

# La avalancha de rocas del cerro Los Cardos (37°10'S, 70°53'O) en la región norte de la provincia del Neuquén

Emilio F. GONZÁLEZ DÍAZ<sup>1</sup> Andrés FOLGUERA<sup>1</sup> y Reginald HERMANN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Ciudad Universitaria, Pabellón II, Buenos Aires (1428). E-mail: efgondiaz@gl.fcen.uba.ar, folguera@gl.fcen.uba.ar

<sup>2</sup>Geological Survey of Canada, 101-605 Robson Street, Vancouver, B.C. Canada V6B 5J3. E-mail: Reginald.hermanns@nrcan.gc.ca

**RESUMEN.** Se describe una nueva e importante avalancha de rocas, no reconocida hasta ahora, localizada a unos 25 km al oeste de la población de Andacollo. Muestra dos cicatrices o muescas de desprendimiento, de las cuales la austral es interpretada como la muesca principal de su desprendimiento y se halla al pie del borde occidental de una planicie estructural lávica, sobre cuyo extremo norte se ubica el cerro Los Cardos. Es un complejo movimiento, con numerosas escarpas de arranque internas en la masa movilizada, consideradas secundarias, las que al igual que la principal, tienen una general orientación noroeste-sureste. Su mecánica aparenta haberse iniciado como un movimiento translacional (planar) a favor de la disposición casi vertical, con fuerte buzamiento hacia el oeste de las capas de la Formación Lileo. Sin embargo, la disposición espacial (cóncavas) que adoptan las distintas muescas de arranque (tanto principales como secundarias), permite sugerir un desarrollo y continuación del movimiento como afín a un deslizamiento rotacional. A partir del desprendimiento austral el movimiento general se orientó hacia el sur, hacia el valle del arroyo Lileo, presumiblemente en sucesivos pulsos, identificables por escarpas de arranque internas. En el correspondiente al septentrional el desplazamiento se dirigió hacia el oeste hacia el valle del arroyo Palao. Con posterioridad el movimiento parece estar controlado por la pendiente de dicho valle hacia la afluencia al arroyo Lileo. La porción distal de sus acumulaciones alcanzó a trepar (*run-up*), el lateral opuesto del valle del arroyo Palao. La laguna de los Rojos se halla en una depresión supuestamente generada por el deslizamiento y fracturamiento de un bloque rocoso desprendido de la planicie estructural lávica de Los Cardos. Diversos factores intrínsecos, establecieron previamente al fenómeno condiciones favorables para el desprendimiento. Se propone como promotor de la avalancha de rocas a un sismo, teniendo en cuenta el marcado desnivel de la zona de desprendimiento, el enorme volumen movilizado, las características sismotectónicas de la región y el condicionamiento estructural local por fallas que registran actividad neotectónica. Otros deslizamientos, algunos de envergadura similar al de una avalancha de rocas, han sido interpretados e incluidos en el mapa regional adjunto. Se sugieren ciertas modificaciones a la estratigrafía regional de unidades volcánicas, fundamentadas en argumentos geomorfológicos. A nivel regional, se identifican geofomas cuyo origen se relaciona con otros procesos geomórficos.

**Palabras claves:** *Avalancha de rocas, Cordillera Neuquina Septentrional, Cerro Los Cardos, Movimientos sísmicos, Riesgos geológicos.*

**ABSTRACT.** *The rock avalanche of Cerro Los Cardos (37° 10'S, 70° 53' W) in the northern region of the province of Neuquén. A new and important rock avalanche not previously recognized is described, which is located 25 km west of Andacollo town. It shows two scars (northern and southern ones) where the southernmost one is interpreted as the most important, developed in the western flank of a reduced basaltic plain, where at its northern part of Cerro Los Cardos is located. The movement is complex showing several breakaway zones developed into the landslide deposit, considered as secondary scars, all of them, main and secondary ones, have a NW trending. The movement mechanics seems to have started as a planar landslide considering the local almost vertical bedding of the Lileo Formation. However, the concave nature of the breakaway zones allows to infer a rotational movement after the initial stage of sliding. The movement corresponding to the southern breakaway zone was projected as a flux to the south of the Lileo valley, presumably in successive pulses as indicated by the multiple secondary scars. The movement corresponding to the northern break away zone moved to the west and afterwards seems to be controlled by the slope of the valley, moving through to the Palao valley. The western slope of the Palao valley was covered by avalanche deposits corresponding to a run-up. Los Rojos lake is located in a depression presumably generated by the landslide and consequent fracturing of a rock block detached from a Los Cardos's lavic structural plain. Several factors, particularly the structure, favoured the development of the landslide. We propose a seismic trigger for the Los Cardos's avalanche, having into account the regional seismotectonic characteristics (neotectonic front) and the local structure (lineaments, faults). Other landslides, some of them with volume similar to an avalanche deposit, have been included in a regional map. Moreover, modifications to the regional stratigraphy, particularly referred to the volcanic units, are proposed based on morphological criteria. Other geofoms related to other geomorphological processes, fluvial, volcanic and glacial are identified.*

**Key words:** *Rock-avalanches, Northern Neuquén Cordillera, Cerro Los Cardos, Seismic movements, Geological hazards.*

## Introducción

Desde hace años se lleva a cabo y en forma sistemática, un progresivo análisis del territorio neuquino, cuyo objetivo

principal es la individualización de grandes movimientos gravitacionales de avalanchas de rocas y otros tipos de deslizamientos y descartar la reiterada consideración de sus acumulaciones como propias de la aggradación glaciaria (*till*).

Los consecuentes exámenes hasta ahora realizados, sugieren la posibilidad de considerar a la provincia del Neuquén, como la región del país que contiene el mayor número de este tipo de procesos de remoción en masa que hayan ocurrido en tiempos prehistóricos, con una incuestionable edad postglaciaria. Con la adjudicación de la inducción de estos fenómenos a terremotos, los mencionados estudios constituyen un interesante aporte para futuros análisis de la paleosismología regional y las condiciones sismotectónicas asociadas.

En anteriores trabajos (González Díaz 1998a, b; 2003, 2005, González Díaz *et al.* 2000, 2001, 2003, Hermanns *et al.* 2003), se han distinguido en diferentes zonas del territorio neuquino y más particularmente en su región al norte del paralelo 38°S, numerosos e importantes deslizamientos y se ha propuesto una definición genética acerca del disparador del fenómeno y origen de sus extensas acumulaciones.

El análisis geomorfológico por medio de fotogramas e imágenes satelitales, de un sector del desmantelado aparato volcánico del cerro Centinela, situado al sur de la localidad de Andacollo, permitió individualizar al sur de la caldera del mismo y sobre el borde oeste de una planicie estructural que tiene al cerro Los Cardos como máxima elevación (Fig. 2a, b) una nueva avalancha de rocas, la que en informes previos no se constata su reconocimiento (Rueda 1961, Sarris 1964, Rovere *et al.* 2000, Leanza *et al.* 2002).

El objetivo principal es el reconocimiento y la descripción de un gran movimiento, distinguido como “Avalancha de rocas del cerro Los Cardos”, en consideración a su situación geográfica. Su análisis geomorfológico adolece de ciertas limitaciones por carecer de un específico control de campo. Sin embargo, valiosos datos de ese carácter aportados por uno de los autores (AF), han facilitado un mejor entendimiento del proceso, como aquel de la interpretación de un *run-up* en el lateral oeste del valle del arroyo Palao.

El examen geomórfico regional, ha permitido sugerir una interesante modificación para un tramo de la secuencia estratigráfica volcánica, al diferenciar dos unidades en el ámbito de aquella única formación, que establecida por Rovere *et al.* (2000), fuera definida como Formación Centinela.

### Ubicación del área de estudio

La zona del cerro Los Cardos (Fig. 1), se halla situada a unos 25 km directamente al oeste de Andacollo, la principal localidad más próxima. A ella se accede desde Neuquén recorriendo la ruta nacional 22 hasta Zapala. A partir de esta última, la ruta nacional 40 permite alcanzar Chos Malal, el otro importante centro poblacional de la región norte de la provincia. Un trayecto de 55 km por la ruta provincial 43, facilita el arribo a Andacollo.

Desde este lugar, por un tramo enripiado de 20 km por la ruta provincial 38 se llega al sitio conocido como Los Miches. Mediante un recorrido similar por la margen izquierda del arroyo Lileo, se alcanza la cercanía del paraje donde el arroyo Palao desemboca en el Lileo. Esta vía de comunicación se extiende más hacia el oeste, alcanzando el límite argentino-chileno por el paso de Buta Mallín.

### Metodología

El análisis geomorfológico y la identificación de esta avalancha de rocas, se fundamentaron esencialmente en el examen de fotogramas a escala aproximada 1:60.000 del IGM y de la imagen satelital Landsat 232-086, facilitada por SEGEMAR. De ella se reprodujo una subescena a escala 1:100.000, la que permitió una mejor y más precisa evaluación y determinación de las geofformas individualizadas.

A partir de esta entidad básica morfológica, se realizó la correspondiente carta geomorfológica regional que se expone en la figura 2.

Otros movimientos gravitacionales de menor porte que el mencionado en el epígrafe, también definidos como avalanchas de rocas por su magnitud, si bien carecen de descripciones detalladas, son incluidos en el mapa de la región analizada (Fig. 2a, b), al igual que otras principales geofformas derivadas de distintos procesos geomórficos.

### Marco geológico del área de la avalancha

De acuerdo con uno de los últimos relevamientos geológicos regionales del área de estudio realizados (Rovere *et al.* 2000), el sector perturbado por la avalancha de rocas, se halla esencialmente integrado por dos formaciones continentales: la Formación Lileo (Oligoceno superior-Mioceno inferior?) y la Formación Arroyo Palao (Mioceno inferior a medio), las que han sido definidas “debido a la compleja sucesión estratigráfica presente en el área de Los Miches”. Éstas aparecen fuertemente plegadas y fracturadas, y abarcarían un tramo del Terciario (Rovere *et al.* 2000), con imprecisos límites temporales que cubrirían el lapso Eoceno superior-Mioceno medio. Otras unidades, de carácter intrusivo y efusivo, también adjudicadas al Terciario, como las Formaciones Dacita Cerro Moncol, Grupo Molle y Centinela, componen un halo marginal de depósitos volcánicos al fenómeno gravitacional.

Las unidades más afectadas por este gran movimiento, las Formaciones Lileo y Arroyo Palao, fueron recientemente diferenciadas por Rovere *et al.* (2000). La edad de la primera es adjudicada al Oligoceno tardío-Mioceno temprano por Leanza *et al.* (2002), con posibilidades de alcanzar el Eoceno medio ante la presencia de *Nothofagidites*. Estos últimos autores plantean sus dudas acerca de si ambas entidades deben ser reunidas en una única formación “afectada por discontinuidades tectónicas” o si “se trata de conjuntos formacionales independientes”, como lo han propuesto Rovere *et al.* (2000). En su mapa de distribución de las citadas unidades (véase su Fig. 1), se observa una total coincidencia con aquella de la Carta Geológica Andacollo de Rovere *et al.* (2000).

