

## **Características geomorfológicas de un sistema de glaciares rocosos y de su cuenca de sustentación en Chile semiárido.**

**María Victoria Soto Bäuerle**

Departamento de Geografía, Universidad de Chile. mvsoto@uchile.cl

**Francisco Ferrando Acuña**

Departamento de Geografía, Universidad de Chile. ferrand@uchile.cl

**Rosemary Vieira**

Núcleo de Pesquisas Antárticas e Climáticas,  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.  
rosemary.vieira@ufrgs.br

*Recibido 11 de agosto 2003; versión corregida y aceptada, 30 julio 2004.*

### **RESUMEN**

Se estudia un sistema de glaciares rocosos en un valle alto andino del semiárido de Chile, en la cuenca del Río Limarí, con el propósito de identificar las distintas formas presentes, su dinámica, las relaciones con el entorno y los diferentes estadios evolutivos. Se reconoce formas glaciales y periglaciales, en las que se inscriben algunas de las fases evolutivas de los glaciares rocosos. De estos últimos, las tipologías reconocidas corresponden a un glaciar rocoso inactivo con forma de lengua, y a glaciares rocosos de talud simples, ondulados y lobulados. Se establece que los procesos periglaciales de las vertientes son un factor muy importante en la dinámica actual de los sistemas de glaciares rocosos en función del constante aporte de detritos. El conjunto de formas analizadas está morfogenéticamente ligado tanto a procesos glaciales en su origen como a periglaciales en su evolución, dando cuenta de un sistema complejo que constituye un continuum geomorfológico. El grado de actividad del sistema denota una marcada estacionalidad, debido al breve y poco riguroso período invernal y al prolongado y temperado período estival de la alta montaña de los Andes de la región semiárida chilena.

**Palabras clave:** glaciar rocoso, Andes semiáridos, procesos glaciales, procesos periglaciales, continuum geomorfológico.

### **Geomorphological characteristics of a system of rock glaciers and their sustenance basin in semi-arid Chile**

#### **ABSTRACT**

A rock glacier system is studied in an Andean high valley of the semi-arid region of Chile, basin of the Limarí River, in order to recognize the different constituent forms, their dynamics, and the relationships with the surroundings and with the different evolutive stadia. The studied landforms are both glacial and periglacial. Their features include some of the evolutionary phases of rock glaciers. The landforms correspond to a tongue shape inactive rock glacier and to active talus rock glaciers. They can be simple, wavy or lobated. The importance of slope periglacial processes is established in relation with the present dynamic of these rock glacier features. Rock glacier morphogenetic conditions are directly linked to original glacial processes, but also to periglacial mechanisms in their evolution, giving account of a complex system in which a geomorphological continuum is demonstrated. The changes in the level of activity of the system is due to a clear seasonality associated to a brief and cool winter and a large and temperate summer, characteristic of the Andes high mountains of the semi-arid Chilean region.

**Key words:** rock glaciers, semi-arid Andes, glacial processes, periglacial processes, geomorphological continuum.

## INTRODUCCION

Los glaciares rocosos son morfológicamente abundantes en muchas áreas de alta montaña (HUMMUM 2000) y durante el último siglo han sido identificados en casi todas las cadenas montañosas del mundo (BURGER et al. 1997), habiendo aún controversia respecto a su morfogénesis, importancia climática, estructura interna y su real aporte como reservas de agua.

Diversas definiciones de glaciares rocosos han sido expresadas según el énfasis u orientación de las investigaciones en que se insertan. Algunas se refieren al análisis de las formas desde el punto de vista de su morfología general (WAHRHAFTIGH & COX 1959, en CLARK et al. 1998); otras, a su composición interna (POTTER 1972, en CLARK et al. 1998); también, según la posición geomorfológica dentro del valle en el cual se localizan (OUTCALT & BENEDICT 1965, en CLARK et al. 1998), o bien en función de las áreas abastecedoras de detritos (BARSCH 1987, en CLARK et al. 1998).

GIARDINO et al. (1987, en CLARK et al. 1998) y POTTER Jr. et al. (1998) consideran que el término glaciar rocoso es más bien genérico y no genético y que tales formas constituyen un amplio continuum. En este sentido, la idea de continuum geomorfológico (WAHRHAFTIG & COX, en CLARK et al. 1998), consecuentemente, implica que los glaciares rocosos pueden ser vistos como formas transicionales de procesos glaciales y periglaciales (GIARDINO & VITEK 1988, en BURGER et al. 1999).

El continuum de los sistemas glaciales, está asociado al flujo relativo de detritos y de hielo dentro del sistema. Una de las formas finales (end member) del sistema es el glaciar rocoso. En el otro extremo se encuentra el glaciar descubierto o alpino. Por su parte, los glaciares cubiertos de detritos debieran representar una condición intermedia entre ambos (ACKERT Jr. 1998).

En este contexto, el análisis y comprensión de estos sistemas transicionales glaciares y periglaciares deben ser vistos también a la luz de los procesos paraglaciares, referentes a modificaciones modernas en el perfil de las vertientes y al retrabajo y disección de depósitos glaciales preexistentes (CURRY 1999; BALLANTYNE 2002).

En el ambiente de alta montaña andina de Chile se han desarrollado estudios que incluyen el tema de los glaciares rocosos, destacando los aportes de LLIBOUTRY (1956), quién hace referencia a glaciares subterráneos e indica la presencia de glaciares rocosos en sectores andinos áridos, entre el Volcán Lullaillaco (24°23' S) y el Cerro Las Tórtolas (29° 56' S). PASKOFF (1970) observa que la alta montaña de la región semiárida se presenta como el dominio por excelencia de numerosos y variados tipos de glaciares rocosos, que resultan tanto de procesos periglaciales como verdaderamente glaciales. Indica además la recurrencia de cuerpos de hielo remanentes de glaciares cubiertos por una espesa capa de derrubios que se adaptan a la topografía de la superficie de hielo.

En los Andes centrales, ARAYA-VERGARA (1985) y CORTE (1987) reconocen glaciares rocosos y cubiertos. PAYNE (1998) establece las correspondientes implicancias climáticas. Los trabajos de MARANGUNIC (1976) sobre el Glaciar de Roca Pedregoso (32°31' S) y de FERRANDO (1994) en la cuenca del Río Mapocho (33°30' S / 71°30' W) corroboran la expresión espacial referida por CORTE (1987).

MARANGUNIC (1976) define aspectos cuantitativos tales como espesor de la cubierta detrítica y del hielo, velocidad y acumulación neta anual. ARAYA-VERGARA (1985) relata formas morrénicas de valles altos del río Mapocho, asociadas a circos de dominio glacial en el Cuaternario y al dominio nival y periglacial en la actualidad, que - conjuntamente con glaciares rocosos - reflejan la potencialidad de las vertientes para proporcionar detritos por gelifracción, siendo éstos

importantes porque las paredes de los circos corresponden a sectores de avalanchas. Posteriormente, FERRANDO (1996) establece la presencia de glaciares rocosos en un núcleo montañoso de la cuenca superior del Río Limarí ( $30^{\circ}35' \text{ S} / 70^{\circ}30' \text{ W}$ ), en una superficie de 1.783 hás.

