

Los glaciares de escombros en la sierra de Aconquija, Argentina

Ahumada, A. L.^{1,2}; S. V. Páez¹; G. P. Ibáñez Palacios¹

¹ Instituto de Geología de Cuaternario y Paleoclimas, Fundación Miguel Lillo. Miguel Lillo 251, (4000) San Miguel de Tucumán, Argentina.

² CONICET, Fundación Miguel Lillo. Miguel Lillo 251, (4000) San Miguel de Tucumán, Argentina. ana-ahumada@argentina.com

► **Resumen** — Se presenta el inventario de glaciares cubiertos y glaciares de escombros en la sierra de Aconquija, Argentina. Su distribución, localización y dimensiones han sido determinadas en el ámbito de tres cuencas mayores y 15 subcuencas. Se reconocieron 246 glaciares de escombros intactos (superficie: 16,46 km²) y 16 glaciares cubiertos (superficie: 1,17 km²) cubriendo un total de 17,63 km². La exposición preferencial de los frentes de glaciares de escombros intactos es marcadamente al Sur, en una fuerte dependencia con la radiación solar. La mayor cantidad (163) de glaciares de escombros intactos se localiza en la ladera oriental de la sierra.

Los depósitos de permafrost, reservorios de agua dulce congelada, dominan la criósfera en la sierra de Aconquija: sus glaciares de escombros constituyen el 93,34% (16,46 km²) de la superficie total reconocida por este censo. La superficie restante, 6,66% (1,17 km²) es ocupada por glaciares cubiertos.

El límite inferior de permafrost de montaña en la sierra de Aconquija es indicado por los glaciares de escombros intactos que ocurren en los 4000 ± 200 msnm. La temperatura media anual (2°C) a esta altura indicaría la presencia de un permafrost de tipo azonal.

Palabras clave: inventario de glaciares, glaciares de escombros intactos, permafrost de montaña, sierra de Aconquija, Argentina.

► **Abstract** — "The rock glaciers of the Aconquija range, Argentina". An inventory of rock glaciers in the Aconquija Range, Argentina, is presented here. 246 intact rock glaciers (area: 16.46 km²) and 16 debris-covered glaciers (area: 1.17 km²) have been recognized in three major basins and 15 sub-basins of the studied area, covering a total of 17.63 km². Most of the intact rock glaciers are located on the eastern slope of the Aconquija Range. Their fronts are mainly exposed to the south, showing a strong dependence on solar radiation. The lower limit of mountain permafrost in the Aconquija Range is marked by the occurrence of intact rock glaciers at 4000 ± 200 meters above sea level. The average annual temperature (2°C) at this height would indicate permafrost of azonal type.

Keywords: Glacier inventory, rock glaciers, mountain permafrost, Aconquija Range, Argentina.

INTRODUCCIÓN

Las altas montañas del mundo constituyen en sus máximas alturas regiones de la criósfera que concentran importantes reservorios de recursos hídricos congelados (glaciares, permafrost y nieve). En la República Argentina los recursos hídricos almacenados como permafrost son poco conocidos en extensión, volumen y localización. Esto se debe a que su reconocimiento no resulta sencillo por diversas razones: dificultad de identifi-

cación a simple vista, inaccesibilidad, altos costos de exploración, falta de conocimiento en el tema, poca disponibilidad de recursos e innumerables factores relacionados con los intereses del momento.

Las geoformas más destacadas de permafrost de montaña rico en hielo son los glaciares de escombros, identificados como permafrost reptante por sus condiciones de saturación en hielo y movimiento gravitacional (Haeberli, 1985; Barsch, 1996). Los glaciares de escombros en los Andes de Argentina y en el resto del mundo han sido reconocidos como reservas hídricas y recurso hidroló-

gico de importancia estratégica para el desarrollo de regiones áridas y semiáridas (Corte, 1976, 1978; Johnson, 1981; Haeberli, 1985; Burger *et al.*, 1992; Schrott, 1996; Ahumada 1999; Trombotto 1999; Ahumada 2000; Buk, 2002; Brenning, 2003, 2005; Azócar y Brenning, 2010 entre otros autores). En nuestro país han sido reconocidos mediante inventario con mayor precisión en la región de los Andes de Mendoza y San Juan (Corte y Espizúa, 1981; Buk, 1983, 2002; Espizúa y Aguado, 1984; Trombotto *et al.*, 2003; Peruca y Esper, 2011).

El permafrost es altamente sensible a los cambios climáticos. Su degradación pone en peligro su significancia regional de acuífero o reserva hídrica congelada y compromete la estabilidad de las laderas estableciendo situaciones de riesgo y vulnerabilidad que desequilibran el sistema ambiental. Su reconocimiento y ubicación es fundamental para implementar prácticas de gestión de agua apropiadas y reglamentación de uso adecuadas a las distintas situaciones locales de manejo, acorde a un desarrollo basado en una organización territorial sustentable (Ahumada *et al.*, 2006; Ahumada, 2007). El incremento de la población mundial y la escasez de agua dulce (2,53% del agua del planeta) provocan la necesidad de establecer con precisión los reservorios tradicionales y los no tan conocidos como son los de permafrost rico en hielo que se encuentran en alta montaña.

La zona del presente estudio es la sierra de Aconquija, que corresponde el ámbito extra-andino de los denominados Andes Secos (Lliboutry y Corte, 1998; Trombotto, 1999). Los glaciares de escombros han sido aquí reconocidos por Strecker (1987), Ahumada (1999), Ahumada *et al.* (2005a) y se han realizado algunas presentaciones de resultados y observaciones preliminares parciales.

El objetivo de este trabajo es presentar el inventario de glaciares de escombros de la sierra de Aconquija, objeto de investigación principal del grupo de autores durante los últimos años. Se determinan cuáles son las cuencas hídricas regionales que los contienen y se aporta información sobre su locali-

zación geográfica, altura, estado, exposición y dimensión areal.

ÁREA DE TRABAJO

La sierra de Aconquija constituye el límite natural y político de las provincias de Tucumán y Catamarca, funciona como divisorio de aguas, con un rumbo general SO-NE, entre los 26°46' y 27°30' de latitud S, y entre los 66°19' y 65°39' de longitud O, tiene una extensión aproximada de 105 km y varía entre los 40 y los 60 km de ancho (fig. 1). Su altura media es de 5000 msnm. Los picos más altos son Morro del Zarzo (5064 msnm), C° Negro (4700 msnm), C° del Bolsón (5550 msnm) y Nevado del Candado (5450 msnm).

GEOLOGÍA

La sierra de Aconquija forma parte del Sistema de Sierras Pampeanas, región morfo-estructural extra andina. Está geológicamente constituida por basamento cristalino. En su composición intervienen rocas metamórficas, ígneas y mixtas, del Precámbrico y Cámbrico Inferior (Aceñolaza y Alonso, 2001). En las zonas bajas de los flancos montanos y en algunos flancos interiores se adosan sedimentitas cretácicas, paleógenas y neógenas. Los bloques de basamento que constituyen esta sierra fueron levantados por grandes fallas inversas lístricas según el esquema propuesto por González Bonorino (1950), lo que define una abrupta escarpa en la ladera occidental, en contraste con una pendiente más suave en la ladera oriental. Posteriormente se produjeron nuevos episodios de movimientos distensivos y transpresivos que generaron fallas normales de dirección NO y desplazamiento de rumbo responsables de la configuración actual (Gutiérrez y Mon, 2004). Estas características contribuyen a controlar el diseño de las cuencas hídricas de ambas laderas.

En los niveles más altos de la sierra, apoyados discordantemente sobre el basamento se encuentran manifestaciones de actividad glacial: circos, valles glaciares y depósitos morénicos. Tapia (1925) encuentra eviden-

cias de tres sistemas morénicos de recesión, y posteriormente una supuesta edad Pleistocena Tardía es sustentada para estas glaciaciones (Rohmeder, 1941; Strecker *et al.*,

1984). Durante el Holoceno se desarrollaron glaciares de escombros en ambas laderas de la sierra por arriba del límite inferior de las morenas y por debajo del límite de la línea

