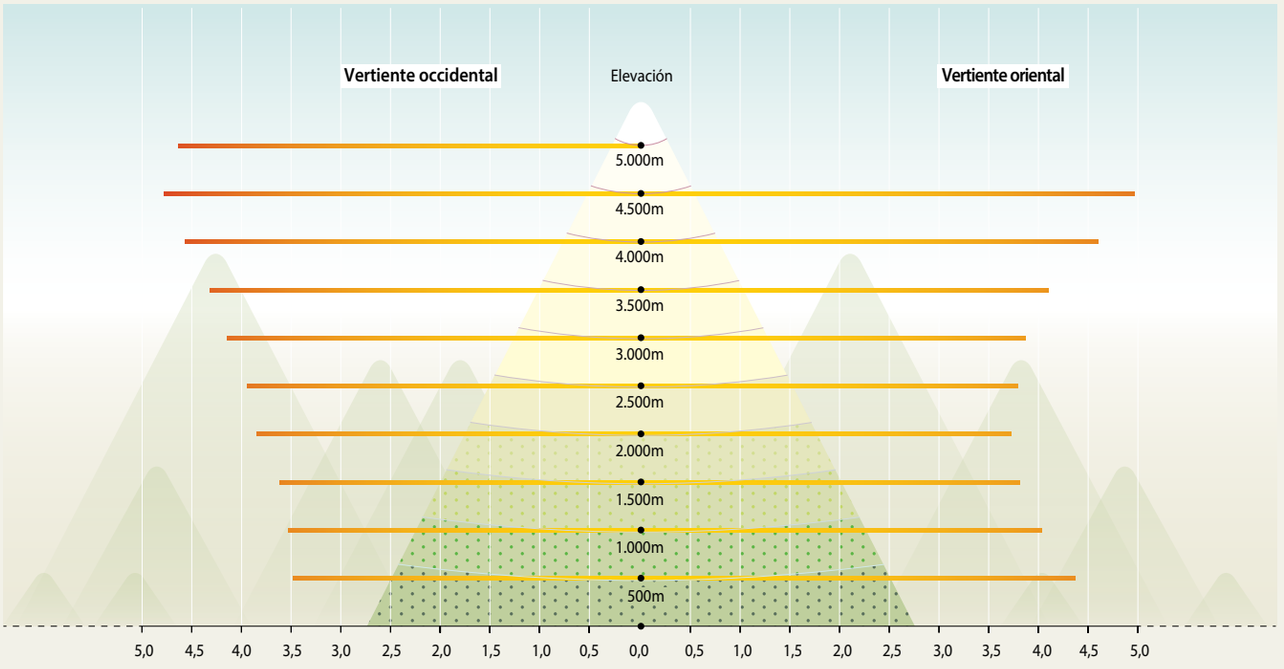
Temperatura

Múltiples estudios han indicado un calentamiento importante y el consiguiente deshielo de glaciares en los últimos decenios. También existen cada vez más pruebas de la amplificación por altitud (es decir, a más elevación, más velocidad de calentamiento), por lo que las regiones montañosas altas experimentan cambios de temperatura más rápidos de lo normal (Pepin et al., 2015; Urrutia and Vuille, 2009).

La temperatura media anual de los países de los Andes septentrionales (Venezuela, Colombia, Ecuador y el Perú) creció en 0,8 ºC aproximadamente durante el siglo XX (Marengo et al., 2011). En las altitudes elevadas de los Andes tropicales las temperaturas de superficie han subido un 0,1 ºC aproximadamente cada decenio durante los últimos 50 años (Vuille et al., 2015). Debido a este calentamiento, la altitud del nivel de congelación (isoterma de 0 ºC) ha aumentado unos 45 m de media en toda la región (Bradley et al., 2009).

Las previsiones de temperatura de los Andes basadas en escenarios de cambio climático de altas emisiones (Jiang et al. 2000; IPCC, 2014) indican que las temperaturas andinas podrían aumentar entre 2 ºC y 5 °C antes de que acabe el siglo XXI (Hijmans et al., 2005; Cabré et al., 2016). El grado de calentamiento varía, pero un estudio señala que podría ser más intenso en las altas elevaciones de la región de Cordillera Blanca, en el Perú (Urrutia and Vuille, 2009). Además, de aquí a 2100, la variabilidad de temperatura anual podría ser mucho mayor y la probabilidad de experimentar años extremadamente calurosos podría ser más alta, hasta el punto de que los años más fríos podrían ser mucho más calurosos que los años más calurosos registrados en la actualidad (Urrutia and Vuille, 2009).

Calentamiento en función de la elevación en los Andes tropicales



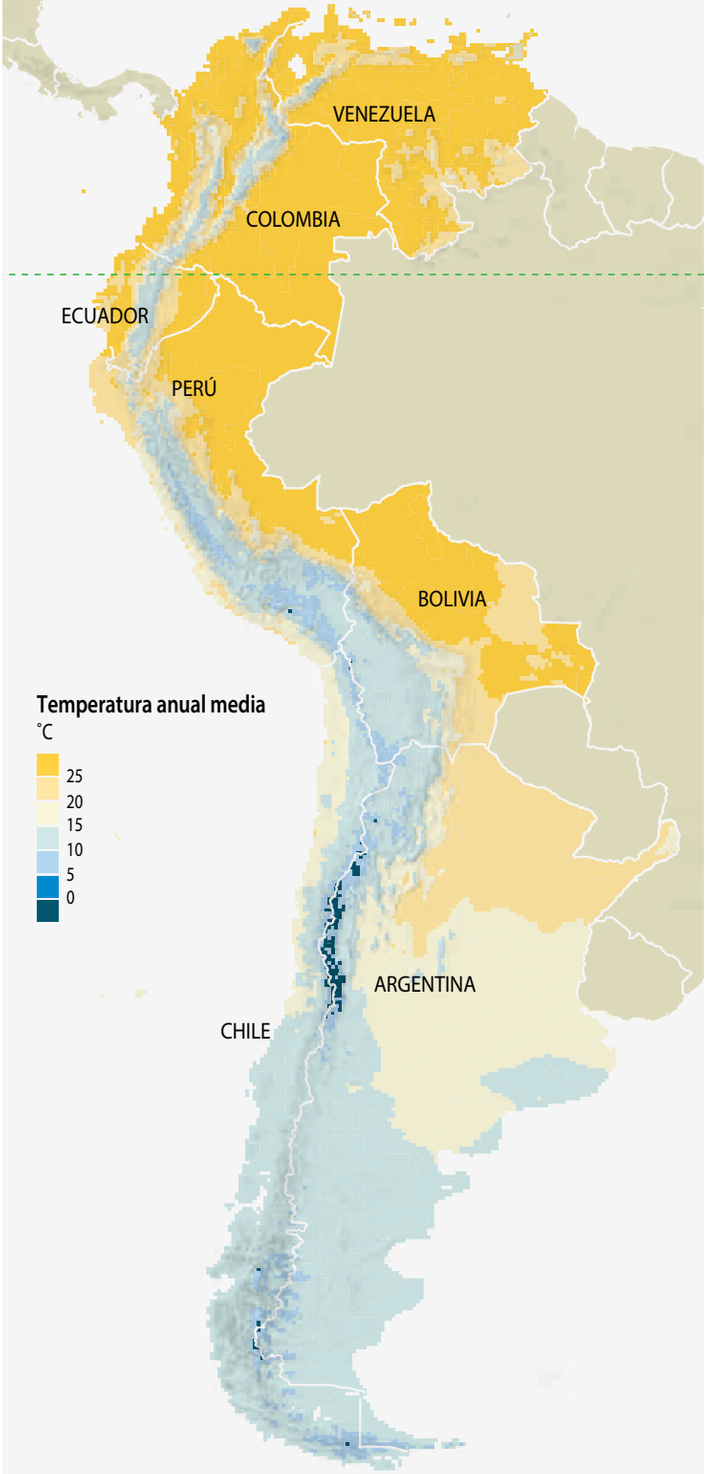
*Diferencia de temperatura entre RCM-A2 y la hipótesis base de 1961-1990 para los Andes

Fuente: Urrutia, R., Vuille, M., «Climate change projections for the tropical Andes using a regional climate model: Temperature and precipitation simulations for the end of the 21st century», 2009

GEO-GRAPHICS / GRID-Arendal 2018

Temperatura anual media en los Andes

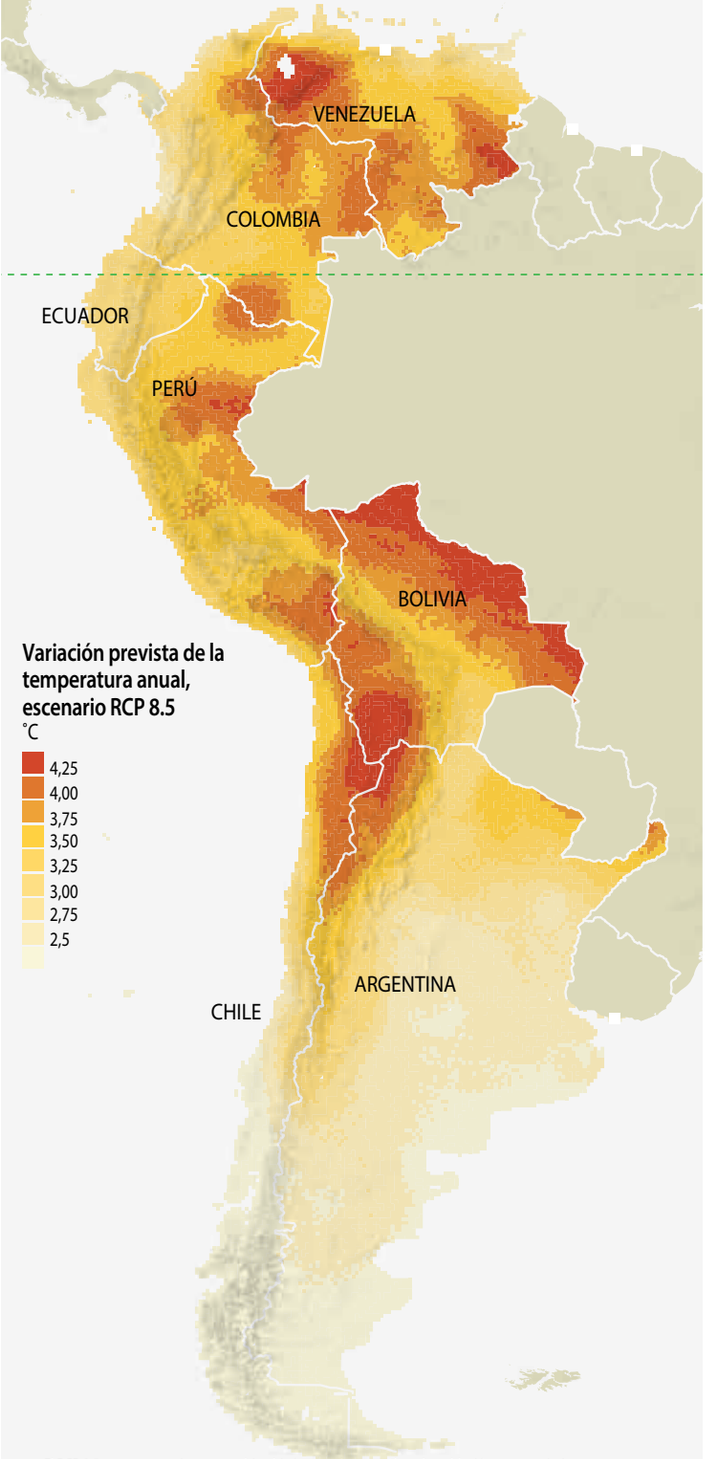
Base de referencia, 1950-2000



Fuente: Hijmans, R.J., et al., «Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas», 2005, en worldclim.org

GEO-GRAPHICS / GRID-Arendal 2018

Proyección para 2061-2080 RCP 8.5



El RCP 8.5 es un escenario que combina hipótesis sobre una elevada población y un crecimiento relativamente lento de los ingresos con tasas moderadas de cambio tecnológico y mejoras de la intensidad energética, que a largo plazo conducirán a una demanda energética y unas emisiones de gases de efecto invernadero elevadas en ausencia de políticas sobre el cambio climático

Fuentes: Hijmans, R.J., et al., «Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas», 2005, en worldclim.org

Disminución del hielo

Los glaciares se forman por encima de la línea de nieve y la temperatura y las precipitaciones son cruciales para su formación y mantenimiento. Como se ha indicado en el capítulo anterior, las temperaturas de los Andes están aumentando y los patrones de precipitaciones están cambiando.

Aunque la mayoría de los glaciares del mundo están menguando desde principios del siglo XVIII, cuando finalizó el período de frío conocido como la pequeña edad de hielo, (Vuille et al., 2018; Zemp et al., 2015), el rápido retroceso experimentado por los glaciares andinos en los últimos tiempos ha estado vinculado al cambio climático antropógeno (Marzeion et al., 2014). Los glaciares son indicadores sensibles del cambio climático ya que responden con rapidez a los cambios de temperatura y precipitaciones. El rápido retroceso de los glaciares tropicales se considera uno de los indicadores más visibles del calentamiento de la Tierra (Vuille et al., 2008). El grado de retroceso del glaciar varía, pero los glaciares pequeños son los más vulnerables y muchos de los glaciares andinos ya han desaparecido.

La respuesta hidrológica de los glaciares en retroceso está bien documentada (por ejemplo, Baraer et al., 2012). Debido al retroceso continuado, se experimenta un aumento temporal de la escorrentía por deshielo, que cuando llega a su nivel máximo se denomina pico hídrico. Tras este momento se produce un descenso continuado de los volúmenes de escorrentía anuales a medida que el glaciar continúa perdiendo masa (Mark and Mckenzie, 2007; Baraer et al., 2012). Aguas abajo, esto provoca una caída del nivel de los ríos y posibles sequías (si no se compensa de forma adecuada con un aumento de las precipitaciones). El pico hídrico se alcanza antes en las cuencas con glaciares pequeños y cubierta de hielo más fina. La mayoría de los estudios sugieren que el pico hídrico de los glaciares andinos ya se ha producido o se producirá en los próximos 20 años (Huss and Hock, 2018; Huss et al., 2017).

Los glaciares están retrocediendo en todos los países andinos. Este fenómeno se manifiesta de forma especial en los glaciares pequeños de poca altitud de los Andes tropicales (Rabatel et al., 2013).

Venezuela

En 1952, las montañas de Venezuela contaban con 10 glaciares (Schubert, 1998). Según un estudio reciente, solo quedaba uno, el glaciar Humboldt (Braun and Bezada, 2013). El glaciar Humboldt está ubicado en la ladera noroccidental del Pico Humboldt, el segundo pico más alto del país (4.942 m). En 2011 el glaciar abarcaba una superficie de 0,1 km^2 aproximadamente, y se cree que desaparecerá de aquí a 2021 (Braun and Bezada, 2013).

Colombia

Colombia ha experimentado un retroceso drástico de los glaciares, en especial desde mediados de la década de los ochenta (Vuille et al., 2018). Se calcula que ocho de los glaciares tropicales del país desaparecieron durante el siglo XX (Ceballos et al., 2006) y han desaparecido más desde que comenzó el siglo XXI (Poveda and Pineda, 2009). En 2016 se realizó un examen de los datos de satélite de una superficie de extensión glaciar de 42 km^2 aproximadamente distribuida en cuatro cordilleras y se observó que, desde la década de los noventa, la extensión de los glaciares se ha reducido en un 38% (Rabatel et al., 2018). Según las previsiones, solo los glaciares más grandes de los picos más altos llegarán a la segunda mitad del siglo. El resto de los glaciares, como Las Conejeras, son objeto de seguimiento mediante mediciones in situ y probablemente desaparecerán en los próximos años (Rabatel et al., 2018).

Algunos de los glaciares que aún permanecen cubren volcanes activos, una combinación potencialmente mortal. La presencia de nieve y hielo ofrece una fuente de agua que puede mezclarse con la roca volcánica emitida por la erupción y fluir cuesta abajo formando un lahar, (Vuille et al., 2018). Estas coladas pueden ser más destructivas que los flujos de lava ya que pueden desplazarse a gran velocidad. Los lahares que se formaron tras la erupción del Nevado del Ruiz en 1985 fueron el resultado de la fusión repentina de unos 10 km^2 de hielo y nieve y causaron la muerte de más de 23.000 personas (Pierson et al., 1990).

Ecuador

Los glaciares del Ecuador se encuentran más cerca del ecuador que cualquier otro glaciar andino. La mayoría están ubicados en las cordilleras de origen volcánico y están restringidos a los picos más altos. Igual que los de Colombia, se presentan como calotas glaciares en las cumbres que alimentan lenguas glaciares (Jordan and Hastenrath, 1998). Los glaciares están limitados a dos cordilleras: la Cordillera Occidental con cuatro glaciares y la Cordillera Oriental con tres glaciares. Son más frecuentes en la Cordillera Oriental porque el aire húmedo del Amazonas propicia una mayor precipitación en esta región (Cáceres, 2010).

Los glaciares situados en los volcanes Antizana y Cotopaxi resultan especialmente interesantes ya que contribuyen al suministro de agua de la capital del Ecuador, Quito, donde viven más de 2 millones de personas (Franou et al., 2000; Francou, 2004; Vergara et al., 2007). La pérdida de volumen de los glaciares de esta región ha sido significativa en los últimos decenios y previsiblemente continuará sucediendo en vista a los escenarios de cambio climático (Francou, 2004; Vuille et al., 2008).

Las fotografías aéreas del Antizana 15 muestran que el glaciar retrocedió con gran rapidez entre 1995 y 2000, coincidiendo con un período de fenómenos de El Niño de gran intensidad (Francou et al., 2000; Francou et al., 2004). También se ha realizado un seguimiento de los glaciares del Cotopaxi cuyos resultados indican una pérdida de superficie del 52% aproximadamente entre 1976 y 2016 (Jordan et al., 2005; Cáceres, 2010; Cáceres 2016; Cáceres 2017). Los glaciares del volcán Chimborazo también han experimentado un retroceso drástico en los últimos decenios, con una pérdida de superficie del 72% entre 1962 y 2016 (Cáceres, 2010; Cáceres, 2016; Cáceres, 2017).

Perú

Los Andes peruanos albergan el mayor número de glaciares tropicales del mundo. Existen zonas con alta presencia de glaciares en 20 cordilleras distintas, desde la parte central y septentrional del Perú hasta la frontera meridional (Morales Arnao, 1998). De los dos sistemas glaciares principales, Cordillera Blanca, que forma parte de la Cordillera Occidental, es el más grande y abarca 200 km de la región central y septentrional del país. Ocho de los glaciares más grandes del Perú se encuentran en la Cordillera Blanca, que es la cordillera tropical con más superficie recubierta de glaciares (Morales Arnao, 1998).

