

LA AVALANCHA DE ROCAS DE PILUN CHALLA: RATIFICACIÓN DE UNA ÚNICA GLACIACIÓN EN LA REGIÓN DE CAVIAHUE-COPAHUE Y SUS ADYACENCIAS (NEUQUÉN)

Emilio F. GONZÁLEZ DÍAZ y Andrés FOLGUERA

Laboratorio de Tectónica Andina, Departamento de Ciencias Geológicas, Universidad de Buenos Aires, Ciudad Universitaria, Pab. 2, (1428) Buenos Aires. E-mail: andresfolguera2@yahoo.com.ar

RESUMEN

El reconocimiento de una nueva avalancha de rocas prehistórica localizada en el valle de Pilun Challa situada inmediatamente al norte de la caldera de Caviahue-Copahue (centro-oeste del Neuquén), constituye un nuevo y sólido argumento a previas conclusiones que sustentaban la existencia de un único episodio glaciar en el área de Caviahue-Copahue. El desprendimiento de este complejo deslizamiento se ubica en la parte superior de la margen sur del valle de Pilun Challa ($37^{\circ}40'S$ y $71^{\circ}08'O$). Al igual que similares movimientos distinguidos en la Cordillera neuquina septentrional entre los $36^{\circ}00'$ y $38^{\circ}00'S$, se propone que su desarrollo aconteció durante un indeterminado tiempo posterior al englazamiento local, debido esencialmente por la distribución de sus acumulaciones en los niveles inferiores de una artesa glaciaria hoy no funcional. Su cicatriz se halla adyacente a la afluencia de un glaciar previo, tributario colgante de la laguna de los Maderos, de aquel troncal de Pilun Challa. Se destaca la importancia que pudo alcanzar durante el mecanismo del movimiento, la disposición de un escalón en la pendiente, que similar a una explanada o plataforma ocupaba una posición intermedia en la pendiente entre el área del desprendimiento y el fondo del valle. Su origen no está satisfactoriamente dilucidado. Sobre la superficie de esta geoforma secundaria local se hallan acumulaciones aisladas de la avalancha de rocas y se conjetura que la plataforma sirvió de rampa de lanzamiento para un vuelo proximal (*jumping*) de la masa detritica de la avalancha, que distalmente obstruyó el curso del arroyo Pilun Challa. El endicamiento originó un extenso cuerpo lagunar de permanencia efímera. Su desagote está relacionado con el ascenso progresivo del nivel de la laguna, desborde, superación del obstáculo y consecuente erosión fluvial. La evacuación de sus aguas fue gradual sin la mediación de un colapso catastrófico. Su gran volumen, el acentuado desnivel de la pendiente y una probable alta velocidad, suministraron al movimiento la necesaria energía para generar una fase de trepada (*run-up*), interpretada sobre el lateral opuesto del valle. La superficie irregular del depósito de la avalancha de rocas de Pilun Challa, su disposición transversal al valle, su caótica estructura sedimentaria y el reconocimiento de un cuerpo lagunar agua arriba, compusieron los principales elementos de juicio que llevaron a una errónea interpretación del mismo como propio de una morena terminal, atribuible a una supuesta segunda glaciación en la región. Se describen otras avalanchas de rocas vecinas de menor porte, que generaron lagunas permanentes en varias artesas tributarias y algunos deslizamientos menores. Gráficamente se incluyen otros rasgos morfológicos locales relacionados con la morfogenia glaciaria y volcánica.

Palabras claves: *Avalancha de rocas, Pilun Challa, Provincia del Neuquén, Sismotectónica, Peligrosidad geológica.*

ABSTRACT: *The Pilun Challa rock avalanche: Ratification of a single glaciation in the Caviahue-Copahue region and surroundings (Neuquén).*

The reconnaissance of an important rock avalanche in the Pilun Challa glacial valley ($37^{\circ}40'S$ and $71^{\circ}08'W$) is a consistent clue for a simple episode of glaciation on the area, fact revealed from geomorphological studies. The hypothesis had been previously proposed to the south the Caviahue-Copahue region. The huge movement originated from the southern margin of the Pilun Challa valley, as well as in many other adjacent regions, occurred after the local Pleistocene glaciation that affected the area. This complex landslide has a breakaway zone at the crest of a overstepped slope of the glacial valley and like most of the similar movements located between 36° and $38^{\circ}S$, it occurred during postglacial times, as suggested for their accumulations located on the previous glacial valley. A rock platform located at intermediate height between the breakaway zone and the glacial floor valley could have had an important role in the avalanche mechanics inferred for the Pilun Challa rock avalanche. Proximal avalanche deposits are therefore not connected with the distal ones, probably due the jumping of the rock mass over the ramp created by the intermediate plain. The movement obtruded the Pilun Challa valley forming an ephemeral lake upstream. The mass climbed the opposite flank of the valley forming a run-up. These avalanche deposits were identified during the first half of the 20th century as moraine accumulations due to their chaotic nature, the existence of lake deposits upstream, and transversal orientation of the morphology respect to the glacial valley. Therefore a position of ice stability was defined based on this inference, which together with other supposed glacial pulses constituted a second glaciation. Other landslides, glacial morphologies and volcanic forms are also described in the area in the present survey.

Key words: *Rock avalanches, Pilun Challa, Province of Neuquén, Seismotectonic, Geological hazards.*

INTRODUCCIÓN

Recientemente y durante la actualización de un antiguo mapa geomorfológico de la provincia del Neuquén (González Díaz y Ferrer 1986), el análisis fotogramétrico de la zona de estudio permitió identificar una avalancha de rocas no reconocida hasta ahora. Su ubicación en el valle del arroyo Pilun Challa, prácticamente coincidía con el lugar donde Groeber (1925, Lámina IV) identificara acumulaciones que relacionó con una morena terminal de su segunda glaciación. Sus materiales han sido interpretados por Rovere *et al.* (2000), como depósitos glaci-fluviales.

Los resultados de esta presentación fundamentados en el análisis citado han contribuido al establecimiento del concepto de una única glaciación en la región de Caviahue-Copahue y sus cercanías (González Díaz 2003, 2004).

Una anterior propuesta de dos glaciaciones en la región de Caviahue-Copahue (primera y segunda glaciación), fue originalmente establecida hace tiempo por Groeber (1925). Su consideración inicial y genérica como diamictos glaciarios (morenas terminales) a ciertos depósitos de muy distinta génesis, hallados en tramos de los fondos de valles glaciarios previos de la región, lo llevó a la interpretación de un segundo estado de equilibrio de los términos de la glaciación local. Recientemente esta propuesta se ha visto renovada y sustentada sin argumentaciones válidas, por Bermúdez y Delpino (1999).

Ya con anterioridad Groeber (1921; Mapa de la Lámina II), si bien no menciona la presencia de una morena frontal en el mencionado valle, ha señalado acumulaciones de "diluvio (morenas)" en el sector donde se distinguieron los depósitos de esta avalancha de rocas.

