

# Geología, geomorfología y depósitos glaciares en los páramos de Costa Rica

Por

Matthew S. Lachniet<sup>1</sup>, Geoffrey O. Seltzer<sup>2</sup>, and Leonardo Solís S.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Smithsonian Tropical Research Institute, Apdo. 2072, Balboa, Panamá. lachnietm@ancon.si.edu

<sup>2</sup>Department of Earth Sciences, Syracuse University, Syracuse, New York, 13244. goseltze@syr.edu

<sup>3</sup>Apdo. 282 Escazú, Código Postal 1250 San José, Costa Rica. leonardofab@hotmail.com

## Resumen

En éste artículo se presenta un breve resumen de los depósitos superficiales en los páramos de Costa Rica, principalmente en el Parque Nacional Chirripó. Debido a su altitud alta y clima frío, los páramos han sido afectados por los fuertes cambios de clima pleistocénicos, en cual época existían glaciares de montaña y masas de hielo permanente en los picos más altas de Costa Rica como los Cerros Chirripó, de la Muerte, y Kamuk. Hay varios depósitos glaciares como *tills* de origen subglacial y ablación, y morrenas dentro del límite de hielo. Mas allá del límite de hielo, se encuentran depósitos y terrazas de sedimentos fluvio-glaciales y de *kame*, y depósitos periglaciales como abanicos de geliflucción que sobreyacen depósitos fluvio-glaciales. Procesos de congelación-descongelación también han producido “*blockfields*” en algunos picos de alta elevación y la desintegración de cantos. La presencia de los glaciares ha resultado no solo en el depósito de sedimentos, sino en la erosión de la roca de base y formas típicas de glaciación de montaña.

## Abstract

This article presents a brief summary of the glacial geology and surficial deposits in the Costa Rican páramos, primarily from Chirripó National Park. As a result of their high elevation, the páramos have experienced strong climate changes during the Pleistocene, when mountain glaciers and ice covered the highest peaks of the Cordillera de Talamanca, such as around Cerros Chirripó, de la Muerte, and Kamuk. There are various glacial deposits such as subglacial and ablation tills and moraines within the ice limit. Outside the ice limit, there are fluvio-glacial outwash deposits and terraces, kame terraces, and periglacial gelifluction fans that overlay fluvio-glacial outwash deposits. Freeze-thaw processes have produced blockfields on some peaks and resulted in the

fracturing of cobbles and boulders. In addition to these depositional forms, numerous erosional forms typical of mountain glaciation are present.

## **Introducción**

Los páramos de Costa Rica presentan aspectos geológicos bien interesantes y únicos en el país, debido a su alta elevación y clima bastante frío. Por esta razón, se encuentran depósitos glaciares y periglaciares formados al partir del último máximo glacial que atestigüan a los grandes cambios del clima alrededor de los picos más altos de Costa Rica. Las evidencias más desarrolladas se encuentran en los alrededores del Parque Nacional Chirripó (de aquí en adelante “Chirripó”) y Cerro de la Muerte (también conocido como Cerro Buenavista) (**Fig. 1**). El Parque Nacional Chirripó está ubicado en la Cordillera de Talamanca, Costa Rica, en las provincias de Cartago, San José y Limón. La Cordillera de Talamanca presenta su elevación máxima en Costa Rica en el Parque, en la cumbre del Chirripó con 3.819 m, además de presentar varios picos de más de 3.400 m, como el Cerro Terbi (3.765 m) y el Pico Noroeste (3.735 m).

Los principales artículos de la glaciación alrededor del Cerro Chirripó son los de Weyl (1956) y Hastenrath (1973). Aunque ellos no han aportado informaciones detalladas de los depósitos glaciares, Hastenrath (1973) presentó unos croquis de las locaciones de algunas de las morrenas en el Parque Nacional Chirripó. Luego, el artículo de Bergoëing (1978) presentó un análisis de fotos aéreas y una interpretación de la geomorfología glacial en la Cordillera de Talamanca, sin aportar datos de los depósitos superficiales. El artículo de Barquero y Ellenberg (1982/1983) presentó un mapa de la geomorfología en el Parque Nacional Chirripó en donde se reconocieron solamente un tipo de depósito superficial llamado “morrenas” (que aparentemente es una agrupación de todos los ocurrencias de *till* de ablación y subglacial igual como las verdaderas morrenas de tipo lateral y frontal; ver abajo). La forma generalizada del mapa y falta de determinación genético de los sedimentos glaciares y periglaciares en el Chirripó no permite un análisis detallado de los depósitos superficiales. Similarmente, el artículo de Shimizu (1992) presentó un análisis de fotografías aéreas alrededor del Parque Nacional Chirripó sin pruebas del campo; su mapa de los depósitos superficiales tiene poco que ver con las nuestras observaciones hecho a través de meses de trabajo en el campo (ver