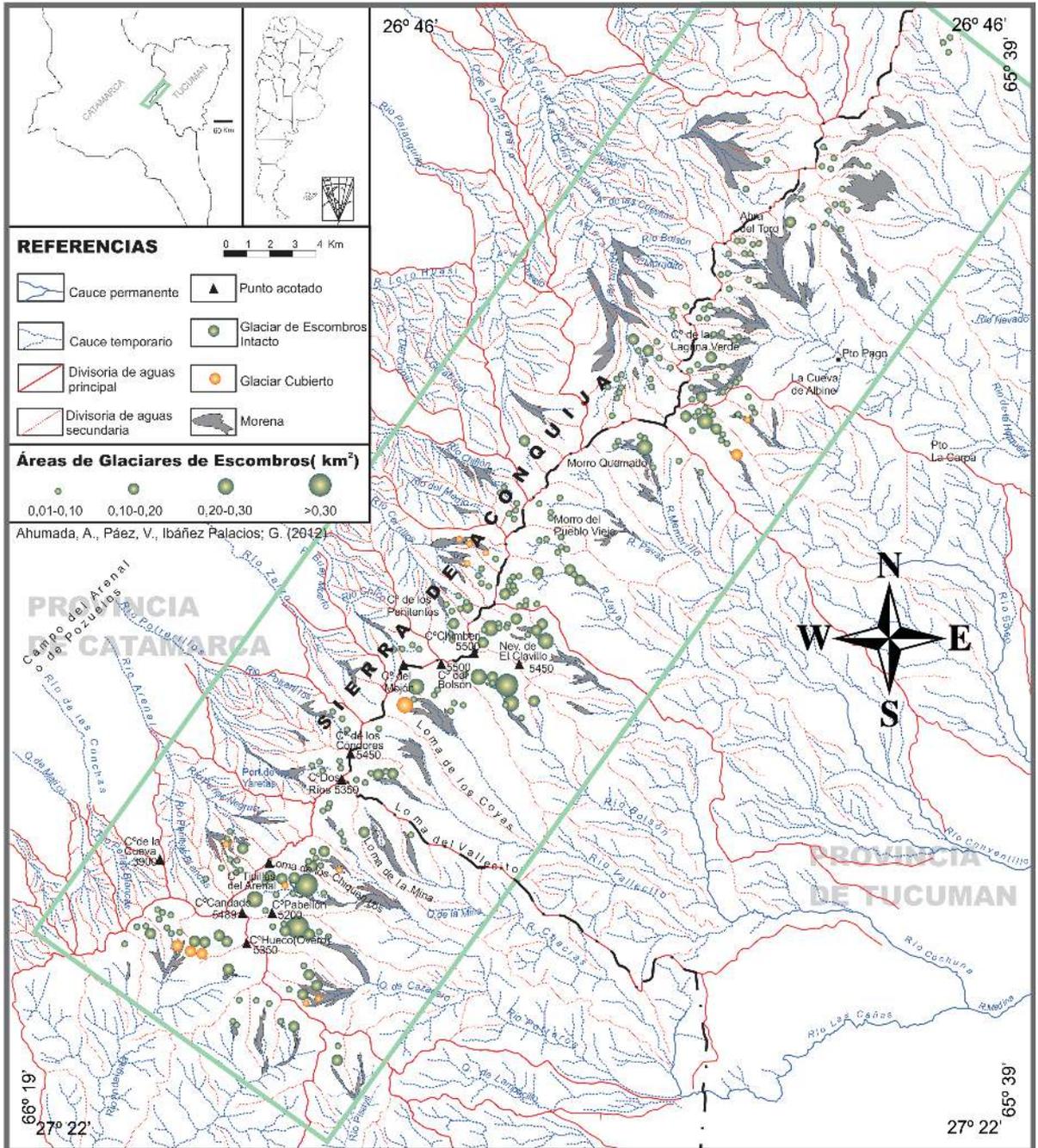


Figura 1. Mapa de ubicación de la sierra de Aconquija y de inventario y localización en subcuencas de glaciares cubiertos y glaciares de escombros intactos en función de sus rangos de superficie.

de nieve permanente actual. Debido a la inexistencia de dataciones hasta ahora, las edades de las fases glaciares continúan siendo especulativas. Las fases glaciares en la sierra de Aconquija podrían correlacionarse con las conocidas como fases pluviales en la Diagonal Árida de Sudamérica (Schäbitz, 1998; Zipprich *et al.*, 1998). Actualmente la sierra preserva pocos cuerpos de hielo permanente. Éstos son pequeños (planchones o manchones de nieve) y están ubicados en la cresta, sin generar estructuras de circo ni ocupar valles. Se ha observado su retroceso en el tiempo.

CLIMA

En el segmento altitudinal objeto de este estudio en la sierra de Aconquija (4000 ± 200 msnm y los 5000 ± 200 msnm) no existen datos meteorológicos de estaciones permanentes. En la región, el patrón mesoclimático es marcadamente biestacional: un verano cálido y húmedo y un invierno templado frío y seco, con poca importancia de las estaciones intermedias.

Debido a que los registros térmicos en la región están directamente relacionados con la altitud, las temperaturas medias anuales descienden hacia las cumbres con un gradiente térmico regional de $0,55^\circ \text{C}$ cada 100 m. En función de este gradiente y tomando como referencia la temperatura media anual de $13,1^\circ \text{C}$ de la estación meteorológica de Tafí del Valle (la de mayor altura en la región: 1976 msnm), la temperatura media anual extrapolada para 4000 msnm sería de $2,1^\circ \text{C}$.

La toporregión desde los 4000 hasta los 5000 msnm o más, corresponde a un clima seco de alta montaña o polar de altura, EB de tipo I de la clasificación de Köppen, (1923), que sería equivalente al clima de Tundra, ET de la clasificación de Köppen (1931). En este tipo de clima el suelo está frecuentemente congelado hasta considerables profundidades. La temperatura mínima media de enero se encuentra cercana a 0°C y la de julio en el orden de los -10°C , con más de 200 días con heladas al año (Minetti *et al.*, 2005a).

La sierra de Aconquija constituye una importante barrera orográfica a enfrentar por las masas de aire cálido y húmedo provenientes del E: éstas se ven obligadas a ascender, produciéndose el enfriamiento adiabático y condensación de las mismas, lo que genera dos niveles de precipitación: entre los 1500 y 2500 msnm, con precipitaciones que oscilan entre los 700 y 2000 mm al año, alcanzando valores de 1500 mm de media anual, con valores excepcionales de 2500 mm, distribuidos estacionalmente en un régimen cuasi-monzónico, con verano lluvioso e invierno seco y con el 78% de las lluvias concentradas durante el periodo de noviembre a marzo (Minetti *et al.*, 2005b). Y el otro nivel, superando los 2500 msnm, donde las lluvias disminuyen su magnitud hasta llegar a 200-300 mm anuales aproximadamente, en la zona cumbral.

En la ladera occidental, debido al marcado efecto de «sombra de lluvia», las precipitaciones que en la cumbre de la sierra alcanzan los 300 mm, van disminuyendo en el descenso hacia el fondo del Valle de Santa María (1900 msnm) hasta promedios de 150 mm, configurando un clima semi-desértico a desértico, ocasionado por la pérdida de humedad de los vientos una vez que superan las máximas alturas, con gran amplitud térmica y marcada sequedad, con las lluvias concentradas en el período estival. Esta ladera se incluye en el tipo de regiones con ningún excedente de agua y con un elevado déficit hídrico.

En la zona cumbral de la Sierra de Aconquija las precipitaciones níveas son esporádicas o ausentes en invierno y las precipitaciones de granizo y/o graupel se registran desde diciembre a marzo. No existen mediciones de estos eventos.

La radiación global fue estimada a partir de la radiación entrante en el borde superior de la atmósfera y la medición de la heliofanía relativa, con un valor para la región de altura en estudio de 180 Kcal/cm^2 al año (Minetti *et al.*, 2005a). Los días sin sol son 80 en la ladera Oriental y 60 en la ladera Occidental respectivamente (Minetti *et al.*, 2005a). La alta radiación solar contribuye a una intensa evaporación y sublimación en

regiones de alta montaña. En la región la evapotranspiración potencial media anual calculada por Minetti *et al.* (2005a) está entre los 900 y 1000 mm para la franja altitudinal de trabajo.

La línea de nieve actual se ubica en las cumbres de sierra de Aconquija a una altura entre 5000 msnm y 5100 msnm (Fox y Strecker, 1991; Haselton *et al.*, 2002).

ASPECTOS BIO-GEOGRÁFICOS

La sierra de Aconquija en su escarpa oriental se encuentra cubierta por la selva subtropical de origen andino o Yunga. Si bien la superficie que cubre es territorialmente escasa, la región biogeográfica acumula más del 50% de la biodiversidad de Argentina (Brown, 1986). La historia climática y el aislamiento de los distintos sectores pueden haber contribuido a que el área se comporte como un refugio de biodiversidad durante el Pleistoceno (Brown, 1986). Es por ello que la sierra de Aconquija contiene en su extensa ladera oriental numerosas reservas provinciales (La Florida, Quebrada del Portugués y Los Sosa, entre otras) y el Parque Nacional Campo de los Alisos, que a 4200 msnm contiene un sector con importantes ruinas incaicas conocidas como «Ciudadita» desarrolladas sobre una morfología de intensa actividad periglacial con geliflucción y campos de bloques cumbrales.

En la ladera occidental las condiciones de vida son más rigurosas, con la presencia de un ambiente desértico a semidesértico producido por el efecto de sombra de lluvia que provoca la ubicación y topografía de la sierra de Aconquija. La vegetación en esta ladera está caracterizada por arbustos espinosos (tolas, quimiles, chilcas y cardones) y cobertura de matorrales xerófilos hacia el nivel inferior en el valle.

METODOLOGÍA

En el NO de Argentina y en la región de estudio los glaciares de escombros son en su mayoría pequeños, sin embargo su catastro es importante para la correcta identificación y valoración de las reservas hídricas.

