

Reconocimiento de Permafrost Andino en las Nacientes del Río Santa María, Catamarca.

Ana Lía Ahumada^(1,2); Gloria Patricia Ibañez Palacios⁽¹⁾ y
Silvia Verónica Páez⁽¹⁾

1: Instituto de Geología de Cuaternario y Paleoclimas- Fundación Miguel Lillo.
Miguel Lillo 251- C/P 4000-San Miguel de Tucumán-Argentina. Teléfono: 0381- 4239723 interno 105
ana-ahumada@argentina.com

2: CONICET

Andean Permafrost Survey in the High Santa Maria River, Catamarca.

Abstract

The global warming, with rising temperatures, make in danger hydrological regimes in mountain glaciers and permafrost.

In the high Puna border , the Nevados de Catreal (26°6' y 26° 15'S) andean permafrost are determined. The rock glaciers are specially significant in the context of a warming world. Rock glaciers functions as a complex aquifer and geindicatos to global change.

The classic photo-interpretation with aerial photos (1960-1970) and comparation to recent satellital images are used for determined the altitudinal geoform distribution and morphometry.

Cryogenic and glacialenic rock glaciers are determined. The active fronts occur in preferential exposure to SE, SW y S. This fronts are found between 4252 - 4.898 m s.n.m..

The lowest altitudeof rock glaciers can be used as a limit for the discontinuous permafrost boundary.

Potential negative impacts in the terrain stability and hydric resources must be considered in future sustainable managements for this region..

Key words: Hydric resources, Discontinuous permafrost, Rock glaciers.

Resumen

El incremento de las temperaturas globales pone en peligro las fuentes de agua dulce continentales en forma de hielo o permafrost. Las regiones áridas o semiáridas de los Andes Centrales manifiestan mayor labilidad a estos cambios y deben ser reconocidas debido a los potenciales efectos del calentamiento global en la estabilidad de las laderas y su incidencia en la calidad del agua.

En las nacientes del Río Santa María, Nevados de Catreal, (entre los 26°6' y 26° 15'S) se determinaron áreas con permafrost andino: glaciares de escombros, acuíferos de altura congelados y geindicadores de calentamiento global.

Las metodologías utilizadas para su identificación y medición fueron la interpretación de fotografías aéreas a escala 1:50.000 y la utilización de imágenes satelitales según normas establecidas por la Internacional Permafrost Association.

Se determinaron glaciares de escombros según su origen: glaciario y de talud. Entre los de talud, indicadores de permafrost discontinuo, se han identificado protalus, de talud, en forma de lengua y espatulados. Los frentes activos exponen preferencialmente al SE, SW y S y a veces al NE. Altitudinalmente se encuentran entre 4.254 y 4.898 m s.n.m.

Este trabajo pretende aportar al conocimiento del origen del agua dulce en las altas cuencas del Río Santa María, contribuyendo a la información de base necesaria para la programación de proyectos de desarrollo sustentable en las poblaciones de la zona, ya que la presencia de estas geoformas trae aparejada una serie de nuevas precauciones en el manejo de agua y suelo de la región.

Palabras clave: Recursos hídricos, Permafrost discontinuo, Glaciares de escombros.

Introducción

Los efectos del Cambio Climático Global afectan fuertemente los parámetros físicos que condicionan la estabilidad de la Criósfera del planeta.

La criósfera es el sistema de la Tierra que permanece congelado por un año o estacionalmente. Está constituida por la cobertura de nieve, mares, lagos y ríos congelados, glaciares, calotas glaciales y suelos permanentemente congelados o permafrost.

Las montañas son los ambientes más sensibles de nuestro globo y son tomadas como indicadores de Cambio climático. En el futuro, debido a su baja densidad poblacional y al uso turístico frecuente, serán objeto de observaciones de primera magnitud con respecto a la criósfera. Por un lado, por los costos para mantener grandes empresas turísticas de altura (pistas de esquí, por ejemplo). Pero por otro lado, y de mayor importancia, por aquel concepto desarrollado por Messerli e Ives (1997) que definieran a las montañas como las torres de agua del mundo. Las regiones de montaña concertan muchos intereses humanos, pero en lo que respecta al uso de la criósfera, en particular el agua, su gestión es poco clara. Por ejemplo: La producción de energía hidroeléctrica con seguridad óptima no es obvia en el largo tiempo, con el descongelamiento de los glaciares, ya que se incrementarán los caudales y la sedimentación y habrá un aumento en la inestabilidad de las pendientes. Al disminuir la resistencia mecánica de las laderas por descompresión, se generarán desastres naturales como movimientos en masa o flujos de detritos.