abajo). Por otro lado, el artículo de van Uffelen (1991) es bastante detallado para permitir una evaluación de los depósitos superficiales en el Chirripó, y el de Orvis y Horn (2000) para delimitar morrenas en el Valle de las Morrenas. Las observaciones de los suelos y sedimentos noconsolidados por van Uffelen (1991) están basadas en análisis de fotografías aéreas igual como salidas al campo, y parecen similar a nuestras observaciones aunque el no presentó un mapa geológico. Orvis y Horn (2000; este libro) presenta un buen mapa de las morrenas en el Valle de Las Morrenas que es más apropiado para el mapeo de los depósitos superficiales en el Parque Nacional Chirripó. Lachniet and Seltzer (2002) reporta sobre la geología glacial y los límites de glaciares en todo el Parque bien como de los cerros Kamúk y de la Muerte. Algunos de los siguientes datos han sido tomados de Lachniet y Seltzer (2002), ver allá para más detalles.

En este artículo se presentan los resultados de estudios acerca de la geología de los páramos costarricenses, principalmente basado en trabajo de campo por el primer autor. Primero, se presenta información de las rocas de base y sedimentaria, y luego se presentan los resultados acerca de la geología glacial y periglacial. Tomando en cuenta dichos depósitos, la extensión de hielo y glaciares en Chirripó durante la época del último máximo glacial ha sido reconstruido y presentado mediante mapas.

## **Metodología**

Durante varias salidas al Parque Nacional Chirripó y los alrededores del Cerro de la Muerte, se realizaron investigaciones de los depósitos superficiales a través de la examinación de afloramientos y sedimentos expuestos en cortes y pozos. También, se analizaron mapas topográficos igual como fotografías aéreas estereoscópicas con el fin de analizar la geomorfología. Este estudio se llevó a cabo a través de varios meses de trabajo en el campo en 1998 – 2001. Los sedimentos fueron descritos en el campo por sedimentología, estructuras, y otros aspectos físicos. Las extensiones y tipos de sedimentos se han notado y fueron incluidos en un sistema de información geográfico (GIS por sus siglas en Inglés). Basado en la ubicación y tipos de sedimentos y geomorfología glacial, se determinaron límites de los glaciares que existían en el Chirripó y otros picos con elevaciones mayores de 3.400 m.

## **Resultados y Discusión**

### ***Geología***

La presencia de rocas "granitoides" en la Cordillera de Talamanca ha sido establecida en el siglo pasado (Gabb, 1875). La construcción de la carretera Interamericana en la parte norte de la Cordillera puso en evidencia la diversidad petrográfica de esos conjuntos intrusivos (Weyl 1961, 1969). Los cuerpos intrusivos son en su mayor parte batolitos de tamaño variable. Los más extensos afloramientos ocurren en el eje más elevado de la cordillera, en superficies mayores a 100 km<sup>2</sup> y desniveles de hasta 2000 m (macizos de los cerros Chirripó, de la Muerte, Durika, y Kamúk). Intruyen a volcanitas o sedimentos detríticos, donde se desarrollaron aureolas de metamorfismo de contacto (cornubianitas). No se conoce la edad de este intrusivo, sin embargo, en esa parte de la Cordillera de Talamanca, se reportaron edades K/Ar del Mioceno Superior (10-8 m.a.) para varios intrusivos (resumen en Bergoeing 1998).

Las texturas, así como el tipo de rocas encajantes, sugieren un emplazamiento a niveles estructurales superficiales. La presencia de extensos afloramientos a grandes alturas (3819 m en el Cerro Chirripó) está relacionada con el levantamiento extremadamente rápido de esta cordillera desde el Plioceno Inferior (ver abajo).

Una serie sedimentaria ocurre hasta la altura de 3700 m, en el cerro más alto del país (Calvo 1987; MSL obs. pers.). Son areniscas volcanoclásticas de más de 200 m de espesor con restos fósiles marinos (moluscos, foraminíferos). Los estratos están dispuestos horizontalmente o ligeramente inclinados, cortados por fallas normales. La edad de esa serie sedimentaria no se conoce con precisión. Las areniscas están metamorfizadas a cornubianitas en el contacto con el intrusivo, que constituye la cima del Cerro Chirripó. Cerca del Cerro de la Muerte, a lo largo de la Carretera Interamericana (elevación de 3300 m), afloran areniscas con fácies similares.