Mediante la interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales de la zona, se realizó en primera instancia el inventario de glaciares de escombros intactos, (glaciares de escombros activos e inactivos) glaciares cubiertos y manifestaciones de morenas para el mapeo preliminar de detalle. Los glaciares de escombros activos e inactivos fueron agrupados en una categoría única como glaciares de escombros intactos con el objeto de simplificar su identificación, siguiendo a Brenning y Trombotto (2006), ya que sus características de campo no siempre son reconocibles a la interpretación visual este-reoscópica y de esta manera se allana y facilita su reconocimiento. Ambas categorías así unificadas son almacenadoras de agua (Barsch, 1996). Los glaciares de escombros relícticos no han sido objeto de inventario debido a que no contienen hielo.

Se trabajó con fotogramas escala 1:50000 de los años 1960/70 para la localización, reconocimiento, delimitación preliminar y conteo de geoformas y en Imagen Landsat 7 TM, 30 m, de julio de 1999, georeferenciada, para la realización del mapa definitivo. Mediante Map Maker Popular 2002, de uso libre, se definieron y delimitaron los límites de las cuencas de altura que contienen a los glaciares de escombros y otras características de las geoformas. Con SRTM 2000 se realizó la morfometría de las geoformas y la hipsometría.

El uso exclusivo de estas imágenes no es suficiente para el mapeo de las geoformas locales debido a sus pequeñas dimensiones y la resolución escalar de las imágenes utilizadas (véase Janke, 2001) o a limitaciones en la sensibilidad de las mismas (Brenning y Azócar, 2010). Es por ello que la identificación visual de estas geoformas por profesionales experimentados es una importante herramienta o recurso en la realización del inventario de este ambiente (Barsch, 1996; Racoviteanu, 2009; Bajracharya y Shrestha, 2011). Aun con el uso de imágenes de mayor resolución la identificación visual es necesaria.

Para la determinación visual de las geoformas se observó: el color, la textura, las señales superficiales de movimiento y las

características de superficie. El contraste de color entre el frente y sectores marginales con la superficie superior de la geoforma caracteriza a los glaciares de escombros activos identificados visualmente en fotografías o imágenes. En el control de campo esta observación es indicativa de avance, y se interpreta como signo de actividad.

En el terreno los glaciares de escombros activos muestran superficies latero-frontales frescas, bordes agudos y caídas de bloques en el frente, indicadores de movimiento. Tanto en las fotografías aéreas como en el campo, los glaciares de escombros activos presentan líneas de flujo en la superficie cercana a la nariz del glaciar de escombros: crestas y surcos.

Los glaciares de escombros inactivos evidencian pendientes frontales y marginales oscuras que a la identificación visual muestran poco contraste de color, lo que también se observa en el campo. La inactividad de las geoformas en el terreno se evidencia por la invasión de la vegetación en frentes y lados y una suavización de los bordes. Durante la identificación visual en laboratorio suele ser difícil reconocer las transiciones de pendiente del escarpe frontal de estos cuerpos y es el fundamento práctico, como se expresó en un párrafo anterior, para clasificarlos como intactos.

Se definieron los límites de la superficie superior en cada geoforma detectada. Se digitalizaron con el SIG como polígonos (según método de Baroni *et al.*, 2004; Herrera *et al.*, 2011) sobre la imagen Landsat georeferenciada. Mediante Map Maker Popular 2000 se localizaron geográfica y topográficamente los cuerpos de las geoformas, se cuantificaron las áreas de las mismas, determinándose morfometría, características geomorfológicas y exposiciones de cada cuerpo.

Los resultados, debido a su escala de representación en el mapa, fueron graficados en el mapa definitivo como círculos porcentuales proporcionales a su área, ubicados en su localización geográfica correspondiente (aproximadamente el punto central de la geoforma u otro de reconocimiento sencillo).

Para su ordenamiento territorial, la nomenclatura de las cuencas mayores que in-

cluyen glaciares de escombros fue tomada del mapa digital de las Cuencas y Regiones Hídricas Superficiales de la República Argentina (Giraut *et al.*, 2000). La toponimia de las subcuencas se obtuvo de las cartas topográficas del IGM de escalas 1:250.000 y 1:100.000.

Se realizaron controles de campo en el 30% de las cuencas. Las campañas a la región se efectuaron en los meses de setiembre-diciembre y en abril-mayo.

En base a las tareas previas realizadas se efectuó el control de campo de las unidades inventariables detectadas. Se corroboraron en terreno diferentes atributos de los glaciares de escombros (litología, altura, pendiente, longitudes, estados de actividad en terreno: caídas de roca en el frente de los glaciares de escombros, acumulaciones de bloques en la base de la nariz, temperaturas de agua, cobertura vegetal: cantidad y densidad, etc.) y se contrastaron datos con las observaciones que se obtuvieron en gabinete. También se determinaron y midieron glaciares de escombros cubiertos y se mapearon los límites morénicos preservados a menor altura en ambos faldeos.

Inicialmente se identificaron y midieron todas las formas periglaciales con características de reservorio congelado; al finalizar el conteo, ubicación y medición se removieron todas aquellas formas menores a 0,01 km² (normas World Glaciers Inventory, Müller *et al.*, 1977). Los resultados fueron volcados en las tablas 1, 2 y 3 donde se sintetizaron la distribución de los glaciares de escombros en las cuencas mayores y sus subcuencas, separados en cuatro rangos de superficie.

Se realizó una validación de las geoformas determinadas mediante una verificación final usando las imágenes de alta resolución disponibles en Google Earth siguiendo la metodología incorporada por Bajracharya y Shrestha (2011), al inventario de glaciares del Himalaya.

La exposición u orientación preferencial de los frentes de los glaciares de escombros fue graficada como diagramas de rosas para cada cuenca mayor y cada subcuenca.

RESULTADOS

GENERALIDADES

La presencia de glaciares de escombros y glaciares cubiertos en la sierra de Aconquija es una variable que suma reservorio al registro de recursos hídricos conocidos. Las geofor­mas identificadas y mapeadas son pequeñas pero importantes en la regulación de caudales de alta y media montaña.

En los Andes Áridos los glaciares de escombros y los glaciares cubiertos por detrito a menudo interactúan, a veces conectados con depósitos morénicos en un *continuum* ambiental criosférico (Burger *et al.*, 1999). En nuestra zona, en ausencia de sondeos geofísicos, las dinámicas de ambas geofor­mas se pueden distinguir claramente, siguiendo los criterios geomorfológicos establecidos por Barsch (1996), algunos de los cuales ya fueron descritos anteriormente:

1. Los glaciares cubiertos por detrito se caracterizan por contener depresiones de termokarst, que indican la degradación del hie-

lo o hielo en movimiento. El cuerpo de hielo masivo está cubierto por una capa de menos de 1 metro de espesor y a veces en las depresiones se puede observar la estructura en capas del hielo (debido a su origen sedimentario) y presenta una superficie de montículos, caótica debido a sus rápidos cambios. Estos cuerpos tienen una representación limitada en nuestra área de trabajo.

2. Los glaciares de escombros tienen un contenido de hielo menor que los glaciares descubiertos, estimado entre el 40 y 60% y una capa activa de un espesor entre 3 y 5 m de profundidad (Barsch, 1996; Trombotto y Borzota, 2009) marcando diferencias geomorfológicas: presentan generalmente forma de lóbulo o lengua o en algunos casos, sistemas complejos superpuestos, originados por el aporte o ingreso de rocas provenientes de taludes o incorporadas del detrito morénico. En la superficie muestran algún grado de selección, crestas y surcos productos de la deformación de la mezcla de hielo y detrito, indicadores de mecanismos de flujo. En la

Tabla 1. Áreas de glaciares cubiertos y de escombros intactos distribuidos según los tamaños de rango dispuestos por el World Glacier Inventory (UNESCO), separados por subcuencas y tipos de glaciares en la cuenca del río Salí-tramo inferior, cuenca N°86, ladera oriental de la sierra de Aconquija.

Cuenca Salí-Dulce: Subcuenca Río Salí (N°86)	Total	Rango 1 (0,01-0,10Km2)		Rango 2 (0,10-0,20 km2)		Rango 3 (0,20-0,30km2)		Rango 4 (>0,30 km2)		Σ Áreas
	Número	Número	Área (Km ²)	Número	Área (Km ²)	Número	Área (Km ²)	Número	Área (Km ²)	
Glaciares de escombros Intactos										
Pueblo Viejo	42	39	1,3053	3	0,4049	0	0	0	0	1,7102
Solco	16	13	0,485	2	0,2209	1	0,2	0	0	0,9059
Conventillo	34	30	1,255	3	0,3909	0	0	1	0,3454	1,9913
Cochuna	35	21	1,0294	8	1,0725	4	0,8771	2	0,72	3,699
Las Cañas	34	22	0,9154	9	1,2478	1	0,2527	2	0,6452	3,0611
Pisavil	2	1	0,02	1	0,1418	0	0	0	0	0,1618
Totales	163	126	5,0101	26	3,4788	6	1,3298	5	1,7106	11,5293
Glaciares cubiertos por detritos										
Pueblo Viejo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Solco	2	1	0,0391	1	0,1132	0	0	0	0	0,1523
Conventillo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cochuna	1	0	0	0	0	1	0,2972	0	0	0,2972
Las Cañas	4	4	0,1599	0	0	0	0	0	0	0,1599
Pisavil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totales	7	5	0,199	1	0,1132	1	0,2972	0	0	0,6094

1. Ladera Oriental: Cuenca del río Salí, tramo inferior. Esta cuenca integra la Cuenca del Salí-Dulce, N° 86 (Giraut *et al.*, 2000). Se trata de una cuenca endorreica que pertenece al Sistema de Mar Chiquita.