Las fotografías aéreas muestran que, entre 1962 y 1970, un total de 722 glaciares de la Cordillera Blanca ocupaban una superficie de 723,4 km^2 (Ames et al., 1989). A finales del siglo XX esta extensión se

Escorrentía de los glaciares y "pico hídrico"

En determinadas cuencas glaciares de los Andes

Pico hídrico se refiere al punto en el tiempo con la máxima escorrentía por deshielo

Escorrentía normalizada

Escorrentía de los glaciares

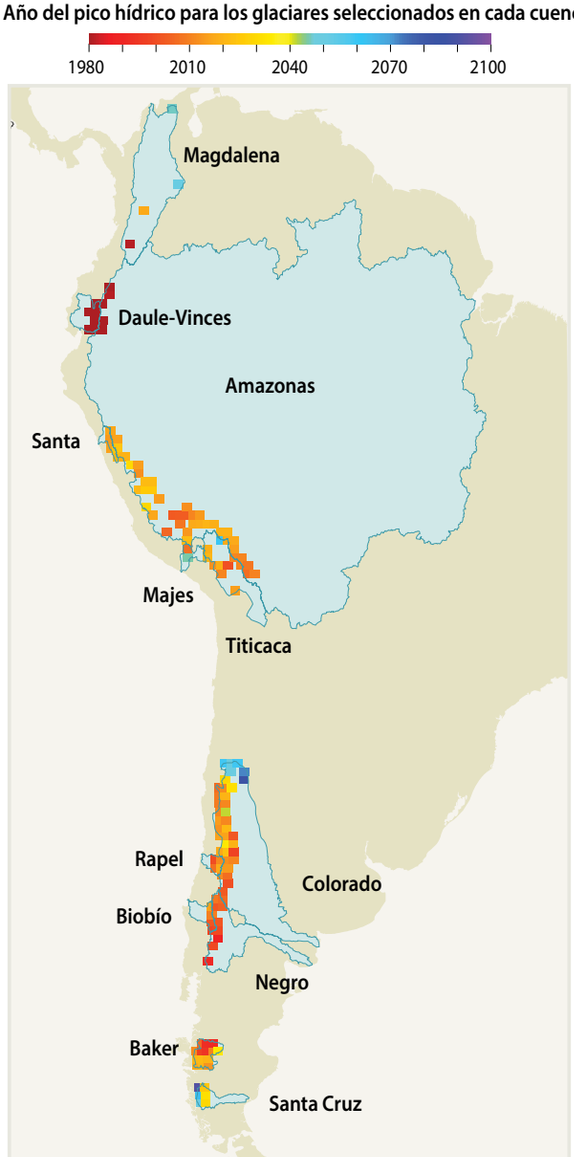
- 1990
- 2050
- 2020
- 2090
- Escorrentía observada en la cuenca fluvial

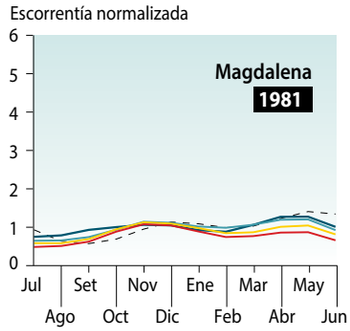
Pico hídrico

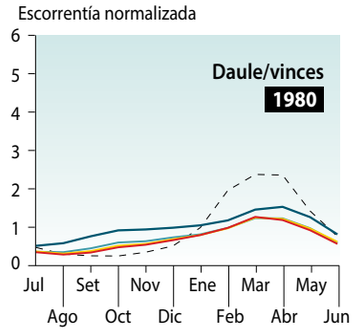
- XXXX Año pasado
- XXXX Año futuro

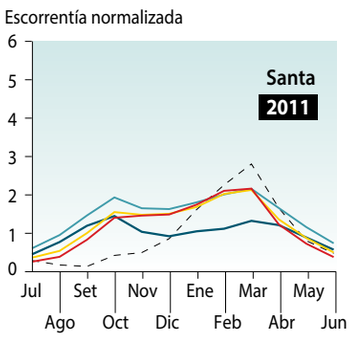
Margen de error de hasta 20 años

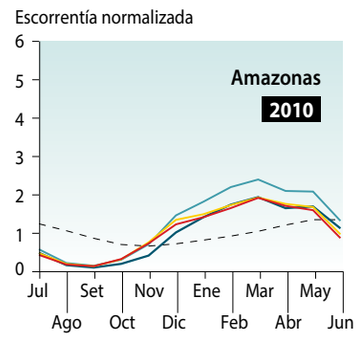
Año del pico hídrico para los glaciares seleccionados en cada cuenca

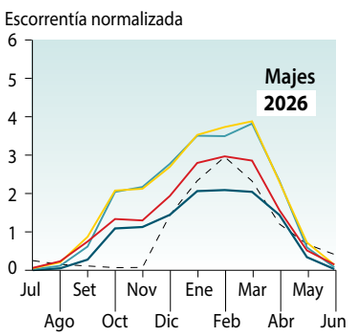


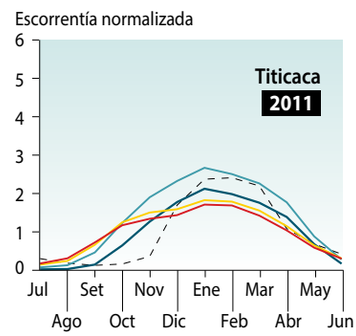


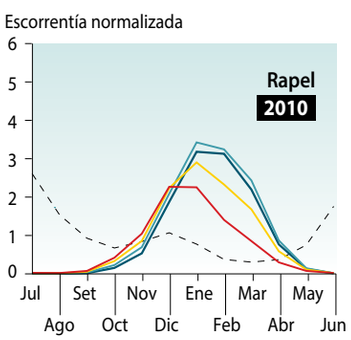


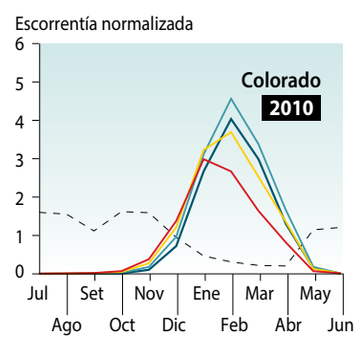


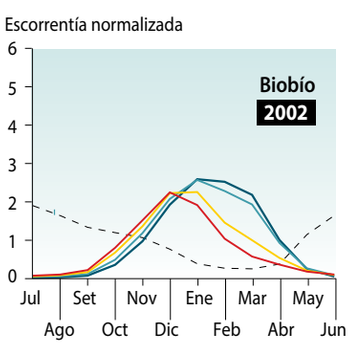


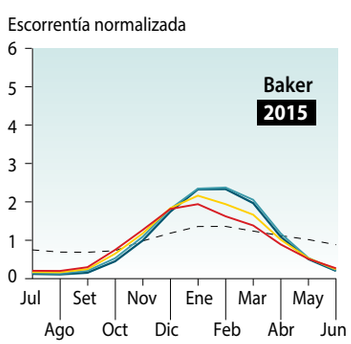


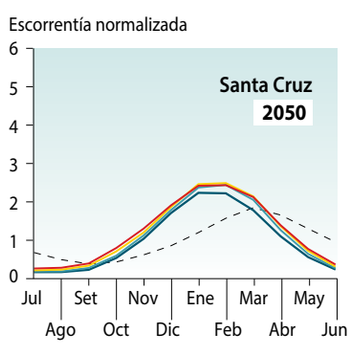


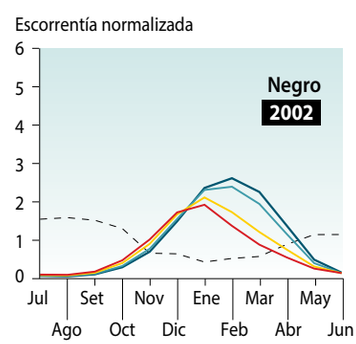












Fuente: Huss, M., Hock., R., «Global-scale hydrological response to future glacier mass loss», 2018

GEO-GRAPHICS / GRID-Arendal 2018

había reducido a menos de 600 km^2 (Georges, 2004). Los glaciares de la Cordillera Blanca han experimentado un retroceso rápido en los últimos decenios, aunque se han registrado algunos períodos de avance breves (Vuille et al., 2008). El análisis de la cordillera ha revelado que muchos glaciares de la zona han cruzado el notable punto de inflexión del pico hídrico (Baraer et al., 2012)

El segundo sistema más grande, la Cordillera de Vilcanota, forma parte de la Cordillera Oriental. Informes actuales reflejan que la Cordillera Oriental ha perdido la mitad de su superficie glaciar entre finales de la década de los setenta y comienzos de la década de 2010 (Zubieta and Lagos, 2010; López-Moreno et al., 2014; Veettil & Souza, 2017).

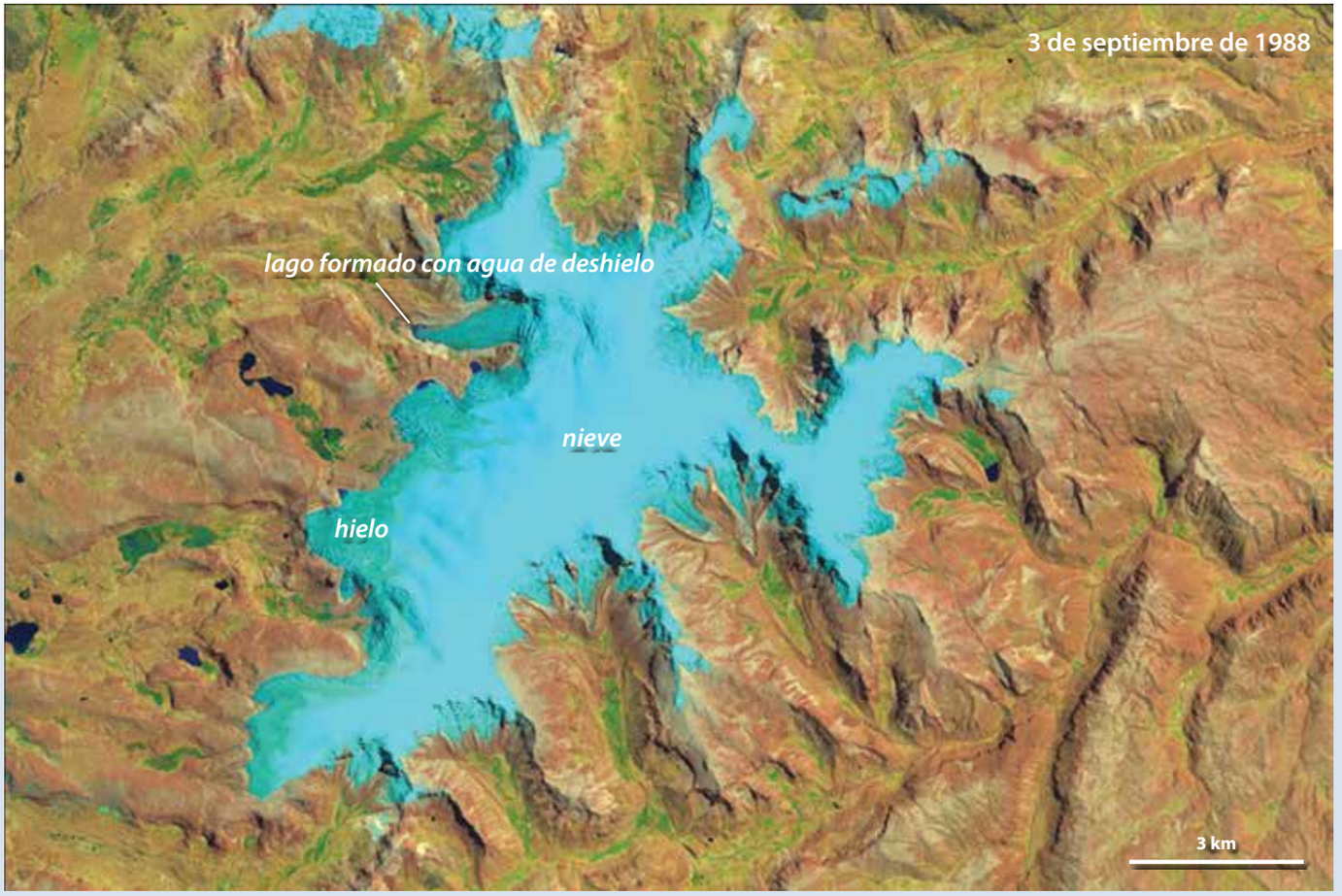
Calota glaciar Quelccaya, Perú

La calota glaciar Quelccaya del Perú, situada a 13,5º de latitud sur, es la mayor calota glaciar tropical del mundo. Su retroceso ha sido rápido; estas imágenes captadas por el Thematic Mapper del satélite Landsat 5 muestran la diferencia de extensión durante un período de 22 años, de 1988 a 2010.

El glaciar Qori Kalis, ubicado en la parte noroccidental de la calota, es un buen ejemplo de la pérdida de glaciares. Las imágenes de satélite de 2010 muestran que se había formado un lago de agua de deshielo especialmente grande como resultado de la pérdida glaciar. En total se han formado ocho lagos glaciares (visualizados en azul oscuro) entre la primera y la segunda imagen y la calota glaciar Quelccaya es ahora más pequeña que hace 6.000 años. Los lagos más antiguos, cuyo contenido de sedimento es menor que en los lagos de formación reciente, se visualizan en negro.

La datación por carbono de plantas antiguas confirma que, hace 6.000 años, las calotas glaciares avanzaron unos 300 m en 1.600 años, mientras que el retroceso actual sigue un ritmo mucho más rápido, a saber, 300 m en 25 años (NASA, 16.09.2010; Thompson et al., 2013).

Fuente (imagen de 1988): Imagen de Landsat-5, por cortesía del Servicio Geológico de los Estados Unidos. Path: 003, row: 070 Captada el 3 de septiembre de 1988.
Fuente (imagen de 2010): Imagen de Landsat-5, por cortesía del Servicio Geológico de los Estados Unidos. Path: 003, row: 070 Captada el 16 de septiembre de 2010.


3 de septiembre de 1988
lago formado con agua de deshielo
nieve
hielo
3 km

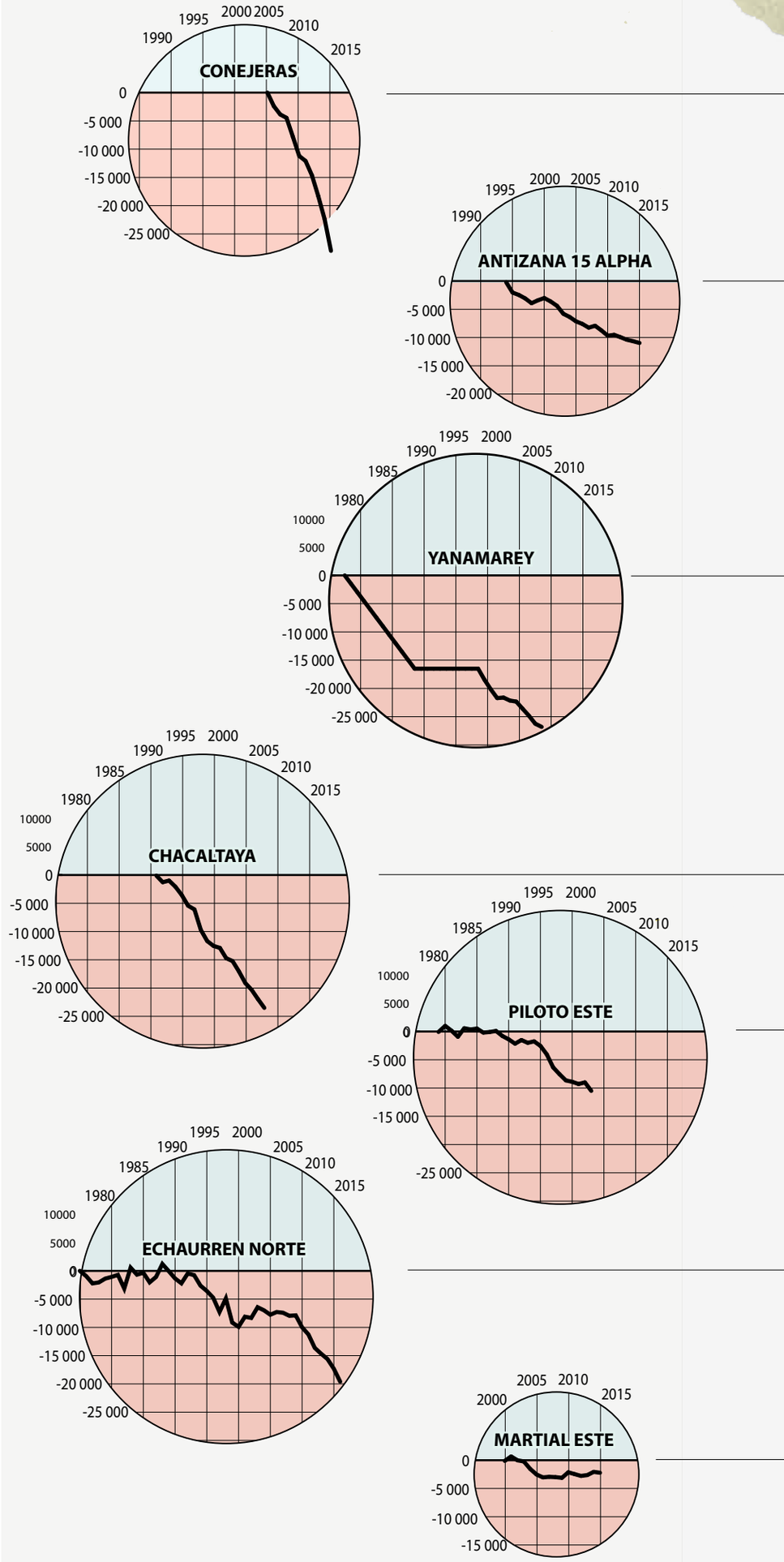
16 de septiembre de 2010
lago formado con agua de deshielo
nieve
hielo
3 km

Bolivia

Los glaciares bolivianos están ubicados en dos importantes cordilleras, la Cordillera Occidental y la Cordillera Oriental, que puede dividirse en cuatro cordilleras más pequeñas: Apolobamba, Real, Tres Cruces y Nevado Santa Vera Cruz. Las cordilleras orientales acogen la mayoría de los glaciares, que son calotas glaciares, glaciares de valle y glaciares de montaña. Los glaciares de la Cordillera Occidental están limitados al Nevado Sajama y los volcanes cercanos. Debido a las escasas precipitaciones, actualmente no existe ningún glaciar en la parte meridional del país (Messerli et al., 1993).

Se ha observado un retroceso rápido de los glaciares en el siglo XX, en especial desde la década de los ochenta (Jomelli et al., 2009, 2011; Soruco et al., 2009). Los glaciares del monte Charquini, en la Cordillera Real, han perdido entre el 65% y el 78% de su superficie y las velocidades de retroceso han aumentado en un factor de cuatro en los últimos decenios (Rabatel et al., 2006).

