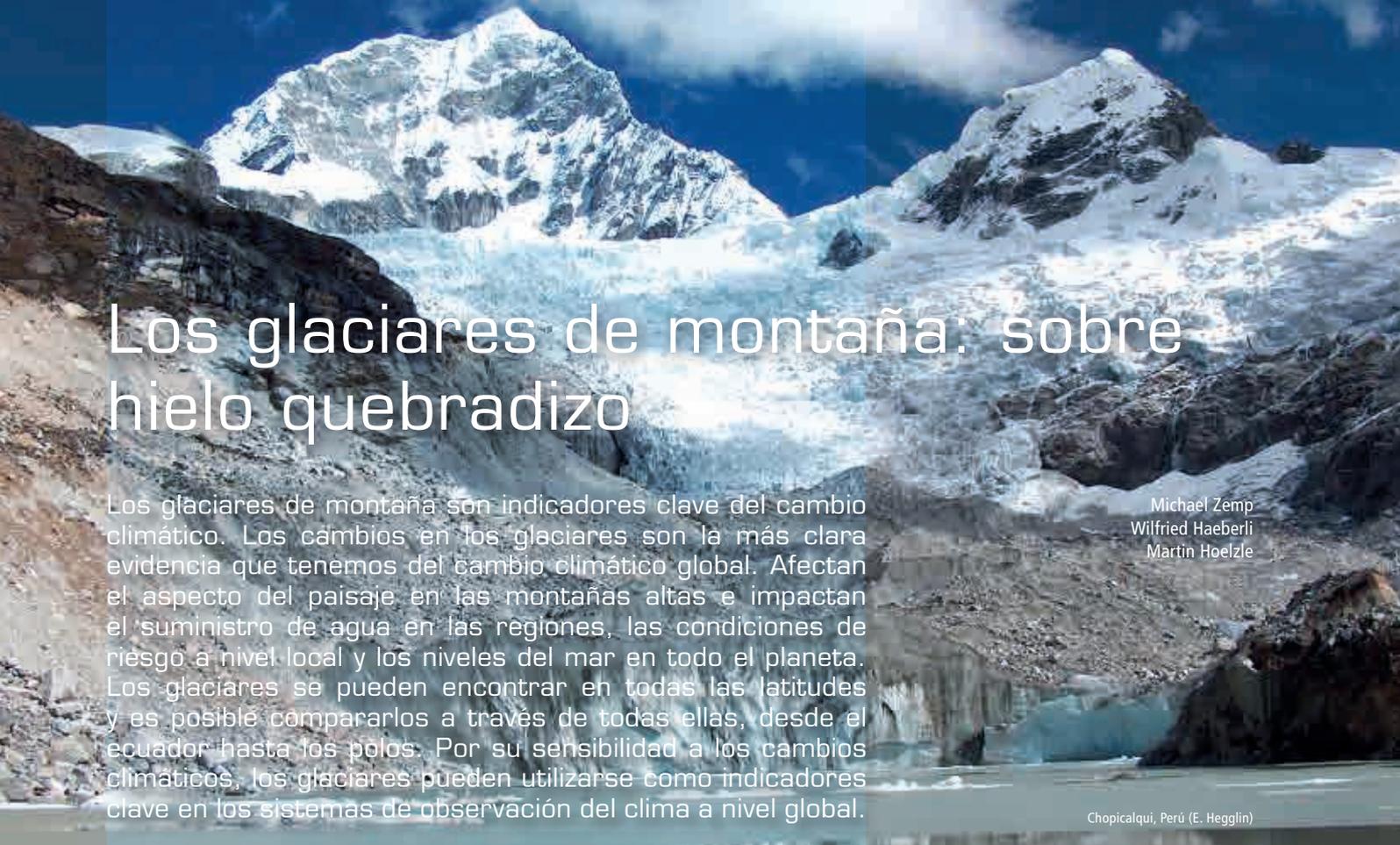




3

Los glaciares de montaña



Los glaciares de montaña: sobre hielo quebradizo

Los glaciares de montaña son indicadores clave del cambio climático. Los cambios en los glaciares son la más clara evidencia que tenemos del cambio climático global. Afectan el aspecto del paisaje en las montañas altas e impactan el suministro de agua en las regiones, las condiciones de riesgo a nivel local y los niveles del mar en todo el planeta. Los glaciares se pueden encontrar en todas las latitudes y es posible compararlos a través de todas ellas, desde el ecuador hasta los polos. Por su sensibilidad a los cambios climáticos, los glaciares pueden utilizarse como indicadores clave en los sistemas de observación del clima a nivel global.

Michael Zemp
Wilfried Haeberli
Martin Hoelzle

Chopicalqui, Perú (E. Hegglin)

Los glaciares han sido observados de forma coordinada entre las naciones durante más de un siglo [1, 2]. Los resultados de los datos recopilados alrededor del mundo no son nada alentadores, y las perspectivas para el futuro próximo lo son aún menos: la evidencia de una contracción acelerada de los glaciares a escala global va en aumento. La tasa promedio de pérdida de grosor por década, con base en la medición de 37 glaciares de referencia en todo el mundo (Figura 3.1) se ha triplicado desde la década de los 80 (Figura 3.2). La máxima pérdida documentada en el período 1980-1999 (en 1998) ya ha sido superada cuatro veces en el siglo XXI: en 2003, 2006, 2010 y 2011 [3]. Los datos aéreos y de satélite confirman la tendencia y señalan pérdidas aún mayores en ciertas regiones tales como el sur de Alaska. Al mismo tiempo, se han encontrado excepciones decadales a nivel regional e individual que muestran un reavance glaciar intermitente, por ejemplo en las partes más húmedas de Noruega, en Nueva Zelanda y los Himalayas Occidentales. Pero evaluadas globalmente de acuerdo con una escala de tiempo de un centenio, la tendencia que predomina es la de un rápido derretimiento de los glaciares.

Distribución de los glaciares del planeta y cambios en su masa y extensión

De acuerdo con estimaciones globales recientes, en todo el mundo hay 170 000 glaciares que cubren una superficie de 730 000 km² [4]. Más del 80 por ciento de esa área está ubicada en el Ártico Canadiense, Alaska, las Altas Montañas de Asia y alrededor de las capas de hielo continental de la Antártida y Groenlandia. Si todos los glaciares del mundo se derritieran, se produciría un aumento del nivel medio del mar de aproximadamente 0.5 metros [5,6]. De hecho, gran parte del agua retenida en los glaciares del mundo puede llegar al océano global en los próximos siglos [7].