González Díaz (2003, 2004) ha descartado la génesis glaciaria de dos de los tres resaltes morfológicos interpretados por Groeber (1925) como términos morénicos adjudicables a una segunda glaciación en los valles de Hualcupén y de Trolope. En esta presentación también se desecha una consideración similar de unas acumulaciones irregulares localizadas en el valle del arroyo Pilun Challa, en las vecindades de la zona

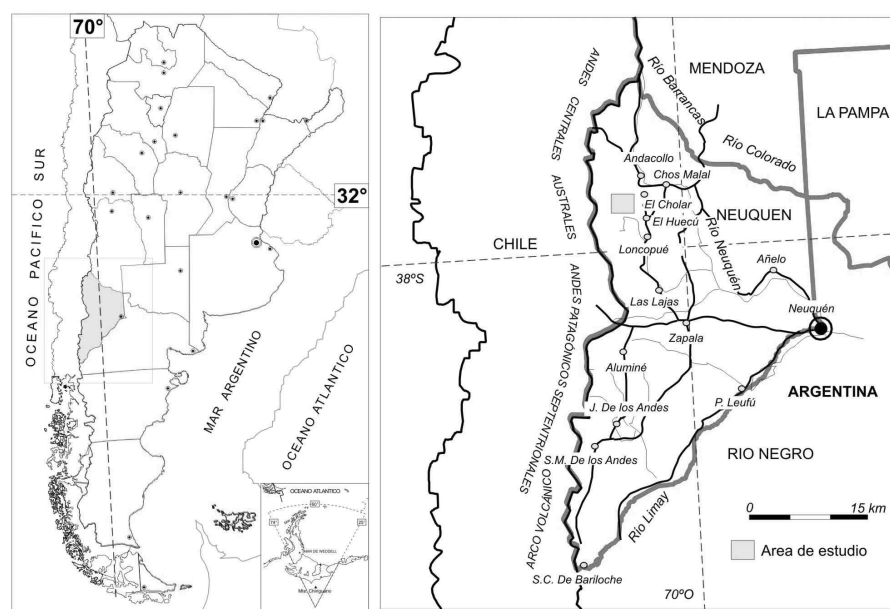


Figura 1: Situación del área de estudio.

del pasaje de este último al valle de las Damas o tramo superior del valle del río Trocomán.

El origen de la confusión de Groeber (1925), debe buscarse en los rasgos irregulares y superficiales (*hummocky topography*) de los depósitos, la influencia del predominante paisaje local modelado por la morfogenia glaciaria (tipo alpino con circos, artesas, morenas), la presencia de grandes bloques, una caótica estructura sedimentaria y el limitado conocimiento que para esa época se tenía del proceso de remoción en masa y sus rasgos morfológicos resultantes. Sin embargo, esta situación todavía se hace presente en recientes levantamientos geológicos regionales del área (Rovere *et al.* 2000). El establecimiento de sistemas de arcos morénicos terminales en la región de Caviahue-Copahue y sus vecindades como propios de un único episodio de englazamiento, se determinó en valles vecinos y más australes a la zona de estudio: Trolope, Hualcupén y Buta Mallín (González Díaz 2003, 2004). La posición de sus correspondientes términos al este de la caldera de Copahue, constituyen indicadores consistentes de los límites externos del englazamiento pleistoceno local, los que coinciden aproximadamente con el meridiano 70°50' O. La glaciación luego de su mayor expansión, tuvo un carácter de declinación rápida y constante (Groeber 1925). Su edad ha sido estima-

da en 30 ka (Bermúdez y Delpino 1999).

El valle del Pilun Challa estuvo ocupado en el Pleistoceno por un importante glaciar, el que a su vez era tributario del glaciar de Trocomán o valle de las Damas, el que se extendió hacia el noreste, reconociéndose sus términos en las proximidades de la longitud del meridiano de las localidades de El Cholar al norte y El Huecú al sur.

SITUACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Se ubica en la provincia del Neuquén, en el departamento Ñorquín, en las cercanías del límite argentino-chileno y comprende un tramo del valle del arroyo Pilun Challa (Fig. 1). De acuerdo a Groeber (1921), su denominación corresponde a una asociación de vocablos araucanos: Pilun = oreja y Challa = olla. En sentido literal "olla con asas".

La extensa cuenca del citado curso de régimen permanente y nacientes en la cordillera neuquina, recibe los aportes de numerosos afluentes también permanentes. Como principal tributario integra la cuenca de drenaje que tiene como colector troncal al río Trocomán.

El acceso a la zona conviene realizarlo en vehículo doble tracción, por una huella mejorada, no transitable en época de nevadas. Por su alejada situación en el área cor-