Por su parte, los inventarios de glaciares realizados en las últimas décadas (VALDIVA, 1984a y 1984b; GARIN 1987; RIVERA 1989), que identifican y localizan glaciares y glaciares rocosos en la cordillera andina chilena no entregan antecedentes respecto de las características morfológicas, genéticas y evolutivas de estos últimos.

En consecuencia, el propósito de este trabajo es identificar y caracterizar las distintas formas de glaciares rocosos a partir del estudio de un sistema específico, pero característico del paisaje de alta montaña de la región semiárida, con el fin de establecer relaciones genéticas y dinámicas vinculadas al ambiente climático actual.

## MATERIALES Y METODOS

### Características Generales del Área de Estudio.

El área de estudio definida corresponde a un valle de alta montaña, denominado Quebrada Angosta, tributario al sistema del río Los Molles-Rapel ( $30^{\circ}42' \text{ S} / 70^{\circ}30' \text{ W}$ ), en la cuenca alta del río Limarí, IV Región de Coquimbo (Fig. 1). Esta cuenca se localiza en un dominio morfoclimático periglacial de altura (Tabla 1). Corresponde a un valle angosto y escarpado de 9 km de eje longitudinal, cuyo fondo de valle asciende desde unos 2.840 m.s.n.m. hasta unos 4.240 m.s.n.m., con una diferencia altitudinal total de 1.400 m. La sección superior del valle está orientada de W a E, y la sección media de NW a SE. En ellas la vertiente de umbría corresponde a un flanco de valle escarpado con desniveles locales entre 350 y 450 metros.

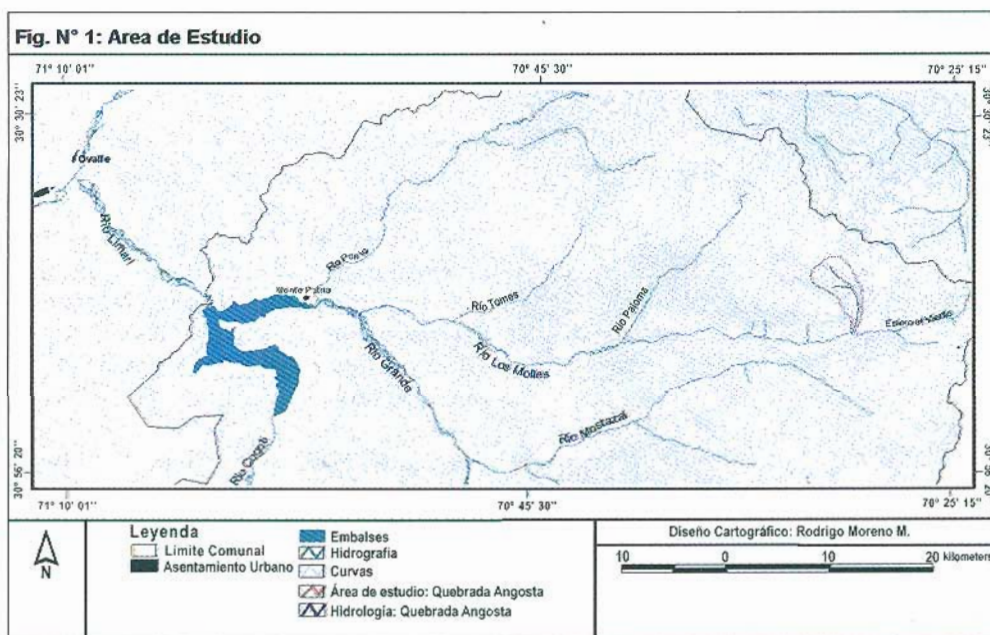


Fig. 1. Localización del área de estudio  
Fig. 1. Location of the area of study



**TABLA 1. FORMAS CARACTERÍSTICAS Y RANGOS ALTITUDINALES ASOCIADOS**  
**TABLE 1. CHARACTERISTIC LANDFORMS AND ASSOCIATED ALTITUDINAL FEATURES**

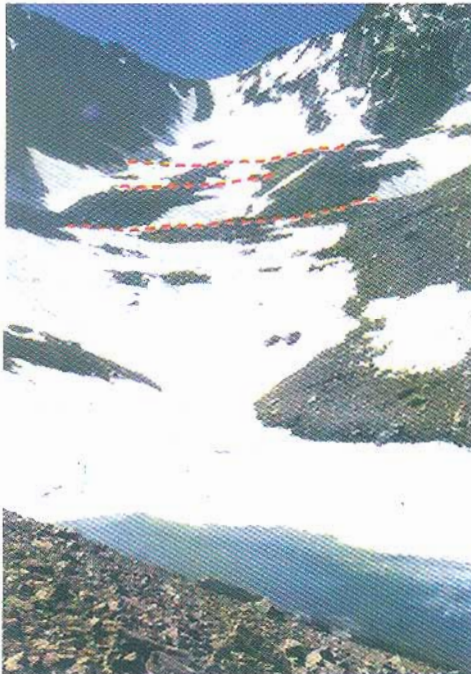
Formas Predominantes	Altura (m.s.n.m.)
Cabecera de circos	4600-3900
Morrenas centrales y laterales	4300-3300
Sistema de glaciares rocosos	4240-3600
Till, formación de vegas y nacimiento de formas de escurrimiento superficial por aporte de aguas de fusión	3650-3350

Los afloramientos rocosos en las vertientes son cuerpos intrusivos (MPODOZIS & CORNEJO 1988). En este tipo de sustrato han sido excavados pequeños y estrechos valles como el de Quebrada Angosta, que aún mantienen la impronta glacial, principalmente en la vertiente de umbría, y que coexisten con los productos y formas propias de ambiente periglacial.

En los circos esculpidos en la vertiente norte de la sección superior de la cuenca, y en la vertiente SW, predominan las rocas granitoides más antiguas, mientras que la vertiente noreste de la sección media e inferior esta constituida por rocas granitoides terciarias, intensamente afectadas por la tectónica. Ello se manifiesta en importantes niveles de fracturación de los sustratos ro-

cosos aflorantes, lo que les otorga una fuerte rugosidad y una alta susceptibilidad a la producción de detritos.