Las mediciones de los cambios en la longitud de los glaciares constituyeron los principales datos recopilados durante las fases iniciales del monitoreo internacional de

los glaciares, el cual comenzó en 1894. Los datos aportados por estas simples observaciones son sumamente sólidos. Con ellos no queda duda de que los glaciares de montaña en todo el mundo se han estado encogiendo rápidamente desde finales del siglo XX. La evidencia sugiere que este retroceso global sorprendentemente sincrónico es excepcional. En muchos lugares los glaciares se han reducido ahora casi hasta la extensión mínima que alcanzaron durante los períodos más cálidos del Holoceno, es decir, en los últimos 10 000 años [8], y algunos se han contraído aún más.

Las observaciones basadas en el balance de masa, es decir, la diferencia entre la acumulación (nevadas) y la ablación (derretimiento), indican que la pérdida de hielo está ocurriendo a una tasa considerablemente más rápida que la que pronosticaba el solo impacto de los gases de efecto invernadero. Esto significa que los procesos de retroalimentación probablemente están jugando un papel cada vez mayor, en particular la disminución de la reflectividad [albedo] debido al oscurecimiento de las superficies de los glaciares, el retroceso de las cotas de nieve y una mayor deposición de polvo [9, 10].

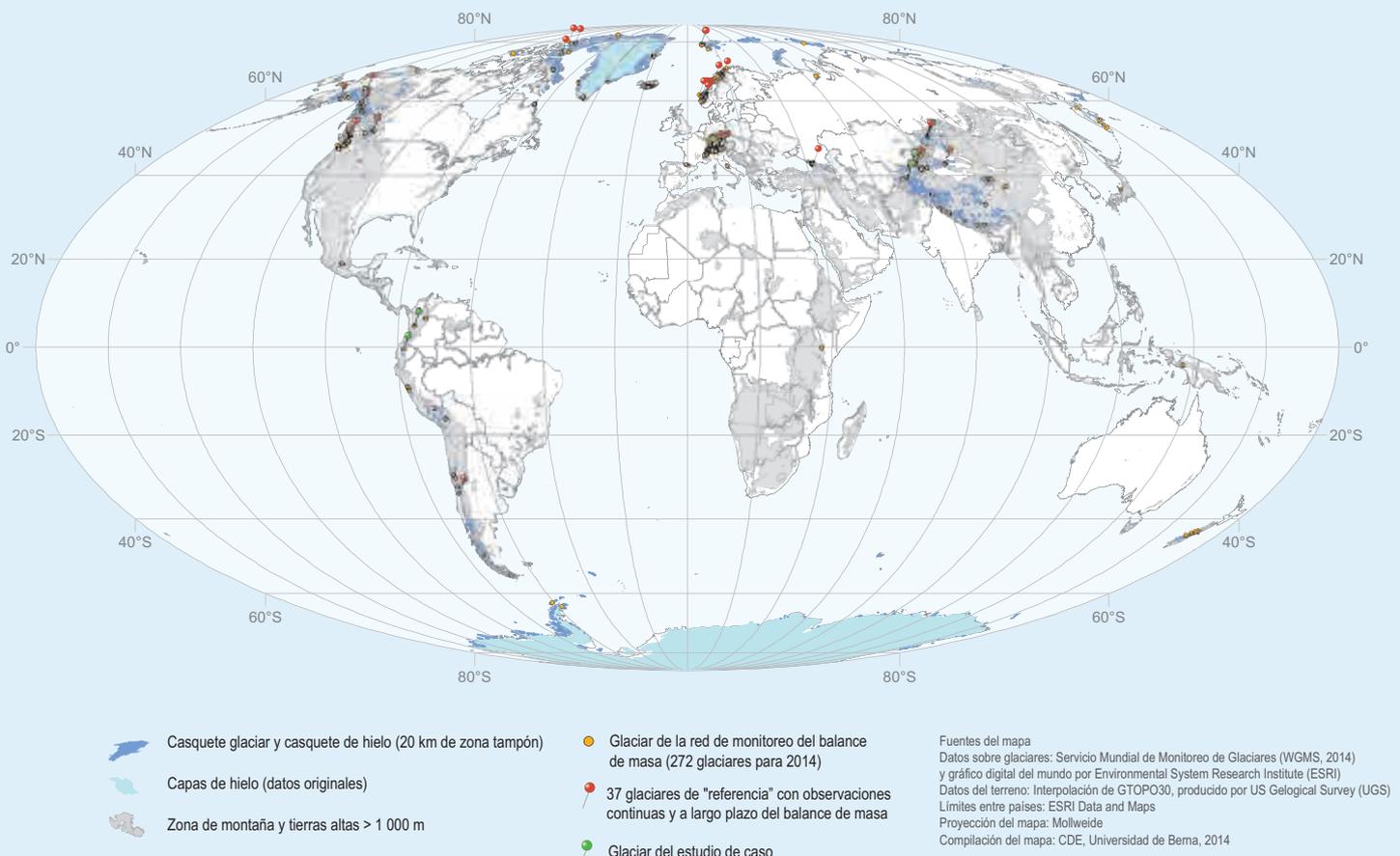
Mensajes sobre políticas

- Continuar y expandir el monitoreo de los glaciares mediante observaciones in situ y por sensores remotos.
- Promover la divulgación gratuita e irrestricta de información y datos estandarizados acerca de la distribución y los cambios de los glaciares.
- Promover la evaluación de los impactos que generan los cambios en los glaciares sobre los riesgos de amenazas a nivel local, la disponibilidad de agua potable en las regiones y el aumento del nivel del mar en todo el planeta.

Nuevas técnicas de medición, nuevos conocimientos

Recientemente, los inventarios de glaciares realizados con base en imágenes de satélite y en información digital del terreno han posibilitado nuevas formas de documentar la distribución de los glaciares y casquetes de hielo y los cambios que los afectan. Los modelos informáticos que combinan datos de la observación de series de tiempo con información de satélite hacen que sea posible examinar los cambios en conjuntos de glaciares más grandes, abarcando regiones de montaña en su totalidad. Los resultados muestran claramente que así el calentamiento global se mantenga en 2 °C, es probable que muchos glaciares pequeños y medianos en las zonas de montaña desaparezcan por completo en las próximas décadas, con graves consecuencias en cuanto a los riesgos de amenazas y los ciclos del agua [11]. En lugar de retroceder

Figura 3.1: Distribución global de los glaciares, casquetes y capas de hielo, así como la localización de 37 glaciares de referencia con observaciones continuas y a largo plazo del balance de masa