### ***Tasas de levantamiento de la Cordillera de Talamanca***

Empezando entre 1 y 5,4 m.a. de años (Gräfe 1998), el Espolón de Cocos (*Cocos Ridge*), se encontró en la zona de subducción por debajo de Costa Rica, alrededor de la Península de Osa. Debido a que el Espolón de Cocos está compuesto de rocas menos densas que la costra 'normal' de tipo basalto, la subducción se tornó más difícil, con el

resultado de que la Cordillera de Talamanca se empezó a levantar rápidamente. Se ha sugerido que las tasas de levantamiento se encuentran entre 1,0 y 4,0 mm/año, basado en datos radiométricos de terrazas marinas de la Península de Osa (Gardner et al. 1987).

### ***Geología Glacial y Periglacial***

La presencia de formas modeladas por la acción glacial en las altitudes mayores a 3.000 m es la característica más sobresaliente del Parque Chirripó. Las formas incluyen valles en forma de "U", *tarns*, morrenas de tipo terminal, lateral, y medial, depósitos de sedimentos glaciales como *till* subglacial y de ablación, y formas erosivas como circos (*cirques*), aristas (*arêtes*), *whalebacks*, *roche moutonnée*, y superficies de rocas estriadas, pulidas y acanalizadas por acción glacial, a ser explicado en las siguientes secciones.

La presencia de formas glaciales en el Chirripó indican las temperaturas más bajas debido a los grandes cambios de clima de los últimos 2.8 millones de años (el Cuaternario). Aunque no se conoce en que época la Cordillera de Talamanca alcanzó una elevación bastante alta por estar encima del nivel de nieve (~3500 m durante el último glacial, Orvis y Horn, 2000; Lachniet y Seltzer, 2002), es probable que esto sucedió en el tardío pleistoceno durante cual época se han depositado gruesos abanicos de depósitos aluviales en el Valle de el General (Kesel, 1983). La disminución de la temperatura en el tardío pleistoceno produjo el crecimiento de glaciares de montaña, que se definen como masas permanentes de hielo contenido en los valles, los cuales se desplazan en dirección valle abajo.

Durante la formación de los glaciares, rocas y otros materiales de todos tamaños se incluyeron en el hielo de la base, que actúan como abrasivos para poder erosionar otras rocas. Las formas glaciares en el Parque se agrupan como erosional o deposicional. Comenzamos con las formas más sencillas de origen erosional.

### ***Formas Erosionales***

A mayor escala, se notan valles en forma de "U", que se formaron por la acción erosivo de los glaciares sobre los valles preexistentes a lo largo del tiempo. Por otro lado, los valles formados por acción fluvial (de los ríos) se presentan en una de "V", estos presentan pendientes bien definidas e inclinadas. En el Chirripó los valles glaciales se encuentran generalmente por arriba de 3.040 m, y los fluviales por debajo de dicha

altitud. Las zonas más altas de los valles glaciales presentan una parte muy ancha, con un fondo plano, y paredes abruptas. Se llaman circos (*cirques*). Estos lugares servían como los sitios de acumulación de nieve durante el cuaternario; los Valles de los Conejos, parte arriba del Valle Talari, de las Morrenas, y de los Lagos son buenos ejemplos. Alrededor del Cerro Kamuk (3.549 m) hay 7 circos tallado al base del cerro, lo mas desarrollado con un piso a la elevación de 3.260 m. Aunque no hay valles en forma de “U”, estos circos significa que habia hielo permanente a elevaciones hasta de ~3.300 m en la Cordillera de Talamanca.

En casi todos los valles glaciares en Chirripó, hay afloramientos de rocas que presentan formas erosionales como *whalebacks*, *roche moutonnée*, y rocas estriadas, además de pulidas, y acanalizadas. Un *whaleback* ("lomo de ballena") es una colina de pocos a cientos de metros de longitud, y de 3 hasta unas decenas de altura. Esta forma se orienta con el eje más largo en la dirección del desplazamiento del glaciar, y tiene la pendiente valle arriba menos inclinada que la pendiente valle abajo, y parece como el lomo de una ballena en perfil (**Fig. 2**). En algunos casos, la pendiente valle abajo es mucho más abrupta dada la acción erosiva y el desalojo de los bloques de roca, y se llama *roche moutonnée* (término de origen francés). Buenas muestras se encuentran en el río Talari, al otro lado de los albergues en la Base Crestones. También, hay un buen ejemplo de un *roche moutonnée* en el Cerro de la Muerte a las 3.300 m (Lachniet y Seltzer, 2002).

Otros afloramientos de roca en Chirripó exhiben estrías (*striations*), que son rasguños bien estrechos de poca profundidad (<1mm), y texturas acanalizadas, que son más profundas y anchas (hasta de 30 cm), ambas formadas por la acción erosiva de materiales abrasivos incrustados en el hielo. Si el material incrustado en el hielo es muy fino, resulta una superficie de roca pulida. Buenos ejemplos de dichas formas se pueden observar en el cauce del río Talari cerca de la "casita" contigua a los albergues. Aunque no son muy comunes alrededor del Cerro de la Muerte, el *whaleback* mencionado arriba presenta estrías en la superficie. También en el Cerro de la Muerte, a las 3.400 m, un superficie de erosión en areniscas desplegadas en posición vertical esta expuesto en una corte de calle. Esta superficie bien definido es más facilmente explicado por la erosión glacial (Lachniet y Seltzer, 2002).