Los primeros datos temporales sobre estos afloramientos del tramo medio del arroyo Lileo corresponden a Groeber (1921), quien los consideró de edad mesozoica (Kimmeridgiano-Neocomiano), un criterio que fue ulteriormente sostenido en parte por Zanettini *et al.* (1987) para el área entre los arroyos Lileo, Guañaco y Reñileuvú y al este del meridiano del cerro Centinela. Estos autores definen la Formación Arroyo Palao, en la que engloban las informales unidades

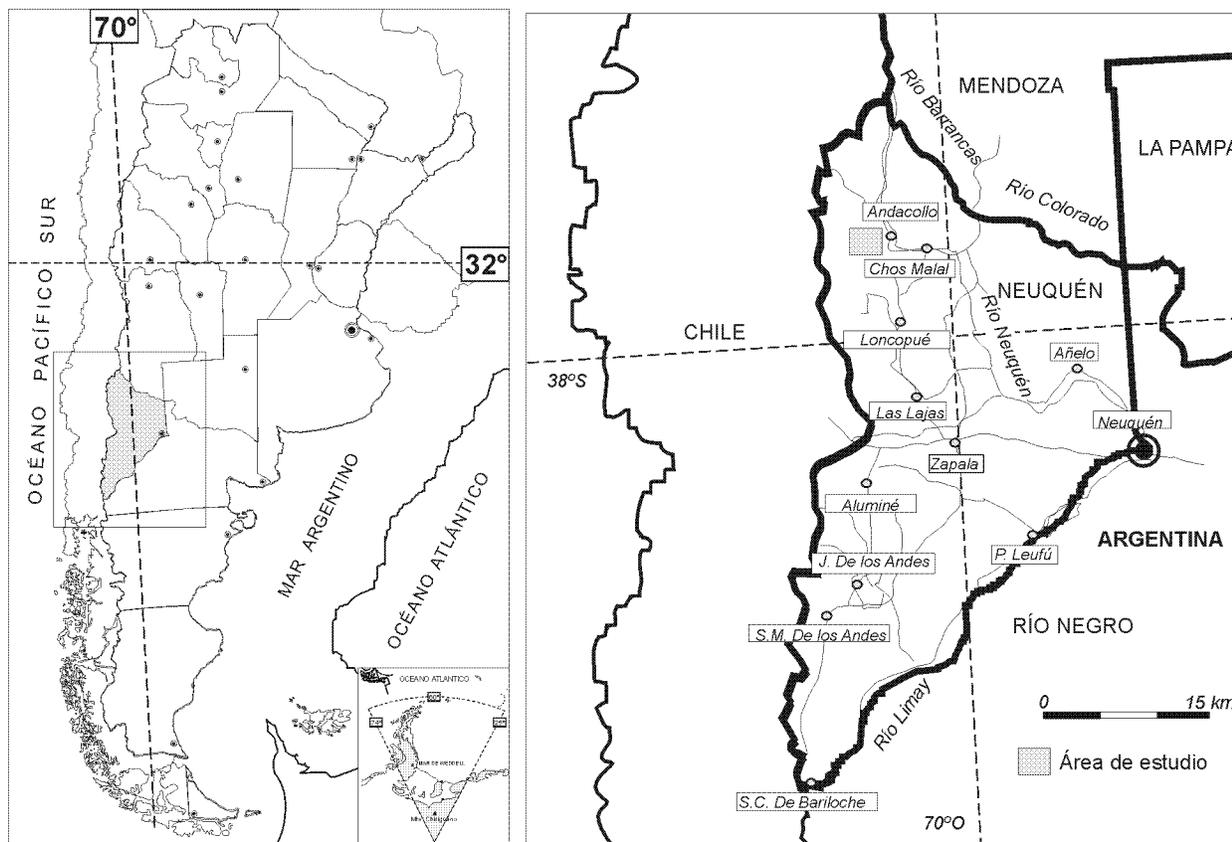


Figura 1: Ubicación del área de estudio.

que previamente propusieran Gutiérrez Pleimling y Minitti (1985), bajo la denominación de “Estratos del Arroyo Tábanos” y “Estratos del Arroyo Carbón”. Compartiendo el criterio de Uliana (1978), le asignan una edad miocena inferior, hasta oligocena superior, lo que no descarta su relación temporal con la Formación Curumallín del territorio chileno (Niemeyer y Muñoz 1983).

Previamente Sarris (1964), en un informe inédito de YCF, ya había dado a conocer la existencia de sedimentitas terciarias compuesta por arcillas, areniscas, areniscas tobáceas y conglomerados, en los valles de los arroyos del Carbón, de los Tábanos, Cajón Nuevo y en el mismo arroyo Palao. Las adjudicó al Oligoceno, haciéndolas equivalentes a las “Capas con Nothofagus” que sobreyacen a la Serie Andesítica en la región de San Carlos de Bariloche.

En su informe inédito Gutiérrez Pleimling y Minitti (1985), definen de acuerdo a perfiles, dos unidades informales a las que distinguen como “Estratos del Arroyo Tábanos” y “Estratos del Arroyo Carbón”. El área que analizaran -de acuerdo al plano de ubicación- concuerda con aquellos afloramientos que Rovere *et al.* (2000) asignaron a la Formación Lileo, en el faldeo sur del tramo superior de su valle. Gutiérrez Pleimling y Minitti (1985), les adjudican una “edad tentativa” entre el Oligoceno superior y el Mioceno inferior (véase su figura 2), una determinación temporal que es el corolario de un exhaustivo examen paleopalínológico, realizado por la Dra. Ana M. Moroni, cuyos resultados se hallan adjuntos al citado informe.

Desde el punto de vista temporal, esta asignación es prácticamente coincidente con una posterior propuesta de Leanza *et al.* (2002). Que la distinguen como una nueva unidad la Formación Lileo. Presentan diversos análisis de paleopalínomorfos, cuyas formas provienen de perfiles levantados en el curso inferior del arroyo Lileo y en las vecindades de la afluencia del arroyo Guañaco al río Nahueve.

Vale aclarar que en el citado examen micropaleontológico de los perfiles de Gutiérrez Pleimling y Minitti (1985), se describieron géneros y especies de paleopalínomorfos similares a los determinados por Leanza *et al.* (2002). Entre ellos se encuentran *Lycopodiumsporites austroclavadites*, *Laevigatosporites ovatus*, *Araucariacites australis*, *Deltoidospora* sp, varias especies de *Podocarpidites* sp, *Azolla* sp, *Nothofagidites* sp, etc. Por ello la edad tentativa previamente propuesta por Gutiérrez Pleimling y Minitti (1985), constituye un importante antecedente para el cuadro estratigráfico local y la definición de la Formación Lileo.

Según Rovere *et al.* (2000), esta última formación está compuesta por lutitas, calizas a veces oolíticas, calcilitas, areniscas calcáreas, que se intercalan con mantos de aglomerados, tobas y andesitas. Remata con areniscas tobáceas que se interestratifican con conglomerados, a los que siguen calcilitas y calciarenitas. Su ambiente corresponde al de cuerpos lacustres, en los que se acumularon sedimentos clásticos y químicos, durante una coetánea actividad volcánica.

También señalan su presencia en el curso inferior del arroyo Guañaco, donde se interdigitan con mantos andesíticos de los niveles superiores del Grupo Molle, el que es adjudicado a un incierto lapso Paleoceno superior-Eoceno medio. La cubren elementos eruptivos de la Formación Centinela. Estructuralmente, los estratos de la Formación Lileo se hallan plegados y fuertemente fracturados. Rovere *et al.* (2000) proponen una relación discordante entre las Formaciones Lileo y Arroyo Palao.

Al igual que en la Formación Lileo, en la más occidental Formación Palao predominan las arcilitas, arcilitas arenosas, carbonáticas, calizas y limolitas, también propias de un ambiente lacustre, aunque con evidencias de albergar un ámbito “fluvial subordinado” e intercalaciones menores de tobas andesíticas y tufitas, que se incrementan hacia el oeste (Rovere *et al.* 2000). Aparentemente sería equivalente a la parte superior de la Formación Curmallin, en el territorio chileno.

Establecen su intrusión por la Dacita Cerro Moncol compuesta por intrusivos andesíticos, dacíticos y hasta traquíticos del Mioceno medio a superior en las cabeceras del arroyo Palao (cerro de las Piedras).

La Formación Centinela se integra principalmente por lavas andesíticas y basaltos, con intercalaciones de tobas acumulados en cuerpos ácuos, cenizas y lahares. Su edad es asignada al límite Terciario-Cuaternario.

Para Zanettini *et al.* (1987), las rocas volcánicas de la Formación Centinela, pertenecerían al Miembro Efusivo del “Palaoco” y el cerro de las Piedras correspondería a su miembro plutónico. Aquellas que constituyen las “mesetas” orientales las asignan al “Chapua”. Un sector al norte del cerro Huaraco correspondería al “basalto Coyocho” de Groeber (1946).

Rovere *et al.* (2000) integraron la Formación Centinela no sólo con el área de las extensas mesetas orientales que se extienden entre el río Nahueve al norte y los arroyos Lileo, Guañaco y Reñileuvú al sur, sino que también le incorporan los flancos este y norte del volcán Centinela, compuestos por alargadas coladas dispuestas periclinalmente.

El análisis geomorfológico de los autores no avala esa proposición. En el área de una de esas mesetas situada al norte del arroyo Lileo, que incluye los parajes conocidos como Los Miches, Tierras Blancas y Chapala, es posible interpretar claramente, como las emisiones lávicas periclinales del cerro Centinela alcanzan a cubrir distalmente tramos de ese sector de mesetas.

El notable y abrupto cambio de pendiente entre ambos relieves, permite diferenciar dos paisajes distintos, contrastantes, desde el punto de vista geomorfológico. El carácter de la disposición periclinal de sus lavas es continuo, circundando toda la caldera excepto en el sur y suroeste, debido a su degradación ulterior. Además el grado de erosión fluvial en los flancos externos de la depresión caldérica, es mucho menos acentuada que en el ambiente mesetiforme situado a un nivel inferior.

Los autores consideran conveniente una revisión de la extensión adjudicada a la Formación Centinela por Rovere *et al.* (2000), sugiriendo diferenciar temporalmente al menos, el ambiente efusivo del volcán cerro Centinela, de aquel mesetiforme que se extiende al sur de los arroyos Trohunco y Lileo.

Hay reducidas exposiciones del citado sector mesetiforme aisladamente localizadas sobre la margen norte del arroyo Trohunco y que separadas por proyecciones de las coladas del cerro Centinela, alcanzan rasgos afines a ventanas lávicas (*step-toes*).