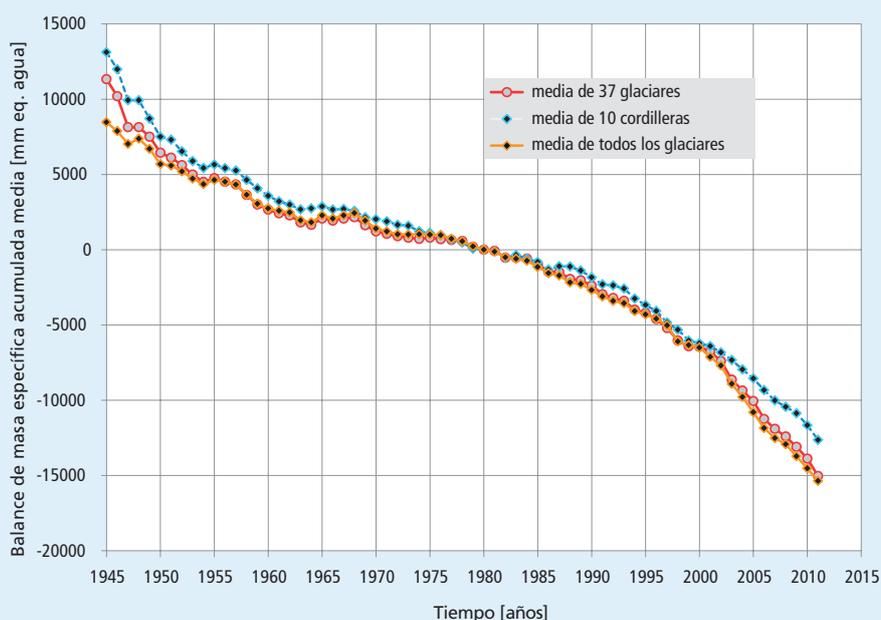
gradualmente, muchos glaciares grandes pueden desarrollar desequilibrios extremos que los lleven a desplomarse o a colapsar, como se observa cada vez más a menudo.

También se han desarrollado técnicas para simular la topografía que quedará expuesta al ir desapareciendo los glaciares. Esto ayuda a prever la formación de nuevos lagos en las depresiones locales de los lechos glaciares [12]. Algunos de estos lagos nuevos podrían tener el potencial de generar energía hidroeléctrica o de preservar el atractivo estético cuando la belleza de un glaciar se ha perdido. Sin embargo, también representan un creciente riesgo de inundaciones y flujos de escombros de gran alcance causados por el rompimiento de morrenas o por avalanchas de rocas que provienen de pendientes de glaciares en deshielo o de laderas que contienen permafrost degradante [13].

Los impactos de la desaparición de los glaciares

El impacto más grave del derretimiento de los glaciares de montaña tiene que ver con los ciclos hídricos regionales y globales. El derretimiento de los glaciares seguirá siendo un gran contribuidor a la elevación del nivel del mar en este siglo [11], y en algunas regiones la estacionalidad de la escorrentía cambiará dramáticamente debido a los efectos combinados de un menor almacenamiento de nieve, un deshielo más temprano y un derretimiento cada vez menor de los glaciares. A fin de evaluar la importancia que tiene el derretimiento de los glaciares para la disponibilidad del agua en un lugar determinado, se debe considerar la contribución estacional del glaciar al abastecimiento de agua, en relación con el tamaño de la cuenca y las correspondientes contribuciones del fundido de la nieve y de las precipitaciones. La importancia de los glaciares para el suministro de agua es muy poca en climas monzónicos, moderada en la mayoría de las cuencas de latitud media, y muy alta en las cuencas estacional o permanentemente secas, tales como las de Asia Central o de las laderas occidentales de los Andes tropicales [14]. En la actualidad, cerca de mil millones de personas, principalmente en Asia, Norteamérica, Suramérica y el Centro y Sur de Europa, dependen del agua proveniente de la fusión de la nieve y de los glaciares durante la estación seca y podrían verse seriamente afectadas por cualquier cambio [15]. En el futuro, la escasez de agua en las largas sequías, intensificada por

Figura 3.2: Balance de masa total acumulada media desde 1945/46. Los valores positivos o negativos indican ganancia o pérdida de hielo, respectivamente, en comparación con el año 1980. La muestra consiste en observaciones de aproximadamente 250 glaciares en total, con series de observación a largo plazo de 37 glaciares en diez cordilleras. Los balances de la media de los primeros años tienen un valor limitado, ya que la muestra es muy pequeña. Fuente: WGMS (2013)



Servicio Mundial de Monitoreo de Glaciares (WGMS)

Durante más de un siglo, el Servicio Mundial de Monitoreo de Glaciares (WGMS), bajo el liderazgo suizo, así como las organizaciones que le precedieron, han coordinado la compilación y la difusión gratuita a nivel mundial de los datos de observación de los glaciares. Hoy en día, junto con el Centro Nacional de Datos de Hielo y Nieve (NSIDC) y la iniciativa Mediciones del Hielo Terrestre Mundial desde el Espacio (GLIMS), el WGMS supervisa la Red Terrestre Mundial para los Glaciares (GTN-G). Este es el marco para el monitoreo internacional y coordinado de los glaciares dentro del Sistema Mundial de Observación del Clima (SMOC), el cual respalda a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). El WGMS está financiado por la Oficina Federal de Meteorología y Climatología MeteoSwiss en el marco del GCOS de Suiza.

