



“Impactos del Cambio Climático, Adaptación y Desarrollo en las Regiones Montañosas de América Latina”

Jorge Carrasco (Chile), Gino Casassa (Chile), Roberto Pizarro (Chile) y Miguel Saravia (Peru)

1. Introducción

Las montañas en América Latina cubren un rango latitudinal desde México hasta Tierra del Fuego y constituyen un territorio heterogéneo donde habitan millones de personas tanto en grandes ciudades como en territorios rurales. El territorio está constituido por una diversidad de ecosistemas frágiles donde conviven diversas especies. Se sabe asimismo que el calentamiento climático aumenta con la altitud, vale decir, que las montañas se calientan más que los valles, y por lo tanto los efectos del cambio climático son más agudos en las montañas. Este territorio no se sustrae de la dinámica ambiental global marcada por una diversidad de fenómenos interconectados, como las modificaciones en los ambientes y procesos físicos y biogeoquímicos que impactan los medios de vida y el bienestar de la población a nivel mundial.

Se estima que los efectos combinados del incremento de proyectos de inversión que incorporan al capital natural como un elemento estratégico, el cambio ambiental global, la expansión de la industria extractiva de gran escala y la evolución de procesos de integración política, económica y social a múltiples escalas, generarán restricciones y oportunidades diferenciadas para distintos grupos humanos de los países de montaña. Es necesario entender que la heterogeneidad del territorio de montaña en América Latina implica impactos diferenciados y un amplio rango de posibles respuestas y medidas a tomar para mitigar dichas vulnerabilidades. Los Andes abarcan un conjunto heterogéneo de condiciones ambientales y realidades sociales que generan dinámicas complejas de interacción social y ambiental. Esto se traduce en gradientes diferenciados de exposición y sensibilidad de las poblaciones andinas a procesos regionales de cambio ambiental, particularmente en los Andes tropicales. Es necesario y urgente generar información que permita una adecuada inclusión de dicha complejidad en la formulación de políticas y estrategias de intervención en esta región. En este contexto, este documento busca llamar la atención sobre esos posibles impactos diferenciados y llamar a la acción concertada de los países para que la



problemática de las montañas sea debidamente incluida en los procesos de negociación global hoy día en curso.

2. Montañas de América Latina

a. **Geografía**

Desde el extremo norte de México hasta Tierra del Fuego las montañas de América Latina moldean en forma relevante el territorio, con características muy heterogéneas debido a distintos factores como la geología y el clima. Hasta las latitudes de la Patagonia central existe la presencia de cientos de volcanes activos que forman parte del cinturón de fuego del Pacífico. En México las diversas sierras cubren un ancho de más de 500 km y una altura máxima de 5610 m en el volcán Citlatépetl o Pico de Orizaba. La Cordillera Central recorre prácticamente todo el largo de Centroamérica, culminando en el Volcán Tajumulco de 4220 m en Guatemala que es el punto más elevado de ella. La cordillera de los Andes constituye la cadena montañosa más larga del mundo, con una altura máxima de 6962 m en el Monte Aconcagua en Argentina. El 33% de la superficie de los países andinos corresponde a la Cordillera de los Andes, con una población de casi 85 millones que representa un 45% de la población total de dichos países (CONDESAN, 2011a).

b. **Climas de montaña**

Las montañas de América Latina actúan como una barrera a la circulación atmosférica y son áreas que están expuestas a la variabilidad de las condiciones atmosféricas y al cambio climático (Barry 1992). En el norte de México el clima es árido, mientras que hacia el sur, en Centroamérica y en los Andes septentrionales y centrales el clima es tropical, húmedo y cálido con precipitaciones de origen convectivo. Más al sur, en la así llamada diagonal árida de Sudamérica las precipitaciones disminuyen y el régimen de circulación atmosférica hace que éstas sean abundantes en el lado este de la cordillera durante la estación estival, y un clima seco con marcada aridez en el occidente. En la cordillera central y sur de Argentina y Chile, la precipitación se concentra a barlovento de la cordillera siendo máxima en la región austral en donde se ubican los Campos de Hielo Norte y Sur de la Patagonia, y es escasa a sotavento definiendo una región relativamente seca en la Patagonia oriental.



c. Poblaciones de montaña y actividades productivas

Según Price (1998), se calcula que la décima parte de la humanidad recibe su sustento directamente de las montañas y su importancia es extrapolable a millones de personas más que viven en tierras bajas. Por un lado existen poblaciones de montaña distribuidas en pequeñas comunidades (en su mayoría indígenas), con problemas de pobreza y bajos niveles educativos, que desarrollan actividades económicas de menor escala y que viven de una intensa explotación de los recursos naturales presentes en estos ecosistemas. También hay grandes concentraciones de población en las Montañas del Sur de Mesoamérica, y varias capitales de los países andinos como Bogotá (8 millones), Quito (2 millones) y La Paz (2 millones). Se estima que la Cordillera de los Andes alberga una población de aproximadamente 84.500.000 personas, lo cual corresponde a un 44,5% del total de la población de los 7 países andinos (CONDESAN, 2011). Las actividades productivas que se desarrollan en las zonas de montaña pueden ser muy variadas: agrícolas (cultivos de papa, maíz, café, etc.), y ganaderas (vacuno, ovino, caprino, etc.), silvícolas (alnus, ciprés, pino y eucalipto entre otros). Otras actividades de mayor envergadura son la generación de energía hidroeléctrica, las actividades mineras y las actividades relacionadas con el turismo y los deportes. Estas actividades están generando presiones sobre los ecosistemas y los servicios que éstos prestan, aunque existe gradualmente una menor importancia relativa de la agricultura de las montañas en el producto bruto interno de los países debido al crecimiento de la agricultura de exportación en las partes bajas. Esto obliga a evaluar constantemente los efectos de las actividades humanas en las cuencas altas de tal manera de no afectar la disponibilidad de los recursos aguas abajo, con el fin de lograr políticas de uso mutuamente beneficiosas (Liniger y Weingartner, 1998).