El Cerro Chirripó, bien como otros picos en el parque, muestran morfologías erosionales en forma de pico bien definido, llamado cuerno (*horn*). A través de la erosión de los valles que rodean el pico, este queda más pequeño con tres o más lados distintos, separados por ángulos bien definidos. El proceso de erosión actúa también en las colinas que separan los valles, y resulta en una colina bien estrecha y definida, denominada arista (*arête*, palabra de origen francés). En los lugares más bajos de la arista donde pasaba el hielo, se produjo una depresión llamada *col*.

Los lagos en el Chirripó se formaron en gran parte por la misma acción erosiva de los glaciares, que producían pequeñas depresiones en el lecho del valle, y que posteriormente fueron llenados con agua después del deshielo. Se llaman estos lagos *tarns*, como las del Valle de las Morrenas (**Fig. 3**). Los lagos han sido el lugar de depositación de sedimentos desde su formación y pueden ser considerados como formas no solo erosionales, sino también deposicionales. En el Chirripó se pueden encontrar varios *tarns*, principalmente ubicados en los valles de los Lagos, de las Morrenas, Duchi, y uno en el Ditkebi. Además, Orvis y Horn (2000; este libro) considera que algunos lagos formaron por el tapamiento de drenajes con morrenas. También hay depresiones de poca profundidad que se llenan y se secan según la estación del año.

Investigaciones anteriores, principalmente en el valle de las Morrenas, han recogido núcleos de perforaciones de los sedimentos lacustres (Horn 1989, 1993; Orvis y Horn, 2000; Lachniet, datos sin publicar). Los sedimentos provienen de los ríos que alimentan los lagos, y son constituidos de cieno y arena mixtos con materia orgánica producido por organismos lacustres. Los sedimentos han sido acumulados en los lagos desde el deshielo. En la parte más profundo del Lago Morrenas 1, hay aproximadamente 6 metros de *gytjja* (sedimentos de alto contenido de materia orgánica), que sobreyacen por lo menos 1,0 m de cienos y de arenas estratificadas de color gris, de edad pre-Holoceno (Orvis y Horn, 2000; Lachniet, datos sin publicar).

### ***Formas Sedimentarias***

Los depósitos más sobresalientes son las colinas de materiales sueltos, llamados morrenas (*moraines*) compuestos de sedimento de un tamaño que va desde cienos hasta

bloques con dimensiones de 4 m, que se forman en las márgenes del glaciar. En el Chirripó, se encuentran morrenas de tres tipos. Las morrenas frontales, que como su nombre lo dice se forman en el frente del glaciar, de material liberado a través de la fusión del hielo, y marcan las posiciones terminales de los glaciares. Las morrenas laterales que se forman entre el glaciar y la pared del valle por material que cayó de las vertientes más altas, así como materiales erosionados y transportados por el glaciar. Las morrenas mediales se forman cuando dos glaciares y sus morrenas laterales confluyen.

Basado en el análisis detallado de morrenas en todo el Parque Nacional Chirripó, se reconoce tres etapas principales de morrenas (Lachniet y Seltzer 2002). Orvis y Horn (2000) reconocen cuatro etapas de morrenas en el Valle de las Morrenas denominado “Chirripó I – IV”. La etapa más vieja y extensiva pertenece al Avance Talamanca, y alcanzó su límite altitudinal a los 3.040 m en el Valle de las Morrenas, correlativo con la etapa “Chirripó IV” de Orvis y Horn. En el Valle Talari, las grandes morrenas laterales se encuentran del lado SE del valle, miden aproximadamente 25 m de altura y 1 km de longitud, alcanzando la altitud de 3.140 m (**Fig. 4**). En la parte valle abajo, la mayoría de la morrena ha sido removida por erosión, ya que la pared tiene mucho declive. En el lado NW del valle, se observa una colina de la morrena, de poca altura y definición que se extiende unos 600 m en dirección valle abajo. Las morrenas están compuestas de cantos y bloques en una matriz de arena y cieno, están bien desarrolladas en dichos valles, bien como en la talud septentrional de la Fila Urán. El sendero que conduce a la Sabana de los Leones y en sendero principal atraviesan dichas morrenas.