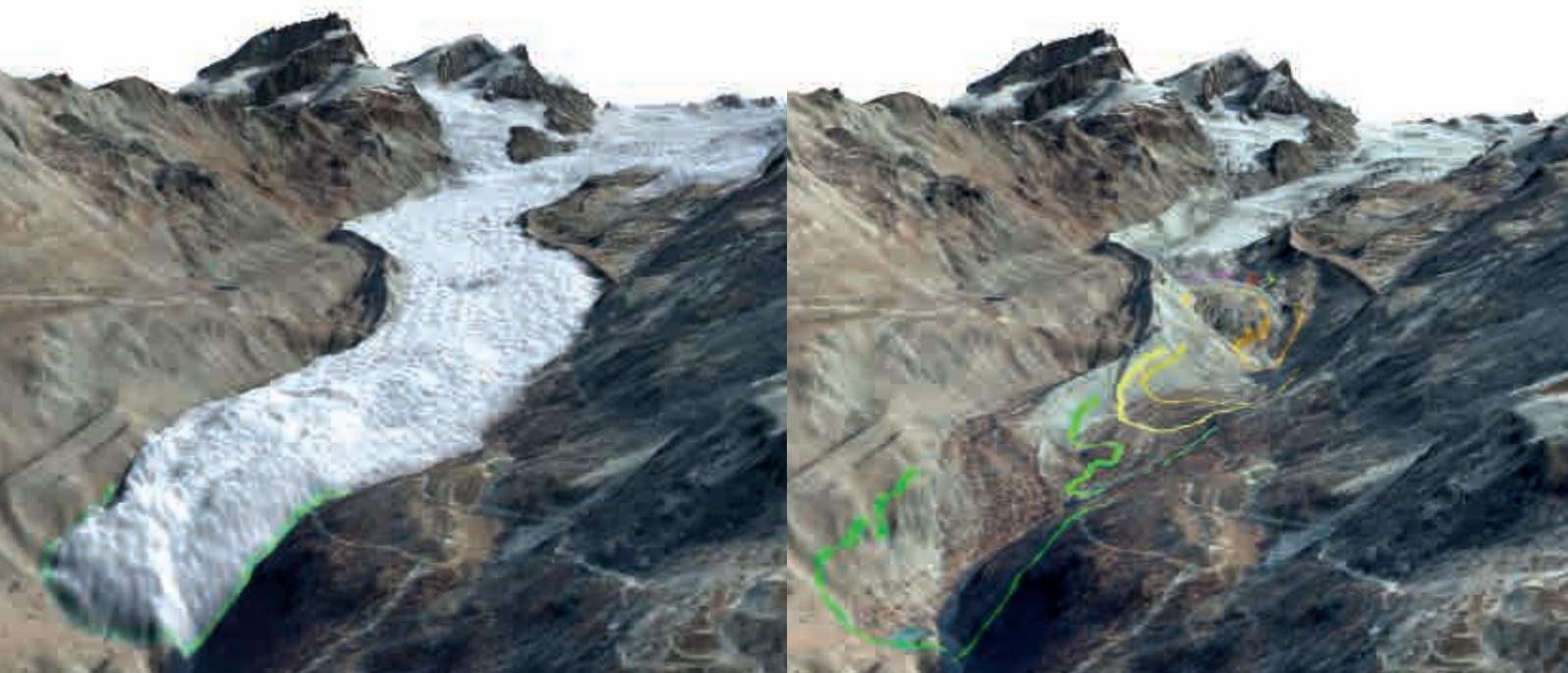
Este esfuerzo se apoya en una red de colaboración científica integrada por más de mil observadores que trabajan en más de 30 países. Esto ha generado una base de datos global sin precedentes, sobre la distribución y cambios de los glaciares. Sin embargo, las observaciones resultantes, especialmente las de programas a largo plazo, se han concentrado en mucha mayor proporción en el hemisferio norte y Europa. Entre las regiones con una cobertura de observación limitada se encuentran zonas altamente glaciadas en el Ártico y la Antártida, como también en los Andes y en Asia (ver figura 3.1).

Para mayor información, ver:

- Servicio Mundial de Monitoreo de Glaciares (WGMS): <http://www.wgms.ch>
- Sitio web de la Red Terrestre Mundial para Glaciares: <http://www.gtn-g.org>
- Informe sobre los cambios globales en los glaciares (hechos y cifras): <http://www.grid.unep.ch/glaciers/>

los cambios en la cobertura de nieve y hielo en las altas cordilleras podría afectar severamente los medios de subsistencia de las personas y por ende la economía. Algunos de los problemas que podrían surgir durante las estaciones cálidas o secas son la disminución de los suministros de agua, mínimos de descarga más prolongados y épocas de bajo flujo en los ríos, niveles más bajos en los lagos y en las aguas subterráneas, temperaturas más altas del agua, trastornos en los sistemas acuáticos y menor generación de energía hidroeléctrica. Estos efectos podrían agravarse al incrementar la demanda de agua debido al aumento poblacional y a la urbanización, industrialización, irrigación, generación de energía hidroeléctrica y las acciones para combatir incendios. La combinación de un menor suministro y una mayor demanda, como en este caso, podría generar conflictos. Junto con temperaturas atmosféricas más altas, una mayor evaporación y cambios en las condiciones de la nieve, la desaparición de los glaciares de montaña podría poner en primer plano de una manera dramática dos preguntas fundamentales: ¿A quién pertenece el agua? Y ¿quién decide cómo utilizarla en situaciones críticas?

Figura 3.3: Panorámicas del Findelengletscher (Glaciar Findel), Suiza, en 1862 (izquierda) y 2010 (derecha), creadas con base en mapas históricos y por medio de escaneo láser moderno, respectivamente. Las figuras son un aporte de P. Rastner, Universidad de Zurich, y fueron producidas dentro del proyecto Experimento de escaneo láser de glaciares Oberwallis, respaldado por la empresa de energía de Suiza Axpo



Capacitación y alianzas para los sistemas de observación del clima

Entre las regiones con observaciones limitadas de los glaciares, los Andes y Asia Central son probablemente las más vulnerables a los impactos generados por los cambios en el clima y en los glaciares. En estas regiones, los glaciares contribuyen considerablemente al abastecimiento de agua durante las estaciones secas; las personas y la infraestructura son especialmente vulnerables a las amenazas relacionadas con ellos, tales como las inundaciones por desbordamiento de los lagos glaciares. Ambas regiones son actualmente el foco de programas de capacitación y alianzas internacionales. Pero todos los esfuerzos realizados en este sentido para entender los efectos secundarios del cambio climático e identificar medidas de mitigación y adaptación se ven obstaculizados por la falta, a largo plazo, de series de observación meteorológica y glaciar de alta calidad. El proyecto Creación de Capacidades y Alianzas para los Sistemas de Observación del Clima (CATCOS), coordinado por la Oficina de Meteorología y Climatología MeteoSwiss y financiado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), tiene por objetivo mejorar el monitoreo de los gases de efecto invernadero, los aerosoles y los balances de masa de los glaciares en regiones del mundo en donde se carece de datos. En estrecha colaboración con socios regionales, los paquetes de trabajo glaciológico del proyecto CATCOS buscan continuar los programas de medición *in situ* del balance de masa en Colombia y Ecuador [además de realizar allí nuevos estudios geodésicos de glaciares], y reanudar las mediciones *in situ* del balance de masa en Kirguistán [interrumpidas].

Nota: Esta es una versión actualizada de la contribución de W. Haeberli y M. Zemp a: Las montañas y el cambio climático (2009), pp. 22-25



Demostración de las mediciones de densidad de la nieve durante una escuela de verano que tuvo lugar en el marco del proyecto CATCOS en Zermatt, Suiza (M. Zemp)

Reanudando el monitoreo de los glaciares en Kirguistán

Las cordilleras de Asia Central son torres de agua para grandes poblaciones. La escorrentía de los glaciares representa un importante recurso de agua dulce en las vastas zonas áridas de la región. El balance de masa de los glaciares en esta región es también un indicador importante del cambio climático.