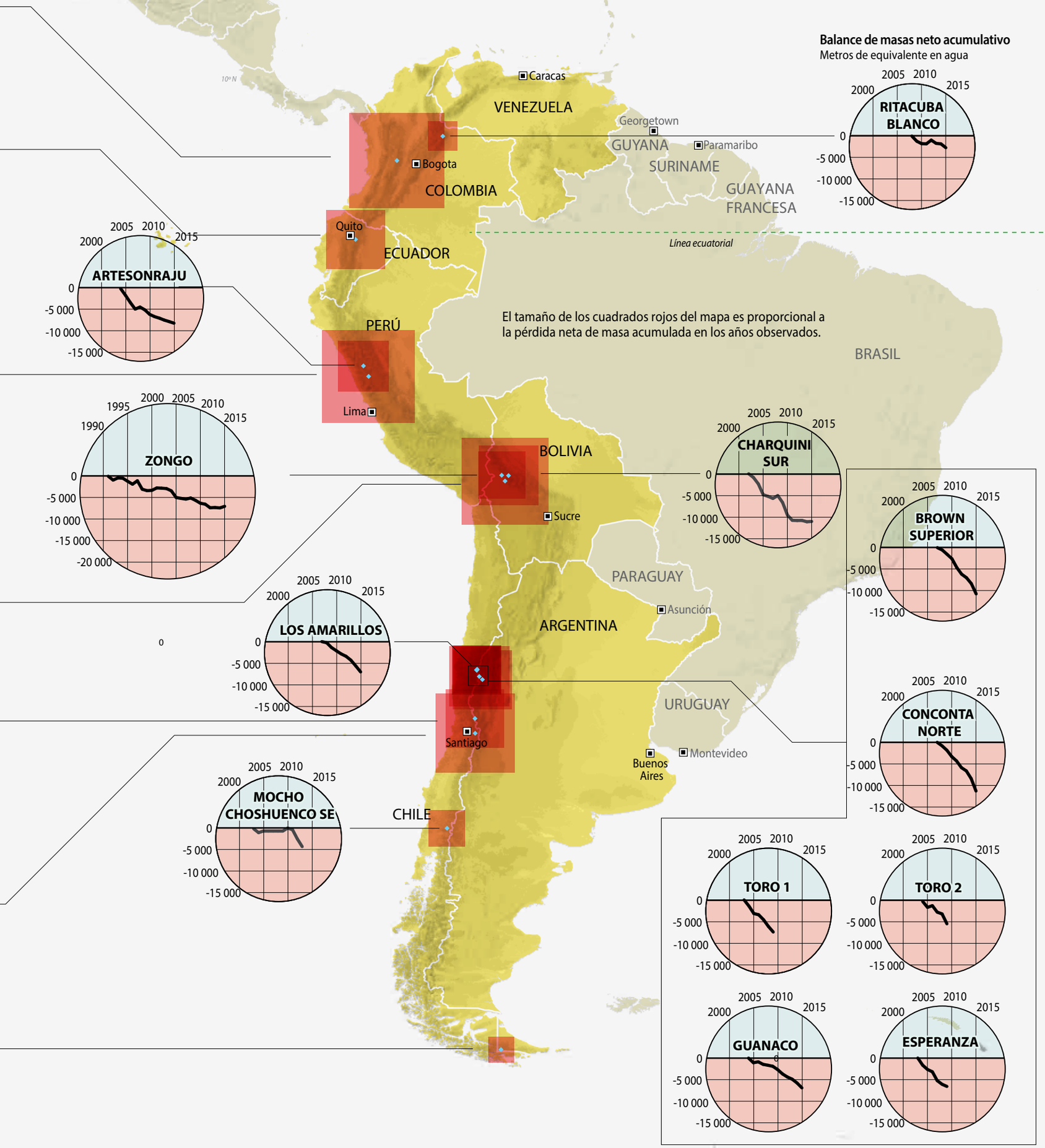
El glaciar Chacaltaya, situado también en la Cordillera Real, albergaba una pequeña estación de esquí (la más alta del mundo, a 5.400 m) para la población urbana de La Paz. Entre 1940 (cuando tenía un tamaño de 0,22 km^2) y 1983, el glaciar perdió el 62% de su superficie. En 1998 solo abarcaba 0,01 km^2 o el 7% de la extensión de 1940 (Francou et al., 2000). Para 2009 el glaciar había desaparecido por completo. Chacaltaya es representativo de muchos de los glaciares de la región, ya que más del 80% de todos los glaciares de la Cordillera Real tienen un tamaño inferior a 0,5 km^2 (Francou et al., 2000). Chacaltaya también es un ejemplo de la manera en que el retroceso de un glaciar se acelera cuando alcanza un tamaño crítico en el que los efectos marginales por advección de aire caliente de las rocas circundantes adquieren una importancia fundamental (Francou et al., 2003).



Fuente: base de datos del Servicio Mundial de Vigilancia de Glaciares, consultada en febrero de 2018.

GEO-GRAPHICS / GRID-Arendal 2018

Balance de masas neto acumulativo para determinados glaciares de los Andes



Chile y Argentina

Las temperaturas en las montañas de Chile y Argentina han aumentado aproximadamente entre 0,2 ºC y 0,3 ºC cada decenio desde 1976 (Falvey and Garreaud, 2009), y continúan subiendo (Vuille et al., 2015). Los glaciares de la región, como los de los Andes tropicales, han ido retrocediendo, sobre todo en los últimos decenios. Los grandes glaciares terrestres y marinos de la Patagonia y Tierra de Fuego han experimentado un retroceso rápido (Warren and Sugden, 1993). Algunos de los casos más drásticos son el retroceso del glaciar Jorge Montt (19,5 km entre 1898 y 2011; Rivera et al., 2012a), el glaciar O'Higgins (14,6 km entre 1896 y 1995; Casassa et al., 1997), el glaciar Upsala (6,7 km entre 1945 y 1995; Aniya, 1995; Skvarca et al., 2003; Sakakibara et al., 2013) y el glaciar Marinelli (10,7 km entre 1913 y 2000; Porter and Santana, 2003). La mengua de los glaciares no se limita a las zonas de baja altitud, donde alcanza sus valores máximos, sino que también se produce en zonas de mayor elevación (Willis et al., 2012a, b). Debido a la dinámica local del hielo, algunos glaciares continúan avanzando, como los glaciares Pío XI y Trinidad (Casassa et al., 2014; Rivera et al., 2012).

Predicciones futuras

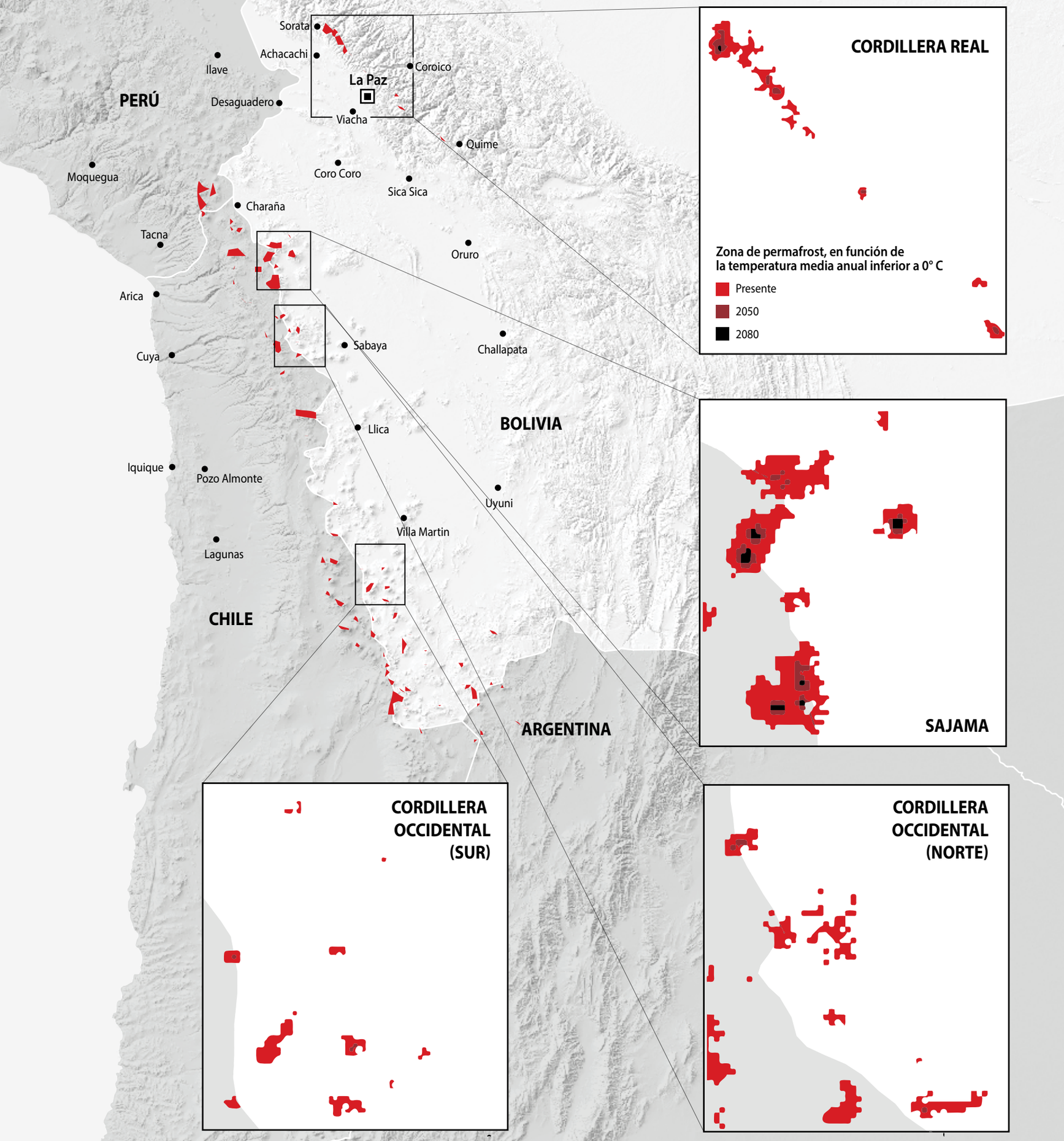
Se prevé que los glaciares de todos los Andes continúen retrocediendo. Los cambios hidrológicos resultantes repercutirán de forma significativa en las comunidades y los ecosistemas. En el futuro, la merma de los glaciares provocará la reducción a largo

El permafrost y los glaciares rocosos

El permafrost, o suelo permanentemente congelado, se forma en altitudes altas y, como los glaciares, es sensible a los cambios de temperatura. El calentamiento, el retroceso de los glaciares y el deshielo del permafrost desestabilizan las laderas de las montañas. No se ha estudiado en profundidad la extensión del permafrost en los Andes, lo que hace difícil predecir las implicaciones de su deshielo para las comunidades y el medio ambiente. Los glaciares rocosos activos indican la presencia de permafrost y constituyen la expresión visual del deslizamiento del permafrost (Barsch, 1996). Debido a su estructura, los glaciares de roca son más resistentes al calentamiento que los glaciares, y se espera que contribuyan cada vez más a la escorrentía y a la descarga fluvial a medida que el clima se haga más cálido. En realidad, los glaciares de roca son más abundantes que los glaciares en la zona central de los Andes (Jones et al., 2018).

Sin embargo, Rangecroft et al. (2016) examinaron la extensión actual y las previsiones futuras del permafrost y los glaciares de roca activos de los Andes bolivianos y determinaron que el calentamiento previsto provocaría la pérdida del 95% del permafrost actual en Bolivia para 2050 y del 99% para 2099 (Rangecroft et al., 2016). Estas predicciones incluyen la pérdida de casi todos los glaciares de roca de Bolivia antes de 2099, lo que afectaría de forma significativa a la seguridad hídrica del país.

Predicción de los efectos del cambio climático en los Andes centrales



Fuente: Rangecroft, S., et al., «Future climate warming and changes to mountain permafrost in the Bolivian Andes», Climatic Change 2016

GEO-GRAPHICS / GRID-Arendal 2018

plazo de la descarga fluvial procedente de cuencas con glaciares durante la estación seca (Vuille et al., 2018).

Los modelos glaciológicos elaborados en función de los diferentes escenarios de emisiones del el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) apuntan a una reducción drástica del volumen de los glaciares tropicales en el futuro. La disminución prevista depende del escenario utilizado para calcular la pérdida de volumen. Por ejemplo, en el escenario de calentamiento climático moderado del IPCC (2014) se esperan pérdidas de volumen del 78% al 97%, pero en los escenarios de altas emisiones las pérdidas oscilan entre el 93% y el 100% (Radić et al., 2014).

Rabatel et al. (2018) han calculado los cambios futuros de los glaciares colombianos. La extrapolación a partir de las velocidades de reducción de la superficie glaciar observadas durante los últimos decenios indica que los glaciares de Nevado de Tolima probablemente desaparecerán antes de 2030, y la mayoría de los glaciares de Sierra Nevada de Santa Marta y Sierra Nevada de El Cocuy desaparecerán antes de 2050. Estas predicciones sugieren que solo llegarán hasta la segunda mitad del siglo algunos de los glaciares más grandes de las cotas más altas del Nevado del Huila, del Nevado del Ruiz, de Sierra Nevada de Santa Marta y de Sierra Nevada de El Cocuy, y aquellos que perduren tendrán un volumen mucho menor.

Schauwecker et al. (2017) han elaborado un modelo del cambio de la cota de nieve para calcular la extensión futura de los glaciares peruanos. El balance de masas de los glaciares tropicales es sensible a la subida de la cota de nieve como consecuencia de la reducción de la acumulación. Los investigadores han determinado que, para finales del siglo XXI, la cota de nieve aumentará en 230 m (±190 m) en el escenario de calentamiento global bajo del IPCC (2014) y en 850 m (±390 m) para el escenario alto. Su conclusión es que, incluso en el mejor escenario posible, los glaciares continuarán retrocediendo, y en el escenario de calentamiento más alto posiblemente solo sobrevivirán los de las cumbres más altas (por encima de 5.800 m sobre el nivel del mar).

En los Andes meridionales se espera un aumento futuro de las temperaturas, desde aproximadamente 1ºC para los escenarios del IPCC más moderados hasta 7ºC para los escenarios extremos (IPCC, 2014). Como consecuencia directa de las temperaturas atmosféricas más altas, está previsto que la cota de nieve y la altitud de las líneas de equilibrio continúen ascendiendo, lo que irá asociado a una pérdida de masa glaciar cada vez más rápida (Carrasco et al., 2005, 2008; Fig. 8). Se considera que los glaciares pequeños como Echaurren Norte desaparecerán en 2040–2045 (CECs, 2009).

PARTE 3

EL IMPACTO DEL DESHIELO GLACIAR

Deshielo acelerado de los glaciares

Los glaciares desempeñan una función importante en la hidrología de los Andes, en especial en las regiones áridas o semiáridas. Dada su capacidad para almacenar agua durante los períodos más fríos y liberarla en forma de agua de deshielo durante la estación seca, sobreviven a los períodos áridos y actúan como reserva para los asentamientos humanos y los ecosistemas naturales (Buytaert et al., 2017). La reducción de la masa glaciar influye negativamente en la capacidad de un glaciar para servir de almacén de recursos hídricos. Como se ha descrito anteriormente, a corto plazo, el ritmo acelerado de deshielo provoca un máximo en la escorrentía por deshielo, denominado pico hídrico, lo que podría generar niveles no sostenibles de dependencia hídrica en comunidades y personas. A largo plazo, después del máximo inicial, se producirá una reducción del volumen del caudal.

Aunque existe información y compresión adequada del deshielo acelerada de los glaciares de la región andina, las consecuencias para los procesos hidrológicos y las actividades y los usos humanos están menos claras y son más discutibles. Las consecuencias pueden ser graves, ya que el volumen decreciente del caudal exacerba la variabilidad estacional y la vulnerabilidad de la población a los fenómenos meteorológicos extremos y el cambio climático. Un ejemplo es la sequía extrema de Bolivia en 2016-2017, que obligó al Gobierno a declarar el estado de emergencia cuando se secaron los embalses y fue necesario racionar el agua (Perez et al., 2017). Otro ejemplo es la "megasequía" del centro de Chile entre 2010 y 2015, cuando las precipitaciones cayeron a niveles inferiores a la media y provocaron escasez de agua grave en el centro de Chile y el oeste de Argentina (Garreaud et al., 2017).

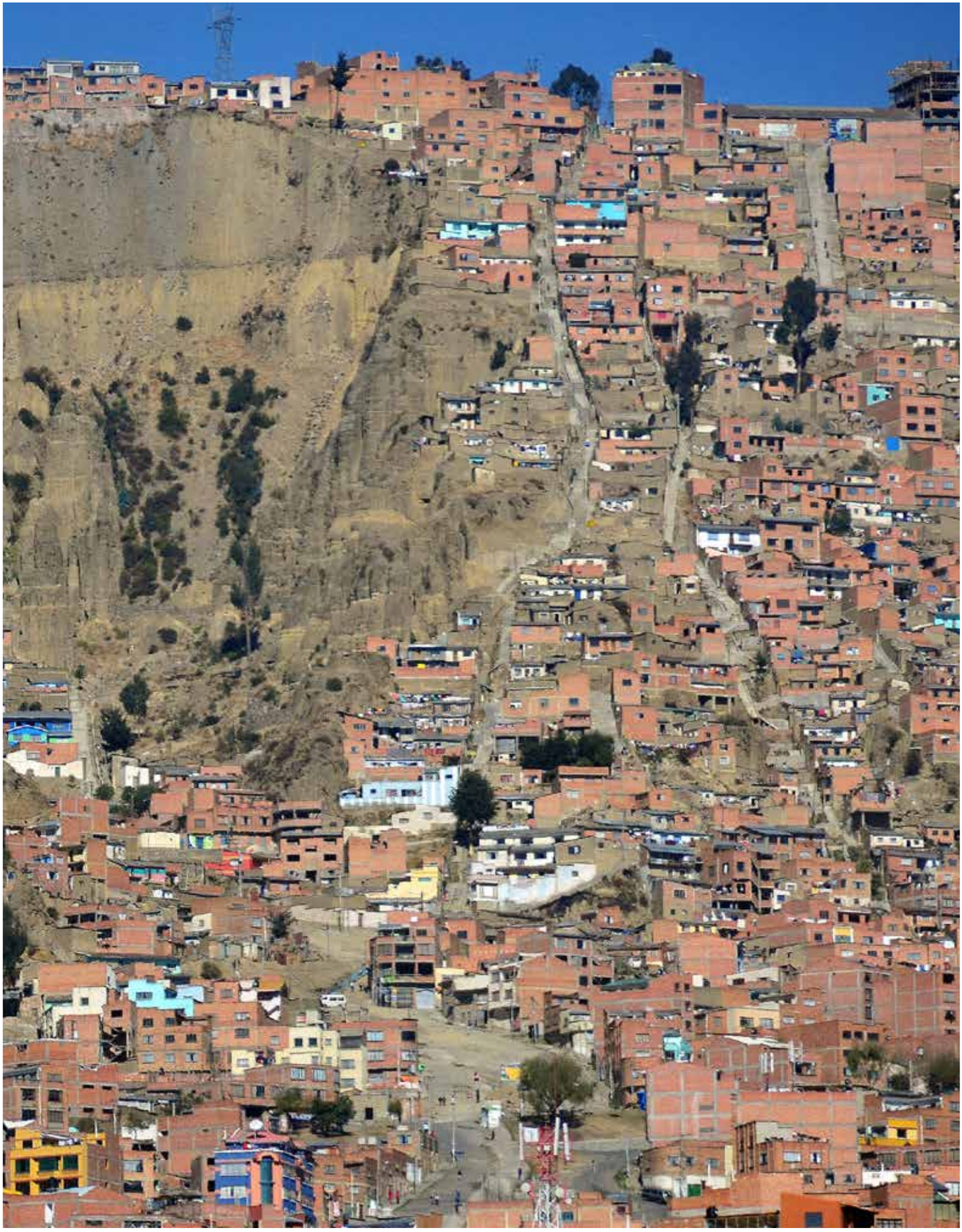
Desbordamiento repentino de un lago glaciar

Al acelerarse la velocidad con la que se derriten la nieve y los glaciares, aumenta la formación de lagos glaciares. En muchos casos, la integridad de las morrenas glaciares que funcionan como diques en estos lagos es limitada, lo que, con el tiempo, podría contribuir a su colapso, y con frecuencia, provocar el desbordamiento repentino de un lago glaciar. El desbordamiento repentino de los lagos glaciares puede alterar el curso del caudal de agua, así como su calidad, debido a su alto contenido en sedimentos. Por consiguiente, el desbordamiento repentino de un lago glaciar representa un riesgo sustancial para las personas y las comunidades que viven en valles próximos a un lago de este tipo. Existen numerosos ejemplos de los impactos potencialmente graves del desbordamiento repentino de un lago glaciar, como es la amenaza para la vida humana y el posible daño a infraestructuras, incluyendo viviendas, carreteras y autopistas, así como los sistemas de suministro de agua. En 1941, el desbordamiento repentino de la laguna Palcacocha provocó la muerte de 5.000 personas en Perú. En 2010, parte de la ciudad peruana de Carhuaz fue destruida por un gran desbordamiento repentino de la Laguna 513 (Carey et al., 2012). En 2008 y 2009, en el río Colonia, en Chile, se produjeron cinco grandes inundaciones procedentes de glaciares (IAI, 2010) y, en diciembre de 2016 se produjo un pequeño desbordamiento repentino de un lago glaciar en Chimborazo (glaciar n.º 13), en Ecuador.