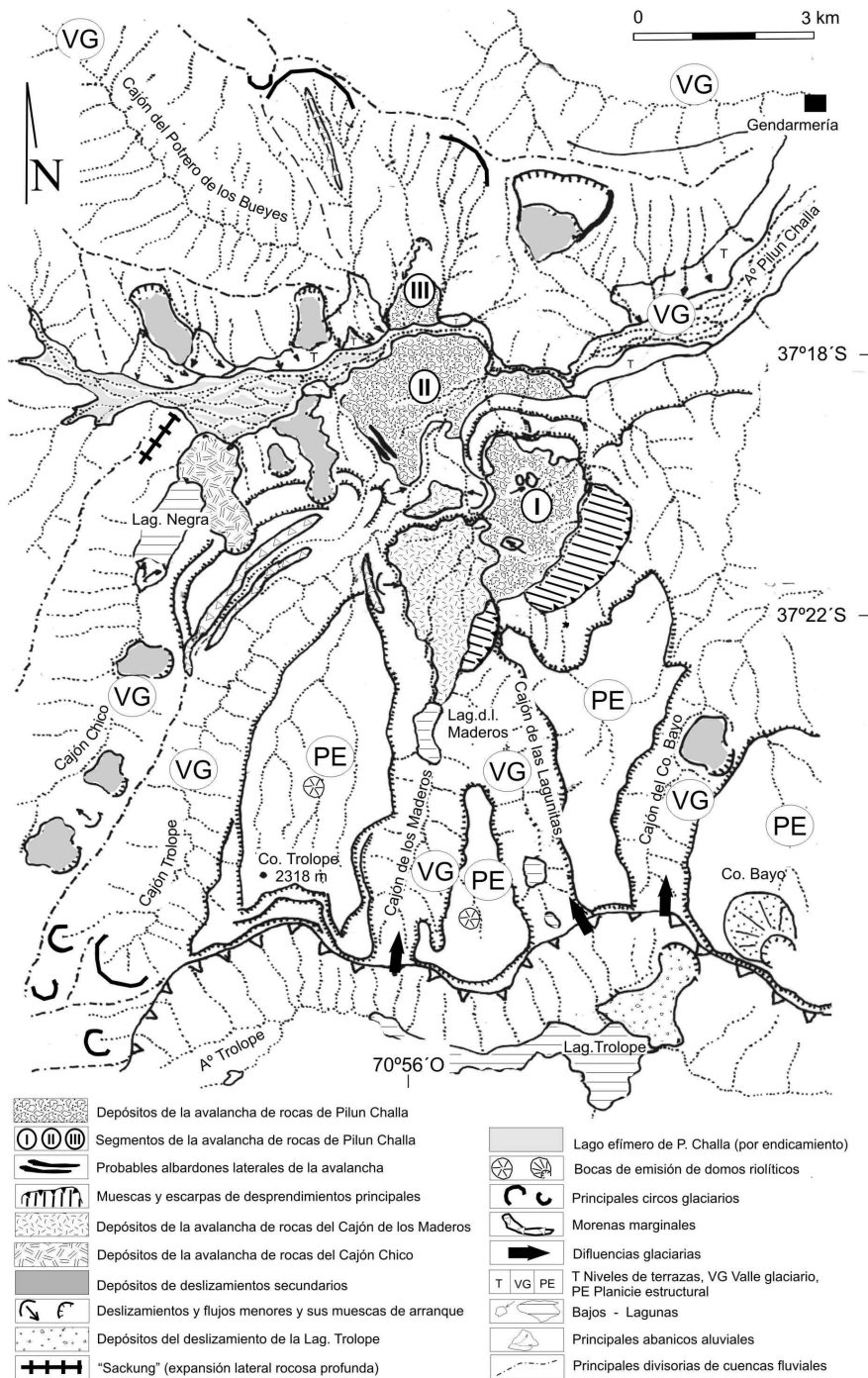


Figura 2: Carta geomorfológica de la zona de la avalancha de rocas de Pilun Challa.

dillerana se sugieren como adecuados puntos de partida, las localidades de El Huecú o El Cholar, distantes unos 140 kilómetros. Desde las más sureñas poblaciones de Loncopué o Cavihue, se requiere el recorrido de unos 180 o 220 km, respectivamente.

En las cercanías de la afluencia del arroyo Colpuhue al valle de las Damas, se halla el puesto de Gendarmería homónimo, que depende del Escuadrón de Gendarmería Nacional con asiento en la población de Las Lajas. Aquel constituye

una excelente base para realizar estudios en el área.

Groeber (1921) desapruueba la denominación de Colpuhue para el citado arroyo. La verdadera sería Huinca-Rüpü que significa "camino labrado y amplio", nombre que estaría relacionado con el hecho de que previamente a las campañas del general Roca, los chilenos "blancos" lo transitaban para negociar con los pehuenches y por él conducían a Chile la hacienda que éstos "habían robado en La Pampa y Buenos Aires".

METODOLOGÍA

La carta geomorfológica adjunta (Fig. 2), se realizó mediante la fotointerpretación de fotogramas a escala aproximada 1:60.000, los que facilitados por SEGEMAR constituyeron una excelente base para la confección de aquella. La tarea fotogramétrica se complementó con el análisis de una imagen satelital Landsat TM (232-86) que cubría el área de interés.

Para la evaluación de algunos parámetros morfométricos de la avalancha de rocas de Pilun Challa, se usó topografía de radar con *pixels* de 90 metros. Se interpolaron las curvas de nivel de una equidistancia de 25 m, sobre una imagen *Thematic Mapper* del sector del estudio.

Información básica y parcial de la geología de la zona fue extraída de Folguera *et al.* (2004). Con el mapa de Rovere *et al.* (2000) se complementó esta fase de la tarea.

MARCO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO

El área de ocurrencia de este movimiento prehistórico está compuesta por la Formación Hualcupén (Rovere *et al.* 2000), cuya edad ha sido estimada entre los 4 y 5,67 Ma (Linares *et al.* 1999), con un valor promedio de $4,5 \pm 0,5$ Ma y una edad media mínima de $4,3 \pm 0,2$ Ma, lo que permite su asignación al Plioceno temprano. Su actitud estructural es prácticamente horizontal, con una leve y general inclinación al norte (Rovere *et al.* 2000).

La componen una heterogénea sucesión de rocas basálticas y andesíticas, formadas por lavas, brechas, tobas e ignimbritas, con pre-

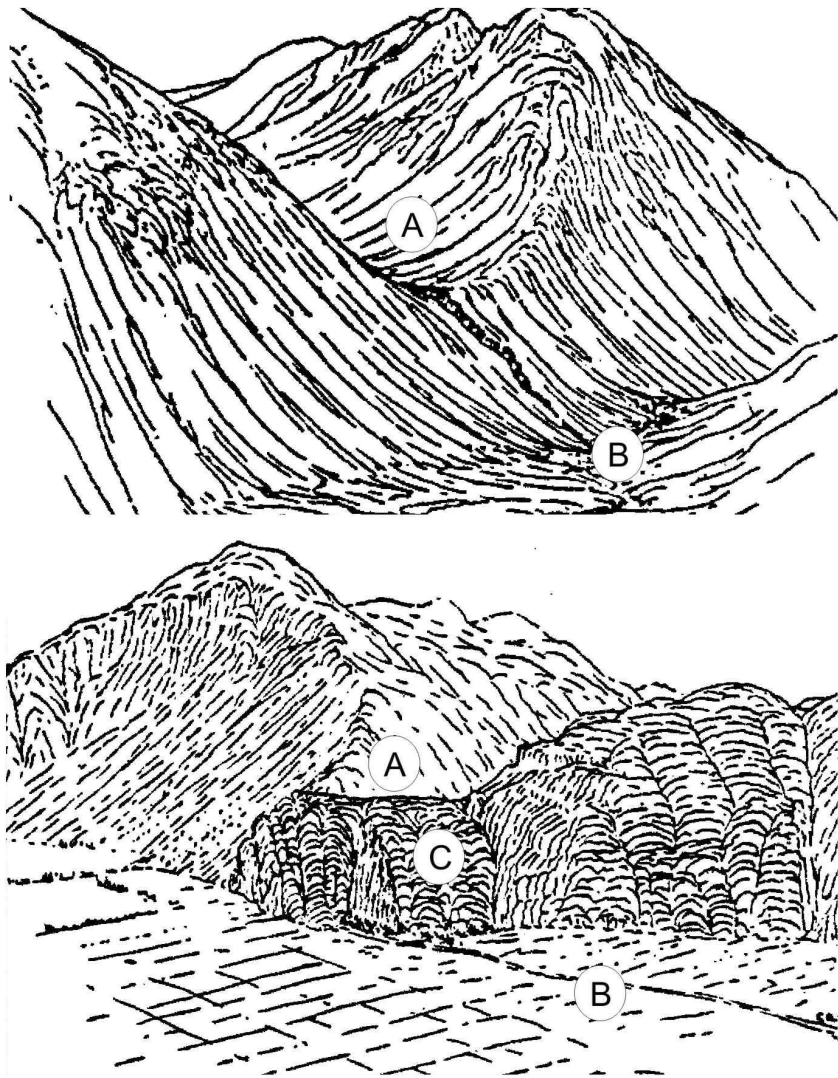


Figura 3. Relación de discordancia entre un valle colgante glaciario (A) y el principal (B). Esquema de un *bastion* (C) tomado de Cotton (1941, fig. 95, pág. 233).