3. Cambio Climático

a. Cambios climáticos observados en el último siglo

Los resultados del Cuarto Informe del IPCC (Trenberth et al., 2007), revelan que la región de América Central y Sur registra un aumento de la temperatura media anual del aire superficial de 0.02 a 0.05 °C por década durante el período 1901-2005, siendo mayor en el sector sureste de Brasil donde alcanza sobre 0.1 °C por década. Si bien en el periodo 1979-2005 la costa sur occidental presenta un



enfriamiento (Falvey y Garreaud, 2009), los datos troposféricos en el interior del continente indican un aumento de la temperatura de 0.15 a 0.35 °C por década en el periodo reciente (Trenberth et al., 2007). En las montañas está reportado que aumenta el calentamiento climático con la altitud (Bradley et al., 2006). Por ejemplo, a 3000 m s.n.m. sería aproximadamente el doble que a nivel del mar. Los cambios en la precipitación en el periodo 1901-2005 no son homogéneos en la región, revelando una disminución en la costa del Pacífico (20 a 40%), en el sector noroeste de América del Sur (5 a 20%), y un aumento al este de los Andes de Chile y Argentina (20 a 40%) (Trenberth et al., 2007). En América Central lo más relevante es un aumento de la precipitación (5 a 20%) en México (Trenberth et al., 2007). Sin embargo, las tendencias anuales durante 1979-2005 muestran un aumento (disminución) en la costa central de Chile (en el sector Boliviano – noreste de Argentina) (Trenberth et al., 2007), reflejando la alta variabilidad de la precipitación y la incidencia de El Niño en la región, incluyendo las regiones de montaña. A escalas subregionales los patrones de cambio esperados son todavía muy difíciles de detallar por la influencia de la intrincada topografía de los Andes.

b. Proyecciones futuras (próximos 100 años)

Las proyecciones regionales (Christensen et al., 2007), válidas también para los Andes, indican que la temperatura media anual del aire aumentaría a fines del presente siglo de 1 a 3.5 °C con respecto del promedio 1961-1990, siendo aún mayor en la parte central de América del Sur. En cuanto a la precipitación ocurrirán cambios en su distribución espacial y temporal. Las simulaciones futuras de la precipitación anual revelan para fines de siglo (2080-2100) una disminución de 10 a 30% respecto del presente, en la zona centro-sur de Chile, la costa norte de América del Sur frente al Caribe, la costa central de Brasil y en la mayor parte de América Central, en tanto que un aumento de 10 a 20% se espera para fines de siglo en el sector norte de Perú, Ecuador y sur de Colombia, y el cono austral de América del Sur (Christensen et al., 2007).



4. Impactos del Cambio Climático en las montañas, altiplano y páramos.

Los impactos del cambio climático en las regiones de montaña serán diferenciados por ecosistemas y en función de su nivel de vulnerabilidad. Existe aún una gran incertidumbre y claramente se necesita más investigación para evaluar los impactos actuales y futuros.

a. **Nieve**

La cobertura de nieve en México, América Central y los Andes del norte se restringe solamente a las montañas más elevadas y su importancia en el medio ambiente natural y las actividades humanas es menor. En los Andes tropicales la precipitación de nieve comienza a ser más abundante, pero su importancia en el régimen hídrico es todavía menor. En los Andes del sur la nieve estacional comienza a ser cada vez más abundante, con un rol creciente como recurso hídrico, particularmente porque se acumula durante el período húmedo de invierno y aporta las aguas principalmente durante la primavera. Por lo tanto en los Andes meridionales la disminución futura de la nieve estacional debido al aumento de las temperaturas y en algunos sectores debido también a la disminución proyectada de las precipitaciones (entre las latitudes de 30°-45° por ejemplo), tendrá un impacto directo en los recursos hídricos.

b. **Reducción de glaciares**

Los glaciares de montaña responden sensiblemente a los cambios climáticos, tanto de temperatura como de precipitación. Salvo contadas excepciones prácticamente todos los glaciares andinos (superficie total de más de 28,000 km², Casassa et al., 2007) y los pocos glaciares en los elevados volcanes de México están experimentando un acelerado retroceso en respuesta al calentamiento troposférico, amenazando la provisión de recursos hídricos que provienen de los hielos (Bradley et al., 2006). Es preciso indicar que falta mucha investigación sobre el rol de los glaciares y la contribución de los mismos en la regulación y el balance hídrico. En escenarios futuros de calentamiento climático se prevé que continúe la fuerte pérdida y desaparición de glaciares, con una reducción notable en los próximos 100 años (ver ANEXO 2c).