En la zona de las nacientes (zona proximal), una fuerte acumulación de detritos se asocia a las paredes del circo y del valle. Estos depósitos constituyen la fuente de la gran carga detrítica que va conformando una morfología irregular de depósitos lobulares y de depresiones consecuentes, las que se constituyen en elementos claves para la identificación de formas asociadas al sistema de glaciares rocosos en Quebrada Angosta. La zona correspondiente al límite superior de cobertura detrítica con hielo intersticial, denominada por HUMLUM (2000) como rock glacier initiation line altitude, se localiza a una altura de 4.240 m.s.n.m. (Fig. 2).



**Fig. 2. Circo norte, desde una laguna congelada de depresión lobular frontal (4.080 m.s.n.m. aprox.), con importante cobertura nival para la fecha (3 de diciembre de 2001). La línea segmentada superior representa el límite inferior del sector de nivación actual e inicio de los depósitos morrénicos a nivel local (4.240 m.s.n.m. aprox.).**

**Fig. 2. Northern cirque. View from a front lobate depression frozen lagoon at 4.080 m.a.s.l., provided with a unusual snowy mantle, because the date (December 3, 2001). The upper-segmented line indicates the lower limit of the present nival sector (4240 m.a.s.l.), and the beginning of the local moraine deposits.**

Junto con la detritificación asociada a los circos glaciales, se registran importantes aportes laterales de los sistemas de vertientes. La profunda meteorización de las rocas que las componen facilita el aporte de grandes volúmenes de detritos, los que dan origen a múltiples conos de gravedad cuya coalescencia conforma taludes de gran dinamismo y potencia (Fig. 3). En estos se desarrollan

lobulaciones correspondientes a cuerpos de hielo intersticial, debido a la percolación y congelación del agua de fusión nival, proveniente tanto desde la parte alta de la vertiente como de avalanchas suprayacentes. De esta forma, estos depósitos basales activos pasan a conformar glaciares rocosos de talud (BURGER et al. 1997; BRAZIER et al. 1998; BENN y EVANS 1998).



**Fig. 3.** Cuerpo y frente de glaciar rocoso de talud (3.800 m.s.n.m. aprox.), en la base de la vertiente norte. Se observan bloques angulosos de distintos tamaños que cubren la superficie, la cual presenta un contacto angular con el frente activo, provisto de material más fino y algunos bloques deslizados desde la parte superior. Foto 4 de diciembre de 2001.

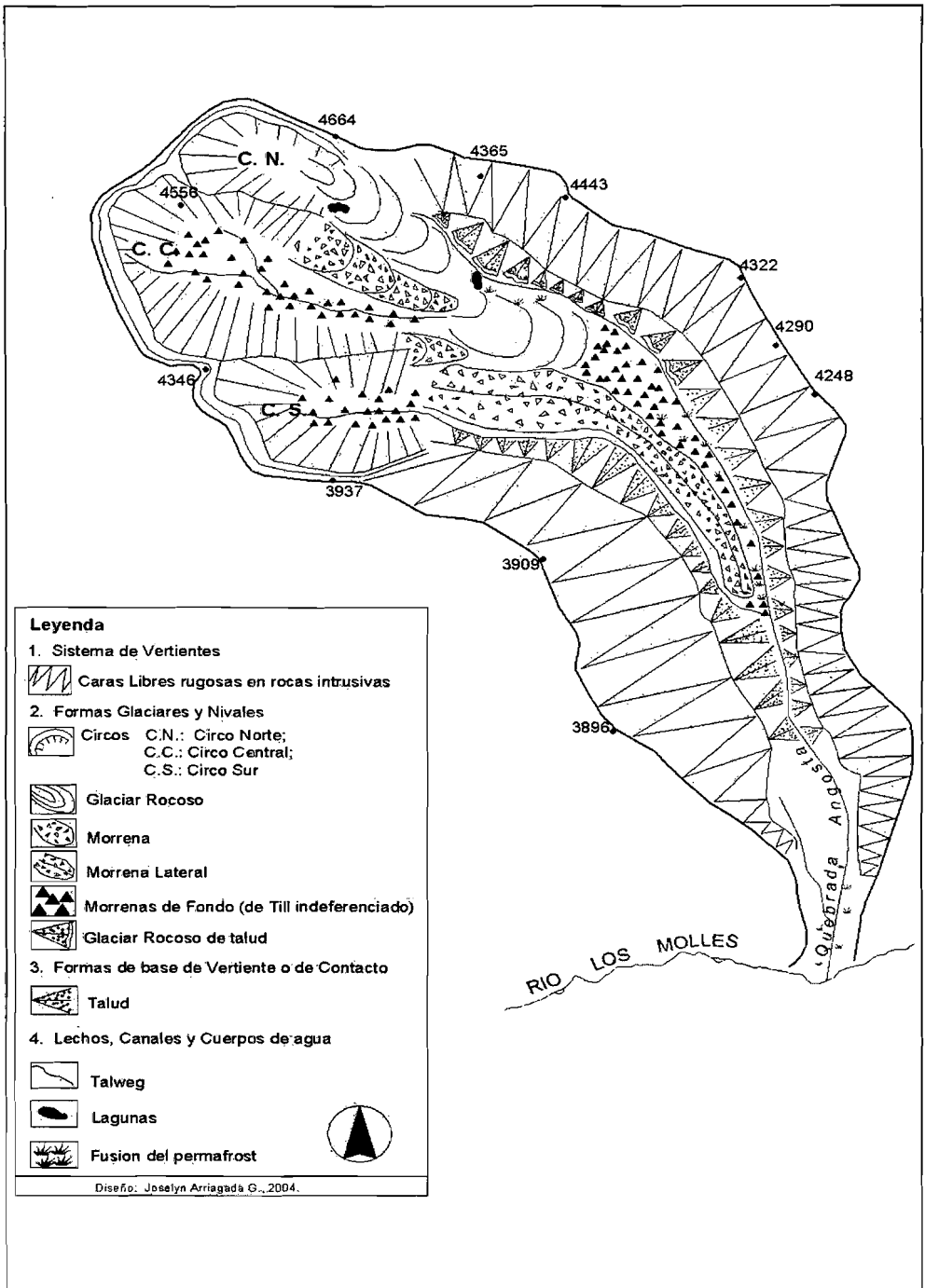
**Fig. 3.** Body and front of a talus rock glacier at the northern basal slope (3.800 m.a.s.l.). Angular blocks of several sizes are observed over the surface. This surface is in a angled contact with the active front talus, which shows thinner materials and some slipped blocks from the top. Photograph december 4, 2001).

### Procedimientos

La observación preliminar consistió en la recopilación de antecedentes geomorfológicos, geológicos y topográficos, derivados de la bibliografía citada en la introducción, y de la fotointerpretación geomorfológica de las fotos aéreas 1:50.000 (vuelo Geotec, 1996). Ello permitió seleccionar previamente los lugares y aspectos específicos a estudiar, considerando además la accesibilidad al lugar y el grado de representatividad regional del sistema.