De igual manera el descongelamiento del permafrost facilitará la erosión de las laderas y deslizamientos. (De Jong, 2007). Estos sucesos generarán grandes cambios en las comunidades de montañas y próximas generando modificaciones en sus economías, por lo que se hace cada vez más necesario tener un conocimiento concreto de las regiones que podrán ser afectadas y generar mecanismos de prevención de riesgos y disminución de vulnerabilidad regional.

En alta montaña rocas y suelos permanecen congelados todo el año. Estas zonas, con permafrost discontinuo o insular en muchos casos, están modificándose actualmente a una velocidad alarmante. Los países con cadenas montañosas de altura se encuentran afectados para su desarrollo por este ambiente natural: si se desestabilizan las paredes rocosas y las altas pendientes de montaña, las regiones habitadas en niveles topográficos inferiores, están expuestas a desastres naturales que las afectarán integralmente.

Los glaciares y el permafrost reaccionan rápidamente a aumentos de temperatura debido a su relación directa con el punto de descongelamiento. El calentamiento global del siglo XX ha incidido marcadamente en las regiones glaciales y periglaciales de alta montaña del mundo, indicando una tasa acelerada de cambio (Haeberli y Beniston, 1998). Si este régimen climático se mantiene, se puede producir la desaparición de glaciares de montaña y el descongelamiento profundo de suelos permanentemente congelados (permafrost) (Watson y Haeberli, 2004).

En la Cordillera de los Andes las temperaturas del siglo XX se han incrementado en 0,62° C entre 1.901-1.997, aumentando en 0,4 grados por encima de lo esperado durante los 90. Estas temperaturas tienden a reflejar la señal de calentamiento global. Entre 30°S y 30°N se ha medido entre los años 1958-1990, un fuerte ascenso del nivel de congelamiento del aire que varía entre 100 a 150 m (Díaz y Graham, 1996). Francou, (en: Hansen, 2002) tras 20 años de investigación en glaciares de los Andes de Perú, Bolivia y Ecuador predice que en los primeros 15 años de este siglo el 80% de los glaciares de América del Sur desaparecerán. Adjudica el rápido retroceso de los glaciares de Ecuador en los 80, al calentamiento del Océano Pacífico (Francou, 2006).

La Criósfera se encuentra representada en las altas montañas del NW argentino por la presencia de permafrost de montaña, el que se manifiesta

topoclimáticamente en el paisaje con glaciares de escombros y una asociación de geoformas menores generadas por el congelamiento permanente o estacional de los suelos.

Los glaciares de escombros activos, indicadores de permafrost discontinuo, se encuentran ubicados en la región de S a N, en alturas desde 4000 a 4850 m s.n.m.. Los glaciares de escombros son importantes por que producen un volumen de agua semejante al generado por glaciares de hielo; el agua que liberan tiene menos material suspendido que la de los glaciares y su núcleo de hielo se encuentra protegido de manera que serían más resistentes en el tiempo a las modificaciones de temperatura de altura. Sus condiciones de estabilidad geocológica en el NW de Argentina son resilientes todavía, a las modificaciones de la temperatura en altura según las observaciones de estos últimos años realizadas por las autoras de esta presentación (Ahumada et al, 2006).

En las nacientes del Río Santa María, Nevados de Catreal, (entre los 26°6' y 26° 15') se determinaron áreas con permafrost andino: se identificaron geoformas de glaciares de escombros, los que son considerados acuíferos de altura congelados y se utilizan como geoindicadores de calentamiento global. Este trabajo pretende aportar al conocimiento de las fuentes de origen del agua dulce en las altas cuencas del Río Santa María, contribuyendo a la información de base necesaria para la programación de proyectos de desarrollo sustentable en las poblaciones de la zona, ya que la presencia de estas geoformas trae aparejada una serie de nuevas precauciones en el manejo de agua y suelo de la región.