c. Peligros asociados a glaciares y suelos helados

El derretimiento de los glaciares provoca una expansión de los lagos glaciales asociados, con el consiguiente aumento del peligro por vaciamiento súbito de dichos lagos (GLOFs, *Glacial Lake Outburst Flood*) que puede tener destructoras consecuencias aguas abajo, tanto para vidas humanas como para infraestructura (Rosenzweig *et al.*, 2007) (ver ANEXO 2d). Un peligro asociado relevante es la desestabilización de los taludes de montaña compuestos por suelos helados (*permafrost*), lo cual puede provocar avalanchas de roca.

d. Recursos hídricos – inundaciones/sequías

Las montañas juegan un rol fundamental en la generación de recursos hídricos. Por ejemplo, el 65% de los ríos de los 7 países andinos, que equivale al 35% del total de ríos de América del Sur, tiene su origen en los Andes, representando una cuarta parte de la escorrentía anual promedio de los principales ríos de dichos países (CONDESAN, 2011). La gestión de los recursos hídricos en las zonas de montaña produce efectos que se ven directamente reflejados en las zonas bajas de las cuencas. El cambio climático va asociado al aumento en la frecuencia de eventos extremos (lluvias, sequías) y riesgos asociados (inundaciones, desertificación). Así por ejemplo, las inundaciones aguas abajo podrían responder a factores de cambio climático, como se ha verificado en la zona centro sur de Chile (ver ANEXO 2a), pero también ello podría ser parte de una deficiente ordenación territorial, hecho comprobable en países como México o República Dominicana, entre otros (Pizarro, *et al.*, 2009). Asimismo, particularmente en los Andes del sur, en escenarios de calentamiento global se agudizarán situaciones desfavorables generalizadas debido a la disminución de la cantidad de nieve y hielo almacenados en las zonas de montaña, que afectaría por ejemplo las aguas de derretimiento para consumo humano, abastecimiento hidroeléctrico y riego, y su posterior distribución temporal y espacial a las tierras bajas, particularmente en épocas de sequías (Liniger y Weingartner, 1998; ANEXO 2c).

e. Movimientos en masa (aluviones) y riesgo asociado

Las montañas son ecosistemas muy frágiles (fuertes pendientes y suelos deleznable), donde las lluvias intensas pueden generar fuertes escorrentías superficiales, deslizamientos de tierra, movimientos en masa y/o erosión, entre



otros efectos. En muchas regiones de montaña, los lugares de turismo y las grandes áreas urbanas se han extendido hacia áreas de alto riesgo, siendo altamente vulnerables a fenómenos extremos, particularmente acentuados por el cambio climático (Magrin *et al.*, 2007). De acuerdo a lo planteado por CONDESAN (2011), en los países andinos la frecuencia de los eventos climáticos extremos y efectos asociados, tales como las inundaciones, los deslizamientos de tierra, las temperaturas extremas, las sequías e incendios forestales, entre otros, se ha incrementado en casi un 40% en el período 2001-2010 en comparación con el período 1991-2000. En este contexto, el impacto en el número de personas ha aumentado en un 200%; sin embargo, se aprecia una disminución en el costo estimado de los daños. Es necesario indicar que en muchos casos no es posible atribuir exclusivamente al cambio climático los movimientos en masa, sino que pueden deberse a otros factores naturales y/o antrópicos.

f. Desarrollo productivo y economía en zonas de montaña (ganadería, silvoagricultura, minería)

La importancia actual de las economías de montaña de Latinoamérica varía de un país a otro (CONDESAN, 2011; Chassot *et al.*, 2011), sin embargo, dichas zonas han mantenido, durante siglos a milenios, la agricultura tradicional de subsistencia. El desplazamiento de los cinturones altitudinales (cultivos y tierras de pastoreo) como producto de cambios en el clima y sus efectos asociados puede ser dramático (ver ANEXO 2d), tal como lo han mostrado los cambios socioeconómicos profundos puestos en evidencia por los pulsos climáticos pasados (Cardich, 1974; Frère *et al.* 1978). Existen por ejemplo, efectos directos sobre el ganado por cambios en la productividad de forrajes. Asimismo se espera una disminución neta en el rendimiento de cultivos e impactos asociados en la economía y seguridad alimentaria de los pequeños productores dedicados a sistemas mixtos de subsistencia/mercado.

No obstante, en algunos países estos cambios pueden obedecer también a migraciones de la población local que van en búsqueda de mejores condiciones económicas hacia las grandes ciudades. Esta transición demográfica-económica-ecológica conlleva efectos negativos (desarrollo productivo) y efectos positivos (recuperación de los ecosistemas de montaña). Sin embargo, el crecimiento neto de la población en los países andinos ha aumentado las demandas sobre el agua y los recursos para el desarrollo productivo en los últimos 20 años. Por ejemplo se ha estimado un aumento del 57% en el consumo de energía en todos los países



andinos entre 1990 y 2009 (OLADE 2010). Por otra parte, si bien la minería ha representado un factor importante en el desarrollo de los países andinos en los últimos 20 años, con un crecimiento asociado de sus exportaciones, la inversión social o económica en las zonas reales de explotación no ha sido proporcional al esfuerzo de la minería (CONDESAN, 2011).