Durante la primera etapa de terreno, realizada en diciembre de 2001, se levantó morfológicamente el área; se marcaron puntos de control en bloques rocosos pertenecientes a depósitos morrénicos y sobre formas atribuibles a glaciares rocosos. Con estas referencias, se realizaron tres series de mediciones taquimétricas para determinar movimiento de materiales en las siguientes misiones, realizadas en abril de 2002 y abril 2003.

Con respecto a la sistemática de glaciares rocosos empleada, esta se basó en la clasifi-



**Fig. 4. Carta Geomorfológica.**  
**Fig. 4. Geomorphological chart**



cación genética doble simple propuesta por BENN & EVANS (1998), la cual distingue glaciares rocosos periglaciales y glaciares rocosos glaciales. Dentro de los primeros, se mencionan diversos tipos de glaciares rocosos de talud originados por la deformación de las partes bajas de formas de pie de vertiente ante las variaciones estacionales de temperatura y volumen del contenido de hielo intersticial. Para los segundos, se les define como formas derivadas de la recesión final de glaciares descubiertos, lo cual va acompañado de diversos mecanismos que llevan a la formación de un manto morrénico superficial que termina cubriendo o enterrando el hielo, tal como lo observado por DOMARADZKI (1951). En este caso, dicha cobertura detrítica refleja la morfología superficial de la lengua de hielo, a la vez que se ve influida por los distintos niveles de movilidad remanente que el núcleo de hielo puede presentar.

Basados en estos antecedentes, así como en los tipos reconocidos por HUMLUM (1982 y 2000), se procedió a reconocer, describir y clasificar los tipos de glaciares rocosos presentes en el fondo de valle y la vertiente de umbría de la Quebrada Angosta.

## RESULTADOS

El análisis morfológico del sistema de glaciares rocosos de Quebrada Angosta está en estrecha relación con la presencia de un conjunto de formas asociadas, que constituyen un continuum de procesos glaciales y periglaciales. En este sentido, para el área de estudio se pueden reconocer 2 ámbitos morfogenéticos diferentes: el asociado a la impronta glacial, denominado sistema de circos, morrenas y glaciar rocoso de fondo de valle, y el de glaciares rocosos de talud, asociados al ámbito periglacial.

### Componente glacial del sistema

#### *Sistema de circos y morrenas*

El sistema de cabecera del valle de Quebrada Angosta está conformado por tres circos

expuestos al E, denominados circo norte (cn), circo central (cc) y circo sur (cs), que presentan alturas del orden de los 3900 a 4600 m.s.n.m. (Tabla 1), con un importante nivel de disección y excavación que originó paredes rocosas abruptas con fuerte desnivel (Fig. 4). Estos circos se presentan relativamente homogéneos en cuanto a su posición en el valle y como fuente tributaria. El circo central es el de mayores dimensiones junto con otro menor adyacente a su vertiente N. Ambos constituyen importantes fuentes de abastecimiento de detritos.

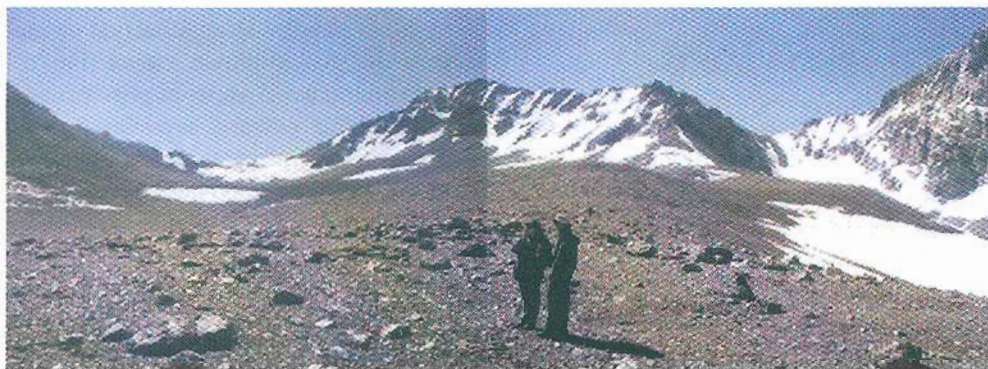
El circo sur, expuesto al ENE, se presenta en una posición colateral inmediatamente al S y aguas abajo con respecto a los dos anteriores. Existen formas correlativas que constituyen fuentes aportantes de detritos al sistema, las que ocupan una posición fuera del ámbito del sistema de glaciares rocosos, estando en contacto directo con la morrena lateral que se presenta adosada a la vertiente sur del valle de la Quebrada Angosta. A partir del límite inferior del circo central (4.240 m.s.n.m. aproximadamente) se reconocen cordones longitudinales bien definidos en el sentido del eje del fondo del valle los que, aunque parcialmente ocultos por la cobertura nival, evidencian la presencia de un glaciar rocoso con forma de lengua (Fig. 5). Asociado al conjunto de circos, principalmente al circo norte y central, se ha desarrollado una morrena central que se observa claramente hasta la cota de 3.300 m.s.n.m. (Fig. 6).

Asociados al circo central, de mayor dimensión pero de menor altura relativa (Fig. 7), se han desarrollado importantes depósitos propios de vertientes de flanco de valle activo, conformando depósitos de talud. La pared de umbría de este circo es afectada actualmente por avalanchas de nieve locales. Desde el punto de vista morfoclimático es importante señalar que durante el verano, todo el valle, incluidas las partes bajas del circo quedan libres de nieve, lo que permite fusiones diarias parciales del hielo intersticial, así como el secamiento de algunas lagunas presentes en el sector.



**Fig. 5.** Vista hacia el Este, desde el límite inferior del circo norte (4.240 m.s.n.m.). En primer plano se observa el glaciar rocoso de talud con su depresión pre terminal cubierta de nieve. La flecha indica una lengua de glaciar rocoso inactivo. Foto 4 de diciembre de 2001.

**Fig. 5.** Eastern view from the down limit of the northern cirque (4.240 m.a.s.l.). Foreground, an active talus rock glacier with a snow covered fore-terminal depression. At bottom, the arrow indicates a tongue shape of a inactive rock glacier. Photograph December 4, 2001.



**Fig. 6.** Morrena central, asociada a la dinámica de dos glaciares adyacentes en la cabecera del valle de Quebrada Angosta (4.000 m.s.n.m.), destacando el circo norte (cn) y el circo central (cc). En primer plano se observa la morrena, como también el calibre de los bloques en superficie. Foto 3 de diciembre de 2001.

**Fig. 6.** Central moraine associated to the dynamic of two adjacent glaciers at the Quebrada Angosta head valley (4.000 m.a.s.l.), standing out the northern cirque (cn) and the central cirque (cc). Foreground, the moraine morphology is observed as well as the size of surface blocks. Photograph December 3, 2001.