dominio de aglomerados volcánicos en su parte media-inferior y lavas de variada potencia en la superior. En forma similar ya se había expresado Pesce (1989), quien definió la unidad. Sus mejores perfiles se observan en las paredes este y norte de la depresión volcánica y en el valle del río Agrio hasta la Puerta de Trolope. Para Mazzoni y Lictra (2000) la Formación Hualcupén es parte de sus unidades precadera, hallándose bien expuesta en los laterales internos de la misma. Su esquemático perfil de un sector del borde este (Fig. 3), muestra una sección psefitica inferior, integrada por flujos de detritos gruesos y en menor proporción conglomerados y psamitas. Hacia arriba distinguen sedimentos

tobáceos, psefitas y arenas volcanoclásticas, depósitos de flujos piroclásticos y diques. Lavas basálticas rematan la secuencia. Por su parte Folguera *et al.* (2004) en una reciente interpretación de la geología del área, diferencian al sur del valle del Pilun Challa unas lavas de *plateau* asignadas a la Formación Cola de Zorro o Hualcupén de edad pliocena y al norte de aquellas unos sedimentos volcanoclásticos miocenos, deformados por plegamiento, a los que consideran equivalentes a la Formación Cura Mallin, definida por Suárez y Esparán (1997) en territorio chileno. Dos amplios cuerpos dómicos de tonos claros, constituidos por riolitas y dacitas porfíricas, se disponen sobre el margen

norte de la caldera de Caviahue-Copahue (Figs. 2 y 4). Su edad es estimada en $0,66 \pm 0,07$ Ma (Linares *et al.* 1999).

Desde el punto de vista geomorfológico la región exhibe los rasgos propios de un *paisaje compuesto*, en el que distintos procesos geomórficos han dejado su sello impreso en el relieve.

Su evolución geomorfológica correspondería sintéticamente a esta sucesión: a) un ciclo fluvial previo impuesto sobre un paisaje generado por la actividad volcánica mio-pliocena; b) el cambio climático del Cuaternario condujo a su reemplazo por la morfogenia glaciaria; c) el mejoramiento climático postglaciario posterior instaló un ciclo fluvial que es coetáneo con el proceso de remoción en masa que a nivel regional se comprobó en el sector norte de la Cordillera neuquina con avalanchas de rocas y otros movimientos gravitacionales. Pese a las modificaciones ulteriores del paisaje generado por la acción glaciaria, sus rasgos propios de un englazamiento del tipo alpino, constituyen el componente más sobresaliente y distintivo de su ambiente.

En la zona de estudio se distinguen dos artesas tributarias colgantes con relación a la artesa que ocupara el glaciar principal del Pilun Challa, denominadas del Cajón de los Maderos y de las Lagunitas (Figs. 2 y 4a). Esta última muestra en su tramo inferior, la afluencia de una pequeña artesa también tributaria y colgante, que aloja dos pequeñas lagunas en su parte superior. La importante artesa del Cajón Chico situada inmediatamente al oeste, no es del tipo colgante y alberga la laguna Negra. Los glaciares previos de las artesas de los cajones de los Maderos, las Lagunitas y del Cerro Bayo oriental, no respondían al clásico modelo de un glaciar de valle con un centro de alimentación en un circo glaciario. El aporte de hielo glaciario se debía al fenómeno de la difluencia glaciaria, un tipo de abastecimiento indirecto relacionado con la gran calota de hielo que albergó la caldera de Caviahue-Copahue, cuyo espesor superó en su borde norte los 800 metros. Su desborde condujo al consecuente desvío de importantes volúmenes de hielo hacia el glaciar troncal de Pilun Challa (González Díaz 2003).

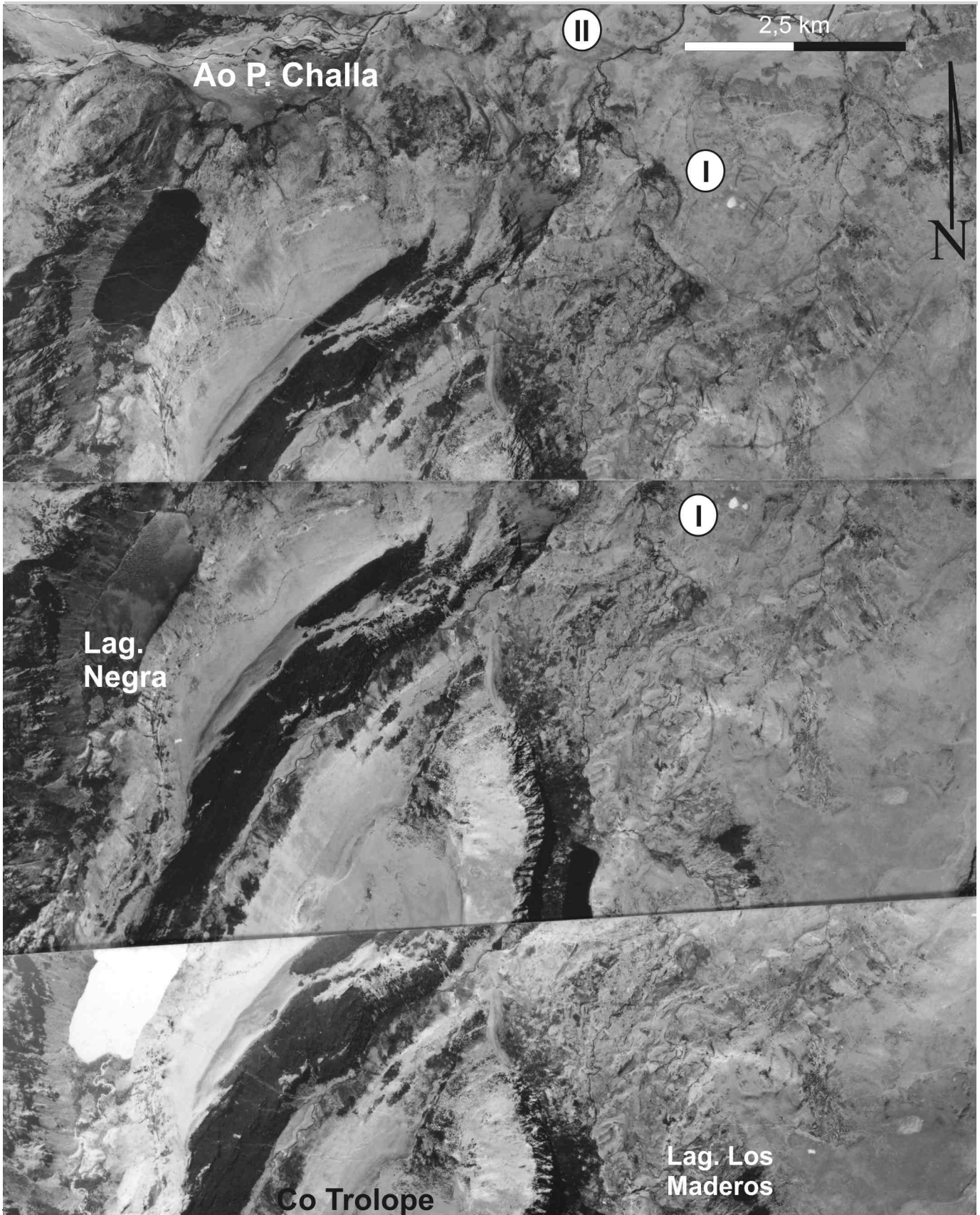


Figura 4: Montaje no controlado de los distintos segmentos de la avalancha de Pilun Challa. (I) proximal; (II) intermedio; (III) distal.