Los patrones de impacto descritos se articulan con contextos de vulnerabilidad alta en poblaciones andinas, especialmente en áreas rurales donde predominan sistemas de pequeños productores agropecuarios. Estos sistemas han enfrentado condiciones difíciles asociadas con procesos ambientales de degradación de la base de recursos (p.ej. erosión de suelos) y procesos socioeconómicos que afectan el bienestar de los pobladores rurales.

Estos impactos, que a veces pueden ser positivos, tienen patrones geográficos complejos y es necesario complementar el análisis de vulnerabilidad evaluando potenciales efectos positivos relacionados con cambios en la aptitud de ciertas zonas para cultivos previamente no disponibles para los productores locales.

g. Turismo y deportes

El calentamiento atmosférico está provocando un ascenso de la isoterma cero y un consiguiente ascenso de la línea de nieves y la línea de equilibrio de los glaciares en las cordilleras de América Latina (Carrasco *et al.*, 2008). Esto está afectando la práctica de deportes de montaña tal como el esquí y su industria (ver ANEXO 2b) y la escalada en hielo (Rosenzweig *et al.*, 2007). Por ejemplo, en Bolivia, la desaparición del glaciar Chacaltaya significó la pérdida de su único centro de esquí (ver ANEXO 2b).

h. Impactos en los ecosistemas de montaña

Los ecosistemas de montaña en el mundo ocupan aproximadamente la quinta parte de la superficie de los continentes y las islas (Price, 1998) y por tanto generan condiciones particulares para la vida y el desarrollo de las personas, que deben ser internalizadas en las políticas públicas de los países con montañas. Dichos ecosistemas varían dependiendo de su ubicación geográfica y por ende de las condiciones ambientales (páramos, punas, bosques de montaña, entre otros). Además, son altamente susceptibles a variaciones climáticas (temperaturas y precipitaciones), por lo cual resultan claves para reconocer procesos de cambio climático y/o fenómenos extremos. También son una fuente vital de biodiversidad,



como queda reflejado en la proporción de especies amenazadas en los 7 países de la región andina de Latino América, estimada en un 77% (91% anfibios y 59% mamíferos). Asimismo, existen altas tasas de endemismo de las especies amenazadas, ya que un 57% de todas las aves amenazadas, el 80% de los anfibios y el 34% de los mamíferos, son especies endémicas de las regiones de montaña (CONDESAN, 2011). Al igual que en otras cordilleras del mundo, el calentamiento global detectado en las montañas de Latino América afectará de manera relevante la biota (Rosenzweig et al., 2007).

i. Salud humana

El aumento de la temperatura y también el aumento de la humedad puede provocar riesgos crecientes para la salud humana tal como el aumento de la mortalidad debida a olas de calor, incremento de enfermedades infecciosas como por ejemplo el tifus y la malaria, transmitidas por vectores tipo ixodoideos (garrapatas) y los mosquitos, respectivamente, además de enfermedades transmitidas en el agua y los alimentos, las alergias relacionadas con el aumento del polen (Rosenzweig *et al.*, 2007) y el aumento en la incidencia de las pestes asociadas a cambios en temperatura y humedad ambiental.

5. Consecuencias Futuras y Acciones Recomendadas

El calentamiento climático observado en las montañas de América Latina está provocando múltiples impactos que se tornarán cada vez más graves, incluyendo peligros como vaciamientos súbitos de lagos glaciales (GLOFs) y avalanchas asociadas al derretimiento de glaciares y taludes, inundaciones por ascenso de la isoterma cero y eventos extremos de precipitación, sequías debidas al cambio climático en algunas zonas, escasez de agua en cuencas alimentadas durante períodos secos por aguas de fusión provenientes de nieves y glaciares, cambios en la agricultura de montaña, disminución de los deportes y la industria asociada relativos a la nieve y el hielo, afectación de ecosistemas de montaña e impactos en la salud humana debido a las enfermedades infecciosas y otras. En algunos casos extremos, los impactos asociados al cambio climático en las regiones de montaña pueden generar incluso conflictos nacionales e internacionales.

En cuanto a los recursos hídricos, eventuales medidas de adaptación son la construcción de reservorios artificiales en reemplazo de glaciares. Por ejemplo en los Andes de Ecuador se ha cuantificado en cientos de millones de dólares el costo



asociado a la construcción de embalses artificiales que demandará en el futuro la desaparición de los glaciares (Vergara et al., 2007). A menor escala se ha propuesto almacenar aguas de lluvia a través de la construcción de microrrepresas rústicas o de los scalls “sistemas de captación de aguas lluvias” (Sánchez, 2010).

Finalmente, todo lo anterior posee implicaciones altamente relevantes en lo que respecta a la seguridad alimentaria, ambiental, social y económica de las poblaciones de montaña y de aquellas que dependen directa o indirectamente de las interrelaciones físicas o sociales que se producen con estas zonas. Para la protección de los ecosistemas de montaña, iniciativas como la UNFCCC y la “Mountain Alliance Initiative” son esenciales, sin perder de vista que es importante contar con el apoyo ciudadano asociado. De esta manera se podrá llegar mejor preparado al proceso de Rio+20 en el tema crucial que son las montañas.