Ryskul Usabaliev
Erlan Azizov



Glaciar Abramov, en Kirguistán (H. Machguth)

Las directrices internacionales para el monitoreo de los glaciares de montaña recomiendan combinar mediciones *in situ* (balance de masa, variaciones del frente) con sensores remotos (inventarios) y modelización numérica. Esto ayuda a salvar la brecha entre los estudios locales detallados de glaciares (orientados a procesos) y conjuntos de datos que son relevantes a nivel global.

Ciertos glaciares en Asia Central – a saber, el Abramov y el Golubin – han sido mencionados por el Servicio Mundial de Monitoreo de Glaciares como glaciares de referencia (recuadro 1, página 55). Tras la caída de la antigua Unión Soviética, los esfuerzos de medición fueron en gran medida abandonados. A finales del verano de 2011, científicos de Kirguistán, Uzbekistán, Suiza y Alemania reanudaron las actividades de medición del glaciar Abramov en las montañas Pamir-Alay. Esto tuvo lugar dentro del proyecto Creación de Capacidades y Alianzas para los Sistemas de Observación del Clima CATCOS (ver recuadro página 56) y el proyecto de Agua de Asia Central (CAWa). También se reanudaron las mediciones de los glaciares Golubin, Suek Zapadniy y el Glaciar 354 en las Montañas del Tién Shan en 2010. Los datos obtenidos acerca del balance de masa se analizaron junto con las observaciones de cotas de nieve desde cámaras terrestres y se compararon con mediciones hechas anteriormente.

Los esfuerzos orientados a la capacitación y creación de alianzas buscan transferir a los socios regionales el liderazgo del programa de observación así como generar información para los actores regionales involucrados en la gestión hídrica, la reducción de riesgo de desastres y el sector de la salud.



Fortalecimiento del monitoreo glaciar en los Andes tropicales

Los glaciares en los Andes tropicales son conocidos por ser especialmente sensibles al cambio climático. Debido a las condiciones climáticas particulares de la zona tropical, el deshielo se produce durante todo el año en la parte más baja de los glaciares. De esta manera, la cumbre del glaciar deja ver una respuesta de corto plazo ante los cambios en el balance de masa y el clima [1].

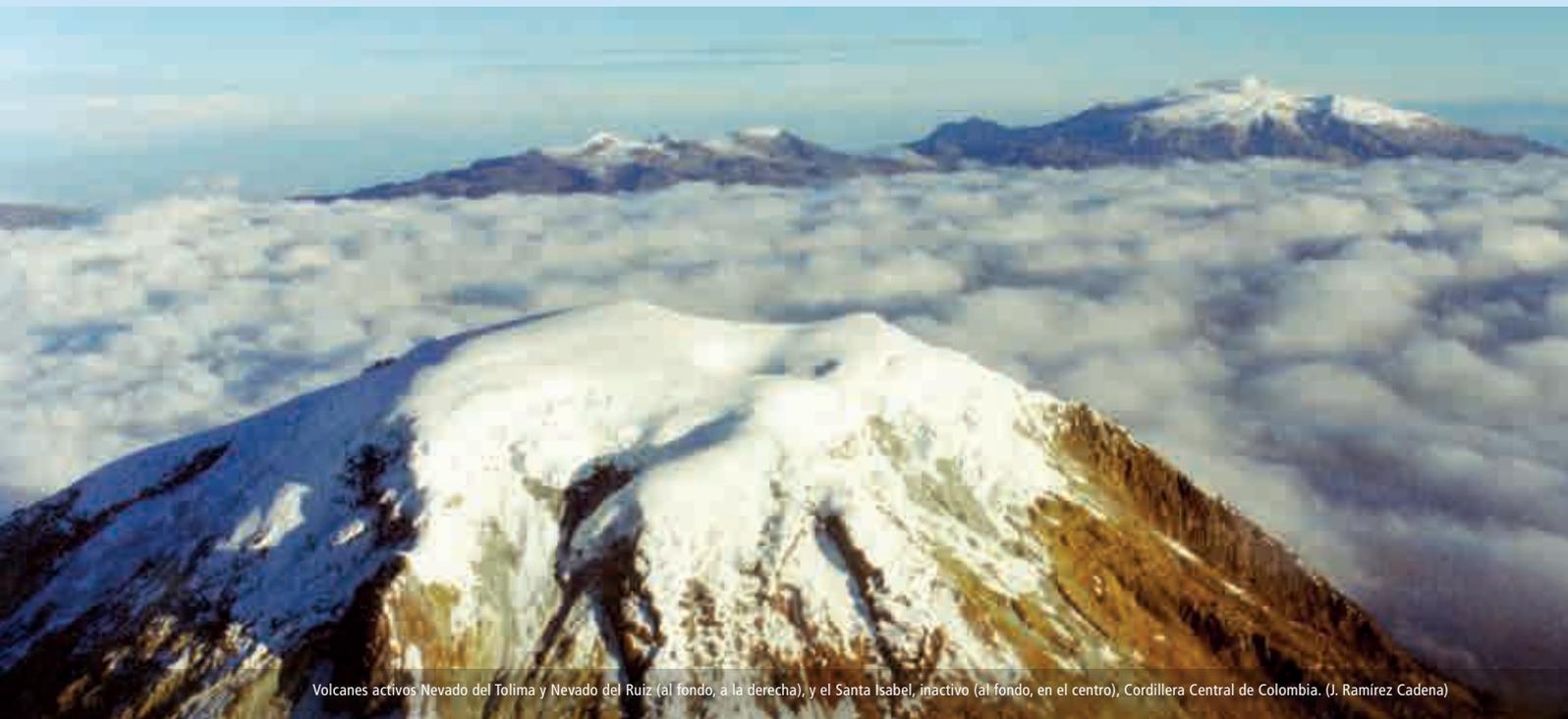
Bolivar Cáceres
Jorge Luis Ceballos



Casquete de hielo del volcán Antizana, Ecuador (M. Zemp)

Los glaciares tropicales alcanzaron la máxima extensión de su “Pequeña Edad de Hielo” entre finales del siglo XVII y principios del XIX. Desde entonces, estos glaciares han mostrado un retroceso general, marcado por dos periodos de aceleración: uno a finales del siglo XIX y otro en los últimos 30 años, siendo éste el más pronunciado. Estos cambios se captan mejor mediante las mediciones del balance de masa realizadas mensualmente en Bolivia, Ecuador y Colombia. Se cree que la reciente contracción de los glaciares ha sido impulsada principalmente por el aumento en la frecuencia del fenómeno del Niño y por los cambios en su ocurrencia espacial y temporal, que se combinan con el calentamiento de la tropósfera sobre los trópicos [2]. En el futuro, las temperaturas atmosféricas cada vez más altas y un cambio mínimo en la precipitación podrían reducir en gran medida la cobertura glaciar e incluso hacer desaparecer pequeños glaciares cuyas partes más elevadas se encuentran cerca de la altitud actual de la línea de equilibrio [2]. Este es un grave motivo de preocupación porque en las regiones áridas al occidente de los Andes habitan grandes poblaciones que dependen del agua proveniente de las elevadas cordilleras glaciariadas para la agricultura, el consumo doméstico y la energía hidroeléctrica [3].