Dicho sector también aparece cubierto parcialmente por las emisiones de un pequeño cuerpo volcánico (cerro Quila Mahuida), el que forma parte del conjunto de pequeños volcanes que se distribuye regional y externamente en las partes más distales del volcán cerro Centinela.

En el flanco noroeste de la caldera y en una situación topográfica inferior, se halla un aparato volcánico bajo cuyo cráter alberga la laguna de las Gallaretas. La laguna de los Rojos, guarda una situación superior y próxima a la principal escarpa del desprendimiento.

En general, los estudios previos en la región han confundido las acumulaciones de los movimientos gravitacionales, como propios de depósitos de *till* o glaciafluviales (Groeber 1921, 1925; Rovere *et al.* 2000).

Sólo en el mapa regional de Zanettini *et al.* (1987), se observa una certera identificación como depósitos de remoción en masa. También cartean aunque no describen, aquellos de la zona de la laguna La Tregua, situada frente a la desembocadura del arroyo Palao al Lileo y el correspondiente a un pequeño sector al suroeste del cerro Centinela, el que aproximadamente corresponde a un reducido tramo proximal de la avalancha de rocas aquí descripta. En otras ocasiones -como la avalancha de Los Miches o aquella más lejana de Moncol- sus acumulaciones son definidas como depósitos glaciares.

Estructuralmente las mayores deformaciones tectónicas se observarían en el Neógeno continental en las Formaciones Lileo y Arroyo Palao.

Tres importantes lineamientos se distinguen en el área vecina a la avalancha analizada. Uno de ellos se desarrolla a lo largo del flanco este del Cordón de los Tejos, al oeste del valle del arroyo Palao (Folguera *et al.* 2004). Otros dos son aquí propuestos como Lineamiento del Cerro Los Cardos y de las Quemazones (Fig. 2a, b). Ambos han sido interpretados como corrimientos por Rovere *et al.* (2000). Del primero, su extensión abarca desde el muy austral valle del arroyo Ñireco, hasta el valle de Buraleo al norte, atravesando en el área de estudio la zona del cerro homónimo. El Lineamiento de las Quemazones se extiende al este de la planicie estructural de Los Cardos.

### Marco tectónico regional del segmento comprendido entre los 37° y los 37°30'S

La región de estudio se ubica en la vertiente oriental de la cordillera, en cercanías al frente topográfico de la cordillera neuquina. Hacia el este margina a la faja plegada y corrida del Agrio (Cretácico Superior a Mioceno Superior, Ramos 1977, Zapata y Folguera 2005), generada a partir de la inversión tectónica de estructuras extensionales desarrolladas en el Jurásico inferior y deformación epidérmica subordinada.

La cordillera se levanta posteriormente entre el Mioceno superior y el Cuaternario. El primer pulso de deformación (Mioceno superior) afectó a la totalidad de esta cordillera desde su vertiente chilena hasta el límite con la faja plegada y

corrida del Agrío. Al contrario, la actividad plio-cuaternaria contraccional se circunscribe al sector más oriental de la cordillera (Folguera *et al.* 2003, 2004).

### **Marco tectónico: actividad pliocena superior a cuaternaria (neotectónica)**

Un abanico de fallas inversas de alto ángulo con una orientación general N a NNO con vergencia al este, se desarrolla en la banda meridional de 70°50' a 71°00'O. Las fallas de Los Tejos, Los Cardos y Los Quemazones afectan a sedimentos cuaternarios, en parte holocenos, deformándolos en cercanías a los cabalgamientos y montándolos localmente (Folguera *et al.* 2004). Los tres sistemas de fallas principales en términos de los rechazos cuaternarios asociados, son de O a E: el sistema de fallas que levanta al cerro Los Tejos por su cara oriental y los dos sistemas que marginan la planicie del cerro Los Cardos por el oeste y este, respectivamente.

En el primer caso, la falla más occidental del sistema muestra el cabalgamiento de volcánicas correspondientes a la Formación Trapa-Trapa (Rovere *et al.* 2000) del Mioceno superior por sobre los materiales de la avalancha del cerro Los Cardos. Una falla ubicada dos kilómetros al este de la primera afecta superficialmente a los materiales de la avalancha provocando su plegamiento en forma de anticlinal en el labio cabalgante. Una tercera falla más oriental repite la relación observada en la falla situada más al poniente.

El segundo sistema de fallas coincide posicionalmente con la muesca del desprendimiento austral de la avalancha. La proyección del tercer sistema de fallas se proyecta hacia la escarpa oriental de la planicie estructural de Los Cardos.

### **Otros procesos geomórficos que modelaron el paisaje regional**

La avalancha de rocas del cerro Los Cardos se inserta en un paisaje que ha sido modelado por varios procesos geomorfológicos, tanto exógenos como endógenos (fluvial, glaciario, volcanismo, tectónica), lo que permite definir al mismo como *compuesto*.

Resaltan en el mismo las geoformas derivadas del englazamiento supuestamente pleistoceno y aquellas propias de la actividad volcánica, a pesar de la posterior degradación observada en alguna de ellas.

Los procesos exógenos están representados por la morfogenia glaciaria, fluvial y de la remoción en masa. La primera muestra las típicas artesas y circos de una clásica glaciación alpina (o de valle). Como se mencionara, estas últimas geoformas muestran una preferente localización en los laterales sur de los cordones y en menor proporción en los occidentales. Se acepta que ello se vincularía con mayores aportes y mantenimiento de la nieve a favor de un menor grado de insolación en esas laderas. Algunos de estos hemisiclos corresponderían a circos de nivación. El fenómeno de geliflucción (*permafrost*) se distingue en ciertos sectores.

Las formas agradacionales glaciarias han sido objeto de fuerte erosión. Sin embargo, en el interior de la desmantelada

caldera del cerro Centinela y vecindades de los cerros Pan de Azúcar y Los Cardos, se pueden distinguir claramente morenas marginales. Internamente en el volcán Ñanco, se encuentran un reducido sistema morénico, compuesto por dos arcos, con sus terraplenes muy bien conservados.

Unas amplias depresiones en forma de anfiteatros, que se extienden prácticamente alineadas entre el cerro Huaraco al este y la laguna de las Gallaretas al oeste, son interpretadas como correspondientes a cráteres de antiguos volcanes, asociados al volcán del cerro Centinela. Albergan circos glaciarios con cuerpos de agua y más ocasionalmente en sus cortas artesas, se distinguen morenas marginales (cerro Huaraco). Sobre el flanco externo norte de una depresión situada entre el cerro Huaraco y la laguna de las Gallaretas, se individualizó una pequeña artesa, sobre cuyo lateral occidental se observa un remanente de morena lateral.

La caldera del volcán Centinela es perfectamente discernible en la imagen satelital en sus contornos este, norte y sur. Una posterior degradación, principalmente glaciaria, eliminó su margen oeste. En planta remeda una elipse, con su eje mayor no inferior a los 7 km dispuesto este-oeste, en tanto que el norte-sur tiene unos 4,5 kilómetros. Su contorno alcanza una longitud estimada en 18 kilómetros. En el interior de la desmantelada caldera, la morfogenia glaciaria se expresa principalmente por medio de artesas y circos.

Dos aparatos volcánicos antiguos, uno de ellos el cerro Huaraco, se disponen sobre su borde norte. Exteriormente a la caldera, en la boca del valle del arroyo Huaraco, se halla un tramo de una morena marginal, que se ha conservado sobre su margen norte a lo largo de unos 2,5 kilómetros. También se reconoce un reducido terraplén de morena frontal, el que tiene un pequeño equivalente sobre el lateral sur de dicho valle. Se deja abierta la posibilidad de reconocer un abanico glacialfluvial (*out-wash fan*) a continuación de la antedicha morena.

La presencia de extensos terraplenes morénicos con kilómetros de largo y alturas que sobrepasan los 80 m o sus remanentes sobre el faldeo norte de artesas orientadas este-oeste, aparenta ser un hecho corriente en estas latitudes. Tal es el caso de las excepcionalmente extensas morenas marginales individualizadas en los valles glaciarios que albergan las lagunas de Trobunco y Mallín Lauquen, situados al sur del valle del arroyo Lileo. Sus correspondientes contrapartes australes no han sido identificadas durante la fotointerpretación. Las causales de ello no son analizadas. Muy ocasionalmente se observaron umbrales morénicos en circos glaciarios.

La extensa carta geomórfica regional adjunta (Fig. 2a, b), muestra en su límite norte, un sistema de arcos morénicos (3) bien conservados, a lo largo de un tramo del valle inferior de río Buraleo. Las relacionadas planicies glacialfluviales profundamente disectadas, están representadas por remanentes de niveles de terrazas superiores, que se extienden aguas abajo por los valles del arroyo Buraleo y el río Nahueve.

Un ciclo fluvial instalado con posterioridad al englazamiento no ha introducido mayores modificaciones en el precedente y dominante paisaje glaciario-volcánico.

El proceso de la remoción en masa, representado por distintos tipos de deslizamientos, es también asignado a imprecisos tiempos postglaciarios. Compone con el fluvial, la mayoría de las geoformas más modernas observadas en el paisaje de la