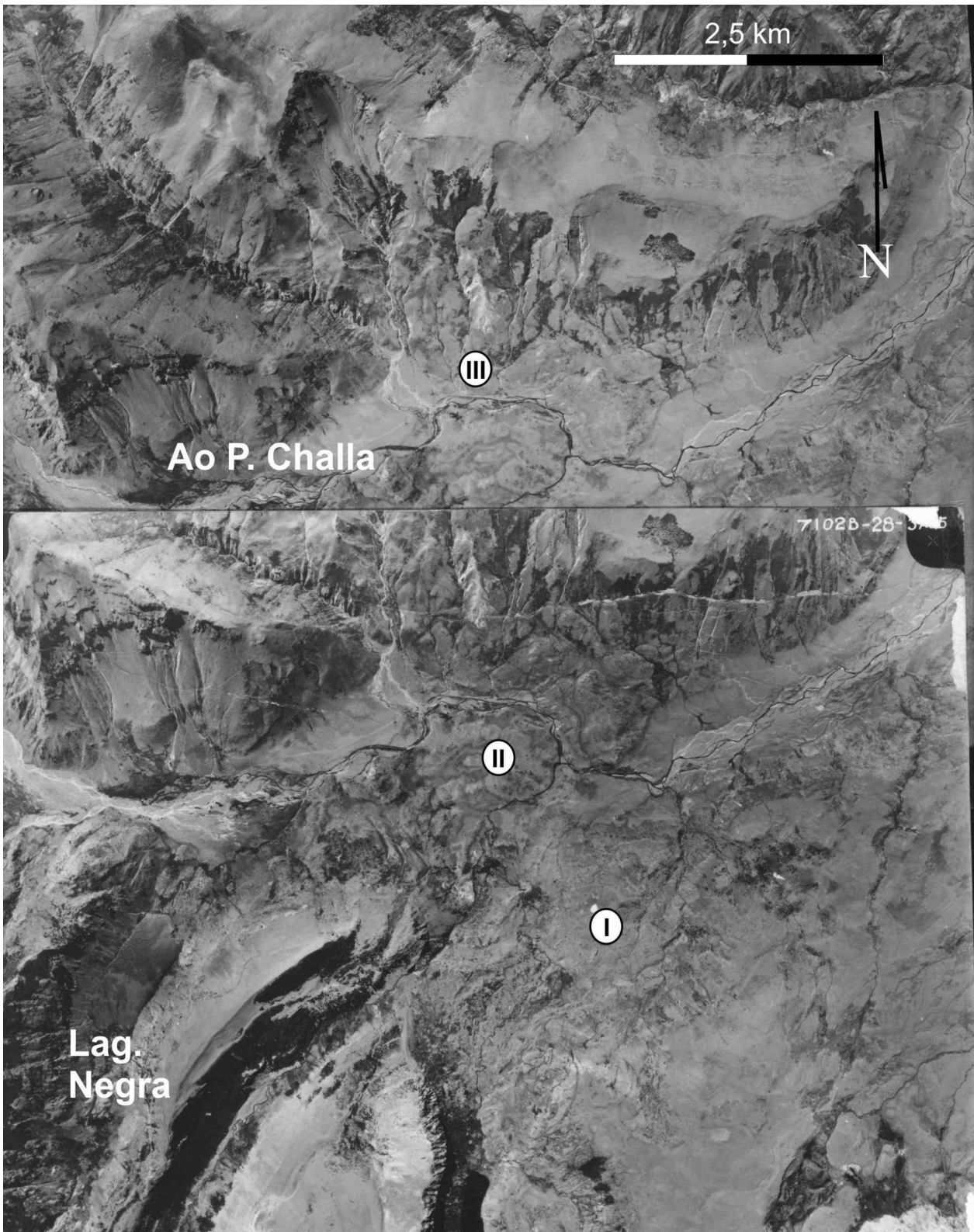


Figura 5: Montaje no controlado de las acumulaciones de los segmentos II y III.