Características del permafrost. Su sensibilidad a los cambios climáticos.

El permafrost es una condición térmica: si los suelos permanecen congelados permanentemente por más de dos años se denominan permafrost (International Permafrost Association, 1994); su formación, persistencia o desaparición son altamente dependientes del clima. Su distribución, temperatura y espesor son afectados por cambios ambientales naturales y disturbios antropogénicos que causen alteraciones en el régimen térmico del suelo. Cambios en la temperatura del aire y/o precipitación, modificaciones de la superficie por desmonte, remoción de la materia orgánica aislante,

incendios forestales, migración de cauces, etc. pueden producir modificaciones en su régimen térmico.

No todo el permafrost existente en la actualidad está en equilibrio con el clima actual. En las regiones de permafrost discontinuo, donde la temperatura del permafrost está cerca de 1-2° C del descongelamiento, el permafrost puede fácilmente desaparecer como resultado de los cambios en la temperatura del suelo asociados al calentamiento climático global. Estas inestabilidades pueden provocar serios daños en el paisaje, el ecosistema y la infraestructura de las regiones afectadas.

La interacción entre el clima sobre el suelo y el clima debajo del suelo es compleja, y dependiente de algunos factores, muchos de los cuales son afectados por los cambios climáticos. Los cambios climáticos que ocurren sobre el suelo, son muchas veces amortiguados debajo del suelo por el efecto aislante de la vegetación, materia orgánica o la cubierta de nieve. Generalmente hay un retardo entre las modificaciones de la temperatura de superficie y el cambio de temperaturas del permafrost en profundidad: si el permafrost es espeso este retardo puede ser del orden de cientos o miles de años, si el permafrost es fino, años o décadas.

Glaciares de escombros. Descripción.

Los glaciares de escombros son geformas criogénicas que constituyen el permafrost discontinuo o insular en las altas montañas del mundo. Son mesoformas sedimentarias formadas por rocas y detritos congelados, con hielo lenticular e intersticial que se mueven pendiente abajo muy suavemente, a bajas velocidades (0,1 – 1,0 ma^{-1}), por medio de deformación plástica y reptación del permafrost (Barsch, 1969; Corte, 1976).

Los glaciares de escombros se caracterizan por el desarrollo de arrugas, surcos y lomadas paralelas a la dirección del flujo y por una pendiente frontal cercana al ángulo de reposo (35° - 40°). Su parte superior está cubierta, usualmente, por grandes clastos (0,1 – 5,0 m). Suman además, zonas de hoyos o depresiones, que se observan a veces y que se considera que son provocadas por el descongelamiento parcial o completo de los cuerpos de hielo interno. Los glaciares de escombros activos son comunes en las altas montañas y en los polos, y se ha descrito y estudiado su presencia en regiones

de condiciones climáticas templadas y tropicales, tal el caso de esta presentación. Los glaciares de escombros se presentan debajo de la línea de nieve y por arriba del límite inferior del permafrost discontinuo y han sido contemplados como geoformas características de climas continentales (Haeberli, 1985). Sin embargo, se han presentado numerosos casos en ambientes marinos (Eyles, 1978; Humlum, 1982).

El modelo climático que representa la actividad de los glaciares de escombros fue definido por Haeberli (1985): El límite superior de precipitación anual para la formación de glaciares de escombros es de 2500 mm anuales y -2° C de temperatura y el inferior, 400 mm anuales y -15° C de temperatura.

Los glaciares de escombros han sido clasificados de acuerdo con su génesis u origen en glaciares de escombros de talud u origen criogénico y glaciares de escombros de origen glaciar o glaciogénico. Los de talud o criogénicos (cuya génesis depende de procesos de permafrost exclusivamente) han sido clasificados por su morfología: con forma de lengua, lobulados y espatulados o complejos. Los glaciares de escombros de talud se identifican también, según sus condiciones de movimiento en: activos, cuando presentan un frente con pendientes que superan los 35° y contienen cantidades importantes de hielo moviéndose valle abajo con las velocidades descritas en un párrafo anterior; inactivos , cuando todavía contienen hielo, pero no manifiestan movimiento y relícticos o fósiles cuando ya no contienen hielo porque se descongeló y la superficie, en especial cuando la pendiente frontal ha disminuido su angularidad y generalmente se encuentra cubierta con vegetación. Las mediciones de hielo contenidas en glaciares de escombros activos son en el orden de 50% al 90%.