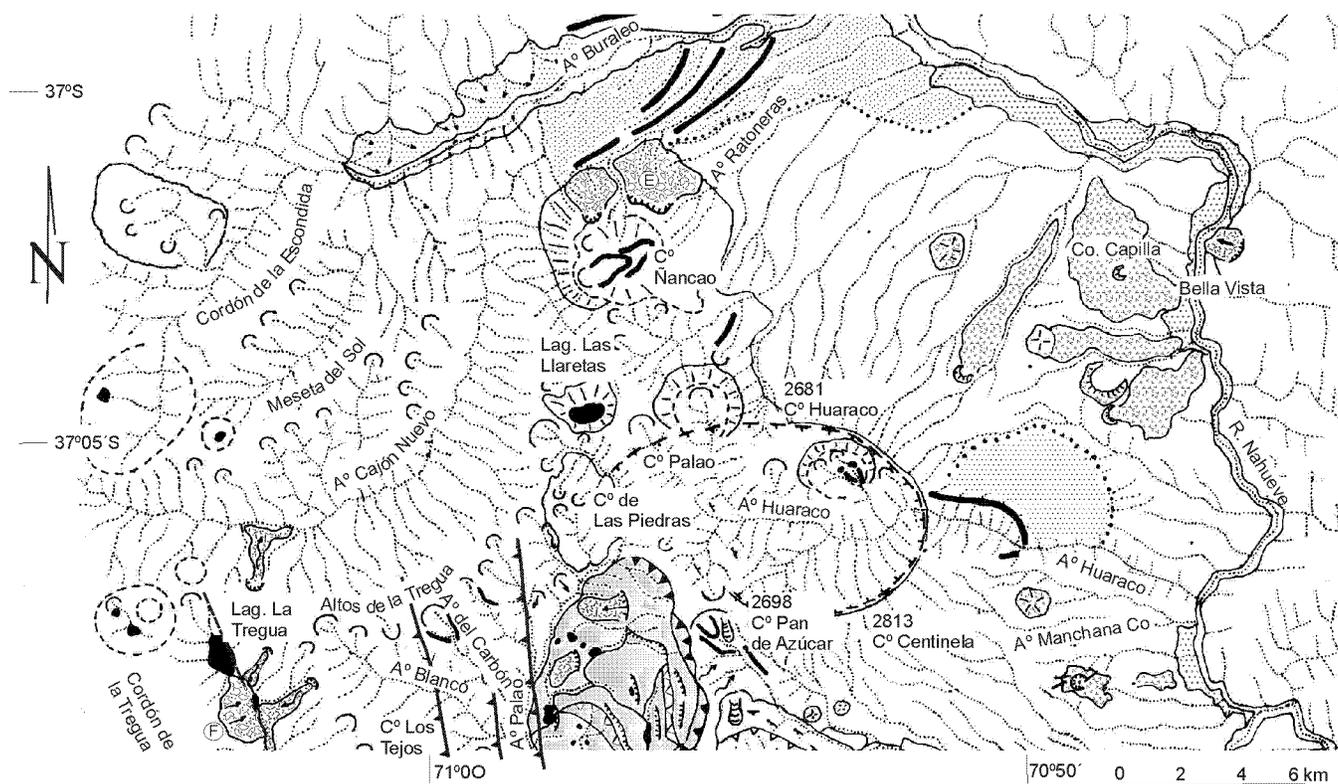


Figura 2a: Carta geomorfológica de la región analizada (sector norte).

región. Es corriente hallar deslizamientos del tipo rotacional en los bordes de sus extensas planicies estructurales lávicas o en las empinadas laderas de los valles glaciarios, muchos de los cuales por la magnitud del material movilizado son definidos como avalanchas de rocas.

Grandes lagunas del territorio norteño neuquino, deben su origen al bloqueo de sus valles, por acumulaciones de estos movimientos gravitacionales.

En general los valles fluviales muestran un carácter de subsucuentes y de rumbo (longitudinales), debido a la influencia que ejercieron en su localización determinados elementos estructurales (fallas, fracturas, disposición de los estratos). Se destacan en tal sentido el conjunto de valles orientados oeste-este del Lileo, Guañaco, Trohunco, etc. y aquellos de rumbo general al norte y noroeste como el Palao, Nahueve, La Tregua, etc.

El volcanismo neógeno y cuaternario impone sus característicos rasgos por medio de sus volcanes, cráteres, calderas y flujos lávicos. El cerro Centinela, su derruida caldera y los cuerpos y cráteres de antiguos volcanes terciarios con fuertes evidencias degradacionales, se suman a los aparatos y efusiones mas modernos orientales, para generar un áspero paisaje.

Extensas planicies estructurales lávicas, las mesetas de otros autores (geoformas volcánicas aquí conceptuadas como no primarias), constituyen rasgos sobresalientes en la región oriental del área estudiada.

Otras formas vinculadas con un proceso endógeno, son las diversas escarpas de falla que se han reconocido en la región, en ciertos tramos de las mesetas del Manzano, Pampa de Pillán

Cura, cuyo regular relieve previo aparece hoy alterado por varios resaltos morfológicos, adjudicables a movimientos tectónicos modernos.

## La avalancha de rocas del cerro Los Cardos

### a) Generalidades

Las acumulaciones de la avalancha de rocas del cerro Los Cardos cubren aproximadamente una superficie del orden de los 48 km<sup>2</sup> (Figs. 2 y 3). Su consideración como avalancha de rocas se vincula en la práctica con la evaluación de la magnitud del volumen movilizado (Coates 1977, Keefer 1984), las características morfométricas del material componente, etc. Si bien sus espesores no han sido estimados, su extensión territorial exime de toda duda su definición como tal, dado que adjudicándoles simplemente 1 metro, el volumen del depósito supera largamente el 0,5 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> (Keefer 1984).

De acuerdo a la distribución de las formaciones locales que exhibe el mapa geológico de Rovere *et al.* (2000), este movimiento afectó fundamentalmente un extenso sector de las Formaciones Lileo y Arroyo Palao. Probablemente las dificultades halladas por estos autores para establecer las relaciones entre ambas, sea una consecuencia de la ocurrencia del deslizamiento y el consiguiente enmascaramiento de las mismas por sus acumulaciones.

Se distinguieron dos escarpas de desprendimiento principales, la austral y la septentrional. Se admite se hallan relacio-

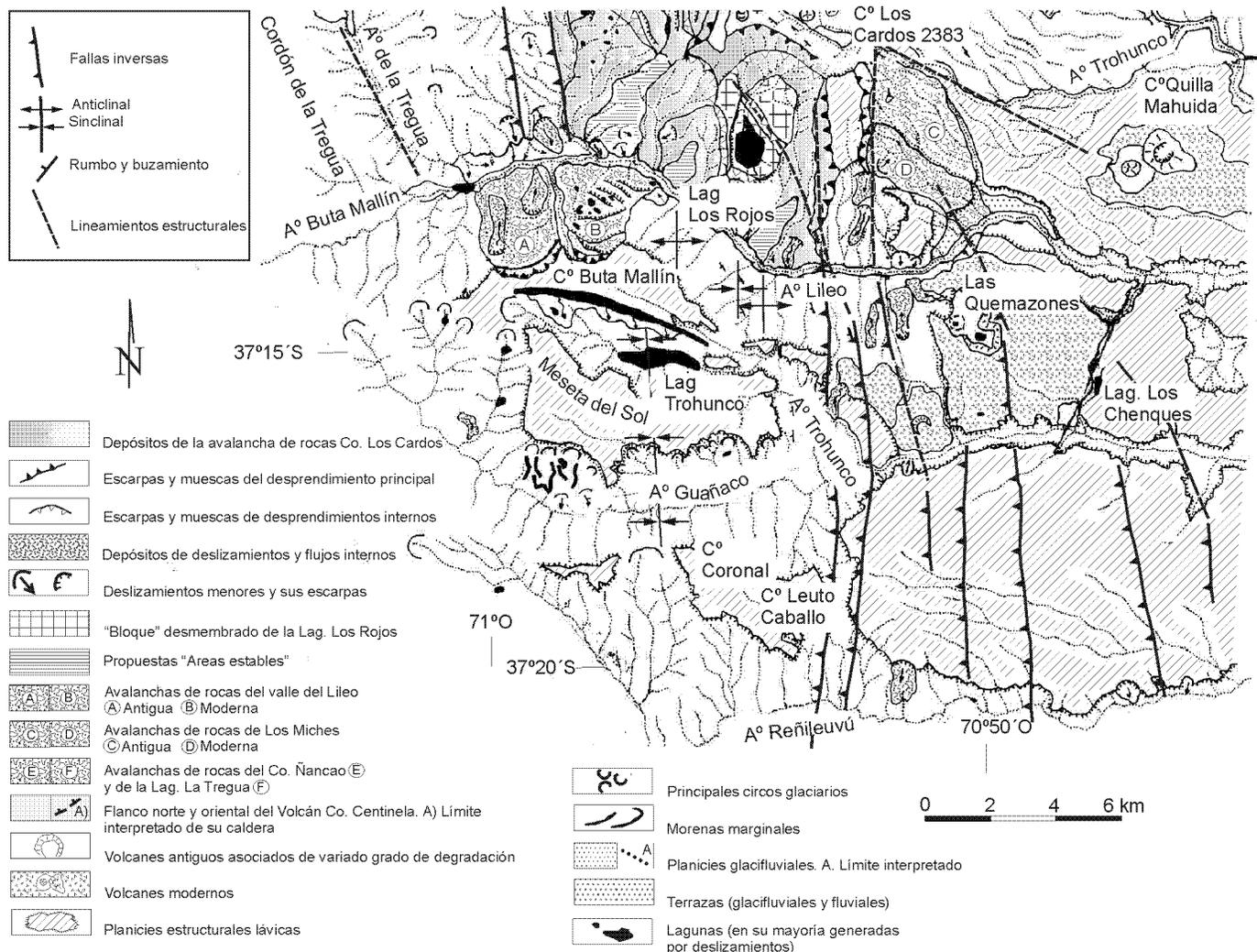


Figura 2b: Carta geomorfológica de la región analizada (sector sur).

nadas al gran movimiento y su contemporaneidad no ha sido determinada. De ellas, la primera adquiere mayor importancia por las variadas características morfológicas del sector afectado, su desarrollo y extensión.

La zona del desprendimiento principal austral aparece en una situación topográfica más elevada y se localiza con general disposición norte-sur, formando parte de la abrupta escarpa de erosión que caracteriza el margen occidental de un remanente (2.560 m s.n.m.) de una planicie estructural lávica, sobre la que se destaca el cerro Los Cardos (2.608 m s.n.m.). Sus particulares características se observan entre los extremos norte y sur de esa planicie y se proyectaría, reduciendo la altura de la muesca, hasta las vecindades del valle del arroyo Lileo. A partir del borde norte de la citada planicie estructural, este resalto morfológico también disminuye en altura y abruptez. Alcanza una disposición curvilínea en planta, carácter que estaría controlado por un sinclinal de la Formación Lileo; a partir de allí tiene una orientación al noroeste.

La escarpa septentrional, se ubica en una situación más inferior, al sur del cerro Pan de Azúcar. Una estrecha divisoria la

separa del valle superior del arroyo Trohunco. Se extiende desde un punto algo al norte de la depresión que contiene la laguna de los Rojos, hasta las cercanías del extremo sur del cerro de las Piedras. Su resalto no es tan elevado como en la austral y se la puede dividir en dos tramos, teniendo en cuenta la progresiva disminución de su resalto hacia el norte. Sus escarpas se disponen adoptando en planta la configuración de dos suaves concavidades, con orientación al oeste.

Observando el mapa de Rovere *et al.* (2000), los depósitos relacionados con la escarpa del desprendimiento austral sepultarían zonas de la Formación Lileo, en tanto que aquellos de la escarpa septentrional lo harían principalmente en sectores la Formación Arroyo Palao.

A lo largo de la escarpa austral, es posible observar algunas exposiciones de la Formación Lileo, dispuestas en su tramo sur con rumbo general al norte, el que progresivamente va girando hacia el cuadrante noroeste. Esta última disposición, que muestra singular coincidencia con la continuidad más septentrional de esta escarpa, clausura por el norte la depresión que alberga la laguna de los Rojos. Estructuralmente se

puede reconstruir el cierre de un sinclinal.