**Fig. 7.** Vista parcial del frente de la morrena central (mitad izquierda de la foto) y glaciár rocoso de talud simple (lado derecho), con un frente de deslizamiento activo. En primer plano se observa una laguna estacional de escasa profundidad en depresión sobre material morrénico de fondo. En la parte superior izquierda de la foto se observa la escarpada vertiente de umbría del valle glaciár con talud de gravedad y depósitos de avalancha.

**Fig. 7.** Section of the central moraine front (at the left and center of photograph) and a simple talus rock glacier (at right), with his active frontal scarp. At foreground, a seasonal lake located at a shallow depression on an older morainic deposit. Rear left, the steep shadow slope of the glacier valley with gravity talus and avalanche deposits.

#### *Glaciár rocoso de fondo de valle*

Analizando la conformación de la cabecera y el fondo del valle asociado al circo menor, es decir, al circo norte, más angosto, escarpado y en umbría, se observa el desarrollo de un típico glaciár rocoso glaciár, el que ocupa el fondo de la sección superior del valle (Fig. 8). Dicho glaciár rocoso de valle se ubica entre 4.050 y 4.250 m.s.n.m. aproximadamente, y presenta las siguientes características (FERRANDO et al. 2003; FERRANDO, 2003a):

Se trata de un glaciár rocoso en forma de lengua, con un perfil transversal ligeramente convexo y ondulado, compuesto por una serie de cordones y surcos longitudinales, paralelos al eje del valle. El frente de esta forma presenta una pendiente fuerte pero inferior al ángulo de reposo de los taludes. Los materiales que lo conforman se presentan intemperizados, observándose el desarrollo de una matriz arcillosa bajo la superficie, que cementa los sedimentos más gruesos. Los bloques que se observan en la superficie de la lengua presentan un diferencial estado de



**Fig. 8.** Detalle del frente del glaciar rocoso en forma de lengua, en el cual se reconocen signos de poca actividad tales como terminal redondeado, transición suave entre la superficie y el talud. Foto 7 de abril de 2003.

**Fig. 8.** Front detail of the tongue shape rock glacier with quasi inactive morphological characteristics like rounded terminal, gentle transition between surface and talus. Photograph April 7, 2003.

exposición entre la cara expuesta y aquella en contacto con el depósito, indicando así que estos no han sido volcados o cambiados de posición por un largo período.

Se observan pequeñas depresiones que parecen resultar del colapso de los materiales del depósito por derretimiento de núcleos de hielo subsuperficiales de escasas dimensiones. Los aportes laterales de material coluvial se sobrepone localmente a los bordes externos de la lengua.

La existencia de estos circos glaciales y la abundancia de depósitos morrénicos, está indicando la ocurrencia en el pasado de climas más fríos que permitieron el desarrollo de glaciares de valle, cuyas lenguas pueden haber alcanzado hasta aguas arriba de la confluencia de la Quebrada Angosta con el valle del Río Los Molles. Esa situación se refuerza con la existencia de un glaciar rocoso de fondo de valle, cuyo origen se asocia a éste tipo de procesos.

## Componente Periglacial del Sistema

### *Glaciares rocosos de talud*

Se reconoce en el área de estudio varios tipos de glaciares rocosos de talud, tanto por su forma como dinámica; se localizan preferentemente en la sección inferior de la ladera de umbría del valle principal. Estas formas presentan una posición perpendicular al eje del valle. En el área de estudio se reconocen glaciares rocosos de talud simple, lobulado y ondulado. Sus características morfológicas son las siguientes:

#### *Glaciar rocoso de talud simple GRTS (simple talus rock glacier).*

Presentan forma de lengua de poca extensión y perfil longitudinal cóncavo con tendencia a la horizontalidad cerca del frente. Se localizan entre 3.850 y 3950 m.s.n.m. aproximadamente. Se desarrollan pequeñas depresiones en su extremo distal, en las que suelen



acumularse aguas de fusión. Existe una fuerte y nítida ruptura de pendiente entre su extremo distal y el talud. El talud presenta materiales frescos y alimentación semi constante de detritos y bloques que se desprenden desde las caras libres rugosas; se caracteriza por la abundancia de bloques angulosos de variado calibre que cubre la superficie (Fig. 9).

Esta forma se corresponde con el modelo de avalancha de BURGER et al. (1999), como también con las características determinadas por KRAINER & MOSTLER (2000) para formas activas.

*Glaciar rocoso de talud lobulado GRTL*  
(lobated talus rock glacier).

Posee la forma de un lóbulo, semejante a un flujo denso que reptaba en forma masiva y len-

ta con la fusión gradual y estacional del hielo intersticial. Se localiza entre 3.700 y 3.800 m.s.n.m. La superficie del lóbulo o lengua desarrolla un perfil convexo. El frente y los bordes laterales son suaves, no registrándose rupturas de pendiente (Fig. 9). Esta forma se corresponde con el modelo hidrostático de BURGER et al. (1999).

*Glaciar rocoso de talud ondulado GRTO*  
(wavy talus rock glacier).

Las formas lobuladas son comunes dentro de los glaciares rocosos de talud (FRAUENFELDER & KÄÄB 2000), no así las formas onduladas (FERRANDO 2003a). Se trata de una forma lobulada de poca prominencia vertical y una superficie rugosa debido a tres ondulaciones que se desarrollan en forma de arcos de diámetro decrecien-