El Avance Chirripó (corelativo con “Chirripó III” de Orvis y Horn) alcanzó una altitud de 3.300 m, y resultó en la formación de una morrena terminal de aproximadamente 20 m de altura, valle abajo de los albergues, en el Valle Talari. En estas morrenas, es posible distinguir varios niveles que corresponden a varios espesores del glaciar durante su disminución (**Fig. 5**). En el fondo del Valle Talari cerca de los albergues, se encuentran las morrenas de Talari (corelativo con “Chirripó II” de Orvis y Horn, 2000), alrededor de 3.330 m, las cuáles pueden representar una etapa recesional del glaciar, o un pequeño avance glacial (Hastenrath 1973; Lachniet y Seltzer 2002). La altura de dichas morrenas es de 5 m, y se extienden por unos 10 metros de distancia, perpendicular al valle. El sendero de los albergues a la "casita" sigue la cima de una de

las morrenas. La etapa “Chirripó I” de Orvis y Horn (2000) alrededor de Lago Morrenas 1 en el Valle de la Morrenas no es reconocido en nuestra investigación, pues otros valles no cuentan con morrenas a la misma altura (Lachniet y Seltzer, 2002). Los sedimentos asociados con los lagos en Valle de las Morrenas están compuestos de arenas y cienos poco consolidados sobre roca de base. También, segundo nuestras observaciones, es más probable que dichos depositos representan microtopografía asociado con till de ablación (ver abajo) y no morrenas.

Además de las morrenas, hay varios otros depósitos glaciares en el Parque. Los fondos planos de los circos (como en el Valle de los Conejos) generalmente contienen depósitos muy compactos de arena, gravas, y cantos depositados bajo el glaciar, denominado *till* subglacial (**Fig. 6**). En el Valle de los Conejos, el lecho del Río Talari cortó a una quebrada en dicho depósito, donde se ve una pared casi vertical. El *till* esta compuesto de una matriz de limos y arenas con cantos de andesita y calizas con fósiles. En algunas sitios el *till* subglacial es sobreyacido por un *till* de ablación, que originó como una bajada de sedimentos originalmente contenidos en el hielo glacial, y en la superficie del glaciar durante el derretimiento del hielo. Dado que el material no es tan duro como el subglacial *till*, este contiene mayor porosidad, y actúa como un acuífero que almacena el agua que abastece los ríos y lagos durante la estación seca. En el Valle de las Morrenas, estos depositos presentan una microtopografía que ha sido interpretado como morrenas (Orvis y Horn, 2000).

En algunos valles del Parque, como los de Talari y Terbi, y especialmente en el Valle Broi, (el valle más septentrional de la Fila Norte), se encuentran depósitos glaciofluviales. En los valles de Talari y Terbi, dichos depósitos están compuestos de arena y cantos estratificados depositados en lechos antiguos de ríos provenientes de los glaciares. Los cantos son generalmente redondeados por acción fluvial. Los depósitos llenan los fondos de los valles y forman planos casi horizontales, hasta unos grados de inclinación. En el Valle Terbi, donde el lecho es muy angosto, los depósitos forman terrazas con altitudes de entre 3.200 m y 3.100 m. La formación de las terrazas se debe a que afloramientos de rocas actúan como tapón para contener los sedimentos. Similarmente, en el Valle Talari, la morrena del avance Chirripó actúa como tapón a contener los sedimentos. Donde los depósitos fluvio-glaciares llenan las depresiones entre

las morrenas laterales y la pared del valle, se llaman terrazas de *kame* (*kame terraces*), como en el valle de las Morrenas entre la grande morrena lateral de Talamanca y la pared del valle.

Además de las formas glaciales, existen varias formas periglaciales en el Chirripó. Procesos periglaciales se han ido ocurriendo desde la época glacial debido al clima frío. El término periglacial se refiere a procesos y formas de modelado a temperaturas frías, a veces en proximidad de glaciares, debido al congelamiento y descongelamiento de agua en materiales como rocas y sedimentos, cuando el agua se congela en las noches, aumenta su volumen, y lo disminuye cuando descongela de día. Esto resulta en la expansión y contracción del material, que puede cambiar su forma a lo largo de cientos a miles de años. El proceso se llama congela-descongela (*freeze-thaw*). La evidencia más común en Chirripó se presenta en las rocas que muestran fracturas de congelación (*frost cracks*) formadas por dicho proceso. Este proceso ha aportado montones de cantos y bloques angulares en las paredes de algunos valles, como Valle Lagos y picos a lo largo de la Fila Urán como el Cerro Nudo (**Fig. 7**), que exhibe rocas fracturadas y acostados horizontales.