Volcanes activos Nevado del Tolima y Nevado del Ruiz (al fondo, a la derecha), y el Santa Isabel, inactivo (al fondo, en el centro), Cordillera Central de Colombia. (J. Ramírez Cadena)

El proyecto CATCOS –Creación de Capacidades y Alianzas para los Sistemas de Observación del Clima– (ver recuadro 2, página 56) tiene por objetivo fortalecer los programas de monitoreo de glaciares en Colombia y Ecuador. Este programa apoya la continuación de las mediciones del balance de masa en el casquete de hielo del Antisana, en Ecuador. En un esfuerzo conjunto con socios regionales, los participantes están implementando un nuevo estudio geodésico basado en fotografía aérea, con el fin de validar las observaciones *in situ* y evaluar el cambio decadal del volumen de hielo en el casquete glaciar. En Colombia, el proyecto apoya la continuación del programa de balance de masa en Conejeras, un glaciar de desagüe del Nevado Santa Isabel. El proyecto complementa aún más este esfuerzo con un estudio de escaneo láser terrestre de la superficie del glaciar, y con un estudio de radar de penetración de tierra para determinar el grosor del hielo restante. Junto con el programa de balance de masa en el Glaciar Zongo en Bolivia, las dos series de observación mensual en Colombia y Ecuador son vitales para mejorar nuestra comprensión del cambio climático en la tropósfera media de los Andes tropicales y de su impacto en los glaciares, la escorrentía y la disponibilidad de agua dulce para las poblaciones y ecosistemas regionales.

El pico del agua: un aumento insostenible de la disponibilidad de agua del deshielo de los glaciares

- [1] Jansson, P., Hock, R. & Schneider, T. 2003. The concept of glacier storage: A review. *J. Hydrol.*, 282(1): 116–129.
- [2] Kaser, G., Grosshauser, M. & Marzeion, B. 2010. Contribution potential of glaciers to water availability in different climate regimes. *PNAS*, 107(47): 20223–20227. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1008162107>.
- [3] Huss, M. 2011. Present and future contribution of glacier storage change to runoff from macroscale drainage basins in Europe. *Water Resour. Res.*, 47(7): 1–14.
- [4] Marzeion, B., Jarosch, A.H. & Hofer, M. 2012. Past and future sea-level change from the surface mass balance of glaciers. *Cryosphere*, 6(4): 1295–1322.

3 Los glaciares de montaña

Los glaciares de montaña: sobre hielo quebradizo

- [1] Haeberli, W. 1998. Historical evolution and operational aspects of worldwide glacier monitoring. In W. Haeberli, M. Hoelzle & S. Suter, eds. *Into the second century of worldwide glacier monitoring: Prospects and strategies*, pp. 35–51. Paris, France: UNESCO.
- [2] Zemp, M. 2012. *The Monitoring of Glaciers at Local, Mountain, and Global Scale*. Schriftenreihe Physische Geographie, Vol. 65. University of Zurich, Switzerland. (habilitation treatise)
- [3] Zemp, M., Nussbaumer, S.U., Naegeli, K., Gärtner-Roer, I., Paul, F., Hoelzle, M. & Haeberli, W., eds. 2013. *Glacier Mass Balance Bulletin No. 12 (2010–2011)*. Zurich, Switzerland: WGMS, ICSU (WDS), IUGG (IACS), UNEP, UNESCO, WMO. <http://dx.doi.org/10.5904/wgms-fog-2013-11>.
- [4] Vaughan, D.G., Comiso, J.C., Allison, I., Carrasco, J., Kaser, G., Kwok, R., Mote, P., Murray, T., Paul, F., Ren, J., Rignot, E., Solomina, O., Steffen, K. & Zhang, T. 2013. Observations: Cryosphere. In T.F. Stocker, D. Qin, G.K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex & P.M. Midgley, eds. *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp. 317–382. Cambridge, UK, and New York, NY, USA, Cambridge University Press.
- [5] Radić, V. & Hock, R. 2010. Regional and global volumes of glaciers derived from statistical upscaling of glacier inventory data. *J. Geophys. Res.*, 115(F1): 1–10. <http://dx.doi.org/10.1029/2009JF001373>.
- [6] Huss, M. & Farinotti, D. 2012. Distributed ice thickness and volume of all glaciers around the globe. *J. Geophys. Res.*, 117(F4): 1–10. <http://dx.doi.org/10.1029/2012JF002523>.
- [7] Marzeion, B., Jarosch, A.H. & Hofer, M. 2012. Past and future sea-level change from the surface mass balance of glaciers. *Cryosphere*, 6(4): 1295–1322.
- [8] Solomina, O., Haeberli, W., Kull, C. & Wiles, G. 2008. Historical and Holocene glacier–climate variations: General concepts and overview. *Glob. Planet. Chang.*, 60(1–2): 1–9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.02.00>.
- [9] Oerlemans, J., Giesen, R.H. & Van Den Broeke, M.R. 2009. Retreating alpine glaciers: Increased melt rates due to accumulation of dust (Vadret da Morèratsch, Switzerland). *J. Glaciol.*, 55(192): 729–736. <http://dx.doi.org/10.3189/002214309789470969>.
- [10] Paul, F., Machguth, H. & Käab, A. 2005. On the impact of glacier albedo under conditions of extreme glacier melt: The summer of 2003 in the Alps. *EARSEL Proc.*, 4(2): 139–149.
- [11] Church, J.A., Clark, P.U., Cazenave, A., Gregory, J.M., Jevrejeva, S., Levermann, A., Merrifield, M.A., Milne, G.A., Nerem, R.S., Nunn, P.D., Payne, A.J., Pfeffer, W.T., Stammer, D. & Unnikrishnan, A.S. 2013. Sea level change. In T.F. Stocker, D. Qin, G.K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex & P.M. Midgley, eds. *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp. 1137–1216. Cambridge, UK, and New York, NY, USA, Cambridge University Press.
- [12] Linsbauer, A., Paul, F. & Haeberli, W. 2012. Modeling glacier thickness distribution and bed topography over entire mountain ranges with GlabTop: Application of a fast and robust approach. *J. Geophys. Res.*, 117(F3): 1–17. <http://dx.doi.org/10.1029/2011JF002313>.
- [13] Haeberli, W. 2013. Mountain permafrost: Research frontiers and a special long-term challenge. *Cold Reg. Sci. Technol.*, 96(1): 71–76. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coldregions.2013.02.004>.
- [14] Kaser, G., Grosshauser, M. & Marzeion, B. 2010. Contribution potential of glaciers to water availability in different climate regimes. *PNAS*, 107(47): 20223–20227. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1008162107>.
- [15] UNEP. 2007. *Global outlook for ice and snow*. Nairobi, Kenya, UNEP. http://www.unep.org/geo/geo_ice/; accessed on 29 Oct 2014.