Población y riesgo hídrico en los países andinos

Fuente: Gassert, F., M. Landis, M. Luck, P. Reig, y T. Shiao. 2014. «Aqueduct Global Maps 2.1.» Working Paper. Washington, DC: World Resources Institute, consultado en febrero de 2018; Center for International Earth Science Information Network - CIESIN - Columbia University. 2017

GEO-GRAPHICS / GRID-Arendal 2018



El posible impacto de la reducción del agua de deshielo de los glaciares en las actividades humanas está sujeto a un alto grado de incertidumbre, y las consecuencias se distribuirán de forma irregular entre los países y las comunidades de los Andes. La vulnerabilidad a estos cambios depende del nivel de sensibilidad a la amenaza y de la capacidad de adaptación de las personas. Por ejemplo, los riesgos de escasez de agua no afectarán a todos por igual, pero probablemente aquellas personas que tienen fondos limitados y carecen de redes de seguridad social sufrirán las consecuencias más graves (Montaña et al., 2016).

En general, los países andinos se caracterizan por su vulnerabilidad inherente a los efectos e impactos del cambio climático, debido a la combinación de múltiples aspectos de la vulnerabilidad. Entre estos se incluye la pobreza generalizada y extrema que se concentra principalmente en las zonas rurales, la desigualdad social, la importancia de la agricultura en la economía, la urbanización de zonas expuestas a riesgos, la elevada incidencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos e instituciones deficientes (Doornbos, 2009). También cabe señalar la repercusión cultural, ya que muchas comunidades andinas han tenido un fuerte vínculo con los glaciares por medio de creencias culturales, percepciones y valores sociales. Se considera que la desaparición de los glaciares y los cambios en el paisaje natural tradicional tienen un significado simbólico, que puede asociarse con las comunidades locales y las amenazas para sus medios de vida futuros (Kaenzig, 2015; Vuille et al., 2018).

Magnitud de la contribución del agua de deshielo glaciar al caudal

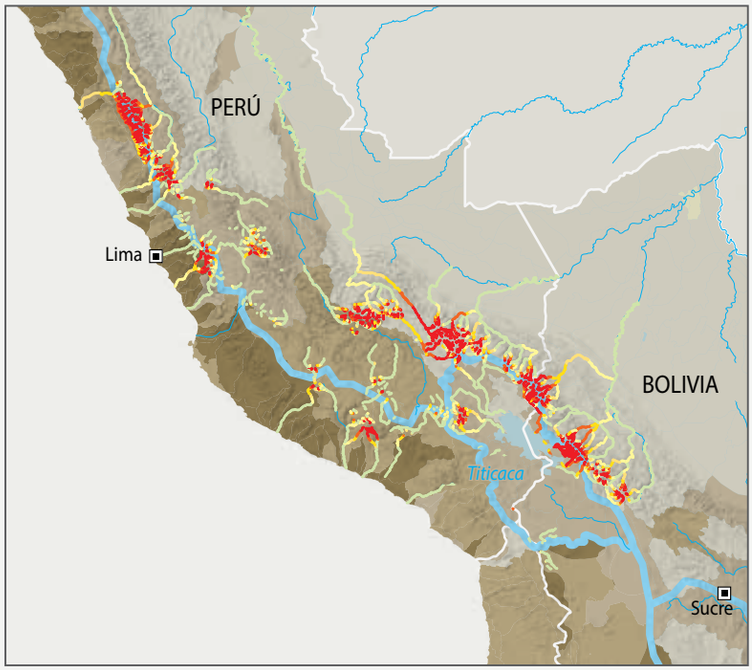
A nivel mundial, se calcula que 140 millones de personas viven en zonas en las que el agua de deshielo glaciar aporta, con carácter estacional, al menos el 25% del caudal (Schaner et al., 2012). Las contribuciones de los glaciares a la población dependen de una serie de factores, como son la ubicación y la distancia del glaciar, así como otras fuentes de descarga. Muchas de las zonas de montaña rurales de los Andes son especialmente vulnerables a la escasez de agua, sobre todo en las regiones áridas y semiáridas de cada país. Por ejemplo, los altiplanos del sur del Perú y de Bolivia son puntos críticos de estrés hídrico, debido a su clima semiárido y a una marcada estacionalidad. Dada la limitada capacidad hidrológica de almacenamiento de las pequeñas cuencas de tierras altas, el agua de deshielo glaciar ha servido de mecanismo amortiguador. El estrés hídrico se agrava todavía más por el hecho de que normalmente se trata de comunidades rurales con riesgo de pobreza y con una capacidad de adaptación limitada (Heikkinen, 2017; Hunt y Watkiss, 2011; IPCC, 2007; Moench y Stapleton, 2007).

La situación también es preocupante en las ciudades y los centros de población a gran altitud, sobre todo en zonas que afrontan una prolongada estación seca, de entre cinco y seis meses de duración. En especial cabe mencionar la región de los Andes tropicales, ya que las zonas montañosas están muy pobladas y engloban algunos importantes centros de población, como Cuzco en Perú, y La Paz y El Alto en Bolivia. A pesar de que las ciudades de mayor tamaño prestan una mayor atención a las infraestructuras de almacenamiento de agua, debido a los elevados niveles de estrés hídrico, el agua de deshielo de los glaciares ha actuado como amortiguador año tras año. Por ejemplo, una estimación de la contribución máxima mensual del agua de deshielo de los glaciares al suministro de agua disponible durante un año normal permitió constatar que esta contribuía aproximadamente el 5% del suministro de agua disponible en Quito (Ecuador), el 61% en La Paz (Bolivia) y el 67% en Huaraz (Perú), mientras que, durante un año de sequía, la contribución máxima mensual al suministro de agua disponible aumentaría la dependencia hasta aproximadamente el 15% en Quito (Ecuador), el 85% en La Paz (Bolivia) y el 91% en Huaraz (Perú) (Buytaert et al., 2017).

Dependencia sectorial del agua en los Andes

El agua de deshielo de los glaciares juega un papel fundamental para las sociedades y las economías de todos los países andinos, por ejemplo, al abastecer el agua para uso doméstico, tanto para su consumo como para el saneamiento. La agricultura andina también depende del agua de deshielo de los glaciares, sobre todo en las regiones áridas y semiáridas de algunos de los países andinos, como, por ejemplo, Perú y Bolivia. Por consiguiente, es probable que un descenso de la escorrentía de los glaciares provoque estrés hídrico y afecte a la producción agrícola y a la seguridad alimentaria en determinadas zonas (Young y Lipton, 2006).

Entre los sectores económicos con una gran dependencia del agua se incluyen también la minería y el de la energía hidroeléctrica (Buytaert et al., 2017; Carey et al., 2017; Vuille et al., 2018). La disminución del agua de deshielo glaciar podría tener potenciales efectos adversos para estos sectores. Según una estimación de la planta peruana de energía hidroeléctrica Cañón del Pato, en el río Santa, de producirse una reducción del 50% en la escorrentía de los glaciares, su producción disminuiría de 1.540 a 1.250 GWh, y en caso de que los glaciares desaparecieran por completo, lo haría hasta 970 GWh (Vergara et al., 2007). En términos generales es difícil extraer conclusiones sobre los futuros efectos potenciales de la reducción del deshielo de los glaciares para el sector hidroeléctrico (Vuille et al., 2018). El sector turístico es otro de los que puede verse influenciado por la disminución del tamaño de los glaciares (Vuille et al., 2018).



Contribución máxima del deshielo de los glaciares a la escorrentía fluvial
Porcentaje
- 10 o menos
- 10 a 20
- 20 a 25
- 25 a 50
- Más de 50

Impacto del estrés hídrico de las cuencas fluviales y del deshielo de los glaciares en los Andes

Notas:
El riesgo hídrico general identifica areas más expuestas a riesgos relacionados con el agua y es una medida agregada de indicadores seleccionados como el estrés hídrico, la variabilidad estacional, la extracción de aguas subterráneas, etc.

La gravedad de las inundaciones se define por el número de inundaciones registradas durante el período 1985-2011.

La gravedad de la sequía se define como la duración media de la sequía multiplicada por la intensidad de la sequía (para el período 1901-2008).

La duración de la sequía se define como un período continuo, medido en meses, en el que la humedad del suelo se mantiene por debajo del 20.º percentil. La intensidad de la sequía se mide como el número de puntos porcentuales de humedad del suelo por debajo del 20.º percentil.

Fuente: WRI Aqueduct, consultado en línea en mayo de 2018; Buytaert, W., et al. Glacier melt contribution to water resources in the Andes.

GEO-GRAPHICS / GRID-Arendal 2018

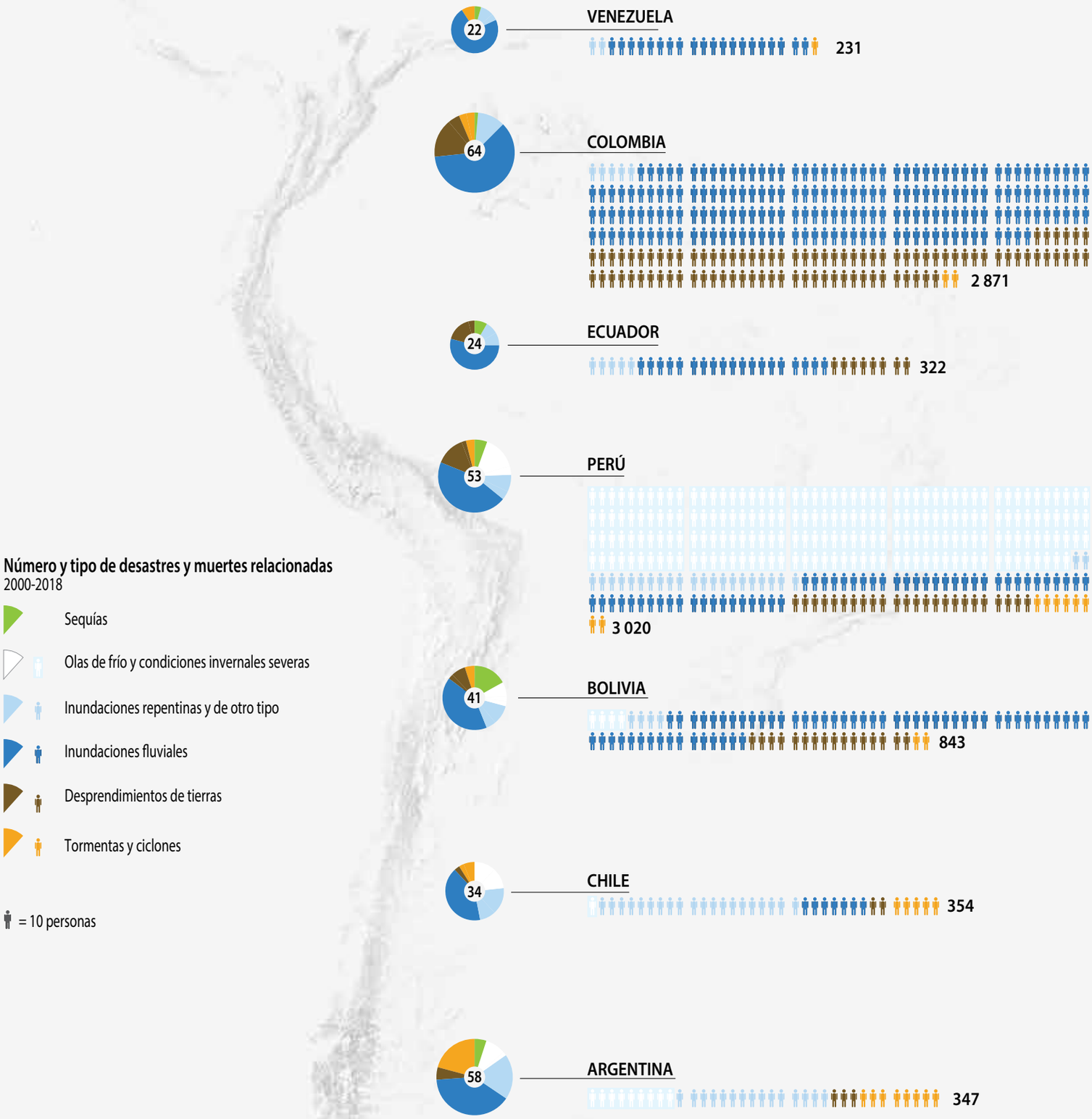
Impacto sobre la futura disponibilidad de agua

Tal como ponen de relieve las previsiones de cambio climático, los glaciares andinos seguirán retrocediendo, y se prevé que aquellos de menor tamaño situados a menor altitud desaparecerán en un futuro próximo. Es posible que el impacto general sobre los recursos hídricos se limite a las zonas más próximas a los glaciares. Sin embargo, la repercusión de los glaciares sobre la estacionalidad del curso de agua de los ríos será significativa, y reducirá su efecto amortiguador durante los períodos más secos, incluso en zonas a mucha distancia de ellos. Puede que estos cambios se vean intensificados por las consecuencias directas del cambio climático sobre la magnitud y la variabilidad de los cursos de agua. Por ejemplo, según un estudio de modelado realizado en la ciudad de La Paz (Bolivia), en caso de que los glaciares desaparecieran por completo y las precipitaciones no experimentasen cambios, la producción total de agua para abastecer a esta ciudad se reduciría un 12% en un año y un 24% durante la estación seca (Soruco et al., 2015).

Además del impacto que supone el retroceso de los glaciares en los recursos hídricos y el riesgo de desbordamiento repentino de lagos glaciares, existen otros peligros relacionados con el cambio climático que plantean riesgos tanto para las sociedades de montaña como de cuencas inferiores. En caso de que se mantengan los elevados niveles de emisiones, se prevé que los Andes experimentarán un notable calentamiento calculado entre 2 y 5° centígrados antes de fin de siglo. Pese a que es difícil predecir la distribución de la precipitación, es probable que esta se vea modificada en el futuro, ya que para 2100 se prevé un aumento de las precipitaciones en las regiones costeras de Colombia y Ecuador y en algunos lugares de los Andes orientales, al sur del ecuador, y un descenso en los Andes meridionales (tropicales), incluidas las regiones del Altiplano, lo que conlleva un aumento de la sequía. Asimismo, se prevé un incremento de los fenómenos meteorológicos extremos, como las precipitaciones fuertes, además de un aumento de los años extremadamente cálidos, lo que a su vez puede contribuir a crecidas, inundaciones, desprendimientos de tierras e incendios naturales de bosques e incidir directamente en los sistemas alimentarios y en la salud humana. Todos esto incrementará la vulnerabilidad de las comunidades que viven o dependen de las zonas afectadas. Las medidas de adaptación y reducción del riesgo también deben abordar estos peligros.

El descenso de la cantidad de agua de deshielo de los glaciares, junto con otras predicciones relativas al cambio climático, el aumento de la población, las tendencias de urbanización, la importancia cada vez mayor de la agricultura intensiva orientada a la exportación, la minería, la energía y la electricidad, apuntan a un aumento de las necesidades y de la competencia por los recursos hídricos en los países andinos (Drenkhan et al., 2015). Los resultados de varios estudios (por ejemplo Carey et al., 2017; Rasmussen, 2016; Buytaert y Bièvre, 2012) han puesto de relieve que es probable que los cambios demográficos en los países andinos —por ejemplo, el aumento de la población— sean más importantes para los futuros escenarios hídricos y las estrategias de adaptación que la propia reducción de los recursos hídricos a consecuencia del cambio climático. Esto también pone énfasis en la necesidad de contar con estrategias de adaptación ante el estrés hídrico y la escasez de agua, independientemente de las tendencias de deshielo de los glaciares y los futuros escenarios de precipitación (Vuille et al., 2018).

Impacto del clima y los desastres hidrológicos en los países andinos



Fuente: D. Guha-Sapir, R. Below, Ph. Hoyois - EM-DAT: International Disaster Database – www.emdat.be – Université Catholique de Louvain – Bruselas (Bélgica). Consultado en agosto de 2018

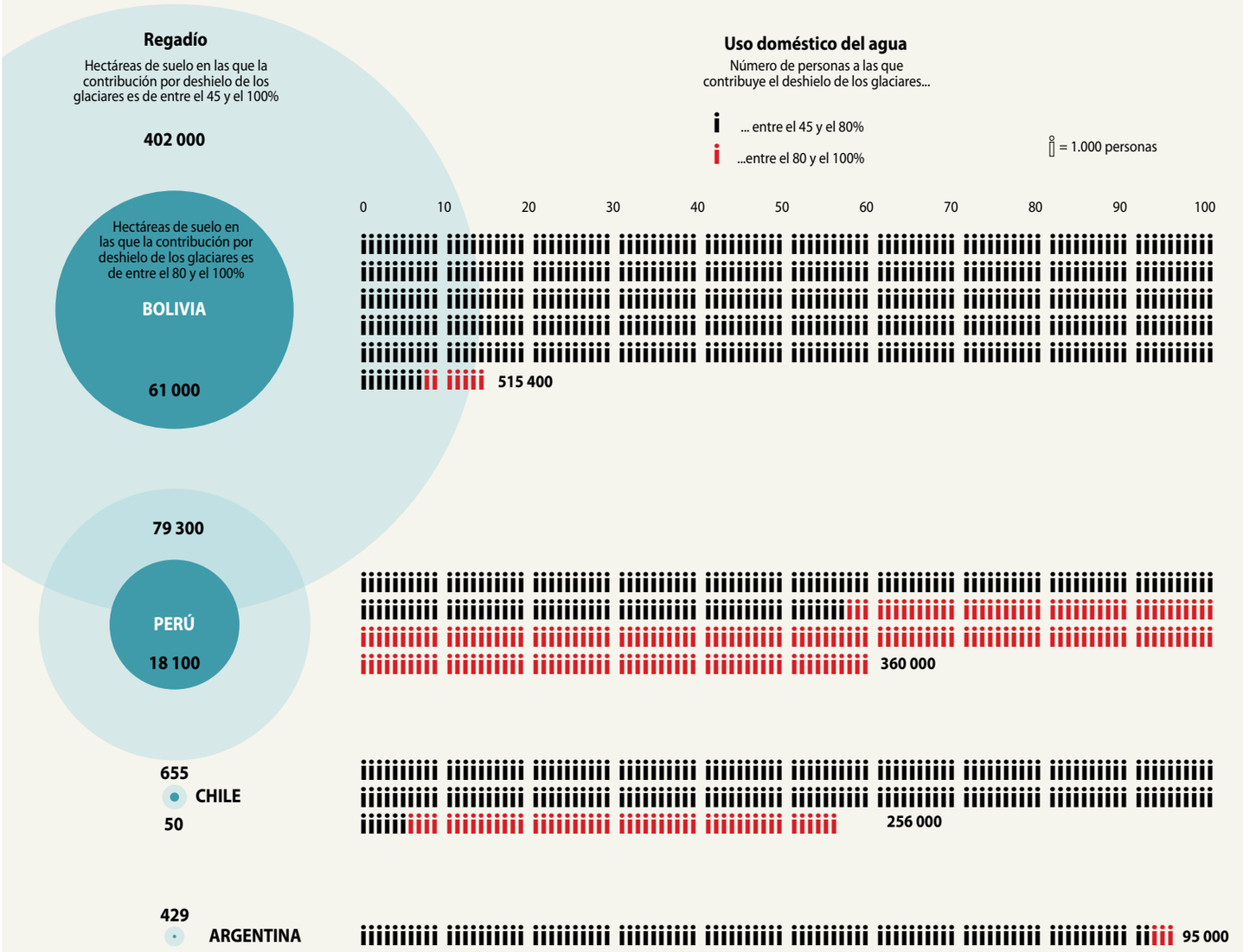
GEO-GRAPHICS / GRID-Arendal 2018

La competencia entre usos, en especial entre las necesidades locales y las demandas hídricas de la industria, así como la menor disponibilidad de agua, pueden generar conflictos por los recursos hídricos. Dentro de los países andinos, los recursos hídricos presentan una distribución desigual y, pese a que el agua es en escasas ocasiones la única causa de conflicto, o la más importante, con frecuencia contribuye a empeorar las fricciones existentes entre los distintos actores (Wolf et al., 2005; Vuille et al., 2018). Los conflictos relativos al agua se producen por diversos motivos, aunque los derechos y el acceso al agua, así como su cantidad y calidad, constituyen con frecuencia la base del conflicto (Wolf et al., 2005). En la región andina existen varios ejemplos serios de conflictos y competencia sobre el uso del agua, como la guerra del agua que tuvo lugar en Cochabamba, tercera mayor ciudad de Bolivia (The Economist, 10.2.2000, The New Yorker, 8.4.2008), o el conflicto entre los residentes de la ciudad peruana de Espinar y el proyecto de regadío Majes-Siguas II, debido al cual los ciudadanos perciben un peligro de reducción del suministro de agua (Columbia 4.10.2010, La República 19.12.2016).