En las taludes con poca inclinación, el proceso de congela-descongela ha provocado el movimiento paulatino de sedimentos pendiente abajo, en el proceso de geliflucción, en forma de pequeños abanicos de unos 2 - 5 metros en longitud, llamado abanicos de geliflucción (*gelifluction lobes*). Es preciso decir que hay mucha incertidud y polémica al respecto a las definiciones correctas para procesos y depósitos periglaciales. El proceso general de movimiento de sedimentos saturados con agua en dirección pendiente abajo es *solifluction*. El término geliflucción (*sensu stricto*) es más específico y significa movimiento de sedimentos saturados con agua sobre un nivel congelado (*permafrost*); por este artículo se usa el término geliflucción (*sensu lato*) a significar el movimiento de sedimentos por congela-descongela bien como *frost creep* sin la presencia de una verdadero *permafrost* (sedimentos congelados permanente). Estas formas se encuentran en los valles no glaciados en el último periodo glacial, como la Sabana de los Leones, y la parte inferior del Valle Terbi, donde sobreyacen las terrazas de sedimentos fluvio-glaciales. Los abanicos de geliflucción están compuestas de cienos, arenas, y cantos

angulares, y en algunos casos donde se han movido en dirección pendiente abajo, se exhibe estratificación.

En la parte superior del Valle de los Conejos, el proceso de geliflucción resultó en la modificación de *tills* en el pendiente NO del Pico Suroeste, produciendo terrazas de geliflucción (*gelifluction terraces*). Se presentan en forma de una escalera con escalones de 1 - 3 m de ancho y altura, y hasta unos 10 metros en longitud perpendicular a la pendiente (**Fig. 8**), ya que es una forma distinta de los abanicos de geliflucción descritos anteriormente. Barquero y Ellenberg (1982, 1986) también notaron estas formas, y se atribuyen a procesos solifluidales.

Basado en el trabajo de campo, igual como en el análisis de fotos aéreas, se desarrolló un mapa de los tipos y la distribución de depósitos glaciales y periglaciales mencionado en este artículo (**Fig. 9**).

### ***Otros aspectos geológicos: Los Crestones, la Sabana de los Leones, y posible superficies de nivación***

Una de las formas más interesantes y sobresalientes de Chirripó es la de Los Crestones, que se encuentra en el lado SE del valle Talari. Los Crestones son grandes 'dedos' verticales de andesita con hasta 30 m de altura (**Fig. 10**). En algunas partes, la andesita presenta estructuras de flujo, que atestigüan su origen como un antiguo flujo de lava. Los pilones están separados por grandes fracturas verticales que se formaron por la liberación de estrés cuando las rocas fueron expuestas a la superficie, debido al levantamiento de la Cordillera de Talamanca a lo largo de millones de años. Una leyenda popular cuenta que las brújulas no funcionan cerca de Los Crestones debido a un fuerte campo de energía. Esta leyenda realmente trata con las propiedades físicas de la andesita, que contiene un mineral compuesto de hierro llamada magnetita. De hecho, dicho mineral, como su nombre sugiere, exhibe propiedades magnéticas, y provoca que la aguja de la brújula marque una dirección equivocada. El magnetismo de la andesita no sólo ocurre en Los Crestones, sino también en cualquier lugar en Chirripó con afloramientos grandes de andesita, como en el sendero al pico del Chirripó en el Valle de los Lagos, y en el Valle de las Morrenas.

La Sabana de los Leones (**Fig. 11**) es otro lugar en el parque que sobresale fuertemente. Este valle es bien ancho (1.5 km), liso, y está orientado de norte a sur. Este comienza en el Cerro Lohmann (3.290 m) y extiende hacia el norte por 3 km y termina donde se une con el Valle Terbi inferior. El origen de ese valle es todavía dudosa, pero puede que sea una expresión de una falla tectónica en la misma orientación. También, es posible que la morfología del valle, que es mucho más suave que la mayoría de los valles fluviales, hubiera sido modelada por la acción glacial, pero esto sería antes de los depósitos actuales más altos en el Chirripó. Sin duda, debido a la gran altitud del valle y los fuertes cambios de temperatura diarios, procesos periglaciales han sido activos en el valle. El fondo del valle ha sido llenado por abanicos de geliflucción, compuestos de materiales sueltos y finos, con cantos y bloques más grandes en algunos lugares. Hay algunos afloramientos de rocas, que se desintegraron por la acción congela-descongela. Debido a las pendientes con poca inclinación, y la granulometría fina, el drenaje de los sedimentos es relativamente pobre, y muchas áreas se encuentran saturadas por las aguas. Posiblemente por esta razón la vegetación cespitosa del páramo sea predominante, aunque el papel de los incendios forestales no puede ser olvidado, ya que han destruido gran parte de la vegetación de bosque primario del parque, tiempo atrás.