Los glaciares de escombros secundarios o de origen glaciogénico están constituidos por un núcleo de hielo glacial cubierto por escombros en los cuales se pueden identificar zonas de termokarst. Son sectores de glaciares de escombros secundarios (Corte, 1976) que se caracterizan por la presencia de hundimientos, lagos, cavernas, túneles y depresiones producto de la degradación del permafrost discontinuo por descongelamiento del hielo interno. Este último proceso es favorecido por el incremento de la temperatura superficial y la presencia de una cobertura de detritos de poco espesor.

Estas mesoformas criogénicas construyen un importante mecanismo de transporte del detrito donde la glaciación activa está ausente y proveen de un

caudal de agua durante el año en los altos valles donde la precipitación es mínima.

El rol de los glaciares de escombros en el sistema hidrológico de los ambientes de alta montaña del mundo ha sido muy estudiado debido a su importancia como reservorio de agua dulce a largo plazo (Corte, 1976, 1978, Haeberli, 1985, Giardino et al 1992, Clow et al, 2003; Brenning, 2005). La descarga de glaciares de escombros activos está caracterizada por variaciones anuales estacionales. Se sostiene que el régimen de agua proveniente de hielo subterráneo es más uniforme que el de los glaciares y ventisqueros (Trombotto et al 1999).

La presencia de permafrost discontinuo en el NW de Argentina.

La caracterización de pisos altitudinales de acción periglacial fue definida regionalmente para estas latitudes por Garleff y Stingl (1983).

En la región de Puna del NW argentino Catalano (1927) señaló la presencia de masas rocosas aglomeradas por hielo que fluían por gravedad a modo de un glaciar, similitud que lo indujo a nominar dichos aparatos como litoglaciares.

Igarzábal (1982) detecta la presencia de núcleos de hielo cubiertos por detrito ubicadas en las cumbres del Nevado de Queva (6.130 m s.n.m.) y el Co Granadas (5.705 m s.n.m.) señalando que los mismos mantienen precarios cursos permanentes. Los denomina depósitos glaciolíticos. En la región del Acay y los Nevados de Palermo-Cachi, Igarzábal (1982) realiza un inventario de glaciares de escombros activos e inactivos, encontrando el límite inferior de los glaciares de escombros en 4500 m s.n.m.. Strecker (1987) es el primero en reconocer glaciares de escombros en los Nevados de Chuscha, sin describir su área de distribución ni sus categorías de clasificación, realizando un importante aporte para el conocimiento de la región. Schellenberger *et al.* (1998) determinan para la ladera oriental de la Sa. de Cachi glaciares de escombros activos en 4650 m s.n.m. y en la ladera occidental en 4850 m s.n.m..

En la Sierra de Santa Victoria, Corte *et al.* (1982) efectúan el reconocimiento geomorfológico de glaciares de escombros activos a 4.300 m s.n.m.. En la misma región Zipprich *et al.* (1998) distinguen tres generaciones sucesivas de glaciares de escombros, con glaciares de escombros activos actualmente (sin

mencionar la altura), y determinan un descenso del límite de procesos periglaciales de aproximadamente 700 m y de 6° C de temperatura acaecido alrededor de 27.979 ±190B.P.

Ahumada *et al.* (2000) delimitan pisos altitudinales de procesos periglaciales en la Cuenca del río Los Reales (Sa. de Aconquija), definiendo dos niveles de procesos periglaciales. El inventario de glaciares de escombros de la ladera oriental de la Sa. de Aconquija (2005a) indicando el límite más bajo de actividad en 4000 m s.n.m., y en el mismo año se calcula el volumen de agua contenido aproximadamente, en estas geoformas (2005b). Ibañez Palacios y Ahumada (2006) recientemente delimitan dos regiones altitudinales de acción periglacial en el Parque Nacional Los Alisos: un nivel inferior, entre 2000 y 4000 m s.n.m. de congelamiento estacional y un nivel superior, de 4000 a más de 5000 m s.n.m. con congelamiento permanente. Páez y Ahumada (2006) identifican glaciares de escombros activos a 4.500 m s.n.m. en el Río Cerrillos, en el borde septentrional de la diagonal semiárida, definiendo permafrost discontinuo en una cuenca de altura de la vertiente seca de la Sierra de Aconquija. En el mapa de la Figura 1 se puede observar la distribución regional de localidades con permafrost andino (Ahumada, 2002).