ANEXOS

ANEXO 1. REFERENCIAS

ANEXO 2. IMPACTOS EMBLEMÁTICOS OBSERVADOS

ANEXO 2a. IMPACTOS EMBLEMÁTICOS OBSERVADOS.

Incremento de caudales máximos en Chile central y riesgo de inundación (RP).

ANEXO 2b. IMPACTOS EMBLEMÁTICOS OBSERVADOS. Incremento altitudinal de la línea de nieves y su impacto en el esquí (JC).

ANEXO 2c. IMPACTOS EMBLEMÁTICOS OBSERVADOS. Pérdida de glaciares y su impacto en los recursos hídricos (GC).

ANEXO 2d. IMPACTOS EMBLEMÁTICOS OBSERVADOS. Vaciamiento repentino de lagos glaciares: crecida destructiva aguas abajo del lago 513, Cordillera Blanca, Perú, 2010; Lago Cachet II (GC).



ANEXO 1. REFERENCIAS

- Aide, T.M., and H.R. Grau. 2004. Globalization, Migration, and Latin American Ecosystems. *Science* 305(5692):1915-1916.
- Barry, R.G. 1992. *Mountain Weather and Climate*. 2nd Ed. Routledge (Routledge physical environment series), London. 442 pp.
- Bradley, R., M. Vuille, H. Diaz, and W. Vergara. 2006. Threats to water supplies in the tropical Andes. *Science*, 312, 1755.
- Cardich, A., 1974. Los yacimientos de la etapa agrícola de Lauricocha, Perú, y los límites superiores del cultivo. *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología*, 8, 27-48.
- Carrasco, J., G. Casassa and J. Quintana. 2005. Changes of the 0°C isotherm in central Chile during the last quarter of the XXth Century. *Hydrological Sciences Journal*, 50(6), 933-948.
- Carrasco, J., R. Osorio and G. Casassa. 2008. Secular trend of the equilibrium line altitude in the western side of the southern Andes derived from radiosonde and surface observations. *Journal of Glaciology*, 54(186), 538-550.
- Casassa, G., A. Rivera, W. Haeberli, G. Jones, G. Kaser, P. Ribstein and C. Schneider. 2007. Editorial. Current status of Andean glaciers. *Global and Planetary Change*, 59, 1-4, 1-9.
- Chassot, O., A. Valverde, V. Jiménez, E. Müller, T. Moreno. 2011. From Rio 1992 to 2012 and beyond: 20 years of Sustainable Mountain Development. What have we learnt and where should we go? Regional report for Mesoamerica. October 9, 2011 draft. http://mountainlucerne2011.mtnforum.org/sites/default/files/Mountains_Report_Mesoamerica_20091011.pdf
- Christensen, J.H., B. Hewitson, A. Busuioc, A. Chen, X. Gao, I. Held, R. Jones, R.K. Kolli, W.-T. Kwon, R. Laprise, V. Magaña Rueda, L. Mearns, C.G. Menéndez, J. Räisänen, A. Rinke, A. Sarr and P. Whetton, 2007: Regional Climate Projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- CONDESAN. 2011. 20 years of Sustainable Mountain Development in the Andes - from Rio 1992 to 2012 and beyond - Final Draft v3 September 2011.



<http://mountainslucerne2011.mtnforum.org/content/20-years-sustainable-mountain-development-andes-rio-1992-2012-and-beyond>

- Falvey, M. and R. Garreaud, 2009: Regional cooling in a warming world: Recent temperature trends in the SE Pacific and along the west coast of subtropical South America (1979-2006). *J. Geophys. Res.*, **114**, D04102, doi:10.1029/2008JD010519.
- Frére, M., J.O. Rijks and J. Rea, 1978. Agroclimatological Study of the Andean Zone. Inter-institutional Project FAO/UNESCO and WMO, WMO TN 161, Geneva, Switzerland, 298 pp.
- Liniger H., R. Weingartner. 1998. Montañas y Recursos Hídricos. Depósito de Documento de la FAO. Es Necesario Mover Montañas. Revista Unasyuva N° 195. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/w9300s/w9300s08.htm#monta%C3%B1as%20y%20recursos%20h%C3%ADdricos>.
- Magrin, G., C. Gay García, D. Cruz Choque, J.C. Giménez, A.R. Moreno, G.J. Nagy, C. Nobre and A. Villamizar, 2007: Latin America. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 581-615.
- OLADE. 2010. Organización Latinoamericana de Energía: Sistema de Información Económica Energética (SIEE).
- Pizarro, R; Sangüesa, C; Balocchi, F; Morales, C; y Vargas, J. 2009. Informe país, Estado del medio ambiente en Chile, Capítulo de Recursos Hídricos. Universidad de Chile, Instituto de Asuntos Públicos. Santiago, Chile.
- Price, M. 1998. Las montañas: ecosistemas de importancia mundial. Depósito de Documentos de la FAO. Es Necesario Mover Montañas. Revista Unasyuva N° 195. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/w9300s/w9300s00.htm>.
- Rosenzweig, C., G. Casassa, D.J. Karoly, A. Imeson, C. Liu, A. Menzel, S. Rawlins, T.L. Root, B. Seguin, P. Tryjanowski, 2007: Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 79-131.
- Sánchez, P. 2010. <http://especiales.infoandina.org/psanchez/cosechagua>



- Trenberth, K.E., P.D. Jones, P. Ambenje, R. Bojariu, D. Easterling, A. Klein Tank, D. Parker, F. Rahimzadeh, J.A. Renwick, M. Rusticucci, B. Soden and P. Zhai, 2007: Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Vergara, W., A.M. Deeb, A.M. Valencia, R.S. Bradley, B. Francou, A. Zarzar, A. Grünwaldt and S.M. Haeussling. 2007. Economic impacts of rapid glacier retreat in the Andes. *EOS*, 88(25), 261-264.