A fin de abordar el estrés hídrico cada vez mayor en la región andina se necesitan urgentemente políticas de gestión sostenible del agua y estrategias de adaptación para poder hacer frente a la menor disponibilidad de agua y al aumento de la demanda en el futuro, y que se apliquen dichas políticas y estrategias, para que pueda haber seguridad hídrica tanto en la actualidad como en el futuro (Ragettli, Immerzeel & Pellicciotti, 2016).

Contribución del deshielo de los glaciares al uso doméstico del agua y a la superficie irrigada

Durante un mes con contribución máxima por deshielo de los glaciares



Fuente: Buytaert, W., et al. Glacier melt contribution to water resources in the Andes

GEO-GRAPHICS / GRID-Arendal 2018

PARTE 4

LA RESPUESTA A LOS RETOS HÍDRICOS

La respuesta a los retos hídricos

La adaptación, que con frecuencia se entiende como el "ajuste de los sistemas naturales o humanos en respuesta a estímulos climáticos reales o esperados, o a sus efectos" (IPCC, 2007), es fundamental para mantener las sociedades y los ecosistemas saludables frente al cambio climático. Pese a que las medidas de adaptación cubren multitud de acciones, que van desde el plano individual hasta el gubernamental, su objetivo es atenuar los efectos perjudiciales o explotar las oportunidades beneficiosas provocadas por el cambio climático (IPCC, 2007). Incluye formas reactivas y proactivas de iniciativas tanto públicas como privadas y con frecuencia suele tratarse de procedimientos en curso. Para evitar la maladaptación, la adaptación debe apoyarse en un análisis meticuloso de los factores socioeconómicos subyacentes a la vulnerabilidad al cambio climático. La maladaptación consiste en cualquier respuesta de adaptación que aborde los riesgos inmediatos pero que aumente los riesgos futuros, ya que en última instancia, crean condiciones que aumentan la vulnerabilidad (McGray et al., 2007).

La región andina está experimentando cambios climáticos que tendrán consecuencias severas para el medio ambiente y, por consiguiente, para la vida de muchos lugareños. Las comunidades tendrán que hacer frente a los desafíos derivados del cambio climático, como la escasez de agua, la impredectibilidad de la disponibilidad de agua, así como el riesgo de inundaciones provocadas por el desbordamiento repentino de lagos glaciares.

La Mejora del almacenamiento natural de agua en los ecosistemas andinos

A medida que disminuya la capacidad de almacenamiento de agua de los glaciares, será fundamental explotar al máximo otras oportunidades de acumularla. Por ejemplo, los ecosistemas húmedos andinos de los páramos, que pueden encontrarse en los altiplanos de la zona occidental de Venezuela, Colombia, Ecuador y al norte del Perú, son de gran importancia para el almacenamiento hidrológico (Buytaert et al., 2006). Por consiguiente, es fundamental encontrar modos que respalden y mejoren el almacenamiento hidrológico natural y la capacidad de regulación de los ecosistemas, con medidas tales como la restauración y la adaptación de estos.

La restauración ecológica se define como el proceso de "asistir a la recuperación de ecosistemas que han sido degradados, dañados o destruidos" (SERI, 2006). El objetivo de la restauración consiste en alcanzar la función del ecosistema original mediante el restablecimiento de la compleja interdependencia entre las especies. Estas medidas pueden incluir, por ejemplo, la (re)forestación y la rehabilitación de suelos degradados (Harris et al., 2006). Es muy importante implicar a

las comunidades locales en estas actividades de conservación. Esto no solo refuerza la noción de titularidad del suelo y de propiedad y conciencia del ecosistema y sus recursos, sino que también hace uso de los conocimientos y la experiencia de las comunidades locales en el proceso de identificar las especies, las técnicas de propagación y la eficiente aplicación de estrategias. Los proyectos de restauración ecológica requieren de conocimientos técnicos y ecológicos (Murcia et al., 2016), y las implicaciones de cualquier restauración deben analizarse detenidamente (Harris et al., 2006).

La adaptación basada en los ecosistemas (EbA, por sus siglas en inglés) se define como un proceso que integra "el uso de la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas como parte de una estrategia general de adaptación para ayudar a las personas a adaptarse a los efectos adversos del cambio climático" (Colls et al., 2009). La justificación de esta práctica se basa en que los ecosistemas saludables no solo aportan multitud de beneficios a la población, como agua potable, leña y medicamentos, sino que también pueden ejercer como importantes barreras o reducir los daños de sucesos extremos como las inundaciones y los desprendimientos de tierras. Para que la adaptación basada en los ecosistemas tenga éxito, debe aplicarse de forma integral teniendo en cuenta la complejidad del ecosistema, incluida la relación entre los ecosistemas y la hidrología. Por ejemplo, los ecosistemas tienen un papel destacado en el ciclo del agua a través de la contribución del suelo y la vegetación al movimiento, el almacenamiento y la transformación del agua (WWAP, 2018).

Aplicar medidas simples y eficaces para la captación de agua

La captación de agua es una estrategia que puede aumentar el almacenamiento de agua y contribuir a mantener los suministros de agua que requiere la agricultura. Entre los sistemas de captación

CASO DE ESTUDIO

Fondos municipales de agua para la restauración de los ecosistemas de montaña

Los fondos de agua son un mecanismo por el cual los usuarios de este recurso realizan un pago a cambio del producto que reciben, que en este caso es agua dulce limpia. En América Latina existen docenas de estos fondos. Uno de los más antiguos es el Fondo Para La Protección del Agua (FONAG). El FONAG es un fondo de patrimonio establecido por el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito a través de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS) y The Nature Conservancy.

El objetivo del FONAG consiste en garantizar una financiación adecuada para la gestión y la conservación de las cuencas que cubren las necesidades de la población de Quito. El FONAG opera como un fondo de patrimonio, cuyo capital procede de la EPMAPS, la Empresa Eléctrica Quito S.A. (EEQ), The Nature Conservancy, COSUDE/CAMAREN y dos empresas ecuatorianas, Cervecería Andina y Tesalia Springs Co. Los ingresos del fondo se destinan a financiar actividades y programas ambientales que apoyan la conservación del agua. Entre ellas se incluyen actividades de restauración y plantación para la protección de los recursos hídricos. Un ejemplo de ello es la restauración de los bosques que se encuentran en el altiplano andino, fundamentales para proteger los manantiales que producen el agua de la cuenca alta del río Guayllabamba que abastecen de agua al Distrito Metropolitano de Quito.

Fuente: El Fondo para la Protección del Agua-FONAG, 2018

CASO DE ESTUDIO

Recuperar tradiciones antiguas para potenciar la adaptación

En la época del imperio inca, en el siglo XV, existía un sistema de terrazas y canales de regadío que cubrían prácticamente un millón de hectáreas de las laderas andinas, creadas con el propósito de alimentar a la abundante población. Con los siglos, este sistema se fue degradando gradualmente debido a que los conquistadores españoles obligaron al pueblo a optar por otros cultivos y a explotar los recursos mineros.

En la actualidad, muchas de estas antiguas terrazas están siendo restauradas para hacer frente al creciente estrés hídrico. Aprovechando los detalles arqueológicos sobre la construcción de las terrazas y los canales de regadío, el Cusichaca Trust, organización benéfica peruana, ha regado 160 hectáreas de terrazas en el valle de Patacancha, cerca de Cuzco. Este proyecto ha contribuido a mejorar el acceso al agua y a la productividad de los cultivos de la región. Los antiguos canales captan el agua de las vías fluviales durante la estación lluviosa y la transportan a zonas en las que alimentan los manantiales de la parte baja de la colina, lo cual permite que el río continúe fluyendo incluso durante los períodos más secos. Por todo el país se están llevando a cabo iniciativas similares, incluido en Lima, en donde se está restaurando un antiguo sistema de canales de regadío. Estas iniciativas se consideran soluciones eficaces en relación al coste.

Fuentes: Panorama (29.11.2016), New Scientist (9.4.2015), Smithsonian.com (6.9.2011)

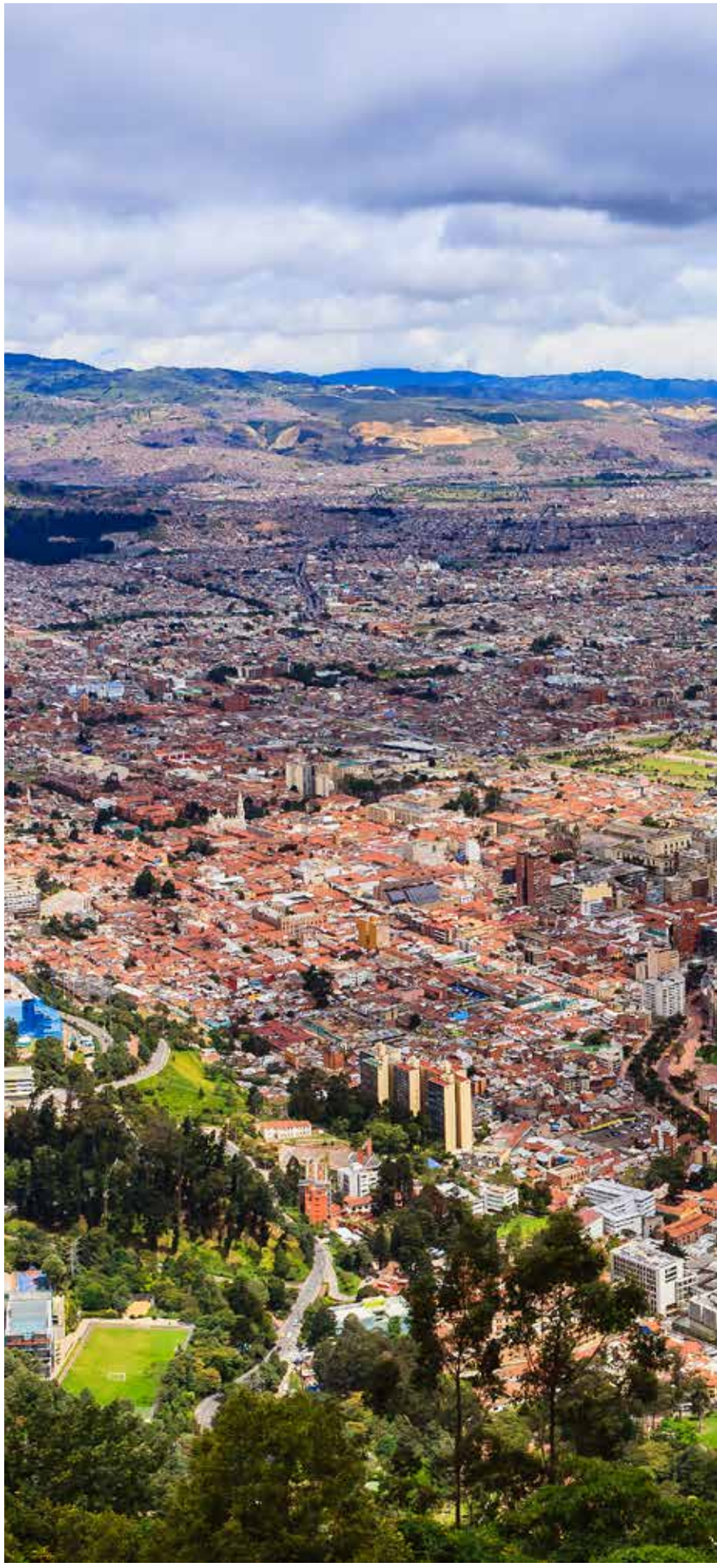
de agua se incluyen las micropresas rústicas o atajados. Una micropresa rústica es un embalse artificial que, por lo general, se construye en una depresión natural en el lecho de un río estacional o sobre el suelo. Estas presas de tierra compactada se construyen para recoger y almacenar el agua de lluvia que fluye en la superficie, o de una fuente de agua próxima (Santa Cruz Cárdenas et al., 2008; Goetter y Picht, 2010). Las presas almacenan el agua para el regadío y también promueven su infiltración y la recarga de los acuíferos, lo que permite mantener los humedales y los manantiales de las tierras bajas (Zeisser et al., 2013).

Debido a que para la construcción de las micropresas y los atajados se utilizan materiales locales, no requieren una gran inversión. No obstante, es necesario contar con conocimientos especializados y experiencia para ubicar de forma adecuada la estructura y construir muros de retención que sean lo suficientemente estables para evitar su colapso durante la estación lluviosa. Es importante que se implique de forma activa a las comunidades locales en el desarrollo de estrategias de adaptación, como son las técnicas de captación de agua. La probabilidad de que la estrategia de adaptación se adopte y se tome como propia es mayor si se emplean métodos ancestrales locales.

Mejora del suministro y la eficiencia del agua

Mejorar el uso y el suministro eficaz del agua cobrará más importancia con el cambio climático y el aumento del estrés hídrico. Entre los factores que deben tenerse en cuenta no solo se incluye el uso del agua, sino también la cantidad, la calidad y la oportunidad del suministro de agua (Moench y Stapleton, 2007). Un primer paso importante consiste en examinar los usos e identificar las formas de reducir la dependencia del agua (demanda de agua) y evitar ajustar o "malgastar" los recursos hídricos cuando no es necesario. Una importante medida de adaptación consiste también en incluir medidas destinadas a reducir la cantidad de agua dulce necesaria mediante el reciclado y la reutilización del agua, incluidos los sistemas de tratamiento. Para ciertos fines es posible reducir la demanda de agua de gran calidad mediante la reutilización o el reciclaje. En 2017, el Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP) de las Naciones Unidas indicó que aproximadamente el 80% de las aguas residuales mundiales son vertidas en el medio ambiente sin tratar. En lugar de considerarse una carga para el medio ambiente y la salud humana, si se tratan adecuadamente, las aguas residuales representan un recurso hídrico todavía sin explotar.

El suministro de agua en las ciudades y las zonas urbanas, en especial aquellas a gran altitud, constituye una importante preocupación en la región andina. Los recursos hídricos de las principales ciudades, como son La Paz, El Alto y Quito, se ven sometidos a una presión cada vez mayor debido al crecimiento de la población y el cambio climático (Buytaert y Bièvre, 2012). Es necesario adaptarse a estas dificultades, mediante una mejor infraestructura para la gestión del agua, el refuerzo de las instituciones y la planificación de una gestión integrada y participativa de los recursos hídricos. Para ello será fundamental reducir la pérdida de agua de las infraestructuras



urbanas de agua y saneamiento. Por ejemplo, en Bolivia, el servicio de aguas de La Paz instaló equipos y aplicó un programa de eficiencia, que consiguió mejorar la eficacia de la distribución del agua. De este modo se redujo la pérdida de agua en el distrito 4 de El Alto del 39,6% al 26,5%, lo cual supone un ahorro de agua de aproximadamente 619 m^3/año y persona (División de Población de las Naciones Unidas, 2018).

Teniendo en cuenta el grado en que los países andinos y las comunidades locales dependen económicamente de la agricultura, una importante medida de adaptación consiste en identificar las prácticas agrícolas que contribuyen a la conservación del agua. Gran parte de la producción de alimentos y la agricultura en los Andes depende del agua de lluvia, aunque el regadío sea utilizado con frecuencia como complemento. La eficiencia hídrica general del regadío en la mayoría de los sistemas no supera entre el 35 y el 40%, aunque la mejora de la tecnología de regadío puede conseguir eficiencias medias en el orden de entre el 50 y el 60% o superiores mediante, por ejemplo, la aplicación de sistemas de regadío por pequeños aspersores y por goteo (Hendriks, 2013). Existen numerosos programas públicos que pretenden promover el regadío mecanizado, aunque por lo general estos programas se orientan a la construcción de sistemas de mediano y gran tamaño. Por consiguiente, existe la oportunidad de promover el desarrollo de pequeños sistemas eficientes adaptados a la situación de las personas más vulnerables. Sin embargo, dado que incluso la introducción de tecnologías de regadío eficaces puede aumentar en última instancia el consumo total de agua, es necesario aplicar medidas que contribuyan simultáneamente a mejorar la conservación del agua.

CASO DE ESTUDIO

El riego deficitario como herramienta de adaptación al estrés hídrico

El riego deficitario es una técnica por la cual la cantidad de agua que recibe una planta por regadío se limita a determinados períodos críticos. Por lo general son aquellos durante los que la planta se encuentra en estado vegetativo y durante la fase final de la maduración. Salvo durante estos períodos, el riego se limita o incluso no se aplica si el agua de lluvia puede atender las necesidades básicas de la planta. Pese a que implica cierto estrés hídrico para la planta, este planteamiento pretende mantener una producción estable de los cultivos en lugar de perseguir su máxima producción. En las zonas en las que puede ser un factor limitante —es decir, en las regiones secas— el riego deficitario se considera en general una estrategia de producción sostenible, que puede aumentar la productividad del agua sin provocar graves reducciones del rendimiento (Geerts y Raes, 2009). Según un estudio sobre el riego deficitario de la quinoa en el Altiplano boliviano, se necesita únicamente la mitad de agua de regadío habitual para producir un rendimiento sostenible (Geerts et al. 2008).

Preparación para el desbordamiento repentino de un lago glaciar

Pese a que el problema de la escasez y la falta de agua afectará a muchos pueblos de los Andes, varias comunidades y regiones de montaña y de cuencas inferiores también deben hacer frente a la posibilidad del desbordamiento repentino de un lago glaciar. En muchas zonas, el retroceso de los glaciares ha ido de la mano del desarrollo de lagos proglaciares, con la posibilidad de que revienten y provoquen inundaciones. El desbordamiento repentino de los lagos glaciares no es un fenómeno nuevo en el continente. Un estudio internacional permitió identificar 165 sucesos de este tipo que han tenido lugar desde comienzos del siglo XVIII, 40 de los cuales se registraron en América del Sur. De estos, 11 ocurrieron en Chile entre 1913 y 2009, uno en Colombia en 1995 y 28 en Perú entre 1702 y 1998 (Harrison et al., 2018). El riesgo persiste en Bolivia, por ejemplo, donde se considera que 25 lagos albergan una posible amenaza por inundación repentina para las infraestructuras y las comunidades de aguas abajo (Cook et al., 2016).