Esos estratos tienen fuertes inclinaciones ( $65^{\circ}$ - $75^{\circ}$ ) al poniente y al sur, un rasgo estructural que es considerado de importancia para la mecánica del deslizamiento. Estas condiciones no se reconocieron en el área de la escarpa del desprendimiento principal septentrional.

Una gran depresión, situada inmediatamente por debajo de la escarpa principal austral, aloja la perenne laguna de los Rojos. Esta, cuyas aguas son evacuadas por su borde sur hacia el valle del arroyo Palao, constituye el rasgo más sobresaliente del paisaje local de la avalancha de rocas del cerro Los Cardos.

Hay numerosas escarpas de desprendimientos secundarios, en el ámbito de la avalancha de rocas del cerro Los Cardos (en la Fig. 2a, b se señalan las más importantes). Están asociadas a sectores internos deslizados, cuyas características individuales son reconocibles en los exámenes fotogramétricos.

Algunos de estos reducidos deslizamientos, pueden ser vinculados genéticamente a movilizaciones acontecidas internamente en la masa principal durante el desplazamiento de la avalancha de roca. Otros desprendimientos menores -no diferenciados de los anteriores- habrían ocurrido con posterioridad probablemente promovidos por precipitaciones. Se los interpreta como genéticamente desconectados del promotor sísmico que originó la avalancha de rocas del cerro Los Cardos. Este conjunto está compuesto por deslizamientos rotacionales y flujos gravitacionales.

El enorme volumen y la marcada irregularidad (*hummocky topography*) del relieve de las acumulaciones de la avalancha de rocas del cerro Los Cardos, es la característica para este tipo de deslizamiento. No se hallan evidencias de albardones laterales.

Su superficie se caracteriza por el elevado número de pequeños cuerpos de agua efímeros en su mayoría, que se disponen en las depresiones primarias y propias de su paisaje. Su presencia es mayoritaria en el ámbito depositacional del desprendimiento septentrional.

Un sector de afloramientos aislados -compuestos por andesitas y brechas volcánicas en el O y rocas sedimentarias continentales en el E- se disponen distalmente al norte del valle del arroyo Lileo. Sus "lomadas" alargadas y bajas, son definidas como áreas estables, no perturbadas durante el movimiento. Remedan verdaderos islotes en medio de un "mar" compuesto por las acumulaciones de la avalancha de rocas del cerro Los Cardos.

#### b) Mecánica del movimiento

Se pueden diferenciar dos episodios principales. Uno constituye la fase inicial que coincide con el arranque del movimiento y el comienzo del desplazamiento general de la masa rocosa, pendiente abajo. En la localización del sector del desprendimiento habría incidido el lineamiento estructural regional de Los Cardos (véase Fig. 2a, b) y más localmente la actividad estructural de los afloramientos de la Formación Lileo.

Una fase posterior, constituida por una facies de flujo de alta velocidad y gran volumen, en la que se han interpretado diversos pulsos del movimiento, dados por detenciones efi-

meras y reanudación del avance, dio lugar a sus extensas acumulaciones. Los pulsos se ven expresados morfológicamente importantes desprendimientos internos, locales, también del tipo rotacional, situados a distintos niveles de los depósitos.

A partir de la escarpa austral y luego de un primer desplazamiento hacia el poniente, el movimiento se orientó hacia el sur, hacia el valle del arroyo Lileo, luego de un primer desarrollo al poniente. La fase inicial se caracterizaría por un breve y corto trayecto inaugural del tipo translacional, a favor de la disposición estructural de las sedimentitas de la Formación Lileo.

Con posterioridad adquiriría las características de un rotacional. Para ello se ha tomado en cuenta la cóncava configuración de la cicatriz y corona del desprendimiento.

En el paisaje de su sector proximal se destaca la laguna de los Rojos, para la que se propone la siguiente génesis. Se ha interpretado que es una consecuencia del movimiento que realizara un gran bloque deslizado (rotacional?), proveniente del borde oeste de la citada planicie estructural lávica del cerro Los Cardos.

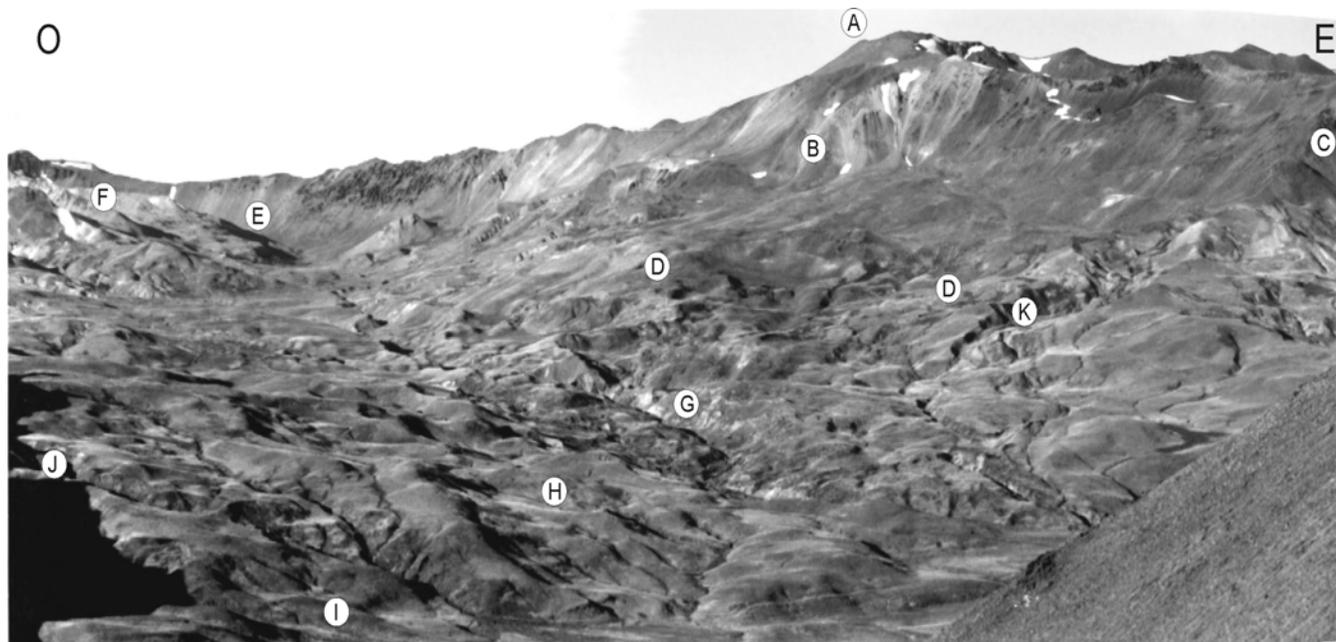
Antes de alcanzar su estabilización a menores alturas el bloque se fracturó, desmembrándose en entidades menores. Estas se desplazaron diferencialmente entre ellas, originando la depresión que aloja la laguna de los Rojos. El sector del bloque de la laguna se halla limitado, tanto al este como al oeste, por escarpas de fracturas o fallas secundarias, las que se reúnen en ángulo agudo al norte de la depresión.

Esta proposición que aboga por la participación y movilización de un enorme bloque desprendido de la margen oeste de la planicie estructural lávica del cerro Los Cardos, alcanza buenas posibilidades de veracidad, cuando se analiza el mapa geológico de Gutiérrez Pleimling y Minitti (1985). En él y albergando a la laguna de los Rojos, se destaca un reducido y aislado afloramiento de su "Basalto II" o "Formación Coyocho" (Fig. 4 A). Está ubicado en una posición altimétrica inferior al más extenso que compone la planicie estructural lávica del cerro Los Cardos. La localización e identificación de ese islote basáltico, avalaría adecuadamente una teorización acerca del mecanismo de un deslizamiento muy local y episódico que ocurrió dentro del cuadro general de la avalancha.

Los materiales desprendidos de la escarpa septentrional se proyectaron directamente hacia el oeste, a partir de un movimiento que es definido por similares razones como del tipo rotacional. Inmediatamente aguas abajo de la escarpa principal, aparece una importante muesca de un arranque interno muy proximal, la que aparentemente puede ser prolongada hacia el sur a través de la escarpa del borde oeste del desmembrado bloque de la laguna de los Rojos, sugiriendo la alternativa de interpretar el movimiento a partir de la escarpa septentrional como posterior al de la escarpa austral.

En niveles inferiores se repite el irregular y típico paisaje (*hummocky*) de sus acumulaciones (Fig. 4 B), con varias escarpas de desprendimiento secundarias.

Distalmente, la masa detrítica atravesó la preexistente artesa glaciaria del arroyo Palao, sepultando su tramo inferior y medio. Hoy sólo se reconoce el superior dispuesto entre sus cabezeras y el extremo sur del cerro de las Piedras. Aguas abajo de este último sus típicos rasgos morfológicos se pierden bruscamente, reemplazados por la irregular superficie de la avalancha.



**Figura 3:** Vista del paisaje de la avalancha de rocas del cerro Los Cardos, desde el faldeo oeste del valle del arroyo Palao hacia el naciente. A) Cerro Centinela; B) escarpa austral; C) escarpa septentrional; D) el irregular relieve de los depósitos de la avalancha; E) tramo superior de la artesa glaciar del valle del arroyo Palao; F) cerro de las Piedras; G) curso del arroyo Palao; H) zona del *run-up*; I) curso del arroyo Lileo; J) la sombra de la izquierda señala aproximadamente el frente de levantamiento del Cordón de los Tejos; K) Ejemplo de escarpa interna de la avalancha de rocas del Cerro Los Cardos en el arroyo Lileo.

Esta posteriormente trepó (*run-up*) el faldeo occidental del valle hasta alcanzar los límites del corrimiento Cerro de los Tejos (Folguera *et al.* 2004), en el faldeo oriental del cordón homónimo. El arroyo Lileo está desarrollado en sus depósitos (Figs. 2 y 3).

Durante el *run-up*, la avalancha continuó desplazándose hacia el sur, controlada por la pendiente general del valle, alcanzando las cercanías de la actual desembocadura del arroyo Palao al arroyo Lileo.

Numerosos deslizamientos secundarios rotacionales, a veces con facies de flujo distal, constituyen ocasionales fenómenos acontecidos con posterioridad al episodio principal. Se sospecha que las precipitaciones pudieron ser el mecanismo disparador.

El bloque deslizado y fragmentado que aloja la laguna de Los Rojos, ejemplifica la complejidad del colapso del borde oeste de la planicie estructural del cerro Los Cardos. Se dispone unos 400 m por encima del valle del río Lileo. Las rocas volcánicas que lo componen evidencian escasa trituración en las márgenes oeste y sur de la laguna. La superficie del bloque expone morfología glaciar pese a que en su cercanía y a estas alturas no existen evidencias de glaciación. Esos rasgos son comunes unos 500 m por encima de la laguna.