2. Ladera Occidental: Cuenca del río Santa María Este. Esta cuenca integra la Alta Cuenca del Río Juramento, N° 28 (Giraut *et al.*, 2000) constituyendo parte de las nacientes o cuencas de altura del Sistema río Paraná (Giraut *et al.*, 2000).

3. Extremo Sudoccidental: Cuenca del Salar del Pipanaco, N° 87 (Giraut *et al.*, 2000), cuenca endorreica interna, río Andalgalá.

En estas cuencas la determinación de glaciares de escombros y glaciares cubiertos proporcionó la siguiente información:

Cuenca del río Salí, tramo inferior.— La ladera oriental de la sierra de Aconquija contiene las subcuencas cabeceras de la cuenca del río Salí- tramo inferior. El río Salí drena la ladera Oriental con numerosos afluentes. Este río junto con los ríos Gastona, Chico, Matazambi y Marapa desaguan al embalse de río Hondo, con una red de diseño dendrítico subparalelo de marcada asimetría.

Las subcuencas de altura en la ladera oriental de la sierra de Aconquija que contienen glaciares de escombros son 7 (fig. 1):

1. Río Pueblo Viejo, colecta las aguas de los ríos Nevado, La Horqueta y Las Ánimas, que nacen en el Cordón de Las Ánimas, extre-

mo N de la sierra de Aconquija. Esta cuenca contiene en niveles inferiores un dique generador de energía hidroeléctrica.

2. Río Solco, colecta las aguas de numerosas quebradas y es uno de los tributarios principales del Río Gastona.

3. Río Conventillo, el otro tributario principal del río Gastona, con sus orígenes en los Nevados de Aconquija. Se forma con los caudales que le aportan el arroyo Cicerón, el de Las Pavas o de la Mina y el río Jaya originados en los Nevados.

4. Río Cochuna, recibe las aguas provenientes de los Nevados del Candado, Los Cóndores, El Bolsón y Minas y es un tributario del río Medinas, afluente principal del río Chico.

5. Río de Las Cañas, se origina en el sector catamarqueño de la ladera oriental del Aconquija recibiendo numerosos afluentes y es tributario principal del río Medinas.

6. Río Pisavil, nace en la ladera oriental de los Nevados, en territorio catamarqueño y es afluente del río Potrero que desagua en el río Medinas.

En estas subcuencas se reconocieron y midieron 163 glaciares de escombros intactos los que suman un área de 11,52 km² (tabla 1; fig. 1).

En tres de las subcuencas, Conventillo, Cochuna y Las Cañas se identificaron 7 glaciares cubiertos por detrito. El área cubierta por estas geoformas es de 0,61 km² aproximadamente (tabla 1; fig.1).

Tabla 3. Áreas de glaciares cubiertos y de escombros intactos distribuidos según los tamaños de rango dispuestos por el World Glacier Inventory (UNESCO), separados por subcuencas y tipos de glaciares en la cuenca Salar de Pipanaco, N° 87, subcuenca del río Andalgalá, sierra de Aconquija.

Cuenca Pipanaco : Subcuenca Andalgalá (N°87)	Número	Rango 1 (0,01-0,10Km2)		Rango 2 (0,10-0,20 km2)		Rango 3 (0,20-0,30km2)		Rango 4 (>0,30 km2)		Σ Áreas
		Número	Área (Km ²)	Número	Área (Km ²)	Número	Área (Km ²)	Número	Área (Km ²)	
Glaciares de escombros Intactos										
Andalgalá	23	16	0,7833	7	0,9346	0	0	0	0	1,7179
Glaciares cubiertos por detritos										
Andalgalá	3	0	0	3	0,4215	0	0	0	0	0,4215

El área que suma la cobertura de glaciares de escombros intactos y glaciares de escombros cubiertos por detrito es de 12,13 km². El 95% de esta superficie corresponde a los glaciares de escombros intactos (fig. 2) y el 5% a los glaciares cubiertos por detrito.

Las exposiciones preferenciales de los frentes de los glaciares de escombros intactos para cada subcuenca de la cuenca del río Salí, tramo inferior, se pueden observar en la fig. 3. Las mismas reflejan una marcada preferencia de orientación entre los cuadrantes SO-S-SE, como se puede observar también en el gráfico de la fig. 4 que totaliza las exposiciones de los frentes de todos los glaciares de escombros localizados en la ladera oriental de la sierra de Aconquija, con los mayores porcentajes de exposición de frentes ubicados en el cuadrante S. Estas laderas son las que reciben

menor ingreso de radiación solar, favorecidas por su localización topoclimática.

Los frentes de los glaciares de escombros intactos se localizan en un rango altitudinal de 3.900 msnm a 5.183 msnm.

La cuenca con mayor cantidad de glaciares de escombros (40 cuerpos) es la del río Pueblo Viejo con un área total de 1,71 km², siguiéndole en importancia numérica la cuenca del río Cochuna (35 cuerpos) pero es esta última cuenca la que concentra mayor superficie cubierta por glaciares de escombros intactos: 3,699 km² y un glaciar cubierto con una superficie de 0,30 km².

Cuenca río Santa María Este.— En la ladera occidental de la sierra de Aconquija, se desarrollan las cuencas de cabecera de la cuenca del río Santa María Este. En esta región entre 2700 a 2800 msnm se instalan



Figura 2. Glaciar de escombros intacto en la cuenca del río Conventillo, perteneciente a la cuenca del río Salí-tramo inferior. La altura del frente es de 4918 msnm, la exposición preferencial es al NE. Fecha: 24-05-2009.

puestos y caseríos que practican ganadería y agricultura menor en función de pequeños oasis de media altura originados por los cauces que descienden de las altas cuencas. Estos contribuyen a la permanencia poblacional ya que son el recurso hídrico que ha soportado la supervivencia por generaciones.

En 8 de estas subcuencas se identificaron glaciares de escombros:

1. Cuenca del río Horqueta: recoge las aguas de numerosos afluentes que nacen en el sector de Aconquija, pared occidental, denominado Cordón de las Ánimas.
2. Cuenca del río Pajanguillo: este río