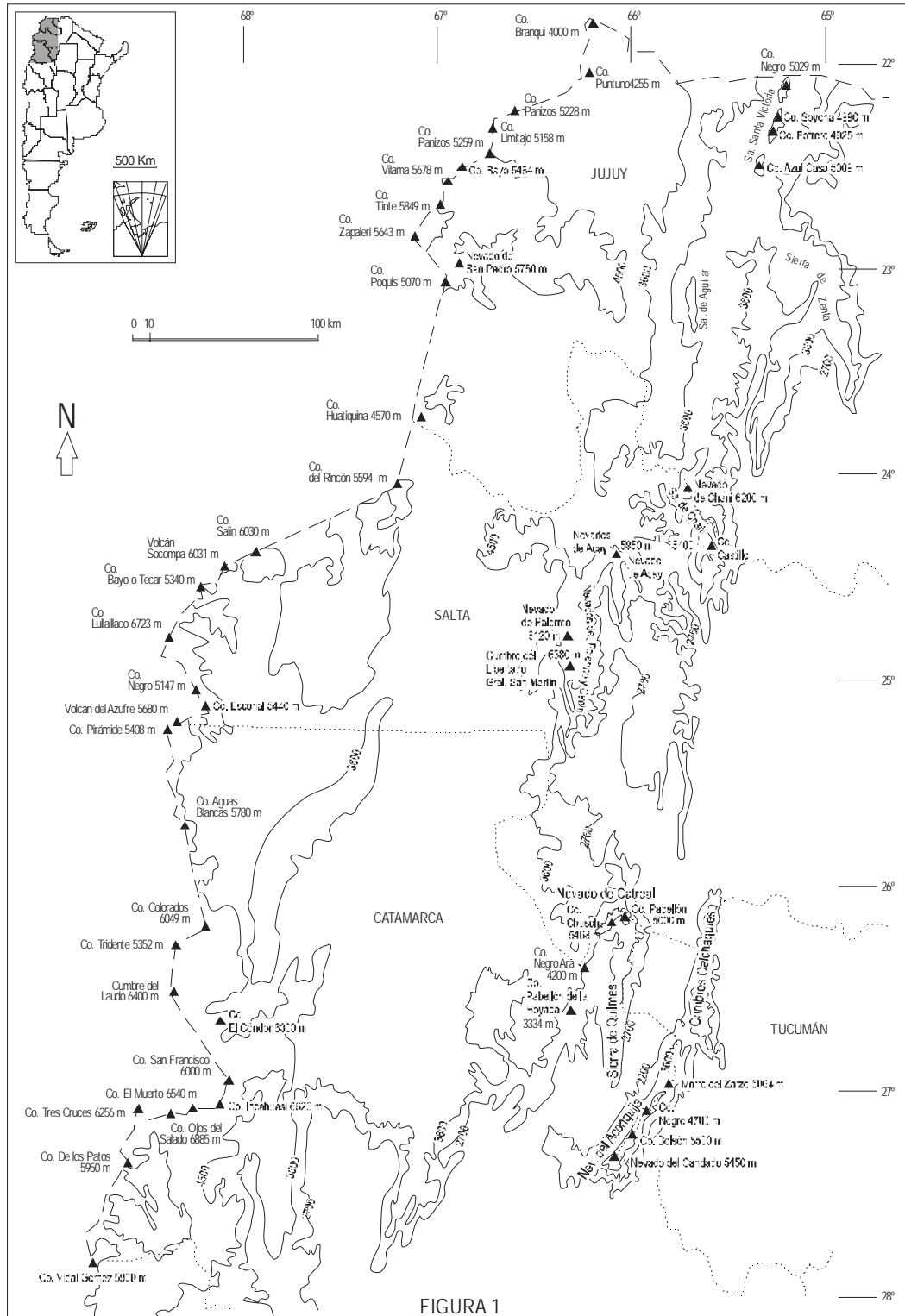


FIGURA 1

Figura 1- Mapa del Noroeste Argentino con las principales alturas y Sierras donde se identificaron glaciares de escombros y permafrost andino. Ahumada.(2002)

Metodología.