Reanudando el monitoreo de los glaciares en Kirguistán

No hay referencias o lecturas adicionales.

Fortalecimiento del monitoreo glaciar en los Andes tropicales

- [1] Francou, B., Ribstein, P., Saravia, R. & Tiriau, E. 1995. Monthly balance and water discharge of an inter-tropical glacier: Zongo Glacier, Cordillera Real, Bolivia. *J. Glaciol.*, 41(137): 61–67.
- [2] Rabatel, A., Francou, B., Soruco, A., Gomez, J., Cáceres, B., Ceballos, J.L., Basantes, R., Vuille, M., Sicart, J.-E., Huggel, C., Scheel, M., Lejeune, Y., Arnaud, Y., Collet, M., Condom, T., Consoli, G., Favier, V., Jomelli, V., Galarraga, R., Ginot, P., Maisincho, L., Mendoza, J., Ménégos, M., Ramirez, E., Ribstein, P., Suarez, W., Villacis, M. & Wagnon, P. 2013. Current state of glaciers in the tropical Andes: A multi-century perspective on glacier evolution and climate change. *Cryosphere*, 7(1): 81–102. <http://dx.doi.org/10.5194/tc-7-81-2013>.
- [3] Vergara, W., Deeb, A.M., Valencia, A.M., Bradley, R.S., Francou, B., Zarzar, A., Grünwaldt, A. & Haeussling, S.M. 2007. Economic impacts of rapid glacier retreat in the Andes. *Eos*, 88(25): 261–264.

Autores

Los editores desean agradecer a los siguientes expertos por sus contribuciones para esta publicación:

1 El clima y las montañas

El cambio climático y las montañas

Stefan Brönnimann
Centro Oeschger de Investigación del Cambio Climático e Instituto de Geografía
Universidad de Berna, Suiza
stefan.broennimann@giub.unibe.ch

Marcos Andrade
Laboratorio de Física Atmosférica
Instituto de Investigación de Física
Universidad Mayor de San Andrés
La Paz, Bolivia
mandrade@fiums.edu.bo

Henry F. Diaz
Instituto Cooperativo para la Investigación en Ciencias Ambientales
Universidad de Colorado y
Laboratorio de Investigación de Sistemas Terrestres de la NOAA
Boulder, CO, EE.UU.

El cambio climático en los Alpes europeos

Same authors as for Climate Change and Mountains

Cambios observados y cambios futuros en los Andes tropicales

Los mismos autores de El cambio climático y las montañas

El cambio climático y el carbono negro en los Himalayas

Los mismos autores de El cambio climático y las montañas

El cambio climático en la región de los Cárpatos

Sandor Szalai
Universidad de Szent Istvan
Godollo, Hungría
szalai.sandor@mkk.szie.hu

Matthias Jurek
Unidad de apoyo de GRID-Arendal
PNUMA Viena
Viena, Austria
Matthias.JUREK@unvienna.org

Harald Egerer
PNUMA Viena
Secretaría del Convenio de los Cárpatos
Viena, Austria
harald.egerer@unvienna.org

2 El agua de las montañas

El agua de las montañas y el cambio climático desde una perspectiva socioeconómica

Rolf Weingartner
Instituto de Geografía y Centro Oeschger de Investigación del Cambio Climático
Universidad de Berna, Suiza
rolf.weingartner@giub.unibe.ch

Agua de los Andes para los desiertos costeros de Perú

Bert De Bièvre and Luis Acosta
Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN)
Lima, Perú
bert.debievre@condesan.org

Evaluación del balance de aguas en la Cuenca Superior del Indo

Uwe Boerst and Matthias Winiger
Departamento de Geografía
Universidad de Bonn, Alemania
uboerst@uni-bonn.de

Impactos del calentamiento global sobre la escorrentía de montaña: mensajes clave del Informe del IPCC

Rolf Weingartner and Martina Kauzlaric
Instituto de Geografía y Centro Oeschger de Investigación del Cambio Climático
Universidad de Berna, Suiza
rolf.weingartner@giub.unibe.ch

Opciones de gestión del agua en los Alpes en el contexto del cambio climático

Bruno Schaedler
Instituto de Geografía y Centro Oeschger de Investigación del Cambio Climático
Universidad de Berna, Suiza
bruno.schaedler@giub.unibe.ch

Olivier Graefe
Unidad de Geografía, Departamento de Geociencias
Universidad de Friburgo, Suiza

Emmanuel Reynard
Instituto de Geografía y Durabilidad
Universidad de Lausana, Suiza

Stephan Rist
Centro para el Desarrollo y el Medio Ambiente (CDE)
Universidad de Berna, Suiza

Rolf Weingartner
Instituto de Geografía y Centro Oeschger de Investigación del Cambio Climático
Universidad de Berna, Suiza

Traslado de una aldea completa como último recurso

Daniel Bernet
Instituto de Geografía y Centro Oeschger de Investigación del Cambio Climático
Universidad de Berna, Suiza
daniel.bernet@giub.unibe.ch

Silvia Lafranchi Pittet
Kam For Sud
Lugano, Suiza
silvia.lafranchi@ticino.com
info@kamforsud.org

Fidel Devkota
Instituto de Antropología Social y Cultural
Universidad Libre de Berlín, Alemania
fideldevkota@gmail.com

El pico del agua: un aumento insostenible de la disponibilidad de agua del deshielo de los glaciares

Ben Marzeion and Georg Kaser
Instituto de Meteorología y Geofísica
Universidad de Innsbruck, Austria
ben.marzeion@uibk.ac.at