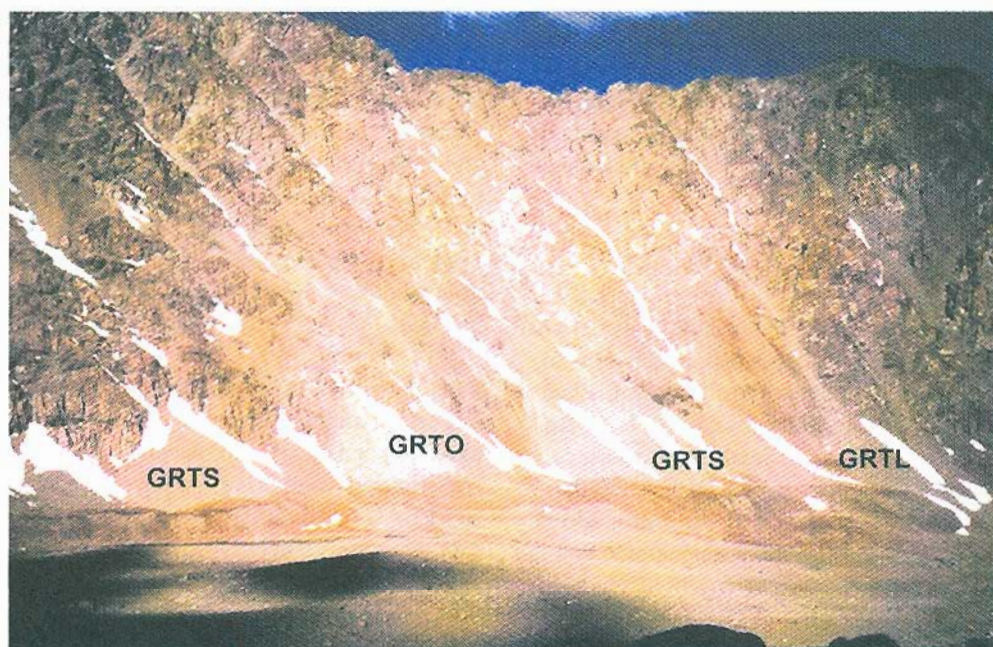


Fig. 9. Sistema de glaciares rocosos al pie de la vertiente de umbría. Sección superior de la Quebrada Angosta. Se reconocen las tipologías: Glaciar rocoso de talud simple (GRTS); Glaciar rocoso de talud ondulado (GRTO); y Glaciar rocoso de talud lobulado (GRTL). Foto 4 de abril de 2002.

Fig. 9. Rock glaciers system at the shadow slope toe. Quebrada Angosta upper section. Three types of them are recognized: simple (GRTS), wavy (GRTO) and lobate (GRTL). Photograph April 4, 2002.



te. Este nuevo tipo de glaciar rocoso se ubica a los 3.750 m.s.n.m., entre los glaciares rocosos lobulados (Fig. 9). Según FERRANDO (2003a), este tipo de glaciar rocoso presenta características morfogénicas diferentes de los modelos propuestos por JOHNSON (1984) y BURGER et al. (1999), porque - a diferencia de ondulaciones transversales de tipo compresivo - parece tratarse de ondas sucesivas de materiales en forma superpuesta, acompañadas de una reducción gradual del alcance de las mismas. Esto se debe probablemente a un agotamiento progresivo de la producción de detritos en la parte superior de la vertiente, con la consiguiente reducción en la alimentación de éste tipo de formas. Los detritos presentan oxidación superficial y ausencia de materiales frescos en la superficie. Los clastos del frente ondulado presentan una cobertura de sedimentos finos, arenosos, derivados del escurrimiento de aguas de fusión desde el interior, lo que se puede expresar a veces en deslizamientos laterales recientes. La clara diferenciación y alcance longitudinal de las ondulaciones de material, así como la oxidación de la cara expuesta de los detritos puede deberse a una situación de estacionamiento de esta forma.

## DISCUSIÓN

Las características geomorfológicas del valle de Quebrada Angosta evidencian un sistema con morfogénesis diferencial, ligada tanto a procesos glaciales como a la dinámica periglacial actual. Según antecedentes comunicados por PASKOFF (1970) y NOGAMI (1976) cabe discutir el grado de relación de este sistema morfológico con la morfogénesis pleistocénica y holocénica. Siguiendo a BRÜGGEN (1928) y PASKOFF (1970), y teniendo en cuenta la influencia de la altura, parece que estos fenómenos representan herencias morfogénicas desde la Última Glaciación, para rasgos que se encuentran entre 3.100 y 3.200 m.s.n.m. Pero hay que considerar que el Holoceno debe haber jugado un papel importante en estos procesos.

Con respecto a la dinámica periglacial actual, se reconoce una fuerte influencia de la altura (3.800 a 4.600 m.s.n.m.), de la forma escarpada de la vertiente de umbria en que este sistema opera y de los fuertes contrastes entre verano e invierno, principalmente en lo referente a la cobertura de nieve y a las temperaturas, existiendo varios meses con temperaturas medias diarias entre 0 y -4° C (FERRANDO 2003b).

La diferencia de sistemas se basa en la presencia de circos y de glaciares rocosos distintos desde un punto de vista genético, morfológico y dinámico. Por otro lado, se evidencia la dinámica actual en los procesos que constantemente modelan los depósitos gravitacionales. Los procesos estacionales se reflejan en las variaciones de las lagunas que se generan tanto en las depresiones distales de algunos glaciares rocosos de talud, como en sectores del fondo del valle, aguas abajo de los depósitos morrénicos más antiguos.

La complejidad dinámica del sistema de glaciares rocosos de Quebrada Angosta se puede interpretar como el resultado de la introducción de nuevos o distintos procesos en el sistema morfodinámico como parte del ajuste o reemplazo derivado de la transición de condiciones climáticas glaciales a las post-glaciales.

Estos procesos no glaciales *sensu strictu*, pero que están parcialmente condicionados directamente por la actividad glacial pasada, corresponden mecanismos paraglaciales (BALLANTYNE 2002), en los cuales la escala temporal no necesita restringirse al reciente lapso de retirada del hielo. En este sentido, en el sistema de alta montaña de Quebrada Angosta se observa la presencia de unidades morfológicas que interactúan en todas las escalas, originando posiblemente sistemas paraglaciales secundarios.

La estacionalidad de los procesos se relaciona con las condiciones morfoclimáticas periglaciales de altura, que generan conos de

gravedad, taludes y glaciares rocosos de talud. Las condiciones periglaciales dentro del sistema paraglacial producen un ciclo hidrológico complejo. La formación de lagunas de agua de fusión en las secciones superiores de los glaciares rocosos más desarrollados son importantes rasgos en la discusión sobre la capacidad de almacenamiento de agua.

Interpretando lo observado por HAEBERLI (1985) y GIARDINO et al. (1992 en BURGER et al. 1999), se asume que la filtración de aguas de fusión nival a través de los depósitos tanto morrénicos (glaciar rocoso glacial), como gravitacionales (glaciares rocosos de talud), se alcanza en profundidad una masa detrítica sellada con hielo intersticial, generando lo que se denomina la capa activa, especie de napa local que según la temperatura del entorno, proporcionalmente fluye o se recongela.

Los glaciares rocosos con formas de lenguas y frente abrupto son indicativos del carácter activo del glaciar (BRAZIER et al. 1998), junto con la ausencia de procesos de colonización vegetal y el estado de los fragmentos de till. Sin embargo, el flujo de los glaciares rocosos puede variar entre menos de 1  $\text{cm a}^{-1}$  a 150  $\text{cm a}^{-1}$ . Mediciones sistemáticas deben ser hechas aún en el caso analizado. Las mencionadas en la metodología, no arrojan todavía resultados confiables.

Con respecto al escurrimiento superficial asociado al aporte de agua desde el hielo intersticial, se presenta a una altura relativa a los 3600-3650 m.s.n.m., situación que coincide con la altitud establecida por NOGAMI (1976) para la línea de nieves pleistocénicas (PSL) para la latitud en que se encuentra el área de estudio. Ello confirma que la surgencia de agua y formación de vegas se produce aguas abajo de los depósitos morrénicos que indican el alcance máximo de los glaciares locales, posiblemente durante la Última Glaciación.