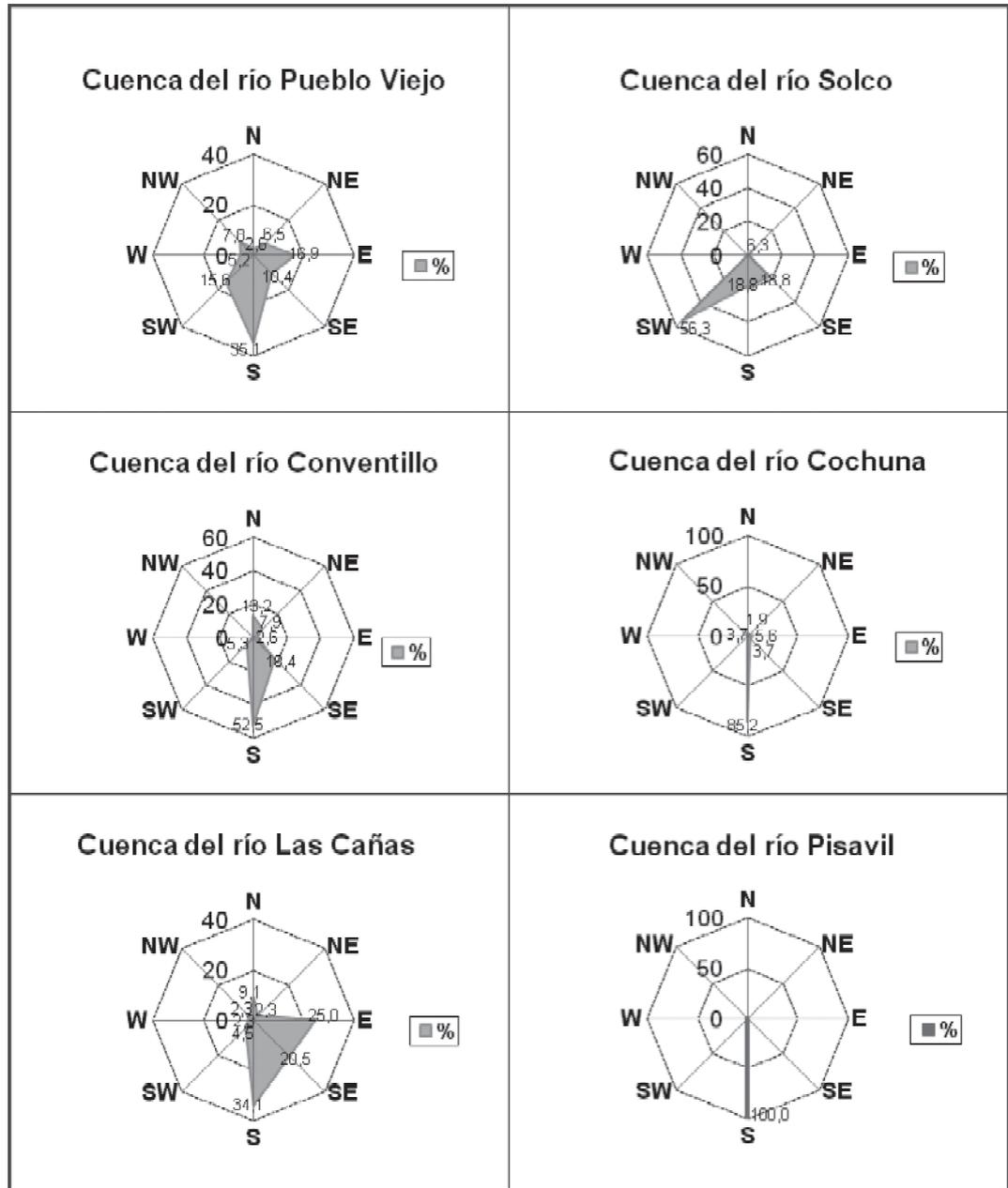


Figura 3. Exposiciones preferenciales de frentes de glaciares de escombros intactos según su distribución en las subcuencas del río Salí-tramo inferior.

nace en un valle de erosión glaciár a alturas que superan los 5000 msnm. Con el río Horqueta son afluentes directos del río Santa María (fig. 5).

Las otras subcuencas imbríferas que contienen glaciares de escombros intactos pertenecientes a la vertiente occidental de la sierra de Aconquija, pero que se insumen en los arenales de la zona, son, de N a S:

3. Cuenca del río Chiflón.
4. Cuenca del río Cerrillos avena las quebradas que nacen en los Nevados de Cerrillos.
5. Cuenca río Buey Muerto.
6. Cuenca río Zarso.
7. Cuenca río Potrerillos.
8. Cuenca río Arenal

En estas subcuencas el inventario de glaciares de escombros dio como resultado un total de 62 cuerpos de glaciares de escombros intactos que totalizan una superficie cubierta de 3,21 km² (tabla 2; fig. 1).

Se delimitaron 6 glaciares cubiertos de detrito que ocupan un área de 0,1442 km². Están localizados en dos cuencas: río Cerrillos y río Arenal, siendo más numerosos en la primera, que cuenta con 5 glaciares cubiertos (tabla 2; fig. 1).

El área total de glaciares de escombros intactos y glaciares de escombros cubiertos en esta cuenca es de 3,35 km². El 4% co-

responde a glaciares cubiertos y el porcentaje areal restante a glaciares de escombros intactos, 96%.

En la fig. 6 se representan las frecuencias de exposición de frentes de glaciares de escombros intactos en cada subcuenca de la ladera occidental de la sierra de Aconquija. El cuadrante preferencial de orientación de pendientes en esta ladera es el SO. Hecho que se confirma cuando se grafica el total de orientaciones de frentes de los glaciares de escombros intactos en las 8 cuencas (fig. 7). Esta preferencia está relacionada con el menor ingreso de radiación solar. También se pueden ver frecuencias de exposición preferencial de frentes hacia el NO, el O, el NE y E y el S. En estos casos se dan factores topoclimáticos que configuran áreas con relativamente baja radiación solar.

El rango altitudinal de desarrollo de glaciares de escombros intactos se encuentra entre los 4.177 msnm y los 4.956 msnm en esta ladera occidental.

La cuenca con el mayor número (20) de glaciares de escombros en este sector es la del río Horqueta con una superficie cubierta por glaciares de escombros intactos de 0,9842 Km² seguida por la del río Cerrillos (14) con 0,8125 km².

Cuenca del Salar del Pipanaco. Río Andalgalá.— En el sistema de tributarios de la cuenca del Salar de Pipanaco (N° 87. Giraut *et al.*, 2000) la mayoría de los cauces son permanentes y sus aguas son utilizadas para consumo humano e irrigación casi exclusivamente.

En el Nevado del Candado -extremo Sur de los Nevados del Aconquija- nacen los afluentes del río Andalgalá de origen pluvio-nival, a excepción de los demás ríos y arroyos de esta cuenca que son de régimen pluvial y tienen su origen en vertientes y quebradas que colectan el agua que se filtra a través de cumbres y faldas permeables de esas sierras, algunas de gran altura.

El río Andalgalá constituye (con el río Belén) el capital hidráulico más importante de la cuenca endorreica del Salar de Pipanaco. Sus tributarios son los ríos Candado y

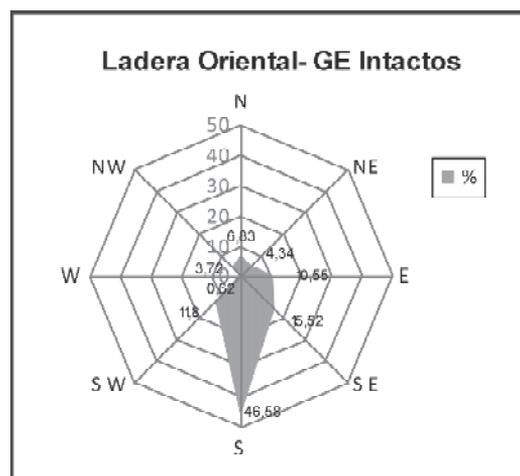


Figura 4. Exposiciones preferenciales de frentes de glaciares de escombros intactos total del río Salí-tramo inferior.

Blanco. El primero tiene sus nacientes al pie del Nevado del Candado (5.450 msnm), el más austral de los picos nevados del Aconquija. El río Blanco avena las aguas de las Divisorias del Medanita (4.450 msnm) y luego de pasar por la Hoyada, se une en el puesto Las Juntas, con el río Candado, formando a partir de ahí el río Andalgalá, que como se expresó anteriormente, tiene una alimentación pluvio-nival y su cauce es permanente. Su variación estacional de caudal da origen a grandes crecidas. Después de Las Juntas, pasa por La Ensenada y el Rastrojo, recibe por la izquierda a la quebrada del Vallecito y luego su caudal de estiaje es totalmente captado para usos de irrigación, agua potable, consumo municipal y generación de energía.

En el sector medio de la cuenca se ubican intervenciones mineras de notable envergadura y caminos generados por el desarrollo de los proyectos de referencia.

En la cuenca alta del río Andalgalá se han identificado 23 glaciares de escombros intactos que cubren una superficie de 1,72 km² y 3 glaciares cubiertos por detrito que ocupan un área de 0,42 km² (tabla 3; fig. 1).

Los glaciares de escombros intactos (fig. 8) y los glaciares cubiertos en esta cuenca totalizan un área de ocurrencia de 2,14 km². El 81% de esta superficie es ocupado por glaciares de escombros intactos y el 19% por glaciares cubiertos por detrito.

Las exposiciones de frentes de los glaciares de escombros intactos han sido graficadas en la fig. 9, pudiéndose comprobar que la mayor frecuencia corresponde al cuadrante S. Esta situación está controlada por el bajo ingreso de radiación solar en esas laderas, al igual que en las otras cuencas analizadas en la sierra de Aconquija.

Altitudinalmente los cuerpos de glaciares de escombros intactos ocupan un rango entre 3.922 msnm y 4.604 msnm.



Figura 5. Glaciar de escombros intacto en la cuenca del río Pajanguillo, afluente del río Santa María Este. La altura del frente es de 4437 msnm, la exposición preferencial es al NW. Fecha: 15-10-12.