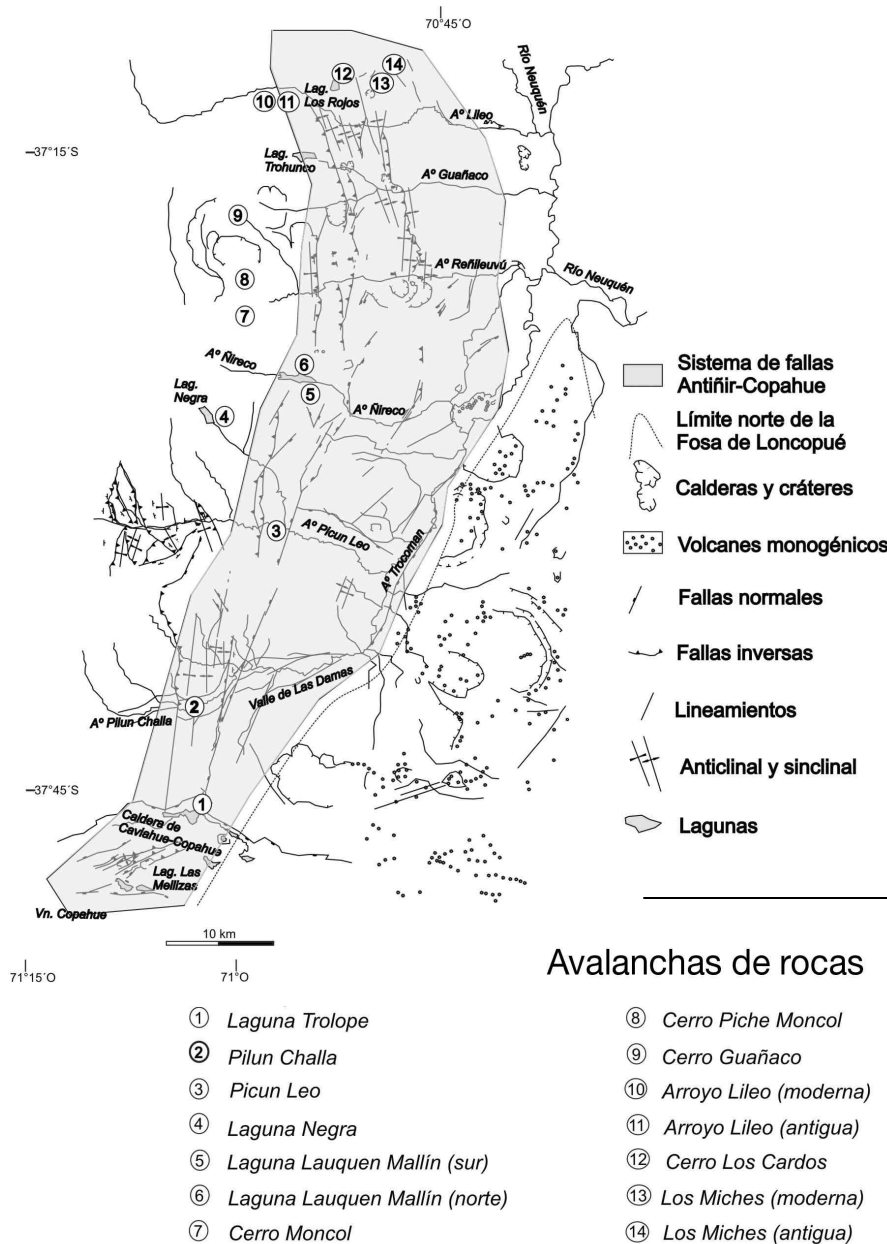


Figura 6. Esquema estructural del sistema de fallas de Antiñir-Copahue en la cordillera neuquina entre la caldera del Caviahue-Copahue y el arroyo Lileo (tomado de Folguera *et al.* 2004) y su disposición respecto de diversas avalanchas de rocas ya analizadas.

Las evidencias morfológicas aparecen expresadas en forma de tres abras o pasos en la parte superior del borde norte de la caldera (línea dentada con triángulos blancos en Fig. 2). Observadas desde el interior de la caldera su morfología remeda valles colgantes, razón por la que Cotton (1941) los denominó *mock hanging valleys*. Las flechas negras entre los cerros

Trolope y Bayo (Fig. 2), indican la dirección del escape del hielo glaciario desde el *blister* glaciario hacia el glaciar de Pilun Challa. Otros componentes morfológicos locales también vinculados a la morfogenia glaciaria pleistocena, corresponden a geoformas agradacionales. En el tramo terminal de la artesa del Cajón

Trolope se localizan dos morenas laterales, que aparecen desbordantes sobre la divisoria occidental de la artesa, extendiéndose hasta las proximidades de su afluencia al Pilun Challa. La situada a mayor altura tiene una longitud cercana a los 4 km, en tanto que en la inferior esa distancia se reduce casi a la mitad (Figs. 2 y 4a). Un pequeño remanente de una geoforma similar, se ubica sobre el extremo norte del lateral izquierdo del valle de la laguna de los Maderos.

Aparte de las acumulaciones de la avalancha de Pilun Challa, otras geoformas sobresalientes del área son los citados domos ácidos, la extensa planicie aluvial actual, y niveles de terrazas que son el resultado de la disección de los depósitos sedimentarios de un lago efímero debido al endicamiento del arroyo por las acumulaciones de la avalancha. En la desembocadura del Cajón Chico y sobre su pendiente oeste (Fig. 2), se ha interpretado la existencia de un fenómeno propio de expansión lateral rocosa profunda (*sackung*).

Como complemento se analiza el origen probable y la descripción de una geoforma secundaria y muy local. Se interpreta que la misma ha influido en la mecánica del movimiento del fenómeno gravitacional.

En la pendiente que se extiende entre la parte superior del lateral del valle donde ocurrió el desprendimiento de los depósitos de la avalancha, se intercala un sobresaliente resalto o prominencia rocosa similar a una explanada, cuya superficie situada unos 100-120 metros por encima de la planicie aluvial del arroyo Pilun Challa. Se halla cubierta por las acumulaciones proximales de la avalancha de rocas (Segmento I en Fig. 2), de modo que sólo se observa un reducido margen (Fig. 2).

En cuanto a su génesis los autores sugieren dos alternativas: 1) interpretarla como una berma o explanada, que ha resultado de la degradación de un sector de la planicie estructural compuesta por la Formación Hualcupén. La dispar resistencia a la erosión de esta secuencia volcánica, generó una irregularidad en su escarpa de erosión sobre el valle del arroyo Pilun Challa similar a una plataforma.

2) La restante se vincularía con la morfogenia glaciaria. Entre un glaciar troncal y la

afluencia de un tributario suele establecerse una situación de discordancia, un producto resultante de los volúmenes diferentes de sus respectivas masas glaciarias y por lo tanto de diferentes tasas de erosión. Morfológicamente esta situación aparece representada por un resalto abrupto y empinado entre sus respectivos valles, un rasgo que define un valle colgante (Fig. 5a). Más ocasionalmente se observa en una zona de afluencia una extensión rocosa (Fig. 5b) que se proyecta hacia el eje del valle troncal a partir del piso del valle colgante. Esta singular y sobresaliente geoforma del empinado flanco de una artesa fue denominada *bastión* por Cotton (1941). Según Cotton (1941) se debe a la reducción del poder erosivo lateral (desbastamiento) del glaciar principal en la zona de la discordante afluencia, debido al empuje aplicado por la lengua tributaria hacia el eje del troncal. Si bien la falta de un necesario control de campo ha limitado una precisa decisión de las alternativas, el reconocimiento de la intercalación de una plataforma o explanada en la pendiente es importante para el propuesto mecanismo del movimiento.

MARCO TECTÓNICO

Un resumen de las consideraciones alcanzadas por Folguera *et al.* (2004) respecto de la evolución tectónica de la región, son expuestas a continuación.

Un conjunto de modernas estructuras se insertan en aquella más regional que se conoce con el nombre de faja plegada y corrida de Guañacos. La zona de estudio se halla cercana a la posición de su frente orogénico que corresponde al sistema de fallas de Antiñir-Copahue, el que es considerado como la continuación en territorio nacional del sistema de fallas de Liquiñe-Ofqui, que recorre el arco volcánico en Chile (Hervé 1976, Lavenu y Cembrano 1999). Su ingreso en Argentina ocurre a la latitud de Copahue, aproximadamente a los 38°S.

El sistema Antiñir-Copahue tiene en su parte sur un rumbo general al noreste, para luego disponerse norte-sur, a partir del valle del arroyo Reñileuvú (Folguera *et al.* 2004).

La estructura y la evolución tectónica en la zona del valle de las Damas y sus alrededores muestran la coexistencia de distintas

generaciones. La más conspicua corresponde a una faja imbricada con vergencia hacia el oeste correspondiente a la faja de Guañacos, que deforma secuencias oligo-miocenas en la cuenca de Cura Mallín (Niemeyer y Muñoz 1982). La vergencia alternante de esta faja, se asocia a la polaridad inicial de las fallas normales que controlaron la sedimentación de las sucesiones oligo-miocenas.