Se realizó la identificación y determinación de la distribución de glaciares de escombros y formas asociadas en Los Nevados de Catreal mediante la interpretación de fotografías aéreas de la región, las que fueron realizadas en la década del 60–70 a escala 1:50.000 y el control con imágenes satelitales recientes. Estas regiones de montaña presentan grandes dificultades de acceso, lo que implica altos costos de exploración. Es por ello que en vista de los avances de las técnicas de teledetección y la precisión de las mediciones alcanzadas, se utilizan estas técnicas (Brenning, 2005) dejando para otras exploraciones específicas (geofísica, geoelectrónica, etc) las tareas de campo. Han sido utilizadas ampliamente para detectar permafrost en Marte, hallazgo que proporcionó los primeros indicios de agua en el vecino planeta. El seguimiento de glaciares de escombros para ser utilizados como geoindicadores se realiza mediante fotointerpretación e interpretación secuencial de fotografías (Figura 2) e imágenes satelitales.

En las fotografías aéreas se identificaron los distintos tipos de glaciares de escombros. Se realizaron mediciones morfométricas estandarizadas por la Asociación Internacional del Permafrost (IPA, 2004). Con la imagen satelital IKONOS se constataron los niveles altitudinales, para realizar una identificación regional homogénea se realizó morfometría individual de macroformas.

De la determinación morfométrica y geomorfológica se obtuvieron diferentes geoformas que fueron clasificadas según su génesis. Luego se clasificaron según su forma. A su vez se midió la altura de los frentes activos lo que permitió establecer el nivel inferior de permafrost discontinuo de la región.

Se determinó el área general de distribución de glaciares de escombros en base a la interpretación de imágenes. La misma ocupa un área general de 447km².



Figura 2- Fotografía aérea de la región de los Nevados de Catreal- con glaciares de escombros de talud: en forma de lengua, lobulados y espatulados o complejos. También se observan glaciares de escombros de origen glaciogénico con sus facies de termocarst y morenas.

Resultados

En las nacientes del Río Santa María, Nevados de Catreal, (entre los 26°6' y 26° 15') se determinaron áreas con permafrost andino: glaciares de escombros, acuíferos de altura congelados y geoindicadores de calentamiento global. La superficie reconocida en la región ocupa aproximadamente 447km². Se

determinaron glaciares de escombros según su origen: de origen glaciario o glaciogénico y criogénicos o de talud. Entre los de talud, indicadores de permafrost discontinuo, se han identificado: protalus o embrionarios, en forma de lengua, espatulados y lobulados o complejos. Los frentes activos exponen preferencialmente al SE, SW y S y excepcionalmente al NE. Altitudinalmente se encuentran activos entre 4.254 y 4.898 m s.n.m.

Los glaciares de escombros secundarios se encuentran en niveles desde 4300 m s.n.m., cubriendo el fondo de antiguos valles glaciados, con facies de termocarst en coexistencia con los glaciares de escombros primarios.

Los depósitos morénicos de antiguas glaciaciones también fueron determinados, ya que contienen núcleos de hielo en ambientes periglaciados. Se encuentran desde alturas de 3.703 m s.n.m..

Conclusiones

En la región de cabeceras del río Santa María se han localizado importantes geoformas de permafrost andino: glaciares de escombros de génesis glacial y criogénicos cubriendo un área regional de aproximadamente 447km².

Entre los glaciares de escombros criogénicos se han identificados distintos tipos de formas: protalus o embrionario, de talud, en forma de lengua, espatulados y lobulados o complejos.

Los glaciares de escombros de origen glacial presentan mayor extensión y presentan en algunos casos facies de termocarst, evidenciando una degradación del sistema climático de preservación.