ANEXO 2a. IMPACTOS EMBLEMÁTICOS OBSERVADOS.

Incremento de caudales máximos en Chile central y riesgo de inundación (RP).

El desplazamiento de la isoterma cero ha sido evidenciado por (Carrasco *et al.* 2005 y 2008), quienes señalan que hay una tendencia al incremento de la altura de la línea de equilibrio y de dicha isoterma (Figura 1). Esto estaría generando un mayor aporte volumétrico aguas abajo, lo que queda de manifiesto al relacionar las variables precipitación v/s caudal. Así, existe en la época invernal un mayor volumen de agua que escurre en forma líquida, porque como producto de la ascensión de la isoterma cero, se verifica una disminución de los volúmenes de agua que quedan como reserva en las altas montañas, en forma de hielo y nieve. (Figura 2). Resultados recientes han verificado en las zonas de Chile central un aumento de los caudales punta o máximos, determinando con ello mayores probabilidades de inundación en las zonas de mayor vulnerabilidad y lo que es aún más grave, distorsionando las estadísticas hidrológicas históricas, que son la base del diseño actual de obras hidráulicas y civiles.



Figura 1: Desplazamiento altitudinal de la isoterma cero en Chile.

Fuente: Ing. Rodrigo Valdés Pineda.

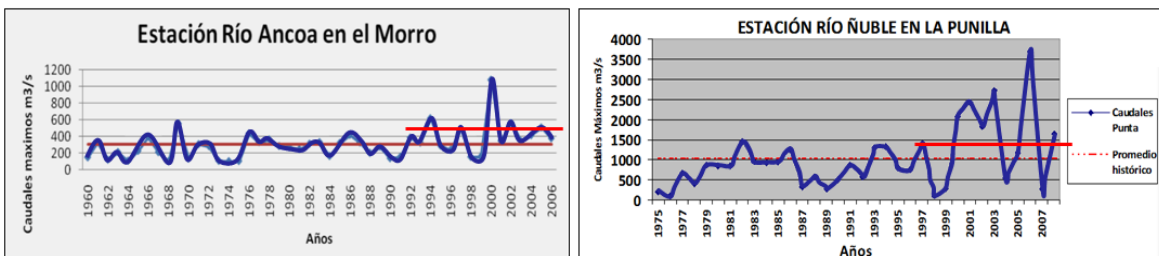


Figura 2: Incremento de los Caudales Punta. Río Ancoa en el Morro, Región del Maule. Río Ñuble en la Punilla, Región del Biobío

Fuente: Estándares de Ingeniería para Aguas y Suelos (EIAS). Universidad de Talca.



ANEXO 2b. IMPACTOS EMBLEMÁTICOS OBSERVADOS. Incremento altitudinal de la línea de nieves y su impacto en el esquí.

El calentamiento atmosférico verificado a lo largo de los Andes está produciendo un ascenso de la línea de nieve, que a su vez resulta en un fuerte retroceso de los glaciares y también está provocando una reducción de la cobertura de nieve estacional hacia sectores cada vez más altos. En los Andes tropicales se ha verificado un ascenso de la isoterma 0°C de unos 25 m/década desde los 1980s (Vuille et al., 2003). En los Andes centrales de Chile la isoterma 0°C ha ascendido en promedio 23 m/década en el período 1958-2006 (Carrasco et al., 2008). Aparte de provocar cambios hidrológicos en las cuencas (ver ANEXOS 2a, 2c y 2d), este ascenso de la isoterma 0°C tiene consecuencias en el esquí y la industria asociada. Por ejemplo, Bolivia perdió hace pocos años el glaciar Chacaltaya, que constituía, a una altitud de 5375 m s.n.m., la cancha de esquí más alta del mundo (Figura 1). En los Andes centrales de Chile los centros de esquí más bajos, tal como Lagunillas (2200 m s.n.m.), están siendo afectados en forma relevante por el ascenso de la isoterma 0°C, y la cota mínima de los andariveles de los centros de esquí ha ascendido desde 2400 m s.n.m. en 1950 a 2960 m s.n.m. en 1987 (Enríquez et al., 2010). En escenarios futuros de calentamiento atmosférico, se prevee que la isoterma 0°C debiera continuar ascendiendo más de 400 m hacia fines de siglo (Carrasco et al., 2005).