Identificar medidas que tienen por objeto reducir los riesgos y los efectos negativos asociados con el deshielo de los glaciares, como el desbordamiento repentino de los lagos glaciares, no solo es importante para evitar la pérdida de vidas humanas, sino también para la protección de las infraestructuras y los modos de vida. Este tipo de desbordamientos supone uno de los peligros más graves que plantean los glaciares. Es necesario que los enfoques que se apliquen a este riesgo se basen en un análisis minucioso de los peligros, la planificación del uso del suelo y las normativas de zonificación, así como los sistemas de alerta y los protocolos de emergencia (Vuille et al., 2018). A fin de concienciar a los lugareños sobre los riesgos, es importante aumentar la publicidad y la divulgación a la comunidad. La ingeniería puede reducir el riesgo de desbordamientos repentinos mediante la instalación de infraestructuras, como las bombas que contribuyen a reducir el nivel del agua, así como otros medios de estabilización de los diques de morrena (Carey et al., 2012). Por consiguiente, es esencial incrementar los sistemas de seguimiento de los lagos glaciares y su eficiencia, para mejorar la identificatión y gestión de los peligros.

Políticas y enfoques para abordar la seguridad hídrica en los Andes

Es necesario que la adaptación a nivel local y de la comunidad esté respaldada por actuaciones, incluida una política nacional y regional adecuada, la cooperación transfronteriza y medidas internacionales sobre el cambio climático.

Puede que en muchos casos los enfoques adoptados en el ámbito local sean insuficientes para la gestión y la conservación del agua. Esto se debe a que los recursos hídricos de una cuenca se ven afectados por varios factores que van más allá del ámbito local, como la agricultura, el desarrollo urbano y la conservación forestal. Del mismo modo, los recursos hídricos afectan las

actividades humanas de las zonas que rodean la cuenca. Enfoques como la Gestión Integrada de Recursos Hídricos de las cuencas pueden emplearse para garantizar que se abordan las conexiones entre la gestión del agua y el suelo, ofreciendo a todas las partes interesadas de la zona de la cuenca fluvial la oportunidad de mejorar la coordinación y el funcionamiento (UNESCO-Programa Hidrológico Internacional, 2009).

Es necesario que las políticas nacionales aporten estrategias, planes y medidas que aborden la adaptación en sectores clave como el uso sostenible del agua, la agricultura y la energía. Las políticas nacionales también deben reconocer las desigualdades de género y étnicas existentes, a fin de garantizar que se consideran y se atiende a los grupos marginados. La incapacidad para desarrollar políticas que reconozcan los posibles efectos del cambio climático sobre los entornos de montaña y los sectores asociados obstaculizará el desarrollo económico y, sin duda, provocará la pérdida de modos de vida en el ámbito local, y posiblemente a una escala mucho mayor (Schoolmeester et al., 2016).

Varios países andinos también han adoptado medidas políticas y legales concretas destinadas a proteger los ecosistemas montañosos que ofrecen recursos hídricos y los propios glaciares. Por ejemplo,

en 2014 el congreso peruano aprobó la ley de mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos. La ley pretende promover, regular y supervisar los mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos con el fin de garantizar la generación de los beneficios económicos, sociales y ambientales que proporcionan los ecosistemas. Esto refuerza las oportunidades para establecer una gestión sostenible de los recursos hídricos en la región andina, al ofrecer una remuneración por conservar los entornos naturales.

CASO DE ESTUDIO

Un sistema de alerta temprana para las potenciales crecidas repentinas de lagos glaciares en la cordillera Blanca (Perú)

La Laguna 513 (9°12′45″S, 77°33′00″W), de origen glaciar, se encuentra en la Cordillera Blanca, a 4428 metros sobre el nivel del mar, en los Andes tropicales del Perú. Este y otros lagos glaciares se encuentran en la cabecera del valle del río Santa, densamente poblado, con más de 260.000 habitantes residiendo aguas abajo. La Laguna 513 comenzó a llenarse en los años setenta. En los ochenta se inició el bombeo para la extracción de agua y se construyeron túneles para reducir todavía más su nivel. Sin embargo, en abril de 2010 tuvo lugar una avalancha de rocas y hielo sobre el lago, lo que provocó su desbordamiento repentino, dañó varios puentes aguas abajoy cubrió el suelo agrícola. Por fortuna, en esta ocasión no se cobró ninguna vida.

A partir de la información obtenida de los análisis de modelización retrospectivos del desbordamiento repentino de 2010 y el cartografiado de peligros basado en posibles escenarios futuros, se desarrolló un sistema de alerta temprana. El sistema se compone de cuatro estaciones estratégicamente ubicadas. La primera se encuentra en el propio lago, y la segunda, situada a 3600 m, incluye un sensor de presión. Ambas están dotadas de geófonos (dispositivos que registran los movimientos del suelo y los transforman en voltaje). Estos son los principales instrumentos utilizados para registrar el posible detonante del desbordamiento repentino de un lago glaciar. Entre los instrumentos adicionales se incluye una cámara ubicada en la estación más alta que toma fotografías cada cinco segundos, y otros sensores que miden la humedad, la velocidad del viento, la temperatura del aire, etc. La tercera estación repetidora se encuentra a 3200 m y la cuarta —el centro de datos que recibe toda la información— se encuentra a 2600 m.

En caso de que uno de los geófonos supere determinado umbral, se envía automáticamente un SMS a todas las personas implicadas, indicándoles que deben comprobar inmediatamente la información y los datos de la alerta temprana. Los pasos a seguir posteriormente se basarán en un plan de actuación previamente definido y en los datos disponibles. El sistema de alerta temprana forma parte de una iniciativa de CARE Perú de mayor envergadura, que engloba medidas educativas y de desarrollo de capacidades sobre la adaptación al cambio climático.

Al instalar sistemas como este, es muy importante involucrar activamente a las comunidades locales, a fin de garantizar que comprenden las ventajas de estos sistemas. En este caso, el sistema de alerta temprana fue destruido por los agricultores locales debido a que pensaban que este era la causa de las sequías que estaban sufriendo.

Fuentes: Frey et al. (2014) & Hill (2016)

En la actualidad, algunos países pretenden regular también la actividad en los glaciares y sus proximidades por medio de leyes específicas. Pese a que la legislación relativa a los glaciares se incorpora por lo general en las leyes ambientales, los protocolos de gestión del agua y las estrategias de planificación regional (Cox, 2016), algunos países cuentan con leyes específicas al respecto. Argentina fue el primer país del mundo en promulgar una ley sobre preservación de los glaciares (Ley 26.639), mientras que la legislación chilena se debate en el parlamento nacional desde 2016. Kirguistán, país centroasiático, también ha propuesto una ley de protección de los glaciares. Todas estas leyes tienen su origen en el deseo de regular y proteger los glaciares de la actividad minera. Sin embargo, existe cierta inquietud al respecto de si dichas leyes pasan por alto la dinámica de los glaciares y podrían impedir o demorar las acciones necesarias para prevenir los riesgos que estos plantean (por ejemplo, el drenaje de los lagos glaciares) u otras medidas de adaptación (Anacona et al. 2018).

CASO DE ESTUDIO

Breve selección de iniciativas internacionales y regionales relevantes

La ***Comunidad Andina*** (CAN) está formada por cuatro países: Bolivia, Colombia, Ecuador y el Perú. Pese a que inicialmente se estableció para la integración regional con fines económicos y de comercio, durante los dos últimos decenios ha ido prestando gradualmente más atención a aspectos sociales, políticos, culturales y ambientales.

El ***Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina*** (CONDESAN) colabora con sus asociados locales en Ecuador y el Perú en el desarrollo de prácticas de restauración en los ecosistemas andinos y la estrategia de investigación sobre el paisaje forestal andino, que identificó un conjunto de objetivos y metas de investigación de gran prioridad para respaldar el desarrollo sostenible en los Andes.

La ***resolución sobre los humedales altoandinos*** fue aprobada en 2002 por las partes de la Convención de Ramsar sobre los Humedales. Relativa concretamente a los humedales altoandinos (que comprenden Argentina, Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador, el Perú y Venezuela, así como Costa Rica), la resolución de la estrategia sobre los humedales altoandinos pretende conservar la biodiversidad y los ecosistemas estratégicos que proporcionan servicios esenciales a las personas. Ofrece una estrategia para la conservación y el uso sostenible de los humedales y complejos de humedales en los ecosistemas de páramo, jalca, puna y otros ecosistemas altoandinos, que incluyen glaciares, lagos, lagunas, pastos húmedos, bofedales, mallines, vegas de altura, salares y turberas, ríos, arroyos y otros cuerpos de agua.

Recomendaciones de políticas

Aumentar el apoyo para las decisiones sobre políticas basadas en el conocimiento científico

La interacción entre la ciencia y las políticas es con frecuencia débil y se ve obstaculizada por la definición de metas y objetivos comunes. Es necesario abordar los problemas de forma conjunta y conseguir una interacción más efectiva entre el clima efectiva y social y las ciencias dedicadas al impacto. Al fundamentar la política en la ciencia se potenciará la asignación eficaz de los recursos para abordar los desafíos ambientales provocados por el cambio climático en los Andes y la consiguiente amenaza para las vidas y los modos de vida. Es especialmente necesario considerar los sistemas de conocimiento locales e indígenas como una valiosa fuente de información para la gestión sostenible de los ecosistemas montañosos frágiles. Asegurando que la ciencia y el conocimiento tradicional produzcan conjuntamente información adecuada para la formulación de políticas se facilita que estos modos de vida puedan afrontar las dificultades que conllevan los efectos del cambio climático. Los enfoques ascendentes y descendentes tienen la oportunidad de encontrarse y crear un resultado más sólido (Huggel et al. 2015).

Mapear los efectos actuales y previstos del cambio climático en los glaciares andinos

Muchos aspectos del futuro cambio climático siguen siendo muy inciertos debido a que las redes de monitoreo climático y glaciológico existentes son antiguas e insuficientes. Es necesario mejorar la infraestructura de recopilación de datos para efectuar un seguimiento del cambio climático a la cota del glaciar, incluyendo una red de estaciones climáticas automáticas en las zonas de alta elevación y mejor seguimiento in situ. También es urgente mejorar la inclusión de estos datos en las aplicaciones de los sistemas de información geográfica avanzados y de teleobservación. En lo que respecta a la modelización, se requieren previsiones de cambio climático más detallas que se apoyen en distintos modelos y escenarios de emisiones, en especial teniendo en cuenta que los efectos del cambio climático en las montañas son desproporcionadamente altos.

Aplicar medidas preventivas contra los riesgos naturales relacionados con los glaciares

En lo que respecta a los riesgos de desbordamiento repentino de los lagos glaciares, las medidas de adaptación deberían centrarse en la aplicación de acciones preventivas, por ejemplo, crear mapas de riesgo, regular los códigos de construcción y la planificación del uso del terreno y crear sistemas de alerta temprana, complementados con programas integrales de sensibilización y educación (Vuille et al. 2018).

Desarrollar servicios climáticos

Para garantizar que la información de monitoreo y alerta temprana llega a los usuarios del agua en un formato adecuado y de manera oportuna, se necesitan servicios climáticos específicos de gestión de los recursos hídricos. Esto requiere un conocimiento más profundo de las necesidades reales de las partes locales interesadas, de acuerdo con una evaluación ascendente de las vulnerabilidades en materia de seguridad hídrica, a fin de adaptar los servicios climáticos concretos para informar sobre los riesgos actuales y futuros. La llegada de los teléfonos móviles y los teléfonos inteligentes incluso a las ubicaciones más remotas ofrece una vía nueva para la divulgación de información e interacción con los usuarios locales del agua.

Mejorar la comprensión de la demanda y el uso del agua, ahora y en el futuro

Es un hecho reconocido que la utilización del agua depende de las tendencias y factores sociales, por lo que es necesario aumentar el conocimiento de las tendencias de demanda y uso del agua y continuar con las investigaciones detalladas sobre ellas. La dinámica demográfica, la urbanización, los patrones de consumo cambiantes, la demanda de determinados productos en los mercados internacionales y las trayectorias de desarrollo de los diferentes sectores —como la agricultura, la minería y la energía hidroeléctrica— son varios factores que influyen en la utilización del agua. Además, se deberían ejecutar instrumentos de medición de la eficacia y de auditoría hídrica en todos los sectores para determinar en qué esfera pueden aplicarse medidas de conservación de las aguas. Dada la pérdida irreversible de muchos glaciares andinos en el futuro, independientemente de las acciones de mitigación actuales o venideras, se debería trabajar en la elaboración y planificación de escenarios de gestión de los recursos hídricos a fin de anticipar y afrontar cualquier escasez e incertidumbre que pueda surgir.

Aplicar la buena gobernanza de los recursos hídricos

La importancia de la gobernanza de los recursos hídricos debería estar reconocida en el nivel más alto de la toma de decisiones. Se deberían continuar desarrollando los enfoques de gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) en los diferentes países andinos, incorporando al mismo tiempo la nueva información sobre las previsiones de las tendencias y los efectos climáticos.

Promover los mecanismos de aprendizaje para la adaptación

Debería llevarse a cabo un seguimiento y una evaluación a largo plazo de los proyectos y las iniciativas de adaptación a fin de evaluar las acciones de adaptación de acuerdo con un conjunto de criterios predefinido, que pueden incluir, por ejemplo, eficacia, eficiencia, equidad, flexibilidad inherente, aceptabilidad y solidez. Se deberían elaborar plataformas y mecanismos que permitan compartir las experiencias y lecciones tanto dentro de los países como entre ellos, y entre una amplia variedad de partes interesadas (municipios, comunidades rurales, sociedad civil, sector privado, gobiernos nacionales, etc.). El análisis de las decisiones basadas en el riesgo climático (CRIDA, por sus siglas en inglés) proporciona un marco para preparar métodos de adaptación en caso de incertidumbre respecto del cambio climático (UNESCO e ICIWaRM, 2018).

Financiar medidas de adaptación

El mecanismo más eficaz para la respuesta a los cambios de disponibilidad del agua es la mejora de la capacidad de adaptación, entre otras cosas mediante la capacitación de los agricultores y otras partes interesadas, el desarrollo y la aplicación de tecnología o el acceso a ella, y la creación de infraestructura de apoyo. Estas medidas requieren opciones de financiación viables. Para compensar la reducción en la cantidad de agua disponible, que antes se almacenaba en forma de nieve y hielo, es necesario invertir en sistemas de almacenamiento y distribución y en métodos de retención natural del agua. Por ejemplo, se deberían fomentar los sistemas de almacenamiento de agua para múltiples usos, que pueden satisfacer diferentes necesidades de agua, como el agua potable y para riego. También convendría explorar mecanismos de financiación innovadores, como los fondos municipales de agua. Además, al centrarse en aumentar o diversificar la variedad de opciones de modos de vida disponibles para las comunidades locales se ayuda a dar a conocer el riesgo y se posibilita la adopción de diferentes estrategias de adaptación. También se debería explorar, cuando proceda, el acceso a las nuevas tecnologías, en especial a los sistemas descentralizados de energía hidroeléctrica a pequeña escala.

Centrar la política de adaptación en las montañas

En América Latina, cada vez más organizaciones se dedican específicamente al ámbito de la adaptación al cambio climático en las zonas montañosas (ELLA, 2017). Sin embargo, las políticas nacionales de adaptación no suelen reconocer los problemas y desafíos particulares de la alta montaña (Schoolmeester et al., 2016). El marco de vulnerabilidad de las montañas del Banco

Mundial (Brodnig and Prasad, 2010) reconoce las especificidades de las montañas, como la accesibilidad, fragilidad y marginalidad, que se pueden evaluar para formular estrategias de adaptación a medida. El IPCC ha empezado a centrar su atención en los riesgos climáticos de las montañas con la elaboración de un informe especial, que se publicará próximamente. Todo esto debería propiciar la inclusión de las montañas en el próximo informe de evaluación global del IPCC.

Aumentar la coordinación e integración en materia de políticas en los países y entre ellos

Los países podrían aprovechar la armonización de las políticas y la adaptación de las legislaciones nacionales para proteger los entornos montañosos, aprovechando aún más las lecciones aprendidas en algunos de los países andinos que han adoptado enfoques novedosos. La CMNUCC reconoce los beneficios potenciales de las sinergias regionales que promueven los esfuerzos conjuntos para el desarrollo y la aplicación de medidas de adaptación. Algunos de estos beneficios son el intercambio de conocimientos, la eliminación de duplicaciones, las economías de escala y la distribución de costos, así como la minimización de los conflictos.

Bibliografía

Introducción

Binford, M. W., et al (1997). Climate Variation and the Rise and Fall of an Andean Civilisation. Quaternary Research, 47(02), pp. 235–248.

Dillehay T.D. & Kolata A.L. (2004). Long-term human response to uncertain environmental conditions in the Andes. Proc. Natl Acad. Sci., 101, pp. 4325–4330.

Tung T.A. et al. (2016) Patterns of Violence and Diet Among Children During a Time of Imperial Decline and Climate Change in the Ancient Peruvian Andes. In: Van Derwarker A., Wilson G. (eds) The Archaeology of Food and Warfare. Cham, Switzerland: Springer.

Picos, mesetas y valles

Arana, V. (2016). Water and Territory in Latin America. Trends, Challenges and Opportunities. Brussels, Belgium: Springer International Publishing.

Barcaza, G. et al (2017). Glacier inventory and recent glacier variations in the Andes of Chile, South America. Annals of Glaciology, 58(75pt2) pp.166-180. doi:10.1017/aog.2017.28.

Barta, B. et al (2017). Glacial-fed and páramo lake ecosystems in the tropical high Andes. Hydrobiologia 813(1), pp.19-32. doi:10.1007/s10750-017-3428-4.

Bookhagen, B. and Strecker, M. R. (2008). Orographic barriers, high-resolution TRMM rainfall, and relief variations along the eastern Andes. Geophysical Research Letters, 35(6). L06403, doi:10.1029/2007GL032011.

Borsdorf, A. & Stadel, C. (2015). The Andes: A Geographical Portrait.

Brussels, Belgium: Springer International Publishing.

Bouchez, J. et al (2017). River mixing in the Amazon as a driver of concentration- discharge relationships. Water Resources Research, 53(11), pp. 8660–8685. https://doi.org/10.1002/2017WR020591

Braun, C. & Bezada, M. (2013). The history and disappearance of glaciers in

Venezuela. Journal of Latin American Geography, 2(2), pp. 85-124.

Buytaert, W. et al (2017). Glacier melt content of water use in the tropical Andes. Environmental Research Letters 12(11) 114014. doi:10.1088/1748-9326/aa926c.

Calléde, J. et al (2010). Les apports en eau de l'Amazone à l'océan Atlantique. Revue Des Sciences De L'eau, 23(3), pp. 247–273. doi:10.7202/044688.

Cogley, J. G. et al (2011). Glossary of Glacier Mass

Balance and Related Terms, IHP-VII Technical Documents in Hydrology No. 86, IACS Contribution No. 2. Paris, France: UNESCO-IHP.

Cuesta, F et al (Eds.) (2012). Panorama andino sobre cambio climático: Vulnerabilidad y adaptación en los Andes tropicales. Lima, Peru: CONDESAN, Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina.

Diaz, H. F. et al (2003). Climate variability and change in high elevation regions: past, present and future. Climatic Change, 59(1-2), pp.1-4.

Espinoza, J. C. et al (2015). Rainfall hotspots over the southern tropical Andes: Spatial distribution, rainfall intensity, and relations with large-scale atmospheric circulation, Water Resources Research 51, pp. 3459–3475, doi: 10.1002/2014WR016273.

FAO (2015). Information system on water and agriculture. http://www.fao.org/nr/water/aquastat/basins/amazon/print1.stm . Accessed April 2018.

Garreaud, R. D. (2009). The Andes climate and weather. Advances in Geosciences, 22, p.3.

Hambrey, M. J. & Alean, J. C. (2016). Colour Atlas of Glacial Phenomena. CRC Press.

Hastenrath, S. (1998). Cordillera Blanca on Landsat imagery and Quelccaya Ice Cap. In Satellite Image Atlas of Glaciers of the World: South-America. (Williams, R.S. and Ferrigno, J.G. Eds.) 1998. US Government Printing Office.

Isacks, B. L. (1988). Uplift of the central Andean plateau and bending of the Bolivian orocline. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 93(B4), pp.3211-3231.