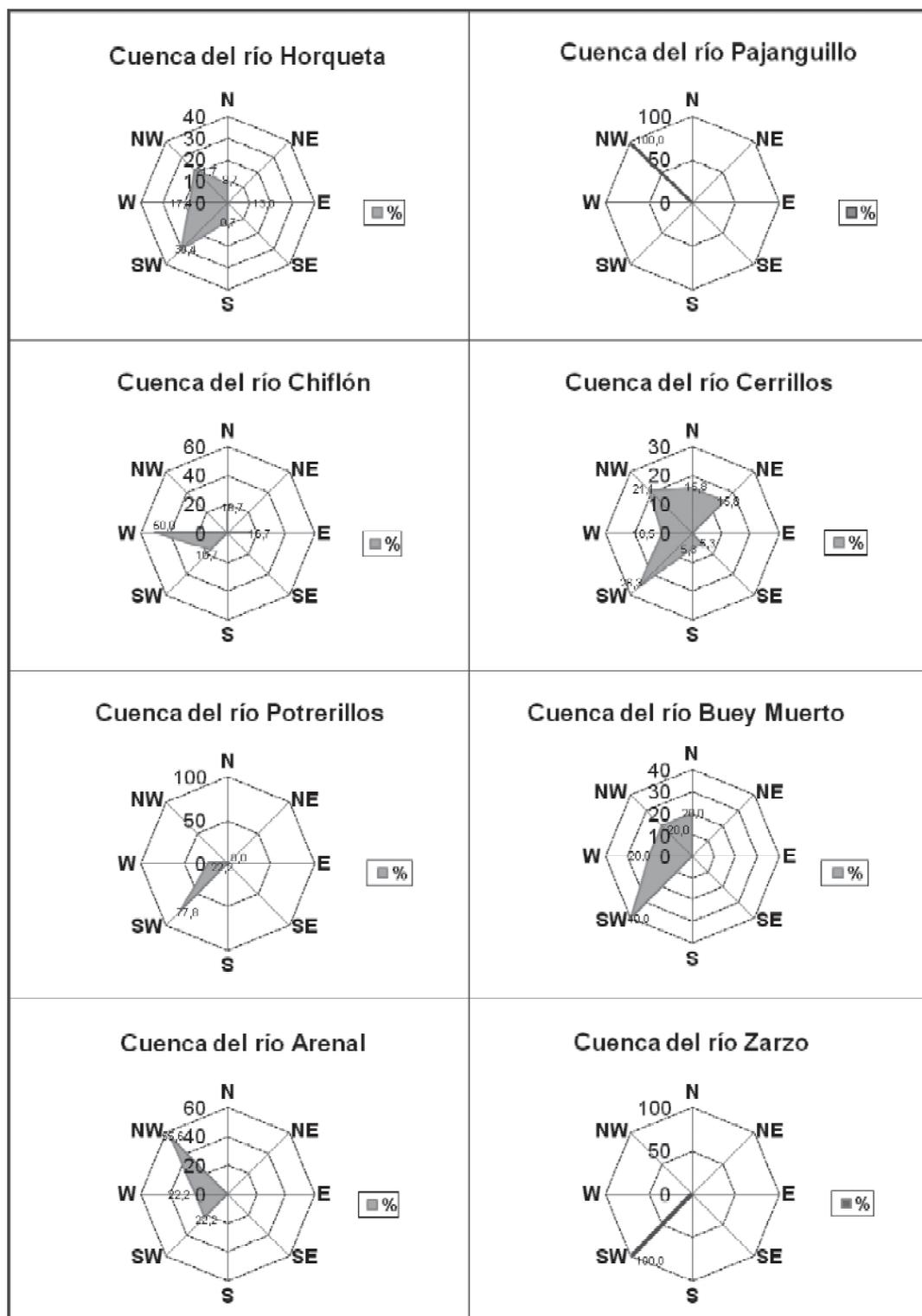


Figura 6. Exposiciones preferenciales de frentes de glaciares de escombros intactos según su distribución en las subcuencas del río Santa María Este.

En todas las subcuencas inventariables de sierra de Aconquija se registraron gráficamente los depósitos de morenas existentes en las mismas (fig. 1).

El diagrama hipsométrico realizado mediante SRTM 2000 (fig. 10) refleja la distribución areal de glaciares de escombros intactos entre los 3900 msnm y los 5400 msnm. Los niveles inferiores de glaciares de escombros intactos se localizan en los 3900 msnm con una distribución areal de orden menor. La mayor concentración areal de glaciares de escombros intactos se encuentra entre los 4.600 msnm y los 4700 msnm. La mínima concentración areal de glaciares de escombros se ubica entre los 5300 y 5400 msnm, sector altitudinal poco favorable para su instalación por su elevada pendiente. Este tipo de distribución podría adjudicarse a una fuerte sensibilidad a las modificaciones climáticas y merece un análisis posterior con mayores datos de índole geofísica que en este momento son inexistentes en la región de trabajo.

CONCLUSIONES

Se ha realizado el inventario de glaciares de escombros intactos y glaciares cubiertos por detrito en la sierra de Aconquija, siendo esta la primera investigación de permafrost de montaña de tipo regional a estas latitu-

des. Su ubicación y dimensiones han sido volcados al mapa de la fig. 1. Los resultados obtenidos se sintetizan a continuación:

1. En la sierra de Aconquija se ha determinado una superficie cubierta por glaciares de escombros intactos y glaciares cubiertos de 17,57 km². Esta superficie se distribuye en tres cuencas mayores de la siguiente manera:

- La cuenca del río Salí-tramo inferior, ubicada en la ladera oriental de la sierra de Aconquija, contiene al 69% (12,08 km²) de los glaciares de escombros intactos y cubiertos.

- La cuenca del río Santa María Este, ubicada en la ladera occidental de la sierra de Aconquija, incluye al 19% (3,35 km²) de los glaciares de escombros intactos y cubiertos.

- La cuenca del río Andalgalá, ubicada en el extremo más austral de la sierra de Aconquija, contiene el 12% (2,14 km²) de los glaciares de escombros intactos y cubiertos.

La mayor concentración de glaciares de escombros intactos y glaciares cubiertos (69%) presentes en la ladera oriental (Cuenca del Salí, tramo inferior) se puede atribuir a su orientación general NE-SO. En este flanco los ingresos de radiación solar son menores. Esto se refleja en las exposiciones preferenciales de los frentes con una marcada orientación al S asociado a la posición topográfica de las formas (fondo de valle, ladera o ambos, sombra topográfica etc.). Además se suma la mayor concentración de precipitaciones a barlovento de la sierra y el ingreso de radiación solar que contribuye a mantener el marco de las condiciones climáticas de índices de continentalidad necesarias para la instalación y preservación de glaciares de escombros (Gorbunov, 1978; Corte, 1982; Trombotto, 2000). La disminución de la precipitación a sotavento de la sierra, en la ladera occidental explicaría el menor número de cuerpos y de superficie ocupada por glaciares de escombros intactos y glaciares cubiertos en esta pared, asociada a condiciones topográficas de menor estabilidad, orientación del diseño estructural de los valles y a la intensidad de la radiación solar y condiciones locales particulares que influyen en la orientación preferencial SO de los frentes de

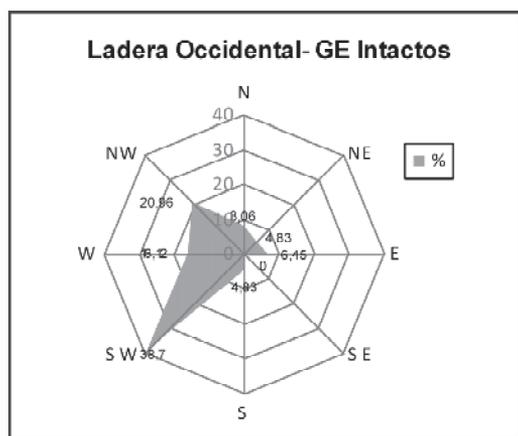


Figura 7. Exposiciones preferenciales de frentes de glaciares de escombros intactos total, cuenca del río Santa María Este.



Figura 8. Glaciar de escombros intacto en la cuenca del río Andalgalá, cuenca imbrífera de la cuenca endorreica del Salar de Pipanaco. La altura del frente es de 4459 msnm, la exposición preferencial es al SE. Fecha: 24-07-2007.

glaciares de escombros, en este sector de la sierra.

La única cuenca pluvio-nival de la cuenca endorreica del Salar de Pipanaco, cuenca

del río Andalgalá, cuenta con el 12% restante de la superficie de glaciares de escombros intactos y glaciares cubiertos reconocida en la sierra de Aconquija. Los mismos presentan una marcada exposición de sus frentes en la dirección S, con la menor incidencia de radiación solar.

Es evidente que los depósitos de permafrost como reservorios probables de agua dulce congelada dominan el ambiente de la criósfera en la sierra de Aconquija: sus glaciares de escombros constituyen el 93,34%, 16,40 km², de la superficie total reconocida por este censo. La superficie restante, 6,66%, 1,17 km², es ocupada por glaciares cubiertos.

2. La altura mínima de los glaciares de escombros es utilizada para inferir preliminarmente el límite inferior de permafrost discontinuo (Barsch, 1996).

Por extrapolación con estaciones meteorológicas cercanas, la isoterma de la temperatura media anual del aire de 2° C se ubi-

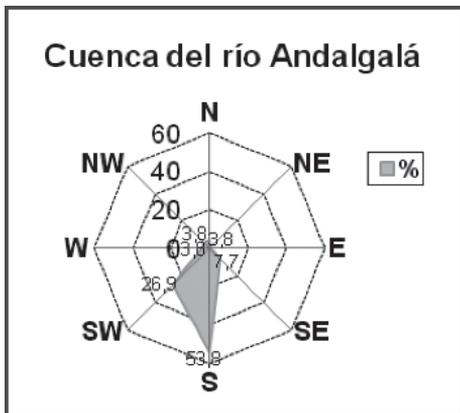


Figura 9. Exposiciones preferenciales de frentes de glaciares de escombros intactos totales de la cuenca del río Andalgalá.

caría a 4000 msnm y la isoterma de 0° C aproximadamente a 4400 msnm en la región.

El análisis hipsométrico de las alturas inferiores de los frentes de glaciares de escombros en las tres regiones inventariadas indica una altura mínima en aproximadamente 4000 ± 200 msnm.