Las formas de glaciares rocosos identificadas en la Quebrada Angosta pueden ser interpretadas, siguiendo a GIARDINO et al. (1987 en CLARK et al. 1998), POTTER Jr et al. (1998), y a WAHRHAFTIG & COX (1959, en CLARK et al. 1998) como constitutivas de un continuum de formas, con carácter transicional entre procesos glaciales y periglaciales (GIARDINO & VITEK (1988 en BURGER et al. 1999).

## CONCLUSIONES

Las componentes activas dentro del sistema periglacial corresponden fundamentalmente a los glaciares rocosos de talud simple, los cuales se ubican más alto que aquellos lobulados y ondulados, lo que podría explicar la menor actividad de estos últimos. La componente poco activa corresponde a glaciar rocoso de fondo de valle como forma glacial remanente. Su inactividad, a pesar de la altura a que se encuentra, se asocia directamente con una mayor exposición solar media en relación con los glaciares rocosos de talud.

Cabe destacar la presencia de un nuevo tipo de forma denominada glaciar rocoso de talud ondulado (*wavy talus rock glacier*), en el cual se reconoce un mecanismo particular de formación asociado a ondas sucesivas y decrecientes de material detrítico proveniente de las laderas, el que no corresponde a los modelos genéticos propuestos hasta la fecha.

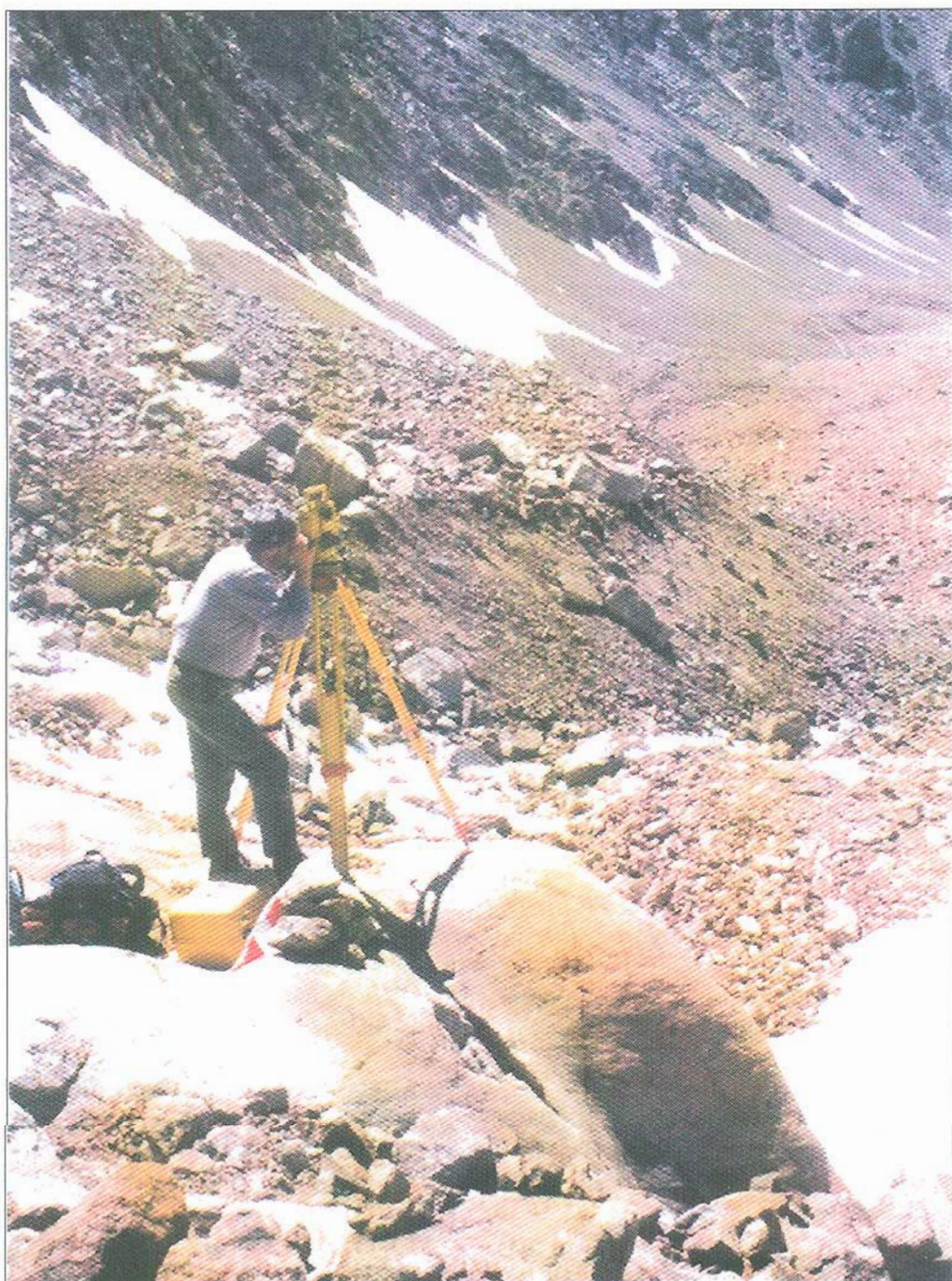
Se asume que la filtración de aguas de fusión nival a través de los depósitos tanto morrénicos y gravitacionales se ve afectada por la temperatura local incidiendo en la fusión o congelación de la masa de hielo intersticial. La alternancia entre las condiciones invernales y estivales aparece como un mecanismo fundamental en la ocurrencia y configuración de este tipo de formas.