Jones, J., et al (2017). Forests and water in South America. Hydrological Processes, 31(5), pp. 972-980.

Khromova, T. E. (2010). Cryosphere and climate. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 13(1), pp. 012002. IOP Publishing.

Lliboutry L. (1998). Glaciers of Chile and Argentina. Satellite image atlas of glaciers of the world (Vol. 1386) (Williams, R.S. & Ferrigno, J.G. Eds.) 1993. US Government Printing Office.

Mosquera, G. et al. (2015). Runoff from tropical alpine grasslands increases with areal extent of wetlands. CATENA 125, pp. 120-128 doi:10.1016/j.catena.2014.10.010.

National Snow and Ice Data Center (NSIDC) (2018). https://nsidc.org/cryosphere/glaciers. Accessed May 2018.

Rau, F., et al (2005). Illustrated GLIMS Glacier Classification Manual: Glacier Classification Guidance for the GLIMS Inventory. Version 1.0. GLIMS Regional Center "Antarctic Peninsula.", Freiburg im Breisgau, Germany: Institut für Physische Geographie, Albert-Ludwigs-Universität.

Schmitt, C. G. et al (2014). Linking remote and in-situ detection of black carbon on tropical glaciers. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 80(5), pp. 385-390.

Thompson, L. G. et al (1985). A 1500-year record of tropical precipitation in ice cores from the Quelccaya ice cap, Peru. Science, 229(4717), pp. 971-973.

Vuille, M. et al (2008). Climate change and tropical Andean glaciers: Past, present and future. Earth-Science Reviews, 89(3-4), pp. 79-96.

Vivir en los Andes

Andolina, R. et al. (2009). Indigenous Development in the Andes: Culture, Power, and Transnationalism. Durham. Durham, United States: Duke University Press.

Borsdorf, A. & Stadel, C. (2015). The Andes: A Geographical Portrait.

Brussels, Belgium: Springer International Publishing.

Chepstow-Lusty, A. J. et al (2009). Putting the rise of the Inca Empire within a climatic and land management context. Climate of the Past 5(3), pp. 375-388.

Castles, S., et al. (2014). The Age of Migration. International Population Movements in the Modern World. Fifth Edition. Hampshire, United Kingdom: Palgrave Macmillan.

Denevan, W. M. (1992). The Pristine Myth: The Landscape of the Americas in 1492. Annals of the Association of American Geographers 82(3) The Americas before and after 1492: Current Geographical Research (Sep., 1992), pp. 369-385.

Devenish, C. & Gianella, C. (Eds.) (2012). 20 years of Sustainable Mountain Development in the Andes – from Rio 1992 to 2012 and beyond. Consorcio para el Desarollo Sostenible de la Ecorregión Andina – CONSESAN. http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/mountain_partnership/docs/ANDES per cent20FINAL per cent20Andes_report_eng_final.pdf. Accessed April 2018.

Dillehay, T. D. et al (2007). Preceramic Adoption of Peanut, Squash, and Cotton in Northern Peru. Science (New York, N.Y.) 316, 10.1126/science.1141395, pp. 1890-3.

Grau, H. R. & Aide, T. M. (2007). Are Rural-Urban Migration and Sustainable Development Compatible in Mountain Systems? Mountain Research and Development 27(2), pp. 119-123.

International Hydropower Association (2018). Hydropower status report: sector trends and insights. IHA Central Office, Chancery House, London. https://www.hydropower.org/publications/2018-hydropower-status-report

Martin, P. & Wilmer, F. (2008). Transnational Normative Struggles and Globalization: The Case of Indigenous Peoples in Bolivia and Ecuador. Globalizations 5(4), pp. 583-598. 10.1080/14747730802500257.

Perez, S. I. et al D. 2017. Domestication and human demographic history in South America. American Journal of Physical Anthropology 163(1), pp. 1-9. doi:10.1002/ajpa.23176.

Piperno, D. R. & Dillehay T. D. (2008). Starch grains on human teeth reveal early broad crop diet in northern Peru. Proceedings of the National Academy of Sciences 105, pp. 19622 - 19627.

Rademaker, K. et al. (2014). Paleoindian settlement of the high-altitude Peruvian Andes. Science. 346. pp. 466-469. doi:10.1126/science.1258260.

Romero, H. et al (2009). Global Changes and Economic Globalization in the Andes – Challenges for Developing Nations. Alpine Space – Man & Environment 7: Global Change and Sustainable Development in Mountain Regions. Innsbruck, Austria: Innsbruck University Press.

Thoumi, F. (2002). Illegal Drugs in Colombia: From Illegal Economic Boom to Social Crisis. Annals of the American Academy of Political and Social Science. 582(2), pp. 102-116. doi:10.1177/000271620205800208.

United Nations Population Division. World Urbanization Prospects: 2014 Revision. https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS

El cambio del clima

Aravena, J. & Luckman, B. H. (2009). Spatio-temporal rainfall patterns in Southern South America. International Journal of Climatology 29(14). pp.2106-2120. doi:10.1002/joc.1761.

Bradley, R. S. et al. (2009). Recent changes in freezing level heights in the Tropics with implications for the deglacierization of high mountain regions. Geophysical Research Letters, 36(17) L17701. doi:10.1029/2009GL037712.

Cabré, M. F. et al. (2016). Regional climate change scenarios over southern South America for future climate (2080-2099) using the MM5 Model. Mean, interannual variability and uncertainties. Atmósfera 29(1) pp.35-60, https://doi.org/10.20937/ATM.2016.29.01.04.

Castino, F. et al. (2017). Rainfall variability and trends of the past six decades (1950–2014) in the subtropical NW Argentine Andes. Climate Dynamics, 48(3-4), pp. 1049-1067.

de Carvalho, L. M. V. & Cavalcanti, I. F., (2016). The South American Monsoon System (SAMS). The Monsoons and Climate Change pp. 121-148. Cham, Switzerland: Springer.

Espinoza, J. C. et al. (2015), Rainfall hotspots over the southern tropical Andes: Spatial distribution, rainfall intensity, and relations with large-scale atmospheric circulation. Water Resoures Research 51. pp. 3459-3475. doi:10.1002/2014WR016273.

Espinoza, J. C. et al (2009). Spatio–temporal rainfall variability in the Amazon Basin Countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia and Ecuador), International Journal of Climatology 29(11), pp.1574–1594.

Garreaud, R. D. (2009). The Andes climate and weather. Advances in Geosciences, 22, p.3.

Heidinger, H et al. (2018). A new assessment in total and extreme rainfall trends over central and southern Peruvian Andes during 1965–2010. International Journal of Climatology 38(S1). pp. e998-e1015. doi:10.1002/joc.5427.

Hijmans, R. J. et al. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology 25(15). pp.1965-1978. doi:10.1002/joc.1276.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2014: Annex II: Glossary (Mach, K.J., S. Planton and C. von Stechow Eds.) In: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer Eds.). IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 117-130.

Jiang, K. et al. (2000). Long-term GHG emission scenarios for Asia-Pacific and the world. Technological Forecasting and Social Change 63(2–3), pp. 207–229.

Lenaerts, J. T. et al. (2014). Extreme precipitation and climate gradients in Patagonia revealed by high-resolution regional atmospheric climate modeling. Journal of climate, 27(12), pp. 4607- 4621.

Malmros, J. K. et al. (2018). Snow cover and snow albedo changes in the central Andes of Chile and Argentina from daily MODIS observations (2000–2016). Remote Sensing of Environment, 209, 240-252, doi:10.1016/J.RSE.2018.02.072.

Marengo, J. et al. (2011). Climate Change: Evidence and Future Scenarios for the Andean Region. Climate Change and Biodiversity in the Tropical Andes. In: Climate Change and Biodiversity in the Tropical Andes, Chapter: 7, (Herzog, S., Mart'inez, R., Jorgensen, P., Tiessen, H. Eds.) IAI – SCOPE, pp. 110-127

Marengo, J. A et al., (2002). The South American low- level jet east of the Andes during the 1999 LBA- TRMM and LBA- WET AMC campaign. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 107(D20), p. 8079, doi: 10.1029/2001JD001188.

Minvielle, M. & Garreaud R. D. (2011). Projecting Rainfall Changes over the South American Altiplano. Journal of Climate 24. pp.4577–4583. doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00051.1.

Neukom, R. et al (2015). Facing unprecedented drying of the Central Andes? Precipitation variability over the period AD 1000–2100. Environmental Research Letters 10(084017)

Pepin, N. et al (2015). Elevation-dependent warming in mountain regions of the world. Nature Climate Change, 5(5), p. 424.

Rivera, J. A. et al (2018). Regional aspects of streamflow droughts in the Andean rivers of Patagonia, Argentina. Links with large-scale climatic oscillations. Hydrology Research, 49(1), pp. 134-149.

Robertson, A. W. et al. (2013). Climate Risk Management for Water in Semi-Arid Regions: Earth Perspectives, in review.

Ruiz, L., et al (2017). Recent geodetic mass balance of Monte Tronador glaciers, northern Patagonian Andes. The Cryosphere, 11(1), p. 619.

de los Milagros Skansi, M. et al. (2013). Warming and wetting signals emerging from analysis of changes in climate extreme indices over South America. Global and Planetary Change, 100, pp. 295-307.

Schulz, N., Boisier, J. P. & Aceituno, P. (2012). Climate change along the arid coast of northern Chile. International Journal of Climatology 32(12) pp.1803-1814. doi:10.1002/joc.2395

Seth, A., Thibeault, J., Garcia M. & Valdivia, C. (2010) Making Sense of Twenty-First-Century Climate Change in the Altiplano: Observed Trends and CMIP3 Projections. Annals of the Association of American Geographers 100(4), pp.835-847, doi:10.1080/00045608.2010.500193

Sulca, J. et al (2017). Impacts of different ENSO flavors and tropical Pacific convection variability (ITCZ, SPCZ) on austral summer rainfall in South America, with a focus on Peru. International Journal of Climatology, 38(1), pp.420-435.

Urrutia, R., and Vuille, M. (2009). Climate change projections for the tropical Andes using a regional climate model: Temperature and precipitation simulations for the end of the 21st century. Journal of Geophysical Research, 114, D02108, doi:10.1029/2008JD011021.

Veettil, B. K., et al (2017). Glacier monitoring and glacier-climate interactions in the tropical Andes: A review. Journal of South American Earth Sciences, 77, pp. 218–246. doi:10.1016/j.jsames.2017.04.009

Vera, C. et al (2006). Toward a unified view of the American monsoon systems. Journal of climate, 19(20), pp.4977-5000.

Verbist, K. et al (2010), Seasonal predictability of daily rainfall characteristics in central northern Chile for dry-land management. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 49, pp.1938-1955. 10.1175/2010jamc2372.1.

Vuille, M. et al. (2018) (Invited Review): Rapid decline of snow and ice in the tropical Andes – Impacts, uncertainties and challenges ahead. Earth Sciences Review, 176, 195-213.

Vuille, M. et al (2015) Impact of the global warming hiatus on Andean temperature. Journal of Geophysical Research, 120(9), pp. 3745-3757, doi:10.1002/2015JD023126.

Disminución del hielo

Ames, A. et al (1989). Glacier Inventory of Peru, Part 1. Hidrandina, S.A., Huaraz.

Aniya, M. (1995). Holocene glacial chronology in Patagonia: Tyndall and Upsala glaciers, Arctic and Alpine Research, pp. 311-322, doi:10.2307/1552024.

Baraer, M. et al. (2012). Glacier recession and water resources in Peru's Cordillera Blanca. Journal of Glaciology 58(207) pp. 134-150.

Barsch, D., 1996. Rockglaciers: Indicators for the present and former geoecology in high mountain environments. Series in the Physical Environment, vol. 16. Berlin, Germany: Springer, p. 331.

Braun, C. & Bezada, M. (2013). The history and disappearance of glaciers in Venezuela. Journal of Latin American Geography, 2(2), pp. 85-124.

Cáceres, B. (2017). Goal workshop 2017 Mexico 135 Evolución de los glaciares del Ecuador durante los últimos 60 años y su relación con el cambio climático. Conference paper: The role of Geosciences to societal development: A German-Latin American Perspective. GOAL Geo-Network of Latin American-German Alumini. P. 149. México: UANL-Monterrey-México.

Cáceres, B. et al (2016). Dramatical reduction over two Ecuadorian Glaciers related with volcanic activity 1999-2016. Conference paper: Cities on Volcanoes 9.

Cáceres, B. (2010). Actualización del inventario de tres casquetes glaciares del Ecuador. Master's Thesis, University of Nice, France, 84 pp.

Carrasco, J. F. et al. (2005). Changes of the 0°C isotherm and the equilibrium line altitude in central Chile during the last quarter of the 20th century / Changements de l'isotherme 0°C et de la ligne d'équilibre des neiges dans le Chili central durant le dernier quart du 20ème siècle, Hydrological Sciences Journal 50(6), pp. 933-948, doi: 10.1623/hysj.2005.50.6.933

Carrasco, J. F. et al (2008). Secular trend of the equilibrium-line altitude on the western side of the southern Andes, derived from radiosonde and surface observations. Journal of Glaciology 57(186), pp. 538-550. doi:10.3189/002214308785837002.

Casassa, G. et al (1997). A century-long recession record of Glacier O'Higgins, Chilean Patagonia. Annals of Glaciology 24. pp. 106-110. doi:10.1017/S0260305500012015.

Casassa, G. et al (2014). A new glacier inventory for the Southern Patagonia Icefield and areal changes 1986–2000. Global Land Ice Measurements From Space. Chap 27. (Kargel J. S. Ed.) Berlin, Germany: Springer Praxis Books.

Ceballos, J. et al (2006). Fast shrinkage of tropical glaciers in Colombia. Annals of Glaciology 43, pp. 194-201. doi:10.3189/172756406781812429.

Centro de Estudios Científicos (CECs). (2009). Estrategia Nacional de Glaciares: Fundamentos. Estudios Anexos, SIT 205. Santiago, Chile: Dirección General de Aguas (DGA).

Falvey, M., & Garreaud, R. D. (2009). Regional cooling in a warming world: Recent temperature trends in the southeast Pacific and along the west coast of subtropical South America (1979–2006), Journal of Geophysical Research 114, D04102, doi:10.1029/2008JD010519.

Francou, B. et al (2000). Glacier Evolution in the Tropical Andes during the Last Decades of the 20th Century: Chacaltaya, Bolivia, and Antizana, Ecuador. Ambio 29. pp.416-422. doi:10.1579/0044-7447-29.7.416.

Francou, B. et al (2004). New evidence for an ENSO impact on low-latitude glaciers: Antizana 15, Andes of Ecuador, 0°28- S. Journal of Geophysical Research 109, D18106. doi:10.1029/2003JD004484.

Francou, B. et al (2003). Tropical climate change recorded by a glacier in the central Andes during the last decades of the twentieth century: Chacaltaya, Bolivia, 16°S. Journal of Geophysical Research 108(D5), p. 4154. doi:10.1029/2002jd002959.

Georges, C. (2004). The 20th century glacier fluctuations in the tropical Cordillera Blanca, Peru. Arctic, Antarctic, and Alpine Research 36, pp.100-107.

Huss, M. et al. (2017). Towards mountains without permanent snow and ice. Earth's Future p. 5, doi:10.1002/2016EF000514.

Huss, M. & Hock, R. (2018). Global-scale hydrological response to future glacier mass loss. Nature Climate Change, Letters. 8, pp.135–140.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2014). Annex II: Glossary (Mach, K.J., S. Planton and C. von Stechow Eds.) In: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer Eds.). Geneva, Switzerland: IPCC, pp. 117-130.

Jordan, E. & Hastenrath, S., (1998). Glaciers of Ecuador. In Williams, R.S., Ferrigno, J.G., (Eds.), Satellite image atlas of the glaciers of the world – South America. USGS professional paper 1386-I, pp. 31-50.

Jomelli, V. et al (2009). Fluctuations of glaciers in the tropical Andes over the last millennium and palaeoclimatic implications: A review. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 281(3–4) pp. 269-282.

Jomelli, V. et al (2011). Irregular tropical glacier retreat over the Holocene epoch driven by progressive warming. Nature 474, pp. 196–199.

Jones, D.B. et al (2018). Mountain rock glaciers contain globally significant water stores. Scientific reports, 8:2834, DOI:10.1038/s41598-018-21244-w.

Jordan, E. et al (2005). Estimation by photogrammetry of the glacier recession on the Cotopaxi Volcano (Ecuador) between 1956 and 1997 / Estimation par photogrammétrie de la récession glaciaire sur le Volcan Cotopaxi (Equateur) entre 1956 et 1997. Hydrological Sciences Journal 50(6), 961, doi:10.1623/hysj.2005.50.6.949.

López-Moreno, J. I. et al (2014). Recent glacier retreat and climate trends in Cordillera Huaytapallana, Peru. Global and Planetary Change 112 pp. 1-11. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.10.010.

Mark, B.G. and Mckenzie, J.M., (2007). Tracing increasing tropical Andean glacier melt with stable isotopes in water. Environmental science & technology, 41(20), pp.6955-6960.

Marzeion, B. et al (2014). Attribution of global glacier mass loss to anthropogenic and natural causes. Science, 345, pp. 919-921, doi:10.1126/science.1254702.

Messerli, B. et al (1993). Climate Change and Natural Resource Dynamics of the Atacama Altiplano during the Last 18,000 Years: A Preliminary Synthesis. Mountain Research and Development, 13(2), pp. 117-127. doi:10.2307/3673629

Morales Arnao, B. (1998) Glaciers of Peru (I-4), with a section on Quelccaya Ice Cap, by Hastenrath, S. Satellite image atlas of glaciers of the world: U.S. Geological Survey Professional Paper 1386-I (Glaciers of South America). (Williams, R. S., Jr., and Ferrigno, J. G. Eds.) Denver, CO: U.S. Geological Survey.

NASA Earth Observatory (16.09.2010). Tropical Climate History...Shrinking. By Michon Scott & Mike Carlowicz, with information from Dan Slayback & Dorothy Hall, NASA Goddard Space Flight Center; Lonnie Thompson, Byrd Polar Research Center. https://earthobservatory.nasa.gov/images/80925/tropical-climate-historyshrinking Accessed September 2018

Pierson, T. et al (1990). Perturbation and melting of snow and ice by the 13 November 1985 eruption of Nevado de Ruiz, Colombia, and consequent mobilization, flow and deposition of lahars. Journal of Volcanology and Geothermal Research 41, pp. 17-66. doi:10.1016/0377-0273(90)90082-Q.

Porter, C., & Santana, A. (2003). Rapid 20th century retreatsof Ventisquero Marinelli in the Cordillera Darwin Icefield. Anales del Instituto de la Patagonia 31, pp. 17–26.

Poveda, G. & Pineda, K. (2009). Reassessment of Colombia's tropical glaciers retreat rates: are they bound to disappear during the 2010–2020 decade? Advances in Geosciences 22, pp. 107-116, https://doi.org/10.5194/adgeo-22-107-2009.

Rabatel, A. et al (2018) Toward an imminent extinction of Colombian glaciers? Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography, 100(1), pp. 75-95. doi: 10.1080/04353676.2017.1383015.

Rabatel, A. et al (2013). Current state of glaciers in the tropical Andes: a multi-century perspective on glacier evolution and climate change. The Cryosphere, 7(1), pp.81-102.

Rabatel, A. et al (2006). Glacier recession on Cerro Charquini (16°S), Bolivia, since the maximum of the Little Ice Age (17th century). Journal of Glaciology 52. pp. 110-118. doi:10.3189/172756506781828917.

Radić, V. et al (2014). Regional and global projections of twenty-first century glacier mass changes in response to climate scenarios from global climate models. Climate Dynamics 42(1-2) pp. 37-58. https://doi.org/10.1007/s00382-013-1719-7.