Es interesante a notar otra característica geológica asociado con los páramos de Costa Rica. Varias superficies en la Cordillera de Talamanca encima de 3.000 m presentan superficies planas de poca inclinación, como los Cerros Urán (3.333 m), Cuerici (3.345 m y 3.394 m), y Vueltas (3.156 m). La presencia de estas pendientes y superficies suaves en una región montañosa con muchos declives muy abruptos y disectados, es sorprendente. Tomando en cuenta la presencia de formas periglaciales en los picos de Costa Rica con elevaciones mayores de 3.100 m, bien como el descenso de temperatura con el ascenso de elevación (*lapse rate*) de  $-5.36^{\circ}\text{C}/\text{km}$ , y un descenso de temperaturas promedio entre  $7 - 9^{\circ}\text{C}$  durante el tardío cuaternario (Orvis y Horn, 2000; Lachniet y Seltzer, 2002), es probable que el límite inferior de la caída de nieve fuera alrededor de 2.500 hasta 3.000 m en el tardío cuaternario. Entonces, es posible que las superficies y pendientes planas y suaves en dichos picos se debió a procesos de nivación o de periglaciales.

### ***Limites de glaciares***

Basado en los límites de las morrenas igual como la altitud mayor de escultura glacial, se ha reconstruido los límites de los glaciares en el Parque Nacional Chirripó durante el último máximo glacial local en **Fig. 12**. Análisis del mapa sugiere que el área total cubierta con glaciares fue de 35 km<sup>2</sup> en el Chirripó, incluyendo masas de hielo permanente en los picos pero arriba de los límites glaciares. El significado paleoclimático de los glaciares en Chirripó ha sido estudiado con mayor detalle en otros estudios (Orvis y Horn 2000; este libro; Lachniet y Seltzer 2002). Pues la elevación de la línea de equilibrio en el último máximo glacial bajó hasta las 3.500 m en el Chirripó (Orvis y Horn, 2000; Lachniet y Seltzer, 2002), y hasta las 3.260 m en el Cerro Kamuk, los picos de la Cordillera de Talamanca encima de dichas elevaciones probablemente soportaban nieve estacional o hielo permanente durante partes del tardío cuaternario. Para ver mapas de la extensión de hielo en los Cerros Kamuk y de la Muerte, ver Lachniet y Seltzer (2002).

### **Conclusion**

Como resultado de los cambios de clima del cuaternario, había glaciares y masas de hielo permanente en los páramos costarricenses. Los glaciares han modelado y producido depósitos superficiales como *tills* subglaciales y de ablación, terrazas de *kame*, morrenas laterales, mediales, y frontales, y fluvio-glaciales. Después del deshielo, los *tarns* han sido llenado con depósitos lacustres. Procesos periglaciales han producido abanicos de soliflucción afuera de la límite glacial y ha modificado depósitos glaciares dentro del límite glacial.

### **Agradecimientos**

Los autores desean agradecer los funcionarios del Parque Nacional Chirripó por su ayuda en realizar este estudio. También, deseamos agradecer varios estudiantes de la Escuela Centroamericana de Geología de la Universidad de Costa Rica por ayudar en el campo. El primer autor también quisiera agradecer el apoyo de la U.S. Information Agency por la beca de Fulbright, y la Geological Society of America para una beca de grant-in-aid. Gracias a la *Geological Society of America* para el permiso para reproducir algunas figuras en forma modificada.

## Referencias

Barquero, J., y L. Ellenberg, 1986. Geomorphologie der alpinen Stufe des Chirripó in Costa Rica. *Eiszeitalter und Gegenwart* 36: 1-9.

Barquero, J., y L. Ellenberg, 1982/1983. Geomorfología del piso alpino del Chirripó en la Cordillera de Talamanca, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central* 17/18, 293-299.

Bergoeing, J.P., 1978. Modelado Glaciar en la Cordillera de Talamanca, Costa Rica. Informe Semestral del Instituto Geográfico Nacional: 33-44. Ministerio de Obras Publicas y Transportes, San José, Costa Rica.

Bergoeing, J.P., 1998, Geomorfología de Costa Rica: San José, Costa Rica, Instituto Geográfico Nacional, 409 p.

Calvo, G. Geología del Macizo del Chirripó, Cordillera de Talamanca, Costa Rica. Tesis de Bachillerato. Universidad de Costa Rica. Escuela Centroamericana de Geología. 37 pp.

Gabb, W.M., 1875, Notes on Costa Rican Geology. *American Journal of Science* 9: 198-204.

Gardner, T.W., W. Back, T.F. Bullard, P.W. Hare, R.H. Kesel, D.R. Lowe, C.M. Menges, S.C. Mora, F.J. Pazzaglia, I.D. Sasowsky, J.W. Troester, y S.G. Wells, 1987. Central America and the Caribbean. Pp. 343-402. En W.L. Graf, ed. *Geomorphic Systems of North America: Centennial Special Volume 2*. Boulder, Colorado, Geological Society of America.