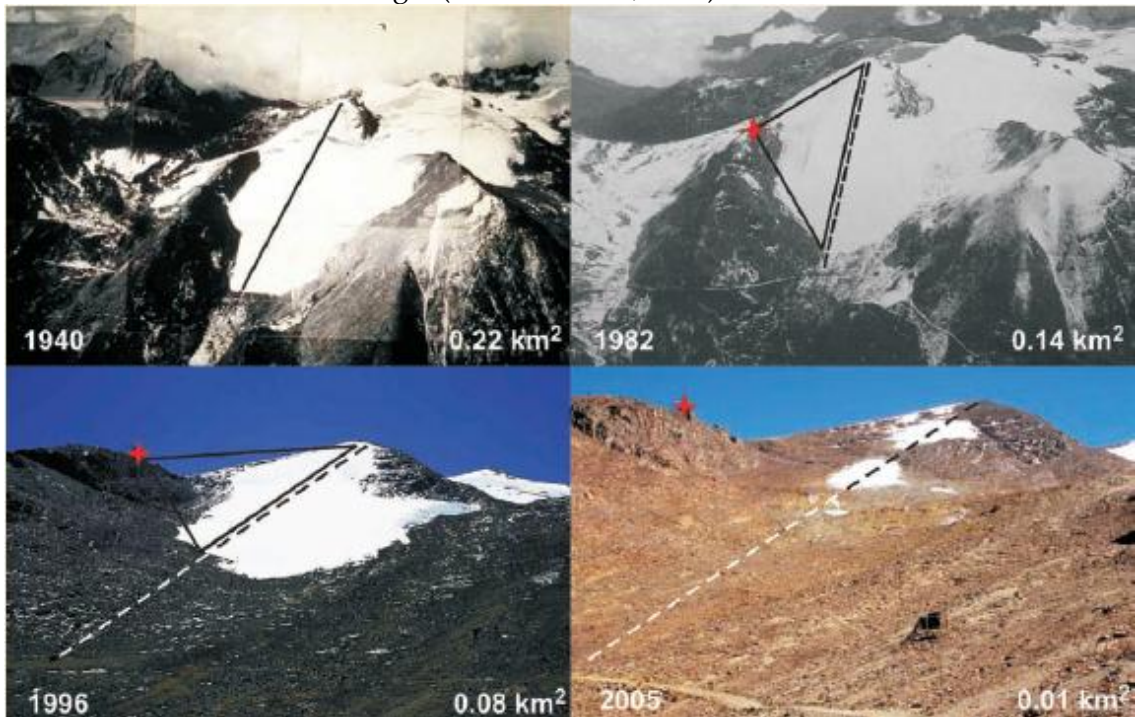


Figura 1. Fotos que muestran el fuerte retroceso del glaciar Chacaltaya, Bolivia desde 1940 a 2005. Los números indican la superficie del glaciar en km². Hacia 2005 el glaciar había prácticamente desaparecido. La línea negra continua indica la posición del andarivel de esquí, que tenía un largo de 800 metros en 1940, y su posición original se muestra con una



línea segmentada en las épocas subsiguientes. La posición del refugio de esquí se indica con una cruz roja. Fotos Francou & Vincent (2006) y Jordan (1991). Figura de Rosenzweig et al. (2007).

ANEXO 2c. IMPACTOS EMBLEMÁTICOS OBSERVADOS. Pérdida de glaciares y su impacto en los recursos hídricos.

Los glaciares andinos tienen un rol relevante en la generación de recursos hídricos. El aumento de temperatura de aproximadamente 0.1 °C/década verificado a lo largo de los Andes durante las últimas décadas (Vuille et al., 2008) es el causante principal del retroceso reciente de los glaciares andinos. En algunos sectores, como en el sur de Chile, una disminución en las precipitaciones ha contribuido asimismo al retroceso glaciar (Carrasco et al., 2008). Frente al calentamiento atmosférico, en un comienzo un glaciar normalmente produce una mayor cantidad de aguas de derretimiento. Pero luego que una masa importante del glaciar desaparece, se alcanza un punto crítico y las aguas de fusión comienzan a declinar. En muchos glaciares pequeños de los Andes (menores a 1 km²), este punto crítico ya ha sido alcanzado, y en las próximas décadas se pronostica que se verán afectados los glaciares más grandes y su generación asociada de agua (Casassa et al., 2010). La contribución de los glaciares a los ríos aguas abajo es más relevante en los Andes subtropicales y los Andes del Sur, donde las precipitaciones ocurren en la estación de invierno y los glaciares liberan las aguas de derretimiento en la estación de verano que coincide con el período seco. Por ejemplo, al final de un verano muy seco, el río Maipo, que abastece el 67% de los recursos hídricos de Santiago de Chile, puede recibir hasta un 67% de sus aguas de los glaciares cordilleranos (Peña y Nazarala, 1987).