Rangecroft, S. et al. (2016). Future climate warming and changes to mountain permafrost in the Bolivian Andes. Climatic Change 137(1-2), pp.231-243. doi:10.1007/s10584-016-1655-8.

Rivera, A. et al (2012). Glacier responses to recent volcanic activity in Southern Chile. Environmental Research Letters 7: doi:10.1088/1748-9326/7/014036.

Rivera, A. et al (2012a). Little Ice Age advance and retreat of Glaciar Jorge Montt, Chilean Patagonia. Climate of the Past 8, pp. 403–414. doi:10.5194/cp-8-403-2012.

Saavedra, F. A. et al (2018). Changes in Andes snow cover from MODIS data, 2000–2016. The Cryosphere, 12, pp. 1027-1046, doi:10.5194/tc-12-1027-2018.

Sakakibara, D. et al (2013). Rapid retreat, acceleration and thinning of Glaciar Upsala, Southern Patagonia Icefield, initiated in 2008. Annals of Glaciology 54(63), pp. 131-138.

Schauwecker, S. et al (2017). The freezing level in the tropical Andes, Peru: An indicator for present and future glacier extents. Journal of Geophysical Research: Atmospheres 122, pp. 5172-5189. doi:10.1002/2016JD025943.

Schubert, C. (1998). Glaciers of Venezuela (I-1) Satellite image atlas of glaciers of the world: U.S. Geological Survey Professional Paper 1386-I (Glaciers of South America). (Williams, R. S., Jr., and Ferrigno, J. G. Eds.) Denver, CO: U.S. Geological Survey.

Skvarca, P. et al (2003). Recent behaviour of Glaciar Upsala, a fast-flowing calving glacier in Lago Argentino, Southern Patagonia. Annals of Glaciology 36(1). pp. 184-188. doi:10.3189/172756403781816202.

Soruco, A. et al. (2009). Glacier decline between 1963 and 2006 in the Cordillera Real, Bolivia. Geophysical Research Letters, 36, L03502, doi:10.1029/2008GL036238.

Thompson, L. G. et al. (2013). Annually Resolved Ice Core Records of Tropical Climate Variability over the Past ~1800 Years. Science 340(6135), pp. 945-950. doi:10.1126/science.1234210

Veettil, B. K. & Souza, S. F. (2017). Study of 40-Year Glacier Retreat in the Northern Region of the Cordillera Vilcanota, Peru, Using Satellite Images: Preliminary Results. Remote Sensing Letters 8 pp. 78–85. doi:10.1080/2150704X.2016.1235811.

Vergara, W. et al. (2007). Economic Impacts of Rapid Glacier Retreat in the Andes. Eos 88(25) pp. 261-268.

Vuille, M. et al (2018). Rapid decline of snow and ice in the tropical Andes – Impacts, uncertainties and challenges ahead. Earth Sciences Review, 176, pp. 195-213.

Vuille, M. et al (2008). Climate change and tropical Andean glaciers: Past, present and future. Earth-Science Reviews, 89(3-4), pp. 79-96.

Vuille, M. et al (2015). Impact of the global warming hiatus on Andean temperature. Journal of Geophysical Research, 120(9), pp. 3745-3757, doi:10.1002/2015JD023126.

Warren, C. R. & Sugden, D. (1993). The Patagonian Icefields: A Glaciological Review. Arctic and Alpine Research 25(4) doi:10.2307/1551915.

Willis, M. J. et al. (2012a). Ice loss from the Southern Patagonian Ice Field, South America, between 2000 and 2012. Geophysical Research Letters 39(17) L17501, doi:10.1029/2012GL053136.

Willis, M. J. et al (2012b). Ice loss rates at the Northern Patagonian Ice Field derived using a decade of satellite remote sensing. Remote Sensing of Environment 117, pp. 184–198.

Zemp, M. et al (2015). Historically unprecedented global glacier decline in the early 21st century. Journal of Glaciology 61(228), pp. 745-762. doi:10.3189/2015JoG15J017

Zubieta, R. & Lagos, P. (2010). Cambios de la superficie glaciar en la cordillera Huaytapallana: Periodo 1976–2006. Libro Cambioclimático en la cuenca del río Mantaro. Balance de 7 anõs deestudio en la cuenca del Mantaro. Lima, Perú: Instituto Geofísico del Perú.

Deshielo acelerado de los glaciares

Buytaert, W., & Bièvre, B. D. (2012). Water for cities: the impact of climate change and dempgrahic growth in the tropical Andes. Water Resources Research 48(8), W08503.

Buytaert, W. et al (2017) Glacier melt content of water use in the tropical Andes. Environmental Research Letters 12(11) 114014. doi:10.1088/1748-9326/aa926c

Carey, M. et al (2012). An integrated socio-environmental framework for glacier hazard management and climate change adaptation: lessons from Lake 513, Cordillera, Blanca, Peru. Climatic Change 112, pp. 733-767.

Carey, M. et al. (2017). Impacts of glacier recession and declining meltwater on mountain societies. Annals of the American Association of Geographers 107 (2), pp. 350-359.

Drenkhan, F., Carey, M., Huggel, C. Seidel, J. and Oré, M. T. (2015). The changing water cycle: climatic and socio-economic drivers of water-related changes in the Andes of Peru. WIREs Water 2015. Available at: http://eclim-research.ch/data/glaciares/Drenkhan2015.pdf

Columbia (4.10.2010), Peruvians Fight for Their Right to Water. By Kate Horner. https://blogs.ei.columbia.edu/2010/10/04/peruvians-fight-for-their-right-to-water/

Doornbos, B. (2009). Medidas Probadas en el Uso y la Gestión del Agua: Una Contribución a la Adaptación al Cambio Climático en los Andes (Tried and Tested Measures for Water Use and Management: A Contribution to Climate Change Adaptation in the Andes). Quito, Ecuador: ASOCAM.

Economist (10.2.2000), Water war in Bolivia. https://www.economist.com/the-americas/2000/02/10/water-war-in-bolivia . Accessed September 2018

IAI (2010) Melting the ice – receding glaciers in the American Cordillera. Inter-American Institute (IAI) For Global Change Research, Comminqué 2.

Garreaud, R., et al. (2017). The 2010-2015 mega drought in Central Chile: Impacts on regional hydroclimate and vegetation. Hydrological Earth System Science. Available at: http://www.dgf.uchile.cl/rene/PUBS/hess-2017-191.pdf

Heikkinen, A. (2017). Climate Change in the Peruvian Andes: A case study on small-scale farmers´ vulnerability in the Quilcay River Basin. Iberoamericana Nordic Journal of Latin American and Caribean Studies, 46(1), pp. 77- 88.

Hunt, A. and Watkis, P. (2011). Climate change impacts and adaptation in cities: a review of the literature. Climatic change 104, pp. 13-49.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (Parry, M. L., Canziani, O. F., Palutikof, J. P., van der Linden, P. J., Hanson, C. E. Eds.), Cambridge, U.K.

Kaenzig, R. (2015). Can glacial retreat lead to migration? A critical discussion on the impact of glacier shrinkage upon population mobility in the Bolivian Andes. Population and Environment 36, pp. 480-496.

La Republica (19.12.2016) Proyecto de irrigación Majes Siguas II generaría un nuevo paro indefinido en Espinar. By Elizabeth Prado. https://larepublica.pe/politica/1155829-proyecto-de-irrigacion-majes-siguas-ii-generaria-un-nuevo-paro-indefinido-en-espinar

Montaña, E. et al. (2016). "Development, local livelihoods, and vulnerabilities to global environmental change in the South American Dry Andes". Regional Environmental Change 16, pp.2215-2228.

Moench, M., & Stapleton, S. (2007). Water, climate, risk and adaptation (Working Paper 2007-01). Delft, Nederlands: Institute for Social and Environmental Transition (ISET).

New Yorker (8.4.2008) Leasing the Rain. By William Finnegan. https://www.newyorker.com/magazine/2002/04/08/leasing-the-rain

Perez, S. I. et al. (2017). Domestication and human demographic history in South America. American Journal of Physical Anthropology 163(1), pp. 1-9. doi:10.1002/ajpa.23176

Ragettli, S. et al (2016). Contrasting climate change impact on river flows from high-altitude catchments in the Himalayan and Andes Mountains. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 113, pp. 9222–9227.

Rasmussen, P. F. (2016). Assessing the impact of climate change on the frequency of floods in the Red River basin. Canadian Water Resources Journal / Revue canadienne des ressources hydriques, 41(1-2), pp. 331-342, doi:10.1080/07011784.2015.1025101.

Schaner, N. et al (2012). The contribution of glacier melt to streamflow. Environmental Research Letters, 7(3) doi:10.1088/1748-9326/7/3/034029.

Soruco, A. et al. (2015). Contribution of glacier runoff to water resources of La Paz city, Bolivia (16° S). Annals of Glaciology 56(70) pp. 147-154. doi:10.3189/2015AoG70A001.

Vergara, W. et al (2007). Economic Impacts of Rapid Glacier Retreat in the Andes. EOS, Transactions American Geophysical Union 88(25), pp. 261-264.

Young, K. R. & Lipton, J. K. (2006). Adaptive governance and climate change in the tropical highlands of Western South America. Climatic Change 78(1), pp. 63-102.

Wolf, A. T. et al (2005). Managing water conflict and cooperation. In State of the World 2005: Redefining Global Security, pp. 80-99. The Worldwatch Institute.

Vuille, M. et al (2018) (Invited Review): Rapid decline of snow and ice in the tropical Andes – Impacts, uncertainties and challenges ahead. Earth Sciences Review, 176, pp. 195-213.

La respuesta a los retos hídricos

Anacona, P. I. (2018). Glacier protection laws: Potential conflicts in managing glacial hazards and adapting to climate change. Ambio pp. 1-11. https://doi.org/10.1007/s13280-018-1043-x

Buytaert, W. (2006). Human impact on the hydrology of the Andean páramos. Earth-Science Reviews 79, pp. 53-72.

Buytaert, W., and Bièvre, B.D. (2012). Water for cities: the impact of climate change and dempgrahic growth in the tropical Andes. Water Resources Research 48(8), W08503.

Carey, M. et al (2012). An integrated socio-environmental framework for glacier hazard management and climate change adaptation : lessons from Lake 513, Cordillera, Blanca, Peru. Climatic Change 112, pp. 733-767.

Colls, A. et al (2009). Ecosystem-based Adaptation: a natural response to climate change. Gland, Switzerland: IUCN, pp. 1-16.

Cook, S. et al (2016). Glacier change and glacial lake outburst flood risk in the Bolivian Andes. The Cryosphere, 10, pp. 2399-2413.

Cox, J. (2016). Finding a place for glaciers within environmental law: An analysis of ambiguous legislation and impractical common law. Appeal 21, pp. 21-36.

El Fondo para la Protección del Agua (FONAG) (2018). Accessed 6 September 2018: http://www.fonag.org.ec/web/

Frey, H. et al. (2014). An Early Warning System for lake outburst floods of the Laguna 513, Cordillera Blanca, Peru. Abstract GO3, International Conference Analysis and Management of Changing Risks For Natural Hazards, 18-19 November 2014, Padua, Italy.

Geerts, S. & Raes, D. (2009). Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. Agricultural Water Management 96, pp. 1275-1284.

Geerts, S. et al (2008). Introducing deficit irrigation to stabilize yields of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) European Journal of Agronomy 28(3), pp. 427-436.

Goetter J. and Picht H.J., (2010). "Adaptación al Cambio Climático: Cosecha de Agua de Lluvia con Atajados en Bolivia", PROAGRO, GTZ Bolivia 2010, from www.riesgoycambioclimatico.org/documentos/ACC_con_CA.pdf, accessed June 2018

Harris, J. A. et al (2006). Ecological Restoration and Global Climate Change. Restoration Ecology 14(2), pp. 170-176.

Harrison, S. et al. (2018). Climate change and the global pattern of moraine-dammed glacial lake outburst floods. The Cryosphere 12, pp. 1195–1209.

Hendriks, J. 2013. "Sistemas de riego y Cambio Climático" PowerPoint presentation, Primeras jornadas de derecho de aguas PUCP, 15 y 16 de agosto 2013, from http://www.observatoriocambioclimatico.org/node/4531, accessed September 2018

Hill, S. (2016). Preparing Peruvian Communities for Glacier-based Adaptation. Glacierhub.org. Accessed 30.08.2018: http://glacierhub.org/2016/06/27/preparing-peruvian-communities-glacier-based-adaptation/

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (Parry, M. L., Canziani, O. F., Palutikof, J. P., van der Linden, P. J., Hanson, C. E. Eds.), Cambridge, U.K.

McGray, H. et al (2007). Weathering the Storm. Options for Framing Adaptation and Development. WRI Report. Washington, DC: World Resource Institute.

Moench, M., & Stapleton, S. (2007). Water, climate, risk and adaptation (Working Paper 2007-01). Delft, Nederlands: Institute for Social and Environmental Transition (ISET).

Murcia, C. et al (2016). Challenges and Prospects for Scaling-up Ecological Restoraition to Meeting International Commitments: Colombia as a Case Study. Conservation Letters 9(3), pp. 213-220.

New Scientist (9.4.2015). Pre-Inca canals may solve Lima's water crisis. By Fred Pearce. Accessed 30.8.2018: https://www.newscientist.com/article/dn27311-pre-inca-canals-may-solve-limas-water-crisis/ .

Panorama (29.11.2016). Restoring ancient water management systems in the high Andes as an adaptation to climate change-Miraflores, Peru. By Florencia Zapata. Accessed 30.8.2018: https://panorama.solutions/en/solution/restoration-expansion-and-conservation-wetlands-and-mountain-pastures-and-community-based .

Santa Cruz Cardenas, Y. et al (2008). "Cosecha de agua, una práctica ancestral: manejo sostenible de las praderas naturales" Serie: Herramientas para el desarrollo, DESCO. Programa Regional Sur, 2008.

Schoolmeester, T., Saravia, M., Postigo, J., Valverde, A., Jurek, M., Alfthan, B. & Giada, S. (2016). Outlook on climate change adaptation in the Tropical Andes mountains. Mountain Adaptation Outlook Series. Nairobi, Arendal, Vienna and Lima: United Nations Environment Programme, GRID-Arendal and CONDESAN.

SERI (Society for Ecological Restoriation International Science & Policy Writing Group). (2006). THE SER International Primer on Ecological Restoriation. Society for Ecological Restoriation International, Tucson, AZ.

Smithsonian.com (6.9.2011) Farming like the Incas. By Cynthia Graber. Accessed 30.08.2018: https://www.smithsonianmag.com/history/farming-like-the-incas-70263217/.

United Nations Population Division. (2018). World Urbanization Prospects: 2014 Revision. World Bank Open Data, Urban population (per cent of total), 2016. Accessed 25.04.2018. https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS.

UNESCO-International Hydrological Programme (IHP) (2009). IWRM Guidelines at River Basin Level. Part 1: Principles. World Water Assessment Programme (WWAP), Network of Asian River Basin Organizations (NARBO).

Vuille, M. et al (2018) (Invited Review): Rapid decline of snow and ice in the tropical Andes – Impacts, uncertainties and challenges ahead. Earth Sciences Review, 176, pp. 195-213.

WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). (2017). The United Nations World Water Development Report 2017. Wastewater: The Untapped Resource. Paris, France: UNESCO.

WWAP (United Nations World Water Assessment Programme) / UN-Water. (2018). The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water. Paris, France: UNESCO.

Zeisser M. et al, equipo PACC Perú, (2013). "Capitalización de la experiencia del PACC I- Prácticas de adaptación al cambio climático en dos microcuencas de Apurímac y Cusco – período 2009-2012" PACC Perú, unpublished.

Recomendaciones de políticas

Brodnig, G. & Prasad, V. (2010). A View from the Top: Vulnerability in Mountain Systems. Social Development Notes 128. Washington, DC: World Bank.

ELLA (Evidence and Lessons from Latin America), 2017. Spotlight on Organisations: Climate Change Adaptation in Mountain Environments. http://ella.practicalaction.org/wp-content/uploads/files/120517_ENV_AdaMouEnv_SPOTORG.pdf Accessed, June 2018.

Huggel, C. et al (2015). A framework for the science contribution in climate adaptation: Experiences from the science-policy processes in the Andes. Environ. Sci. Pol. 47, pp. 80–94.

Schoolmeester, T. et al (2016). Outlook on climate change adaptation in the Tropical Andes mountains. Mountain Adaptation Outlook Series. Nairobi, Arendal, Vienna and Lima: United Nations Environment Programme, GRID-Arendal and CONDESAN.

Vuille, M. et al (2018). Rapid decline of snow and ice in the tropical Andes – Impacts, uncertainties and challenges ahead. Earth Sciences Review, 176, pp. 195-213.

UNESCO and ICIWARM. 2018 Climate Risk Informed Decision Analysis (CRIDA): Collaborative Water Resources Planning for an Uncertain Future. UNESCO Publishing, Paris, France, p. 133.

Créditos de las fotografías

2-3 iStock/estivillml
6 iStock/Jolkesky
6 iStock/Solange_Z
6 iStock/elifranssens
8 Karen Pandya
9 iStock/piccaya
11 iStock/Ignas Karvelis
12 iStock/Starcevic
13 iStock/PatricioHidalgoP
14 iStock/xeni4ka
14 iStock/sorincolac
15 iStock/sburel
16 Andrés Rivera
18 Dominic Font
20 Sebastián Cisternas
20 Andrés Rivera
20 Andrés Rivera
20 Douglas Hardy
20 Mathias Vuille
20 Andrés Rivera
20 Rodolfo Iturraspe
21 Andrés Rivera
21 iStock/Dmitry_Saparov
21 Dominic Font
21 iStock/SteveAllenPhoto
21 Andrés Rivera
21 Rodolfo Iturraspe
22-23 iStock/tbradford
24 iStock/PocholoCalapre
25 iStock/robas
26 iStock/Devasahayam Chandra Dhas
26 iStock/hadynyah
27 iStock/Michael Müller
30 iStock/instamatics
30 iStock/SL_Photography
31 iStock/carlos camara
32 Riccardo Pravettoni
32 iStock/mkf
33 iStock/JeremyRichards
35 Peter Prokosch/GRID-Arendal
38 Karen Pandya
40 iStock/Global_Pics
41 iStock/wayra
42 iStock/Ernesto Tereñes
44 Wikimedia Commons/Edubucher (CC BY-SA)
46 Dominic Font
48 iStock/Gfed
50 iStock/rest
51 iStock/FStoplight
52 Karen Pandya
54 iStock/mtcurado
55 iStock/bmlpictures
56 iStock/TimAbbott
58 iStock/Atelopus
61 iStock/FishTales
62 iStock/javarman3
64-65 iStock/Devasahayam Chandra Dhas
66 iStock/AlbertoLoyo
67 iStock/reisegraf
68-69 iStock/guenterguni
71 iStock/CarGe
78-79 iStock/Marco_Piunti

En este Atlas se ilustra la importante reducción de la masa de glaciares que se está observando en la región andina. También cuantifica la contribución de los glaciares al suministro de agua potable de las ciudades, la agricultura, la energía hidroeléctrica y la industria. Una reducción de la masa de los glaciares provoca una reducción a largo plazo del agua del deshielo estacional —que constituye la base de los medios de vida de millones de personas. Las conclusiones destacan el impacto sobre la disponibilidad del agua y la seguridad, además del aumento de los riesgos asociados con el cambio de los climas de montaña. Las personas deberán adaptarse a estas nuevas condiciones, y la mejor manera de lograrlo es combinar la información científica y técnica con los conocimientos y las prácticas tradicionales a fin de desarrollar nuevas formas de almacenar y utilizar el agua.

Atlas de Glaciares y Aguas Andinos

UNESCO ISBN:
978-92-3-300103-9

GRID-Arendal ISBN:
978-82-7701-178-3

9 789233 001039