La altura mínima de localización de frente activo en glaciares de escombros de talud activos es de 4.285 m. s.n.m. Esta altura establece el nivel inferior del permafrost discontinuo en los Nevados de Catreal. Es necesario realizar monitoreo de temperaturas del aire y de capa activa con objeto de establecer las condiciones físicas de estabilidad de estas geoformas. A la luz de la información climática regional proveniente de mapas climáticos de gran escala, las condiciones de estabilidad serían resilientes (Ahumada et al. 2005a) ante la temperatura del aire actual.

Este trabajo pretende aportar al conocimiento de las fuentes de origen del agua dulce en las altas cuencas del Río Santa María, contribuyendo a la

información de base necesaria para la programación de proyectos de desarrollo sustentable en las poblaciones de la zona, ya que la presencia de estas geofformas trae aparejada una serie de nuevas precauciones en el manejo de agua y suelo de la región. El impacto del calentamiento global en elementos de la criósfera en las montañas probablemente genere importantes derivaciones en lo social y económico. Los cambios en la precipitación nivea y en la extensión de los glaciares pueden modificar el régimen hidrológico e impactar en los recursos hídricos.

Referencias Bibliográficas

- 1) Ahumada A. L., Ledesma, F .C.; Ibañez Palacios, G. P.; Delgado, M. y Jiménez, M. J., 2000. Una evaluación de riesgo potencial en la región NE de la Sierra del Aconquija Tucumán, Argentina. IX Congreso Geológico Chileno. Actas, 1:16-20.
- 2) Ahumada Ana Lia, 2002. Periglacial Phenomena in High mountain Areas in the NW of Argentina. South African Journal of Science. V. 98, p:1-5.
- 3) Ahumada, A. L., Ibañez Palacios, G. P. y Páez, S. V., 2004. Cambios climáticos, variaciones de la sedimentación en cuencas de alta montaña en el Norte de Argentina. X Reunión Argentina de Sedimentología, San Luis, Actas:12.
- 4) Ahumada, A. L., Ibañez Palacios, G. P. y Páez, S. V., 2005a. High Mountain permafrost in the argentine subtropics. 19th Colloquium on Latin American Geosciences. Potsdam, Berlin. Terra Nostra 1: 9.
- 5) Ahumada, A. L., Ibañez Palacios, G. P. y Páez, S. V., 2005b. Los glaciares de escombros en el Noroeste Argentino, acuíferos de altura en riesgo ante los cambios globales. XX Congreso Nacional del Agua, CONAGUA-2005, III Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur. Versión en Cd, Mendoza.
- 6) Ahumada, A. L., Páez, S. V. e Ibañez Palacios, G. P., 2006. Rock Glaciers in the Andean Criolithozone at the 27°S. Symposium on Climate Change: Organizing the Science for the American Cordillera (CONCORD). Mendoza: 51-52.
- 7) Barsch, D., 1969. Studien und Messungen an Blockgletschern in Macun, Unterengadin. Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementband 8: 11-30.
- 8) Brenning, A., 2005. Geomorphological, hydrological and climatic significance of rock glaciers in the Andes of Central Chile (33°-35°S). Permafrost and Periglacial Processes 16:231-240.
- 9) Catalano, L .R., 1927. Datos hidrológicos del Desierto de Atacama. Boletín de la Dirección General de Minas, Geología e Hidrología. Publicación 35: 1-55.
- 10) Clow, D.W., Schrott, L., Webb, R., Campbell, D.H., Torizzon, A., y Dornblaser, M. 2003. Ground Water occurrence and contributions to streamflow in an alpine catchment, Colorado Front Range. Ground Water 41: 937-950.
- 11) Corte, A. E. 1976. Rock Glaciers. Biuletyn Periglacialny 26: 157-197.
- 12) Corte A. E.; Trombotto D. T. y Ahumada A. L., 1982. Relevamiento de la geomorfología criogénica del NW Argentino. IANIGLA-CONICET Informe 50p.
- 13) De Jong, C. 2007. Cryosphere- a CRY for our SPHERE?. Geophysical Research Abstracts, 9: 10760.
- 14) Díaz, H.F. y Graham, N.E. 1996. Recent changes in tropical freezing heights and the role of sea surface temperature. Nature 383: 152-155.
- 15) Eyles, N., 1978. Rock glaciers in Esjufjöll nunatak area, Iceland. Jökull 28: 53-56.