A una cota inferior de la laguna, depósitos del deslizamiento con su típica irregularidad superficial, muestran una gran participación de material glacifluvial, el que aparece afectado por deslizamientos secundarios cuyas muescas de desprendimiento se extienden a lo largo de unos 10 a 100 metros. La escasa degradación de estas últimas y la ausencia de vegetación permiten la consideración de estos movimientos como subrecientes. Si bien la ausencia de dataciones y evidencias

morfológicas, no permiten establecer una adecuada relación temporal entre los procesos de la avalancha de rocas y el deslizamiento del bloque, se infiere que ambos corresponden a un mismo evento.

El elevado emplazamiento de la laguna de los Rojos sobre el valle del arroyo del Lileo y del gasoducto argentino-chileno, representa una amenaza geológica potencial para las poblaciones del valle y la citada infraestructura. Sumado a ello habría que tomar en cuenta las condiciones sismotectónicas regionales que pueden provocar la desestabilización del sector.

La laguna tiene una superficie de 0,8 km<sup>2</sup>, una profundidad estimada en 10 m y un volumen aproximado en 8x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Actualmente la laguna drena en su mayor parte por encima del extremo sur del bloque y también lo hace por infiltración a través de los depósitos glacifluviales. Varias muescas de pequeños deslizamientos subrecientes observados en su parte sur, son pruebas de la actual actividad de la erosión retrocederte.

No se excluye la posibilidad que nuevos y reiterados deslizamientos en esa zona llegaran a provocar el vaciamiento (súbito?) de la laguna. El aluvión (*outburst flood*) así generado descendería por la ladera norte del valle del arroyo Lileo (inclinación promedio 45°), sobrepasando varias veces el caudal de este arroyo, provocando la inundación y una activa erosión aguas abajo del mismo.

#### *c) Otros movimientos gravitacionales importantes reconocidos en la región*

Alcanzan un número elevado (Fig. 2a, b) y en su casi totalidad no han sido distinguidos previamente. Constituyen una

excepción aquellos señalados por Zanettini *et al.* (1987) en su mapa geológico.

Durante el análisis geomorfológico regional del área cubierta por la figura 2, se han logrado identificar varias avalanchas de rocas, aunque de menores volúmenes que aquella del cerro Los Cardos.

1) *Avalanchas de rocas de la margen sur del valle del Lileo*: En número de dos se localizan en un sector del valle del arroyo Lileo, entre las afluencias de los arroyos Palao y La Tregua. El análisis morfológico apunta a convalidar la posibilidad de su ocurrencia en tiempos diferentes. Una de ellas, distinguida como antigua (A, en Fig. 2a, b) u occidental, prácticamente se ubica frente a la desembocadura del arroyo Palao al arroyo Lileo.

Su cóncava muesca del desprendimiento (del tipo rotacional) se halla en el borde norte (2.250 m s.n.m.) de la planicie estructural lávica, que se extiende entre los arroyos Lileo y Guañaco y que es conocida como meseta del Manzano. Su morfología indica una marcada acción degradacional, expresada por una mayor regularidad de la superficie de sus acumulaciones, el carácter romo de la corona de la cicatriz, un drenaje bastante organizado y una general ausencia de depresiones.

La otra avalancha de rocas (B, en la fig.2 o moderna), se halla inmediatamente al este de la anterior. Reúne los típicos rasgos de un movimiento rotacional. La cicatriz del desprendimiento y su corona, tienen escaso grado de erosión. Entre sus acumulaciones, se destaca un extenso bloque proximal del que se desprendió una facies distal de flujo. Hacia su borde oeste se distinguen claramente los rasgos de un flujo denso local (*debris flow*), con sus característicos albardones laterales (Fig. 5).

Varias escarpas secundarias situadas en cotas inferiores, delatan la ocurrencia de deslizamientos menores internos. Hay pequeños cuerpos de agua, en depresiones situadas en las espaldas de los bloques rotados. Son propios de un drenaje aun no integrado. Este deslizamiento ha sido reconocido por Zanettini *et al.* (1987).

2) *Avalanchas de rocas del área de Los Miches*: Se localizan en el borde este de la planicie estructural lávica del cerro Los Cardos (Fig. 6). Sus acumulaciones se han proyectado hacia el naciente, sobre un sector ubicado entre los arroyos Trohunco (norte) y Lileo (sur).

También de acuerdo a diferencias morfológicas, se logró interpretar dos avalanchas de rocas que se consideran acaecidas en tiempos diferentes. Una de ellas denominada antigua» (C en Fig. 2a, b), muestra su muesca de desprendimiento en el tramo norte de la planicie estructural lávica del cerro Los Cardos. Su corona evidencia fuerte degradación, siendo de baja definición fotogramétrica. Sus acumulaciones componen un suave aunque irregular paisaje, que alcanza por el norte los márgenes del valle del arroyo Trohunco. Una extensa y bien organizada red de drenaje, disecta sus depósitos. “Mallines” o “vegas de altura” ocupan las numerosas depresiones de su paisaje.

La más moderna (D en Fig. 2a, b), es definida como la avalancha de rocas de Los Miches. Se destaca su muesca de desprendimiento, limitada por una abrupta escarpa y agudo borde de la corona. Su larga acumulación ocupa una extensa depre-

sión de un ancho y largo aproximado de 1,2 y 7,2 km, respectivamente. Los últimos 2,5 km de sus depósitos aparecen aterrizadas por la acción erosiva del arroyo Lileo.

Zanettini *et al.* (1987) han vinculado el origen de las acumulaciones de ambas avalanchas con la morfogenia glaciaria, interpretándolas como depósitos glaciarios. Rovere *et al.* (2000) no hacen mención de las mismas.

3) *Avalanchas de rocas del cerro Ñancao*: Hay evidencias de dos grandes deslizamientos que fueron interpretados sobre el faldeo norte del cerro Ñancao. Aparentemente derivarían de la desestabilización del sector septentrional del aparato volcánico.

4) *Avalancha de rocas y flujos en el área de la laguna de la Tregua*: Esta laguna se halla en las cabeceras del arroyo homónimo. Se debe al endicamiento del curso por un deslizamiento de considerable magnitud. Su escarpa de desprendimiento se halla en la parte alta del flanco oeste del valle. El análisis geomórfico permitió reconocer en sus cercanías y en el faldeo opuesto, dos movimientos del tipo afín a un flujo denso. Estos y el anterior deslizamiento fueron distinguidos por Zanettini *et al.* (1987).

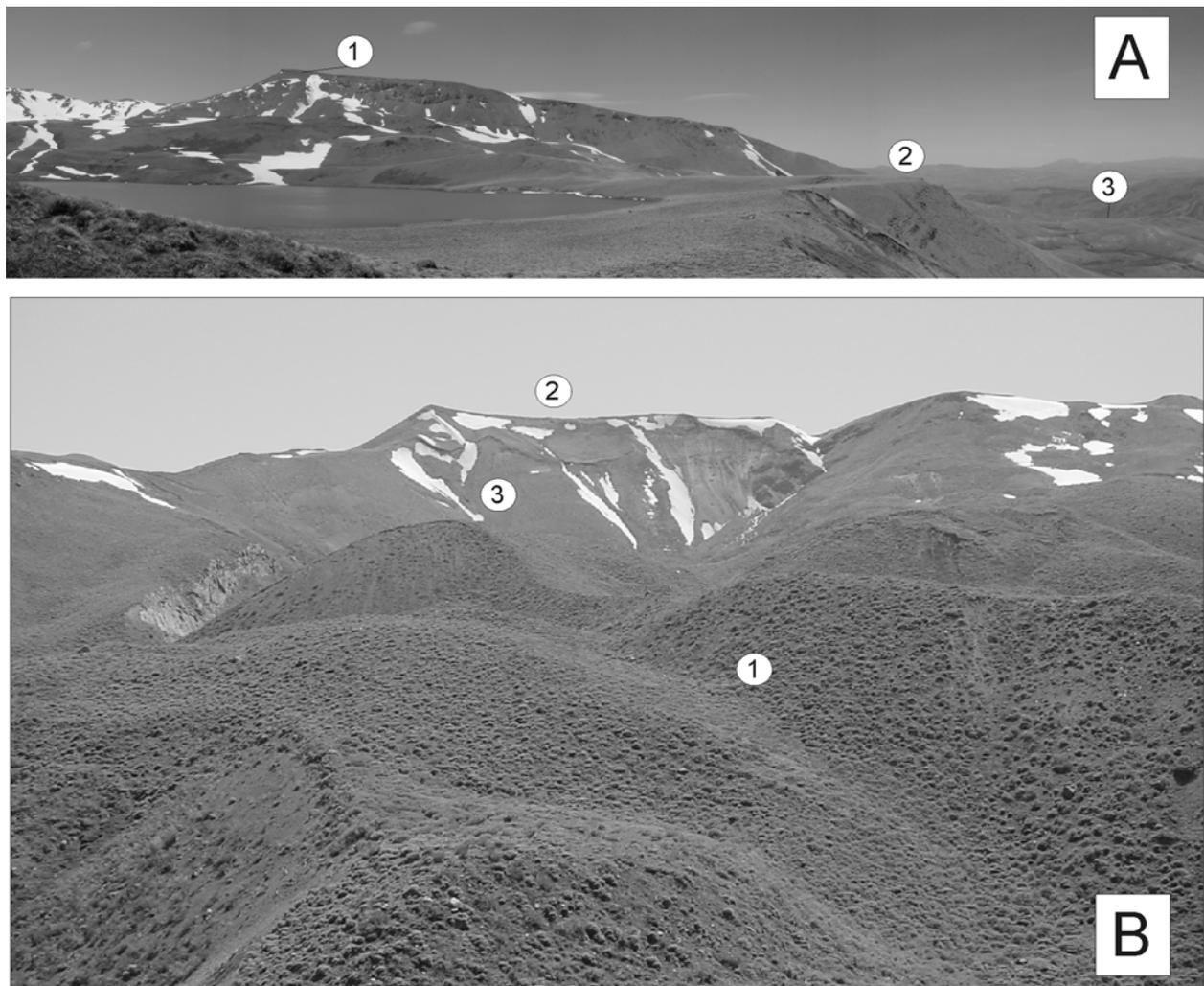
Los mencionados flujos (norte y sur) corresponderían a *debris flows* o avalanchas de detritos (*debris avalanches*), inducidos en ocasiones de excesivas precipitaciones o abundantes aportes de agua durante la ablación de la nieve.

La avalancha de rocas, cuya tipología no ha sido definida (rotacional?), es considerada como la principal causa de la citada obstrucción y aparentemente aconteció en tiempos previos a las acumulaciones de los flujos. Los Depósitos del más pequeño de estos (norte) chocan distalmente con los de la avalancha, en tanto que aquellos del austral han visto condicionada su trayectoria por el fondo del valle, por los depósitos del deslizamiento principal. Los depósitos de este último se disponen aguas abajo, en forma de una fina y larga lengua detrítica que alojan un pequeño cuerpo de agua.