Localmente la inversión tectónica de esta cuenca sucedió a finales del Mioceno. Esto se halla atestiguado por la discordancia angular que separa la estructura imbricada del conjunto subhorizontal de la Formación Cola de Zorro (González y Vergara 1982). Esta última formación equivale a la Formación Hualcupén (Pesce 1989), en territorio argentino.

Entre el Mioceno superior y el Cuaternario la faja de Guañacos crece de oeste a este. Si bien en la zona los pulsos de deformación intermedios (pliocenos) no están bien constatados, si lo están aquellos de deformación más jóvenes correspondientes al sistema de fallas de Antiñir-Copahue, asociados a la actividad de fallas neotectónicas en el frente de deformación.

Dos fallas principales, aquí denominadas del Cerro Trolope y del Cerro Bayo de respectivas orientaciones generales norte-sur y noreste cruzan la zona. Las mismas poseen escarpas de fallas bien preservadas, lo que sugiere la juventud de su ocurrencia. Además su traza coincide con la presencia de numerosos centros volcánicos de edades cuaternarias, de general composición basáltica.

La falla del cerro Trolope es la continuación hacia el sur de un corrimiento mioceno con vergencia hacia el oeste, que se extiende entre el valle del Pilun Challa y los baños termales de Picun Leo (Fig. 6). Se supone que esta estructura se relaciona con su reactivación en tiempos cuaternarios. Se la observa en el valle del arroyo Picun Leo, donde afecta sedimentos lacunares postglaciares (Iaffa *et al.* 2002), resultantes del endicamiento de su curso por la avalancha homónima. Su polaridad cambia allí a oriental, lo que sugiere una componente lateral de esta estructura compresiva.

La falla del cerro Bayo tiene excepcional

desarrollo longitudinal. Parte desde el borde norte de la caldera de Caviahue-Copahue, pasando por el valle de las Damas, donde devela una mecánica extensional con labio colgante occidental.

El desarrollo dispar de orientaciones, se relaciona con fallas que reactivan líneas y estructuras oligo-miocenas, las cuales en la zona tienen una orientación predominante norte-sur.

El valle de las Damas también tiene un origen estructural. Fallas extensionales de orientación promedio este-oeste deprimen el labio austral, generando una estructura de tipo hemigraben en la que se desarrolla el citado valle. La edad de la estructura es pliocena inferior, ya que secuencias volcánicas pertenecientes a la Formación Cola de Zorro inclinan hacia el norte, hacia el eje del valle, exponiéndose en el labio alto la secuencia paleógena de la Formación Cura Mallín.

De esta manera se constata localmente un pulso de extensión en el Plioceno inferior, que ya había sido comprobado a nivel regional (Folguera *et al.* 2003, Zapata y Folguera 2005) y que interrumpe el desarrollo de la faja plegada y corrida de Guañacos entre el Mioceno y el Cuaternario.

DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DE LA AVALANCHA DE ROCAS DE PILUN CHALLA.

En la zona del desprendimiento -localizada en el ámbito de la Formación Hualcupén- se observa una extensa cicatriz suavemente cóncava, que delimita una escarpa elevada de 100 metros. Se definen en forma esquemática tres segmentos de depositación de sus materiales detríticos (Fig. 2). Corresponden a sus sectores: proximal, intermedio y distal.

a) Segmento proximal: (I en Figura 2)

Sus depósitos solitarios y desconectados se disponen sobre la ya explanada citada, cubriéndola a excepción de un limitado margen. Se hallan desconectados de las acumulaciones distales de este movimiento. Su relieve es moderadamente irregular, con dos pequeñas depresiones efímeramente ocupadas por las aguas de lluvia o nieve. Su

parte frontal bastante empinada conforma un grueso reborde (cresta de presión?) circundante. En ella se observa una sucesión de pequeños resaltos suavemente convexos, quizás pequeños deslizamientos rotacionales múltiples.

Un resalto o escalón de una altura aproximada a los 125 metros, separa esta sección del deslizamiento de aquella correspondiente al segmento intermedio.

Sus acumulaciones están escasamente disectadas por pequeños cursos cuyas cabezas se disponen en el interior de este segmento. Dos arroyos más importantes con nacientes dispuestas a mayores alturas en la escarpa del desprendimiento, definen nítidamente sus límites este y oeste.

La superficie cubierta por lo detritos del segmento proximal es del orden de los 1,8 km². El escabroso resalto que lo separa del fondo del valle, tiene una altura aproximada de 125 metros.

b) Segmento intermedio: (II en Figuras 2 y 5):

Se localiza en el fondo del valle del arroyo Pilun Challa entre el pie del citado resalto y el curso del arroyo Pilun Challa. Comprende el mayor y principal tramo de la avalancha de rocas, al componer el obstáculo que endicó sus aguas. El arroyo Pilun Challa y aquel del Cajón Trolope, han disectado sus depósitos. El actual curso del arroyo señala aproximadamente su límite con el segmento distal. Durante el movimiento sus materiales se expandieron levemente aguas arriba por el fondo del valle, en tanto que aguas abajo muestran una mayor proyección probablemente debida a un control de su original pendiente. Su paisaje es sumamente irregular (Figs. 2 y 5), correspondiendo su relieve a una sucesión de bajos y romos montículos y aisladas depresiones (*knob and kettle landscape*), muy similar al de una morena.

Cubre un área de aproximadamente unos 4,4 km². Estas últimas características y el rasgo superficial sobresaliente de sus acumulaciones, influyó sin duda en Groeber (1925), para interpretarlo como evidencias morfológicas correspondientes a términos de su segunda glaciación.

Se destaca una alargada depresión local, situada en las cercanías de la margen derecha del curso del arroyo Pilun Challa. Suele

alojar un cuerpo de agua efímero por aportes de aguas de lluvia o por ablación de la nieve (Figs. 2 y 5).

Sobre el lateral izquierdo de este segmento se interpretaron dos cortos y bajos terraplenes paralelos como albardones o terraplenes marginales, formados durante la fase de flujo de la avalancha de rocas.

En su desplazamiento hacia el flanco izquierdo del valle el flujo aisló una pequeña elevación de rasgos similares a una mesilla (*tepee*), situada en las cercanías de la margen derecha del arroyo Pilun Challa (Fig. 5). La componen estratos horizontales de una unidad que Groeber (1921), denominó macizo de porfirita.

Se estima que la superficie cubierta por las acumulaciones del segmento II es de unos 4,4 km².

c) Segmento distal: (III en Figuras 2 y 5):

Comprende esencialmente las acumulaciones que integran la fase de trepada de la avalancha de rocas en el flanco opuesto del valle. Sus límites no han sido precisamente establecidos impidiendo una evaluación de la altura que alcanzara y una apreciación de la velocidad del movimiento. La provisoria estimación del área de este segmento alcanza a los 1,1 km².