- 16) Francou B., 2006. Mass balance evolution of glaciers in the tropical Andes over the last decades: Inference for climate evolution. Symposium on Climate Change: Organizing the Science for the American Cordillera (CONCORD). Mendoza: 19-20.
- 17) Garleff K. y Stingl H., 1983. Hangformen und Hangformung in der periglazialen Höhenstufe der argentinischen Anden zwischen 27° und 55° südlicher Breite. In: "Mesoformen des Relievs im heutigen Periglazialraum" (Leitartikler: Posser y Schunke), Göttingen: 425 - 434.
- 18) Giardino, J. R., Vitek, J.D., Demorett, J.L., 1992. A model of water movement in rock glaciers and associated water characteristics. In: J.C. Dixon, A.D. Abrahams (eds.). Periglacial Geomorphology. Wiley, Chichester, :159-184.
- 19) Grabher G., Gurung B., Dedieu J. P., Haeberli W., Hohenwallner D., Lotter A., Nagy L., Harald P. y Pseunner R., 2005. Long-term environmental observations in Mountain Biosphere Reserves: Recommendations from the EUGLOCHAMORE Project, Mountain Research and Development, 25: 376-383.
- 20) Haeberli, W., 1985. Creep of mountain permafrost: internal structure and flow of alpine rock glaciers. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH, Nr. 77: 142 p., Zürich.
- 21) Haeberli, W. y Beniston, M., 1998. Climate Change and its impacts on glaciers and permafrost in the Alps. *Ambio* 27(4):258-265.
- 22) Hansen E., 2002. Hot Peaks. *Earth*, p. 8.
- 23) Humlum O., 1982. Rock glaciers types. Greenland. *Geografisk Tidsskrift* 82: 59-66.
- 24) Ibañez Palacios G. P. y Ahumada A. L., 2006. Delimitation of the geocryogenic processes and associated geomorphic belts in Los Alisos National Park, Tucumán. International Symposium: Regional Climate Variations in South America over the late Holocene: PAGES New Initiative. Malargüe, Argentina: 76.
- 25) Igarzábal A., 1982. El relieve de la Puna argentina. *Revista del Instituto de Ciencias Geológicas*, 5: 45-66.
- 26) Messerli, B. and Ives, J.D. (eds.), 1997: Mountains of the World. A Global Priority. Parthenon, New York and London: 495 p.
- 27) Páez, S. V. y Ahumada, A. L. 2006., Rock glaciers in the Río Cerrillos Basin, Catamarca Province. International Symposium: Regional Climate Variations in South America over the late Holocene: PAGES New Initiative. Malargüe, Argentina: 76.
- 28) Schellenberger, A.; Mailänder, R.; Stingl H. y Veit, H., 1998. Investigations on Late Quaternary landscape and climate evolution en la Sierra de Cachi (Province of Salta, NW-Argentina). En 16° Geowissenschaftliches lateinamerika-Kolloquium. *Terra Nostra* 5: 144-145.
- 29) Trombotto, D., Buk, E. & Hernández, J., 1999. Rock glaciers in the Southern Central Andes, Mendoza, Argentina: a review. *Bamberger Geographische Schriften* 19: 145-173.

- 30) Trombotto D. T y Ahumada A. L., 2005. Los Fenómenos Periglaciales. Identificación, determinación y aplicación. Opera Lilloana N° 45. Fundación M. Lillo. 131 pp.
- 31) Watson R. T. y Haeberli W., 2004. Environmental threats, mitigation strategies and high mountain areas. *Ambio Special Report*, 13: 2-10.
- 32) Zipprich M.; Reizner B.; Veit H.; Zech W. y Stingl H., 1998. Upper Quaternary climate and landscape evolution in the Sierra de Santa Victoria (Cordillera Oriental, northwestern Argentina) deduced from geomorphologic and pedologic studies. In *16° Geowissenschaftliches lateinamerika-Kolloquium. Terra Nostra* 5: 180-181.