3 Los glaciares de montaña

Los glaciares de montaña

Michael Zemp and Wilfried Haeberli,
Servicio Mundial de Monitoreo de Glaciares (WGMS) y Departamento de Geografía
Universidad de Zurich, Suiza
michael.zemp@geo.uzh.ch

Martin Hoelzle
Servicio Mundial de Monitoreo de Glaciares (WGMS) y Departamento de Geociencias
Universidad de Friburgo, Suiza
Martin.hoelzle@unifr.ch

Reanudando el monitoreo de los glaciares en Kirguistán

Ryskul Usabaliev y Erlan Azisov
Instituto de Asia Central de Geociencias Aplicadas (CAIAG)
Bishkek, Kirguistán
michael.zemp@geo.uzh.ch

Fortalecimiento del monitoreo glaciar en los Andes tropicales

Bolivar Cáceres
Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)
Quito, Ecuador
michael.zemp@geo.uzh.ch

Jorge Luis Ceballos
Instituto de Hidrología, Meteorología y
Estudios Ambientales
Bogotá, Colombia
michael.zemp@geo.uzh.ch

4 Amenazas en las montañas

Cambio climático y amenazas en las montañas

Oliver Korup
Instituto de Ciencias de la Tierra y del
Medio Ambiente
Universidad de Potsdam, Alemania
Oliver.Korup@geo.uni-potsdam.de

Cambio climático y control de la erosión en Japón

Yuichi S. Hayakawa
Centro para la Ciencia de la Información
Territorial
University of Tokyo, Japan

Norifumi Hotta
Facultad de Ciencias de la Vida y del
Medio Ambiente
Universidad de Tsukuba, Japón
Oliver.Korup@geo.uni-potsdam.de

Inundaciones monzónicas atípicas en la cordillera Transhimalaya en India

Jan Blöthe and Henry Munack
Instituto de Ciencias de la Tierra y del
Medio Ambiente
Universidad de Potsdam, Alemania
Oliver.Korup@geo.uni-potsdam.de

Reduciendo la vulnerabilidad frente a los riesgos climáticos en la región Indo Himalaya

Nadine Salzmann
Departamento of Geociencias
Universidad de Friburgo, Suiza
nadine.salzmann@unifr.ch

Janine Kuriger and Shirish Sinha
Agencia Suiza para el Desarrollo y la
Cooperación (COSUDE)
Delhi, India

Kirtiman Awasthi and Mustafa Ali Khan
Programa de Adaptación Climática Indo
Himalaya
Unidad de Gestión de Proyectos (PMU)
Delhi, India

El elusivo pasado de Pokhara

Wolfgang Schwanghart, Anne Bernhardt y
Amelie Stolle
Instituto de Ciencias de la Tierra y del
Medio Ambiente
Universidad de Potsdam, Alemania
Oliver.Korup@geo.uni-potsdam.de

5 Biodiversidad en las montañas

La biodiversidad en las montañas: patrimonio natural amenazado

Katrin Rudmann-Maurer, Eva Spehn, y
Christian Körner
Evaluación Mundial de la Diversidad Bioló-
gica en las Montañas (GMBA)
Instituto de Botánica
Universidad de Basilea, Suiza
gmba@unibas.ch

Irán: Hábitat de una flora única amenazada por el calentamiento global

Jalil Noroozi
Departamento de Biología de la Conserva-
ción, Vegetación, y Ecología del Paisaje
Universidad de Viena, Austria
noroozi.jalil@gmail.com

Manejo de zonas de pastoreo resilientes al clima en las tierras altas de Etiopía

Lemlem Aregu
Centro de Investigación para el Desarrollo
(CDR)
BOKU - Universidad de Recursos Naturales
y Ciencias de la Vida
Viena, Austria

Ika Darnhofer
Departamento de Economía y Ciencias
Sociales
BOKU - Universidad de Recursos Naturales
y Ciencias de la Vida
Viena, Austria

Maria Wurzinger
Departamento de Sistemas Agrícolas
Sostenibles
BOKU - Universidad de Recursos Naturales
y Ciencias de la Vida
Viena, Austria
maria.wurzinger@boku.ac.at

Bosques de montaña para conservar la biodiversidad y proteger contra las amenazas naturales

Peter Bebi
Instituto Federal Suizo para la Investigación
de los Bosques, la Nieve y el Paisaje WSL-SLF
Davós, Suiza
bebi@slf.ch

Frank Krumm
Instituto Forestal Europeo
Oficina Regional de Europa Central EFICENT
Friburgo, Alemania

6 Seguridad alimentaria en las montañas

Montañas, cambio climático y seguridad alimentaria

Thomas Hofer, Sara Manuelli y Alessia Vita
Alianza para las Montañas
Organización para la Alimentación y la
Agricultura (FAO)
Roma, Italia
thomas.hofer@fao.org

Conservación de la agroforestería en el Monte Kilimanjaro

Organización para la Alimentación y la
Agricultura (FAO)
Roma, Italia
climate-change@fao.org

Adaptación al cambio climático en los Andes peruanos

Julio C. Postigo
Organización para la Alimentación y la
Agricultura (FAO)
Representación en Perú
Lima, Perú
Julio.Postigo@fao.org

Fomento del uso eficiente del agua en Asia Central

Aida Jamangulova
Agencia para Iniciativas de Desarrollo (ADI)
Bishkek, Kirguistán
aidajam@mail.ru

Seguridad alimentaria en el Hindu Kush Himalayas y la carga adicional del cambio climático

Tiina Kurvits y Lawrence Hislop
GRID-Arendal
Arendal, Noruega
Tiina.Kurvits@grida.no

7 Economía de montaña

Economías de montaña, desarrollo sostenible y cambio climático

Golam Rasul y Eklabya Sharma
Centro Internacional para el Desarrollo
Integrado de las Montañas (ICIMOD)
Katmandú, Nepal
Golam.Rasul@icimod.org

¿Alpacas o llamas? Gestión de la incertidumbre entre los ganaderos de los Altos Andes

Marlene Radolf y Maria Wurzinger
Departamento de Sistemas de Agricultura
Sostenible
BOKU - Universidad de Recursos Naturales
y Ciencias de la Vida
Viena, Austria
maria.wurzinger@boku.ac.at

Gustavo A. Gutierrez Reynoso
Departamento de Producción Animal
UNALM - Universidad Nacional Agraria La
Molina
Lima, Perú

Las montañas y el cambio climático: una preocupación mundial

Thomas Kohler, André Wehrli, Matthias Jurek
Ver afiliación en: Editores
y Keith Alverson
PNUMA/DEPI
keith.alverson@unep.org