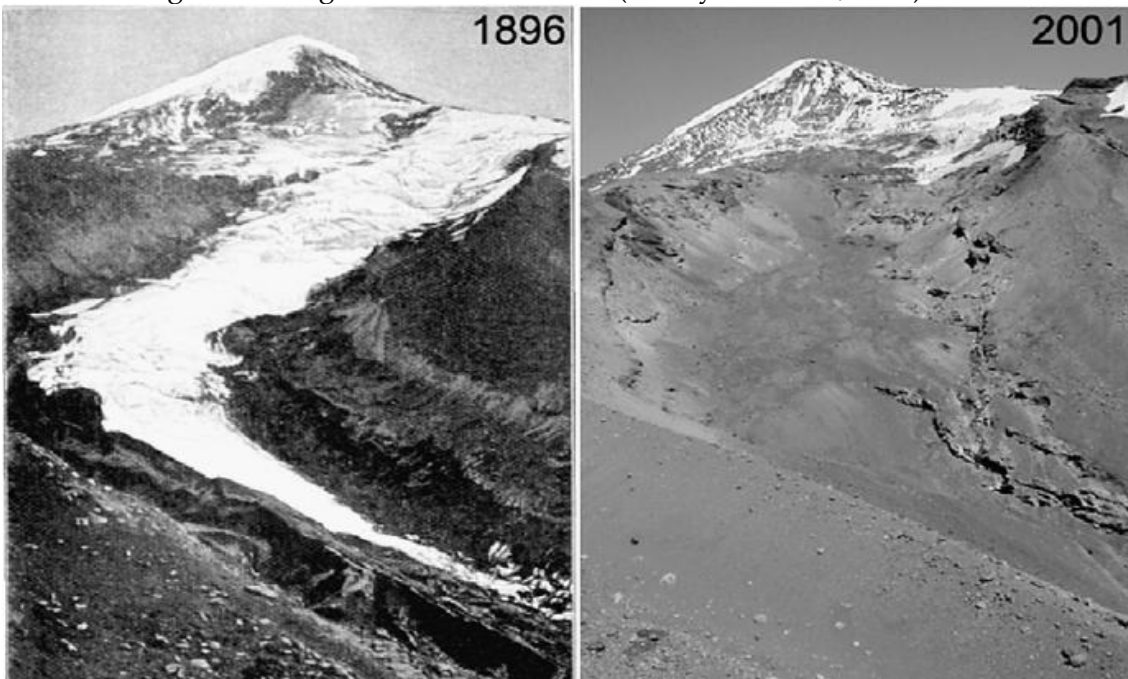




Figura 1. El glaciar norte del Volcán Lanín (3776 m) en la Patagonia norte, Argentina, ha experimentado un notable retroceso y adelgazamiento debido al calentamiento atmosférico y la disminución de las precipitaciones. La fotografía de 1896 fue publicada por Hauthal en 1904 y la de 2001 fue tomada por el Dr. Villalba del IANIGLA, Argentina (Masiokas et al., 2008, <http://www.glaciares.org.ar/paginas/index/lanin>).

ANEXO 2d. IMPACTOS EMBLEMÁTICOS OBSERVADOS. Vaciamientos repentinos de lagos glaciares debido al derretimiento glaciar.

En una primera fase, el calentamiento atmosférico produce un mayor derretimiento de los glaciares. Esta mayor disponibilidad de aguas de fusión genera a su vez un crecimiento de los lagos glaciares y periglaciares. Estos lagos glaciares pueden sufrir vaciamiento súbitos (GLOF en inglés: “Glacial Lake Outburst Flood”) por vía de diferentes mecanismos, incluyendo:

- a) impacto de una avalancha de hielo o roca en el lago, que provoca una gran ola que puede superar las barreras (presas) naturales o artificiales del lago y provocar una destructiva inundación. Esta situación causó el 11 de abril de 2010 una gran ola de casi 25 metros de alto en la Laguna 513 bajo el Nevado Hualcán (6104 m) en la Cordillera Blanca de Perú y gatilló un aluvión de barro que causó pánico en la población de Carhuaz. Afortunadamente no hubo víctimas fatales, pero sí daños considerables.
- b) apertura de un drenaje subglacial a través de un túnel bajo el hielo debido a la presión hidrostática generada por el aumento de las aguas de derretimiento que alimentan un lago represado por un glaciar. Este mecanismo ha causado numerosas crecidas glaciares en los Andes del sur, con importantes daños asociados. Un ejemplo son las crecidas del Lago Cachet II en el Campo de Hielo Patagónico Norte, Chile, que han ocurrido desde 2008 (Casassa et al., 2010), causando inundaciones aguas abajo, con una ola de crecida de 5 metros, y un aumento de caudal del orden de 2000 m³/s (Fig. 1).





22 enero 2010



23 enero 2010

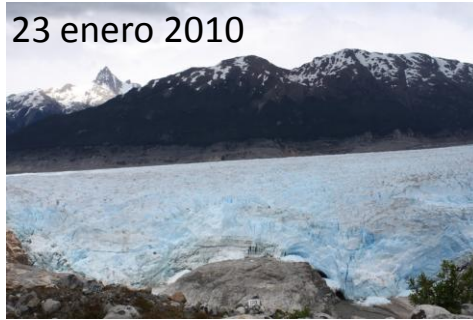


Figura 1. Vaciamiento del lago Cachet II, Campo de Hielo Patagónico Norte, en enero de 2010. El glaciar Colonia actúa como un muro de contención natural de este lago. El fuerte adelgazamiento reciente del glaciar Colonia, unido al aumento de las aguas de derretimiento, han comenzado a causar los vaciamientos repentinos del lago Cachet II desde 2008. El descenso del nivel del agua en el período de 4 días fue de unos 90 metros, resultando en el vaciamiento total de los 200 millones de metros cúbicos que almacena normalmente el lago. En el costado derecho de la roca central donde se apoya el glaciar Colonia se aprecia la presencia del túnel de drenaje.