## REFERENCIAS

- ACKERT, R.P. Jr., 1998.** A rock glacier/debris covered glacier system at Galena Creek, Absaroka Mountains, Wyoming. *Geogr. Ann.*, 80 A (3-4): 267-276.
- ARAYA-VERGARA, F.J., 1985.** Análisis de la Carta Geomorfológica de la Cuenca del Mapocho. *Inform. Geogr. Chile*, 32: 31-44.
- BALLANTYNE, C.K., 2002.** Paraglacial geomorphology. *Quat. Sci. R.*, 21: 1935-2017.
- BENN, D.I. & D.J.A. EVANS, 1998.** *Glaciers and Glaciations*. Arnold Editors. London, 734 pp.
- BRÜGGEN, J., 1928.** La glaciación actual y cuaternaria en la Cordillera de Los Andes. *Anales de la Universidad de Chile*, 2(6): 599-684.
- BURGER, K.C., J.R. GIARDINO, G.S. RIDENOUR, & J.D. VITEK, 1997.** A thermodynamic Approach to rock glacier development. In: Abstract and Program, Annual Meeting. The Geological Society of America, Salt Lake City, UT. p. A-32.
- BURGER, K.C., J.J. DEGENHARDT Jr. & J.R. GIARDINO, 1999.** Engineering geomorphology of rock glaciers. *Geomorphology*, 31: 93-132.
- BRAZIER, V., M.P. KIRKBRIDE & I.F. OWENS, 1998.** The relationship between climate and rock glacier distribution in the Ben Ohau Range, New Zealand. *Geogr. Ann.*, 80 A (3-4): 193-207.
- CLARK, D.H., E.J. STEIG, N. POTTER Jr. & A.R. GILLSEPIE, 1998.** Genetic variability of rock glaciers. *Geogr. Ann.*, 80 A (3-4): 175-182.
- CORTE, A.E., 1987.** Central Andes rock glaciers: Applied aspects. In: Giardino, J.R. et al (Eds.), *Rock Glaciers*. Allen and Unwin. London, pp. 289-304.
- CURRY, A.M., 1999.** Paraglacial modification of slope form. *Earth Surf. Process. Landform.*, 24: 1213-1228.
- DOMARADSKI, J., 1951.** Blockströme im Kanton Graubünden. Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchung des schweizerischen nationalparks. In: Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft, III/24, pp. 177-235.
- FERRANDO, F., 1994.** La cuenca andina del Río Mapocho: Determinación de su estado de equilibrio morfodinámico. Informe Final Proyecto FONDECYT 1000-91. Inédito.
- FERRANDO, F., 1996.** Glaciares relictuales en el marco andino del semiárido de Chile, IV Región: Análisis de caso. En: United Nations University (Ed.), 1er Taller Internacional de Geoecología de Montaña y Desarrollo Sustentable de los Andes del Sur. The United Nations University, Viña del Mar, pp. 287-298.
- FERRANDO, F., 2002.** Las Glaciaciones Cuaternarias en Chile: Visión General. *R. Geogr. de Chile Terra Australis*, 47: 129-165.
- FERRANDO, F., 2003a.** Aspectos conceptuales y genético-evolutivos de los Glaciares Rocosos: Análisis de caso en los Andes semiáridos de Chile. *R. Geogr. de Chile Terra Australis*, 48: 43-74.
- FERRANDO, F., 2003b.** Cuenca del Río Limari, Chile Semiárido: Aspectos de la oferta y demanda de agua. *R. Geogr. Norte Grande*, 30: 23-44.
- FERRANDO, F., M.V. SOTO, R. VIEIRA, H. LANGE, J. QUINTEROS, & J. ARAOS, 2003.** Permafrost en los Andes del sur: Glaciares rocosos en la región semiárida de Chile y su importancia como recurso hídrico. En: Universidad Nacional Autónoma de México (Ed.), 9º Encuentro de Geógrafos de América Latina. Publicación Digital.



- FRAUENFELDER, R. & A. KÄÄB, 2000.** Toward a paleoclimatic model of rock-glacier formation in the Swiss Alps. *Ann. Glaciol.*, 31: 281-286.
- GARIN, C., 1987.** Inventarios de los glaciares de los Andes Chilenos desde los 18° a los 32° S. *R.Geogr.Norte Grande*, 14: 35-48.
- HAEBERLI, W., 1985.** Creep of mountain permafrost; internal structure and flow of alpine rock glaciers. *Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie Eidgenössische Technische Hochschule in Zuerich*, 142 pp.
- HUMLUM, O., 1982.** Rock glacier types of Disko, central west Greenland. *Norsk Geol. Tidssk.*, 82: 59-66.
- HUMLUM, O., 2000.** The geomorphic significance of rock glaciers: estimates of rock glacier debris volumes and headwall recession rates in West Greenland. *Geomorphology*, 35: 41-67.
- JOHNSON P. G., 1984.** Rock glacier formation by high-magnitude low-frequency slope processes in the southwest Yukon. *Ann.Assoc.Ameri.Geogr.*, 74(3): 408-419.
- KRAINER, K. & W. MOSTLER, 2000.** Aktive Blockgletscher als Transportsysteme für Scuttmassen im Hochgebirge: Der Reichenkar Blockgletscher in den westlichen Stubaier Alpen. *Geoforum Umhausen*, 1: 28-43.
- KRAINER, K. & W. MOSTLER, 2002.** Hydrology of active rock glaciers: Examples from Austrian Alps. *Arct. Antarct. Alp. Res.*, 34 (2): 142-149.
- LLIBOUTRY, L., 1956.** Nieves y Glaciares de Chile: Fundamentos de Glaciología. Editorial Universitaria, Santiago, 471 pp.
- MARANGUNIC, D.C., 1976.** El glaciar de roca Pedregoso, río Colorado, V Región. En: *Actas del Primer Congreso Geológico Chileno, Santiago. I (D)*, pp. 291-300.
- MPODOZIS, C. & P. CORNEJO, 1988.** Hoja Pisco Elqui N° 68. Carta Geológica Nacional, IV Región de Coquimbo. 1:250.000. Sernageomin, Santiago.
- NOGAMI, M., 1976.** Altitude of the modern snowline and Pleistocene snowline in the Andes. *Geogr.Rep.Tokyo Metropol.Univ.*, 11: 71-86.
- PASKOFF, R., 1970.** Le Chili Semi-aride: Recherches Géomorphologiques. Ed. Biscaye Frères. Bordeaux, 420 pp.
- PAYNE, D., 1998.** Climatic implications of rock glaciers in the arid Western Cordillera of the Central Andes. *Glacial and Geomorphology*, rp03, (<http://ggg.qub.ac.uk/ggg>).
- POTTER, Jr. N., E.J. STEIG, D.H. CLARCK, M.A. SPACE, G.M. CLARCK & A.B.UPDIKE, 1998.** Galena Creek rock glacier revisited-new observation on an old controversy. *Geogr. Ann.*, 80 A (3-4): 251-265.
- RIVERA, A., 1989.** Inventario de glaciares entre las cuencas de los ríos Bio-Bio y Petrohué. Informe final de Práctica Profesional. Escuela de Geografía, Universidad de Chile, Santiago, 197 pp. Inédito.
- VALDIVIA, P., 1984a.** Inventario de glaciares de la cuenca del río Tinguiririca. Informe Técnico. Ministerio de Obras Públicas-Dirección General de Aguas, Santiago.
- VALDIVIA, P., 1984b.** Inventario de glaciares de Los Andes de Chile Central (32° a 35°S): ríos Aconcagua, Maipo, Cachapoal y Tinguiririca. En: *Jornadas de Hidrología de Nieve y Hielo en América del Sur. Vol. I. Santiago*, sin n° de pág.

**Imagen de Investigaciones GEOGRÁFICAS**

Fijación de puntos de control para determinar la velocidad de movimiento del glaciar rocoso de Quebrada Angosta (estudiado en este número). En segundo plano, cono de talud de gravedad truncado en la base por canal de desagüe posterior. Foto: Francisco Ferrando.