- Gräfe, K., 1998, Exhumation and thermal evolution of the Cordillera de Talamanca (Costa Rica): Constrains from fission track analyses,  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ , and  $^{87}\text{Rb}$ - $^{87}\text{Sr}$  chronology. *Tübinger Geowiss. Arb. A*(39): 113 pp.
- Hastenrath, S., 1973, On the Pleistocene glaciation of the Cordillera de Talamanca, Costa Rica: *Zeitschrift für Gletscherkunde and Glazialgeologie* 9: 105-121.
- Horn, S.P., 1989. Prehistoric fires in the Chirripó highlands of Costa Rica: Sedimentary charcoal evidence. *Revista Biológica Tropical* 37:139-148.
- Horn, S.P., 1993. Postglacial vegetation and fire history in the Chirripó Páramo of Costa Rica. *Quaternary Research* 40: 107-116.
- Kesel, R.H., 1983. Quaternary History of the Río General Valley, Costa Rica. *Research Reports – National Geographic Society* 15: 339-358.
- Lachniet, M.S., y Seltzer, G.O., 2002. Late Quaternary Glaciation of Costa Rica. *Geological Society of America Bulletin* 114: xxx-xxx. (Sabré paginas en breve; MSL)
- Orvis, K.H., y Horn, S.P., 2000. Quaternary glaciers and climate on Cerro Chirripó, Costa Rica. *Quaternary Research* 54: 24-37.
- Orvis, K.H., y Horn, S.P., este libro.
- Shimizu, C., 1992. Glacial landforms around Cerro Chirripó in Cordillera de Talamanka, Costa Rica. *Journal of Geography (Japón)* 101: 615-621. (En Japonés).
- van Uffelen, J.G., 1991. A geological/geomorphological and soil transect study of the Chirripó Massif and Adjacent areas, Cordillera de Talamanca, Costa Rica. Centro Agronomico tropical de investigacion y enseñanza Agricultural University Wageningen,

Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica, Universidad Nacional Heredia. Pp. 51.

Weyl, R., 1956, Eiszeitliche Gletscherspuren in Costa Rica (Mittelamerika). Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie 3: 317-325.

Weyl, R., 1961, Die Geologie Mittelamerikas. Borntraeger, Berlin. 226p.

Weyl, R., 1969, Magmatische Förderphasen und Gesinschemismus in Costa Rica (Mittelamerika). N. J. Geol. Paläont. Mh: p. 42-46.

### **Leyenda de figuras**

Figura 1. Mapa de Costa Rica con localidades del texto. 1 - Cerro de la Muerte; 2 - Parque Nacional Chirripó, 3 - Cerro Kamuk.

Figura 2. *Roche moutonnée* en el Valle Talari. Mochila encima de la roca para escala.

Figura 3. *Tarns* en el Valle Morrenas. Foto tomado desde el Cerro Laguna. Ancho de vista aproximadamente 750 m.

Figura 4. Vista del Valle Talari hacia el sureste, con la morrena Talamanca rayado en línea punteada grueso blanco, y la morrena lateral/terminal Chirripó en línea punteada delgada. Los albergues en lado derecho para escala.

Figura 5. Vista del Valle Talari hacia el suroeste. Los restos de la morrena Talamanca en línea punteada grueso blanco, morrenas Chirripó en líneas punteada delgada que representa various espesores del hielo y las pequeñas morrenas Talari en blanco líneas solido. El planicie de depósitos fluvioglaciales trazado en negro. Los albergues en lado derecho para escala.

Figura 6. *Till* subglacial, expuesta en una quebrada en el Valle de los Conejos. El sedimento es bien duro y fue depositado por abajo del glaciar en el circo que alimentó el paleoglaciario del Talari. Cinta para escala.

Figura 7. Cerro Nudo. Se presentan cantos y bloques angulares fracturados por acción del proceso periglacial de *freeze-thaw* (congela-descongela) y son acostados horizontalmente. Son aproximadamente 20 m desde el punto de fotografía hacia el pico.

Figura 8. Dibujo de las terrazas de geliflucción formado en la cobertura de *till* de ablación en el pendiente NO del Pico Suroeste.

Figura 9. Mapa de la geología glacial y superficial en el Parque Nacional Chirripó.

Figura 10. Los Crestones. La foto fue tomada desde el Valle de los Crestones. El afloramiento de los “dedos” de roca tiene aproximadamente 30 m de altura.

Figura 11. Sabana de los Leones; es una cuenca de posible origen tectónica o glacial. El valle presenta depósitos periglaciales en la forma de abanicos de soliflucción y rocas desintegrados por acción congela-descongela. Terrazas fluviales rayados en blanco. La anchura del valle es aproximadamente 1 km.

Figure 12. Límites de los paleoglaciares en el Parque Nacional Chirripó, basado en la distribución de depósitos glaciales igual como límites superiores de abrasión glacial.