Para los Andes Centrales Trombotto *et al.* (1999) determinan el límite inferior de permafrost discontinuo a 3500 msnm coincidente con la isoterma de 0° C (indicando presencia de permafrost cálido). Brenning (2005) obtiene valores de 0,5° C de temperatura media anual del aire para el nivel de 3500 msnm donde se concentra la distribución más abundante de glaciares de escombros de los Andes, incluso en laderas expuestas al NO con alto ingreso de radiación solar; además, indica que existen en esta región glaciares de escombros intactos también a una temperatura media anual de 4° C a 3000 msnm.

La localización altitudinal de permafrost de montaña en la sierra de Aconquija es representada por los glaciares de escombros

que ocurren en los 4000 ± 200 msnm. Las condiciones de temperatura media anual (2° C) imperantes a esta altura estarían señalando la presencia de un permafrost de tipo azonal en desequilibrio con las condiciones topoclimáticas reinantes actualmente.

3. Los glaciares de escombros intactos reconocidos por encima de los 3900 msnm ocupan 3,3% del área total explorada para su localización y determinación, en una densidad específica que supera las conocidas en otras regiones del mundo y semejante a la determinada por Azócar y Brenning (2010) en latitudes más australes. Este resultado promueve el incremento de la investigación en la hidrología e hidrogeología de estos glaciares de escombros y el monitoreo de los posibles cambios de volumen de los mismos.

4. Debido a la presencia de permafrost azonal en desequilibrio con las condiciones climáticas actuales (Ahumada *et al.*, 2006) en la región de trabajo, a las modificaciones climáticas por los efectos del calentamiento global en la región (Labraga, 1988; Minetti y González, 2006) y en virtud de la localiza-

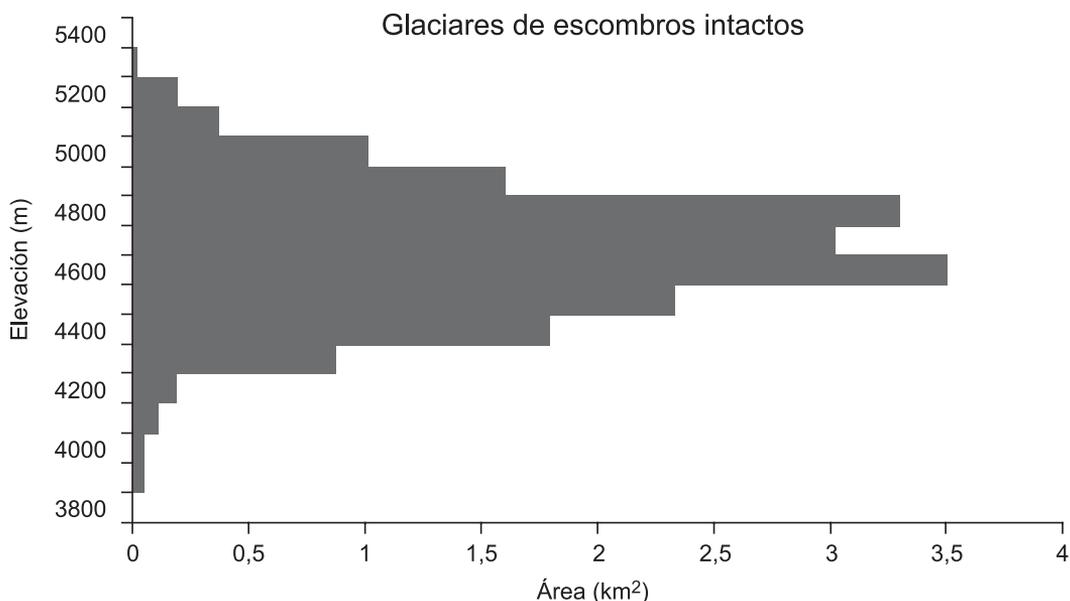


Figura 10. Hipsometría realizada con SRTM 2000: distribución área-altura de glaciares de escombros intactos en la sierra de Aconquija.

ción altitudinal de los glaciares de escombros intactos producto de este inventario, alertamos sobre la fragilidad del sistema geoecológico que sostiene estas geoformas en la región. La consecuencia más grave es la posibilidad de la degradación del permafrost como resultado del cambio en el límite inferior del permafrost de montaña debido a la elevación en la temperatura local por el efecto de aumento de las temperaturas en la atmósfera.

Se considera que se deben establecer medidas para prevenir riesgos ante el deterioro del permafrost y sus acuíferos reservorio por arriba de los 4000 msnm en previsión de posibles incrementos de la frecuencia de deslizamientos o flujos de detritos en esta región provocados por la desestabilización de estas geoformas.

Estos procesos se pueden manifestar colapsando los frentes de glaciares de escombros en forma de flujo de detritos o incrementando abruptamente su aporte de sedimentos o deslizando sorpresivamente valle abajo. Los mismos provocarían cambios importantes en la provisión de agua en media montaña, riesgos a los núcleos poblacionales y un incremento en la carga sedimentaria de los caudales que afectaría los embalses de la región y en consecuencia a la distribución de energía y/o sistemas de irrigación.

5. Es necesario realizar estudios y monitoreos permanentes más detallados mediante técnicas de exploración y determinación geofísica y/o geodésica para establecer mayores precisiones sobre el estado actual de las geoformas inventariadas.

Cualquier tipo de desarrollo humano (minero, vial, turístico, etc.) en estos niveles altitudinales debe ser evaluado previamente para evitar mayor deterioro del sistema y generar espacios de desarrollo sustentable en resguardo de los recursos hídricos acopiados por congelamiento.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras desean expresar su agradecimiento al Dr. Gerardo E. Bossi que generosamente cedió las imágenes Landsat utiliza-

das, y a los baqueanos Alfredo y Horacio Escudero y sus familias de El Tesoro, por su responsabilidad y disposición. Los trabajos de campo fueron realizados en el marco presupuestario y logístico proporcionado por la Fundación Miguel Lillo y parcialmente por el PID 6343 de CONICET. Agradecemos las valiosas recomendaciones y aportes a este manuscrito realizados por dos árbitros anónimos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aceñolaza, F. G. y Alonso, R. N. 2001. Icnio-asociaciones de la transición Precámbrico/Cámbrico en el noroeste de Argentina. *Journal of Iberian Geology* 27: 11-22.
- Ahumada, A. L. 1999. Los glaciares de escombros en las altas montañas del NW de Argentina. XIV Congreso Geológico Argentino, Salta, Actas I: 80.
- Ahumada, A. L. 2000. Periglacial Phenomena in the NW of Argentina. 31^o International Geological Congress. *Sedimentology: Modern and Ancient Sedimentary Environments related to Glaciation*. Río de Janeiro. Versión digital.
- Ahumada, A. L. 2007. El Calentamiento Global y sus manifestaciones en la Criósfera de las Altas montañas del Norte Argentino. Jornadas sobre Calentamiento Global en el marco del Año Polar, Neuquén. Edición Especial Boletín Geográfico. Año XXIX- Número 30. Universidad Nacional del Comahue, Neuquén.
- Ahumada, A. L., Ibáñez Palacios, G. P. y Páez, S. V. 2005a. High Mountain permafrost in the argentine subtropic. 19th Kolloquium on Latin American Geosciences. Potsdam. *Terra Nostra*, 05/1: 9. Berlin.
- Ahumada, A. L., Ibáñez Palacios, G. P. y Páez, S. V. 2005b. Los glaciares de escombros en el NW argentino, acuíferos de altura en riesgo ante los cambios globales. XX Congreso Nacional del Agua - III Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur, Mendoza. Versión digital ISSN/ISBN 987-22143-0-1.
- Ahumada, A. L., Páez, S. V. e Ibáñez 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.
- Azócar, G. F. y Brenning, A. 2010. Hydrological and geomorphological significance of rock glaciers in the dry Andes (Chile, 27°-33°S). *Permafrost and Periglacial Processes* 21: 42-53.
- Bajracharya, S. R. y Shrestha, B. 2011. The status of glaciers in the Hindu Kush-Himalayan region. ICIMOD, Kathmandú. 130 p.