Sobre el lateral occidental del valle del arroyo de la Laguna, Rovere *et al.* (2000) han señalado la presencia de Depósitos de remoción en masa, aunque muy alejados del lugar del endicamiento. Según estos autores, depósitos glaciocirculares circunscriben el área de la laguna de la Tregua.

De acuerdo a comentarios de lugareños, hace unos 25 años una intensa precipitación generó un flujo denso (tipo *debris flow*), que se desplazó aguas abajo por el cañadón de la Tregua. Al arribar a su desembocadura al arroyo Buta Mallín, sus materiales obstruyeron el curso de este último, generando una pequeña laguna. Esta es observable en los fotogramas del año 1986 (IGM) y en la imagen satelital Landsat utilizados. Actualmente la misma ha desaparecido, probablemente por colapso o erosión progresiva del obstáculo.

El origen de la gran laguna de Trohunco, localizada al sur del valle del arroyo Lileo en el ámbito de la planicie estructural lávica del Manzano, constituye un problema no resuelto por los autores. Se reconocen evidencias de flujos gravitacionales en el faldeo norte de la artesa glaciaria que la alberga, que tienen un carácter afín a procesos de geliflucción, soliflucción y hasta *debris flows*. Sus materiales componentes provendrían principalmente de la enorme morena marginal (la-



**Figura 4:** **A)** Vista de la Laguna Los Rojos desde el oeste. (1) Planicie estructural lávica del cerro Los Cardos; (2) extremo sur de la laguna. Se observa el borde rocoso basáltico del bloque deslizado cubierto por depósitos glacifluviales. Por debajo y de tonos más claros sedimentitas terciarias dislocadas. El desnivel entre la laguna y el valle del Lileo (3) es estimado en unos 400 m. **B)** Vista del paisaje irregular (*hummocky*) de las acumulaciones de la avalancha de rocas del cerro Los Cardos (1). Al fondo se observa la planicie estructural (2) y la escarpa del desprendimiento (3).

teral), en la que culmina el mencionado faldeo. Sin embargo, por lo reducido de su distribución, no habrían alcanzado a obstruir el antecedente valle glaciario.

No se descarta que la cuenca o depresión que aloja la laguna, sea simplemente un producto de la exharación glaciaria (*basin*) o que tenga un probable origen estructural, a consecuencia de un débil alabeo (vuelco) del sector oriental de la planicie estructural del Manzano hacia el oeste, lo que obstaculizó así el normal escurrimiento de las aguas hacia el este.

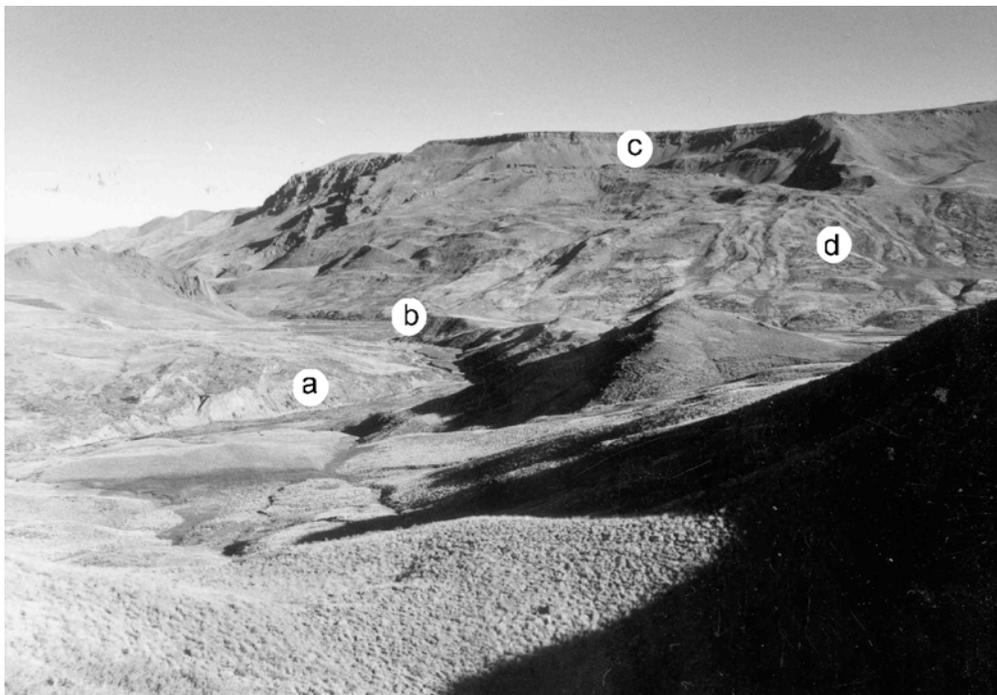
Este alabeo podría relacionarse con el plegamiento observado en la planicie estructural de la meseta del Manzano que afecta rocas del Plioceno inferior. Esta estructura corresponde a un sinclinal con flancos que no superan los 10° de inclinación y con eje coincidente con la zona central de la laguna. Este sinclinal estaría asociado con la falla de Los Cardos, la cual limita su flanco oriental y afecta en la traza del río Lileo a sedimentos estratificados, interpretados como propios de planicie glacifluvial. Ello permitiría asignarle una edad postglaciaria a la deformación.

### Inductor y edad de la avalancha de rocas del cerro Los Cardos

Tomando en cuenta aquellas previas consideraciones que se han presentado como proposición para definir el disparador de similares fenómenos en la región norte de la provincia del Neuquén (González Díaz 1998a; 1998b; 2003; González Díaz *et al.* 2000; 2001; 2003), los autores propugnan un similar origen sismogénico.

Se acepta que las condiciones de sismicidad de esta región, que es adyacente a una región en Chile donde se han localizado algunos de los mayores sismos en el mundo, sumadas a su cercana situación respecto de la zona de hundimiento de la placa pacífica y la actualizada distribución de sismos en el territorio neuquino según datos instrumentales, conforma un cuadro sismotectónico, que avala la posibilidad de considerar a la actividad sísmica como el mecanismo inductor de esta avalancha de rocas.

Se hace necesario convenir que ciertos factores previos



**Figura 5:** Vista de la avalancha de rocas «moderna» del A° Lileo (B en figura 3), desde aguas arriba de la afluencia del arroyo Palao (a) al arroyo Lileo (b). La muesca de la escarpa del desprendimiento se halla en el borde norte de una planicie estructural lávica. En (d) se destaca depósitos de un moderno flujo (se observan sus clásicos albardones laterales).

debieron establecer condiciones favorables para el desarrollo de este movimiento y particularmente su localización. Entre las más importantes figurarían la composición litológica local, con marcado predominio de material arcilítico, la disposición estructural de las sedimentitas de la Formación Lileo en el área del desprendimiento y el reconocimiento la existencia de importantes líneas estructurales regionales (fallas), que coinciden con la zona del desprendimiento de la avalancha de rocas del cerro Los Cardos y de otros movimientos aquí considerados.

No se descarta que la participación e incidencia del agua proveniente de intensas precipitaciones o del derretimiento de la nieve o hielo, haya facilitado en el momento oportuno, la superación del umbral de estabilidad de las pendientes.

En cuanto al tiempo de ocurrencia de la avalancha de rocas del cerro Los Cardos, se carece de datos concretos, absolutos, una situación reiterada para casi la totalidad de todos los casos analizados y descritos en el norte cordillerano neuquino. Constituyen la excepción, las avalanchas de rocas de las lagunas de Varvar Co Campos y Varvar Co Tapia, situadas más al norte.

Pese a ello se puede afirmar en términos relativos, que la misma debió ocurrir en tiempos postglaciales o en tramos de los valles donde la recesión glaciaria había ocurrido.

Esta relativa asignación temporal, que hasta ahora constituye una constante para las numerosas avalanchas de rocas examinadas por uno de los autores (GD), reclama sin duda una confirmación más adecuada por medios radimétricos específicos.

El sepultamiento por sus acumulaciones de buena parte de

la artesa del valle del arroyo Palao por las acumulaciones de la avalancha de rocas del cerro Los Cardos, resulta ser un buen argumento a favor de estas declaraciones.

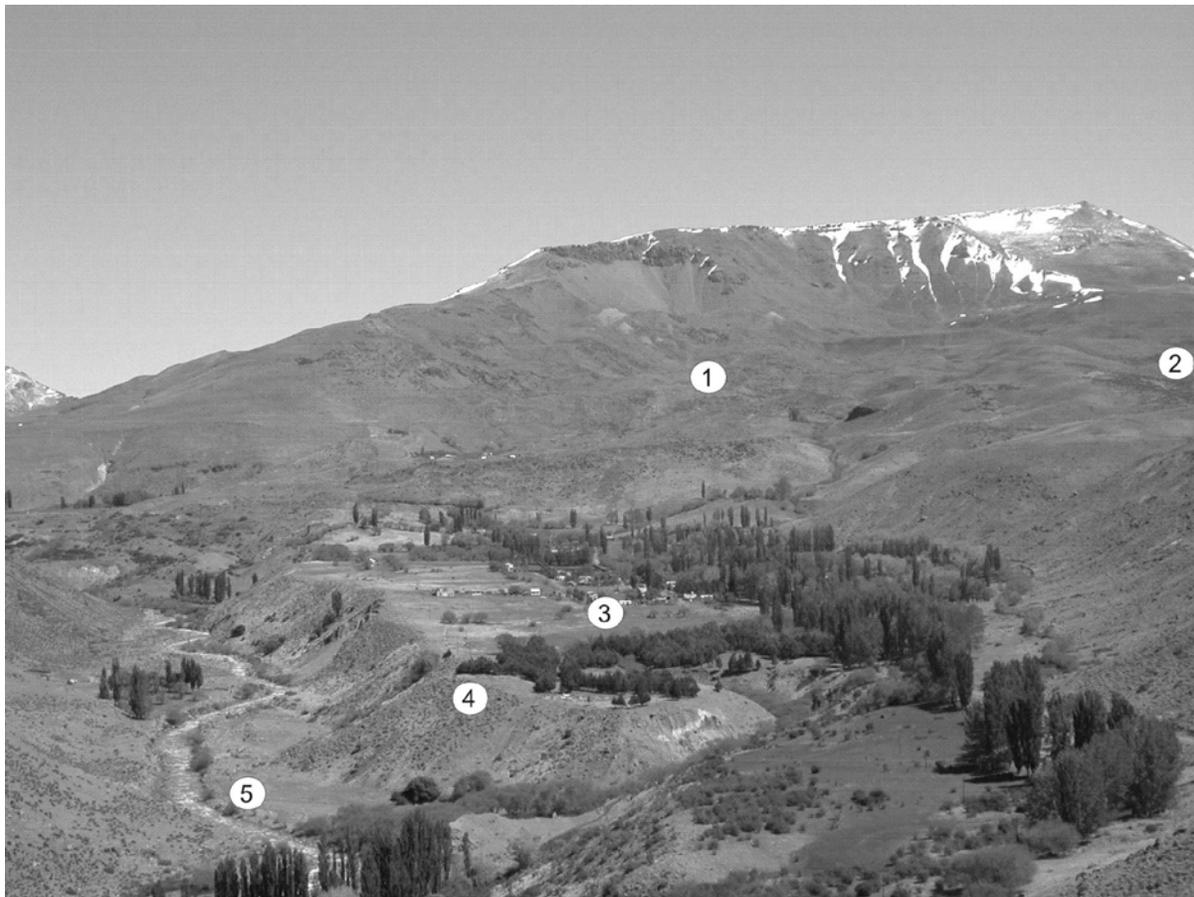
## Conclusiones

Se describe una avalancha de rocas no registrada hasta ahora, la que por razones de toponimia, es distinguida como del Cerro Los Cardos. Sus acumulaciones cubren aproximadamente casi 50 km<sup>2</sup>.