- Baroni, C., Carton, A. y Seppi, R. 2004. Distribution and behaviour of rock glaciers in the Adamello-Presanella Massif (Italian Alps). *Permafrost and Periglacial Processes* 15: 243-259.
- Barsch, D. 1996. *Rockglaciers*. Springer, Berlin, 331 p.
- Barsch, D. y King, L. 1989. Origin and geoelectrical resistivity of rockglaciers in semiarid subtropical mountains (Andes de Mendoza, Argentina). *Zeitschrift für Geomorphologie*, N. F. 33 (2): 151-163.
- Brenning, A. 2003. La importancia de los glaciares de escombros en los sistemas geomorfológico e hidrológico de la Cordillera de Santiago: Fundamentos y primeros resultados. *Revista de Geografía del Norte Grande*: 7-22.
- Brenning, A. 2005. Geomorphological, hydrological and climatic significance of rock glaciers in the Andes of Central Chile (33°-35°). *Permafrost Periglacial processes* 16: 231-240.
- Brenning, A. y Azócar, G. F. 2010. Statistical Analysis of topographic and Climatic Controls and Multi-spectral Signatures of Rock Glaciers in the Dry Andes, Chile (27°-33°S). *Permafrost and Periglacial Processes* 21: 54-66.
- Brown, A. D. 1986. Autoecología de bromelias epífitas y su relación con *Cebus apella*, Primates en el noroeste argentino. Tesis doctoral Universidad Nacional de La Plata. Inédita.
- Burger, K. C., Degendhart, J. J. Jr. y Giardino, J. R. 1999. Engineering geomorphology of rock glaciers. *Geomorphology* 31: 93-132.
- Buk, E. 1983. Glaciares de escombros y su significación hidrológica. *Acta Geocriogénica*, Mendoza, 1: 22-38.
- Buk, E. 2002. Hidrología de Ambientes Periglaciales. Cuencas Coloradas- Vallecitos, Cordón del Plata, Cordillera Frontal, Mendoza. En: IANIGLA, 30 Años de Investigación Básica y Aplicada en Ciencias Ambientales (Darío Trombotto y Ricardo Villalba editores): 73-76.
- Corte, A. E. 1976. The hydrological significance of rock glaciers. *Journal of Glaciology* 17: 157-158.
- Corte, A. E. 1978. Rock glaciers as permafrost bodies with debris cover as an active layer. A hydrological approach. Andes of Mendoza, Argentina. *Proceedings of the Third International Conference on Permafrost*, Edmonton, Alberta, Canadá: 262-269.
- Corte, A. E. 1982. *Geociología General y aplicada*. Revista del Instituto de Ciencias Geológicas, Jujuy, 5: 87-120.
- Corte, A.E. y Espizúa, L. 1981. Inventario de Glaciares de la cuenca del Río Mendoza. Informe Técnico, CONICET-IANIGLA, Mendoza, 1981.
- Espizúa, L. y Aguado, C. 1984. Inventario de Glaciares entre los 29° y 35° de lat. Sur, Argentina. En: *Jornadas de Hidrología de Nieves y Hielos en América del Sur*. Programa Hidrológico Internacional, Santiago 1:7.1-7.17.
- Fox, A. y Strecker, M. 1991. Pleistocene and modern snowlines in the Central Andes (24 – 28° S). En: Garleff, K. y Stingl, H. (Editores), *Sudamérica Geomorphologie un Paläoökologie im jüngeren Quartär*. Bamberger Geographische Schriften Bd 11: 169-182.
- Giardino, J. R., Vitek, J. D. y Demorett, J. L. 1992. A model of water movements in rock glaciers and associated water characteristics. En: Dixon, J.C. y A.D. Abrahams (Editores), *Periglacial Geomorphology*. Wiley, Chichester: 159-184.
- Giraut M., Ludueña, S., Postiglioni, C., Dente, M. y Sol, I. 2000. Cartografía hídrica digital de la República Argentina. X Congreso Nacional de Cartografía y VII Semana Nacional de Cartografía. Buenos Aires. Argentina.
- González Bonorino, F. 1950. Descripción Geológica de la Hoja 13e, Villa Alberdi, Provincia de Tucumán. Dirección Nacional de Minería. Boletín 74: 106 p.
- Gorbunov, A. P. 1978. Permafrost investigation in high-mountain regions. *Arctic and Alpine research* 10 (2): 283-294.
- Gutiérrez, A. A. y Mon, R. 2004. Megageomorfología del valle de Tafti-Aconquija, Tucumán. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 59(2): 303-311, Buenos Aires.
- Haeberli, W. 1985. Creep of mountain permafrost: internal structure and flow of alpine rock glaciers. *Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie*, ETH, Zürich, 77: 1-142.
- Haselton K., Hilley, G. y Strecker, M. R. 2002. Average Pleistocene climatic patterns in the southern Central Andes: controls on mountain glaciation and paleoclimate implications. *Journal of Geology* 110: 211-226.
- Herrera, F., Azócar, G. F., Brenning, A. y Bodin, X. 2011. Inventario de los glaciares rocosos en los Andes semiáridos de Chile: Cuenca del Río Elqui. XVIII Congreso Geológico Argentino. Simposio Ciencias de la Criósfera, Neuquén, Argentina: 1276-1277.
- Janke, J. R. 2001. Rock glacier mapping: a method utilizing enhanced TM Data and GIS modelling techniques. *Geocarto International* 16, 3: 5-15.
- Johnson, P. G. 1981. The structure of a talus-derived rock glacier as deduced from its hydrology. *Canadian Journal of Earth Sciences* 15: 1496-1507.
- Köppen, W. 1923. *Die Klimate der Erde*. Grundriss der Klimakunde. Berlin und Leipzig, 369 pp.
- Köppen, W. 1931. *Grundriss der Klimakunde*. Walterde Grueter Co.XII. Berlin und Leipzig, 388 pp.
- Labraga, J. C. 1998. Escenario de Cambio Climático para la Argentina. *Revista Ciencia Hoy* 8 (44): 18.-25.
- Lliboutry, L. y Corte, A. 1998. *Glaciers of South America- Glaciers of Chile and*

- Argentina. En «Satellite Image Atlas of Glaciers of the World: South America», United States Geological Survey. Professional Paper 1386-I. En: Williams, R. y Ferrigno, J. (Editores): 109-206. Washington.
- Minetti, J. L., Acuña, L. R. y Nieva, J. I. 2005a. El régimen pluviométrico del Noroeste Argentino. En: Minetti, J. L. (editor), El clima del Noroeste Argentino. Laboratorio Climatológico Sudamericano. Fundación Carl C. Zon Caldenius, 169-186.
- Minetti, J. L., Poblete, A. G. y Longhi, F. 2005b. Los mesoclimas del Noroeste Argentino. En: Minetti, J. L. (editor), El clima del Noroeste Argentino. Laboratorio Climatológico Sudamericano. Fundación Carl C. Zon Caldenius, 217-233.
- Minetti, J. L. y González, J. A. 2006. El Cambio Climático en Tucumán, sus impactos. Serie Conservación de la Naturaleza N°17, Fundación Miguel Lillo. 25 p.
- Müller, F., Caffisch, T. y Müller, G. 1977. Instructions for the compilation and assemblage of data for a world glacier inventory. ETH, Zürich, TTS-WGI: 2-19.
- Perucca, L. y Esper Angillieri, M. Y. 2010. Glaciers and rock glaciers' distribution at 28° S, Dry Andes of Argentina, and some considerations about their hydrological significance. *Environmental Earth Sciences*. Springer. DOI 10.1007/s12665-011-1030-z.
- Racoviteanu, A. E., Paul, F., Raup, B., Khalsa, S. J. S. y Armstrong, R. 2009. Challenges and recommendations in mapping of glacier parameters from space: Results of the 2008 Global Land Ice Measurements from Space (GLIMS) Workshop, Boulder, Colorado, USA. *Annals of Glaciology* 50(53): 53-69.
- Rohmeder, W. 1941. Die diluviale Vereisung des SAnconquija-Gebirges in Nordwest-Argentinien. *Peterm. Geogr. Mitt.*, 12: 417-433
- Schäbitz, F. 1998. Erste Ergebnisse zur jungquartären Vegetations und Klimaentwicklung auf der Ostflanke der Sierra Santa Victoria, Prov. Jujuy, NW, Argentinien. En: 16^a Geowissenschaftliches lateinamerika-Kolloquium. *Terra Nostra* 5: 141.
- Schrott, L. 1996. Some geomorphological-hydrological aspects of rock glaciers in the Andes (San Juan, Argentina). *Zeitschrift für Geomorphologie* 104: 161-173.
- Strecker, M. R. 1987. Late Cenozoic landscape development the Santa María valley, northwestern Argentina. *Ph.D. Thesis (unpublished)*. Cornell University 262 p. Ithaca, New York.
- Tapia, A. 1925. Apuntes sobre el glaciario pleistocénico del Nevado del Aconquija. *Anales de la Sociedad Argentina de Geografía*, 1: 313-365.
- Trombotto, D. 1991. Untersuchungen zum periglazialen Formenschatz und zu periglazialen Sedimenten in der «Lagunita del Plata», Mendoza, Argentinien. *Heidelberger Geographische Arbeiten, Heidelberg, Heft 90*: 171 S.
- Trombotto, D. 2000. Survey of cryogenic processes, periglacial forms and permafrost conditions in South America. *Revista do Instituto Geológico São Paulo* 21 (1/2): 33-55.
- Trombotto, D. T. y Ahumada, A. L. 2005. Los fenómenos periglaciales. Identificación, determinación y aplicación. *Opera Lilloana* 45: 1-131 pp.
- Trombotto, D. T. A. y Borzotta, E. 2009. Indicators of present global warming through changes in active layer-thickness, estimation of thermal diffusivity and geomorphological observations in the Morenas Coloradas rock glacier, Central Andes of Mendoza, Argentina. *Cold Regions Science and Technology* 55, 321-330.
- Trombotto, D. T., Buk, E. y Hernández, J. 1999. Rock glaciers in the Southern Central Andes (approx. 33°-34° S), Cordillera Frontal, Mendoza, Argentina. *Bamberger Geographische Schriften* 19: 145-173.
- 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. En: 16^a Geowissenschaftliches lateinamerika-Kolloquium. *Terra Nostra* 5: 180-181.