En el área de estudio se observaron dos extensas escarpas principales, la austral y la septentrional del desprendimiento, claramente definidas por las respectivas cicatrices del inicio del desprendimiento.

El movimiento mostraría en el área de la escarpa austral una fase inicial del tipo deslizamiento planar, controlada por la actitud estructural de los estratos de la Formación Lileo allí aflorantes, pasando luego a un tipo rotacional y una inmediata y posterior fase de flujo, cuyos materiales se proyectaron con un sentido general hacia el sur, hacia el valle del arroyo Lileo. Esas características no fueron observadas en la zona de la escarpa septentrional, donde se interpretó un enorme movimiento rotacional.; aquí la trayectoria del flujo se orientó hacia el oeste, hacia el valle del arroyo Palao, atravesándolo y culminando con un *run-up* en el lateral opuesto.

Un condicionamiento preliminar (litológico, estructural), coadyuvó a la desestabilización de las pendientes, un proceso que se considera inducido por un sismo. Pudieron haberse visto facilitadas por una probable participación del agua, con



**Figura 6:** Vista de la zona de desprendimiento y acumulaciones de las avalanchas de rocas de Los Miches, en el flanco oriental del C° Centinela. (1) Avalancha “moderna”; (2) vista parcial de la antigua; (3) localidad de Los Miches; (4) depósitos de la avalancha aterrazados; (5) arroyo Lileo.

la consiguiente reducción de la fricción y cohesión de los materiales (presión del agua de los poros) y el consiguiente desequilibrio de las pendientes.

Pese a carecer de datos concretos acerca de los tiempos de su ocurrencia, el análisis geomorfológico ha concretado la asignación de una edad postglaciaria para esta avalancha. El sepultamiento de la mayor parte de la previa artesa glaciaria del valle del arroyo Palao por sus acumulaciones, constituye un excelente argumento en favor de su posterioridad al englazamiento de la región. Esta declaración coincide con una similar y relativa asignación temporal adjudicada a otras avalanchas de rocas distinguidas en el territorio cordillerano neuquino entre los 36° y 38°S.

El carácter regional del estudio permitió reconocer otros importantes deslizamientos, que en su mayoría carecía de descripción previa. Sus acumulaciones también eran interpretadas como propias de la agradación glacial (*till*) o glaci-fluvial.

En forma limitada, diversas geoformas originadas por otros procesos (fluvial, glaciario, volcanismo), son incorporados gráficamente en la carta geomórfica regional adjunta.

### Agradecimientos

Se agradece especialmente las revisiones del trabajo efectuadas por los Dres. Carlos Costa y Marcelo Zárate. Se agra-

dece al Sr. Damián Bonano por su asistencia técnica en la confección de la subescena de la imagen que facilitó la construcción del mapa geomorfológico. Los trabajos de campo fueron parcialmente financiados por PICT 06729/99 de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (V.A. Ramos) y por el GeoChungsZentrum Potsdam y Collaborative Research Centre 276 “Deformation Processes in the Andes”.

### TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Coates, D.R., 1977. Landslides perspectives. En Coates D.R. (Ed.): Landslides. The Geological Society of America, Reviews in Engineering Geology: 3-28. Boulder.
- Folguera, A., Ramos, V., Hermanns, R. y Naranjo, J., 2003. Neotectonics in the foothills of the Southernmost Central Andes (37°-38°S). Evidence of the strike-slip displacement along the Antifñir-Copahue fault zone. Tectonics.
- Folguera, A., Ramos, V. A., González Díaz, E. F. y Hermanns, R., 2004. Late Cenozoic Evolution of the Eastern Andean Foothills of Neuquén between 37° and 37°30'S. En Kay, S. M. y Ramos, V.A. (eds.) Late Cretaceous to Recent magmatism and tectonism of the Southern Andean margin at the latitude of the Neuquen basin (36-39°S). Geological Society of America, Special Paper (en prensa).
- González Díaz, E.F., 1998a. Mapa Geomorfológico de la Hoja Geológica «Las Ovejas» (Provincia del Neuquén), escala 1:250000. Dirección

- de Geología Ambiental y Aplicada. SEGEMAR, (informe inédito), Buenos Aires.
- González Díaz, E.F., 1998b. Mapa-Inventario de grandes movimientos gravitacionales en la zona comprendida por los paralelos 36°00' y 37°00'S y el meridiano 70°00'O y el límite argentino-chileno. Dirección de Geología Ambiental y Aplicada, SEGEMAR, (informe inédito), Buenos Aires.
- González Díaz, E.F., 2003. El englazamiento en la región de la caldera de Caviahue-Copahue: su reinterpretación. *Revista de la Asociación Geológica*, (en prensa), Buenos Aires.
- González Díaz, E.F., 2005. Geomorfología de la región del volcán Copahue y sus adyacencias (centro-oeste del Neuquén, Argentina). *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 60(1): 58-73.
- González Díaz, E.F., Fauqué, L.A., Giaccardi, A.D. y Costa, C.H., 2000. Las lagunas de Varvar Co Campos y Varvar Co Tapia (N del Neuquén, Argentina): su relación con avalanchas de rocas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 55 (3): 147-164, Buenos Aires.
- González Díaz, E.F., Giaccardi, A.D y Costa, C.H., 2001. La avalancha de rocas del río Barrancas (Cerro Pelán), norte del Neuquén: su relación con la catástrofe del río Colorado (29/12/1914). *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 56 (4): 466-480, Buenos Aires.
- González Díaz, E.F., Costa, C.H. y Giaccardi, A.D., 2003. El complejo deslizamiento del Ailincó-Cerro Papas-Las Olletas (Departamento Minas, norte del Neuquén, Argentina). *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 58(2): 194-200, Buenos Aires.
- Groeber, P., 1925. La Región de Copahue y su Glaciación Diluvial. *Sociedad Argentina de Estudios Geográficos (GAEA)*, 1 (3): 92-110, Buenos Aires.
- Groeber, P., 1921. Vestigios de un yacimiento petrolífero en Pilunchalla (Territorio del Neuquén). *Dirección General de Minas, Geología e Hidrología, Boletín 4(Serie F): 39-42*, Buenos Aires.
- Groeber, P., 1925. El englazamiento en la región de la caldera de Caviahue-Copahue (Provincia del Neuquén): su reinterpretación. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 58 (3): 356-366, Buenos Aires.
- Groeber, P., 1946. Observaciones geológicas a lo largo del meridiano 70. 1. Hoja Chos Malal. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 1 (3): 177-208, Buenos Aires.
- Gutiérrez Pleimling, A. y Minitti, S.A., 1985. Reconocimiento geológico de las nacientes del río Lileo (Departamento Minas), Provincia del Neuquén (con informe paleopalínológico de A. Moroni). *Yacimientos Petrolíferos Fiscales*, (informe inédito), Carpeta 10395, Buenos Aires.
- Hermanns, R.L., González Díaz, F.E., Folguera, A. y Mardones, M., 2003. Large massive rock slope failures, landslide dams, related valley evolution, and their association with the tectonic setting in the Argentine and Chilean Andes between 36 and 38°S. *10° Congreso Geológico Chileno*, CD, 5 p., Concepción.
- Keefer, D.K., 1984. Rock-avalanches produced by earthquakes: source characteristics. *Science*, 223: 1288-1290.
- Leanza, H.A., Volkheimer, W., Hugo, C.A, Melendi D.L. y Rovere E.I., 2002. Lutitas negras lacustres cercanas al límite Paleógeno-Neógeno en la región noroccidental de la provincia del Neuquén: Evidencias palinológicas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 57 (3): 280-288, Buenos Aires.
- Niemeyer, H. y Muñoz, J., 1983. Geología de la Hoja 57 Laguna de la Laja, Región del Bío Bío. 1: 250.000. Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile. *Boletín 57*, 52 p., Santiago.
- Pérez Rueda, S., 1961. Informe sobre los trabajos efectuados en la zona comprendida entre el río Neuquén, paralelo 37°, República de Chile y Río Lileo, Departamento Minas, Provincia del Neuquén. *Yacimientos Petrolíferos Fiscales*, (informe inédito), Carpeta 891, Buenos Aires.
- Ramos, V. A., 1977. Estructura. En: Roller, E. O. (ed.) *Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén*, 7° Congreso Geológico Argentino (Neuquén), Relatorio: 9-24, Buenos Aires.
- Rovere, E., Castelli, A., Hugo, C., Leanza, H., Toura, S. y Folguera, A., 2000. Mapa Geológico de la Hoja Andacollo (3272-IV), Provincia del Neuquén. Carta General de la República Argentina, escala 1: 250.000, IGRM-SEGEMAR. Mapa preliminar, Buenos Aires.
- Sarris, M., 1964. Informe geológico de la zona del río Palao, Departamento Minas, Provincia del Neuquén. *Yacimientos Petrolíferos Fiscales*, (informe inédito), Carpeta 907, Buenos Aires.
- Uliana, M.A., 1978. Estratigrafía del Terciario. En: *Geología y Recursos Naturales del Neuquén*. 7° Congreso Geológico Argentino (Neuquén), Relatorio: 67-83, Buenos Aires.
- Zanettini, J.C, Méndez, V. y Zappettini, E., 1987. El Mesozoico y Cenozoico sedimentario de la comarca de Los Miches, Provincia del Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 42 (3-4): 338-348, Buenos Aires.
- Zapata, T. y Folguera, A., 2005. Tectonic evolution of the Andean fold and thrust belt of the Southern Neuquén basin, Argentina. En: L. Spalletti et al. (eds.) *The Neuquen Basin: A case study in sequence stratigraphy and basin dynamics*, Geological Society, Special Publication (en prensa), London.

**Recibido:** 04/03/04

**Aceptado:** 01/11/04