Sumando las diferentes extensiones de los distintos segmentos, una precaria evaluación de la superficie total de la avalancha de rocas de Pilun Challa, sería del orden de los 7,3 km². Su volumen no ha sido calculado, pero proponiendo un espesor mínimo promedio para sus acumulaciones de 2 metros, sería de unos 14,6 x 10⁶ m³. Este valor supera largamente los requisitos volumétricos señalados por Coates (1977) y Keefer (1984), para definir una avalancha de rocas.

INTERPRETACIÓN DE LA MECÁNICA DEL MOVIMIENTO

Si bien la ausencia de un detallado análisis de campo limita las conclusiones al respecto, se sugiere que la previa y estable masa rocosa dejó de comportarse como un cuerpo rígido para comenzar a desintegrarse y movilizarse pendiente abajo, debido a la acción desencadenante de un sismo.

La fase inicial de su desprendimiento

correspondería a un desplazamiento casi vertical, afín a una caída de rocas, durante un desnivel de unos 100 metros, para alcanzando su total desintegración al impactar contra la superficie de la explanada situada en posición inferior. Luego del impacto la energía potencial se transforma en cinética y la masa se movilizó sobre la superficie de la plataforma hacia adelante orientándose hacia el NNO.

La superficie de la explanada está prácticamente sepultada bajo una cobertura compuesta por remanentes detríticos de la avalancha de rocas (véase I en Figs. 2 y 5), debido a su retención o evacuación parcial.

Una fase intermedia (II) es propuesta a partir del momento en que en su desplazamiento supera el abrupto borde de la explanada. Durante la misma ocurriría un particular proceso en el mecanismo del movimiento. Los autores interpretan que la plataforma ha jugado el rol de una rampa de lanzamiento (*launching step*), de modo similar a la enunciada para algunos grandes deslizamientos (*Blackhawk Landslide o Sherman Glacier Rock Avalanche* de Shreve 1968 a y b, respectivamente). En esta descripción no se avala la idea del colchón de aire.

A favor de dicha estructura y una vez superado el borde de la plataforma, la dirección del movimiento se desvía hacia el norte y la masa de la avalancha de rocas se proyecta en forma de un vuelo (*jumping*) hacia el eje del valle.

Principalmente a dicha fase corresponden los depósitos que provocaron la obstrucción del arroyo Pilun Challa y constituyen las acumulaciones del segmento intermedio (II) halladas del centro del valle (Figs. 2 y 5).

La fase final (III) se relaciona con la interpretada trepada (*run-up*) resultante de la adecuada velocidad que debió alcanzar el movimiento y el impacto de la avalancha contra la pendiente del lateral opuesto (Figs. 2 y 5). Coetáneamente o con posterioridad al impacto hubo una nueva deflexión de la masa en movimiento. Una parte de sus materiales se desplazaron aguas abajo en forma de una estrecha lengua (Fig. 2). Se reconocen principalmente sobre el lateral derecho del valle.

La probable incorporación de un indeterminado volumen de agua del arroyo Pilun Challa a la avalancha durante su recorrido transversal por el fondo del

valle, pudo conducir a una disminución en la fricción interna de la masa (mayor fluidez) con el consiguiente aumento de la rapidez de su desplazamiento.

La avalancha de rocas de Pilun Challa corresponde al tipo II de Swanson et al. (1986), pues no sólo han cubierto una extensión de su planicie aluvial, sino que además han trepado el faldeo opuesto.

En la historia geomórfica de la zona de estudio, se destaca la formación de un gran cuerpo lacunar -hoy desaparecido- cuya extensión aguas arriba de la obstrucción alcanzó unos 6 km. Se estima que su máximo ancho (1.200 m), se hallaba frente a la desembocadura del Cajón Chico. La superación de este obstáculo es relacionada con un progresivo ascenso del nivel del lago, un proceso que aparentemente aconteció en forma gradual, sin la intervención de un colapso catastrófico de la estructura natural confinante, como aconteciera en el caso de la avalancha de rocas del río Barrancas, el 29/12/1914 (Groeber 1916, González Díaz et al. 2001). Posteriormente al desborde de las aguas del lago por sobre el muro natural, una activa erosión fluvial disecta sus materiales, accionar que culmina con el desarrollo de la estrecha y profunda garganta actual, el desagote del lago y el consecuente reestablecimiento del perfil de equilibrio del curso del Pilun Challa a partir de la obstrucción. La garganta fluvial se ubica aproximadamente en el límite entre los segmentos II y III. También la erosión condujo al desarrollo de terrazas de erosión a expensas de los sedimentos lacunares, de las cuales la más conservada se halla aguas arriba del endicamiento y al pie del lateral norte del valle (Figs. 2 y 5).

Otro nivel de terraza similar situado aguas abajo de la obstrucción, es motivo de especulaciones. Puede ser interpretado como anterior a la ocurrencia del fenómeno de la avalancha de rocas de Pilun Challa y el endicamiento o corresponder al aterrazamiento de partes muy distales no constatadas de materiales de la avalancha de rocas.

Los amplios niveles de terrazas de la margen izquierda del valle han sido parcialmente cubiertos por las acumulaciones de varios abanicos aluviales.

PROPUESTO INDUCTOR DE LA AVALANCHA DE ROCAS DE PILUN CHALLA

Los argumentos utilizados para avalar la relación genética de la avalancha de rocas de Pilun Challa, son de carácter morfológico y otros sismotectónicos. Entre los primeros Keefer (1984) menciona como importantes la presencia de elevados desniveles (> 150 metros) entre el punto superior de la escarpa y la base de la pendiente y que la inclinación de esta última supere los 25°. Estos requisitos se ven ampliamente cumplidos en el valle glaciar de Pilun Challa.

La zona del desprendimiento de la avalancha de rocas de Pilun Challa se localiza en la parte superior de la pendiente. Esta situación topográfica ha sido considerada por Desmores y Hovius (2000) como una prueba de su inducción por un sismo, facilitando empíricamente su distinción de aquellas desencadenadas por intensas precipitaciones, cuyas muescas de arranque se ubican en el pie de las pendientes.

También se ha adjudicado primordial importancia a las condiciones sismotectónicas de la región cordillerana septentrional del Neuquén, para la ocurrencia de avalanchas de rocas entre los paralelos 36° y 38°S (González Díaz et al. 2000, 2001, 2003, 2004).

Además de destacar la alta concentración de sismos registrados instrumentalmente en dicha región y la marcada asimetría que en tal sentido exhibe con la región al sur de los 38°S, en su ponencia señala la notoria coincidencia de la situación geográfica de avalanchas de rocas distinguidas, ya más de 50, con la disposición espacial de importantes elementos estructurales como algunas fallas de reciente data con evidencias de neotectónica. La figura 6 comprende un tramo parcial del mapa de Folguera et al. (2004), entre la caldera de Copahue al sur y al norte el valle del arroyo Lileo. Expone sintéticamente aspectos estructurales de ese sector, como prueba de la estrecha relación existente entre estos grandes deslizamientos y un sistema de fallamiento de carácter regional de propuesta edad postglaciar pleistocena hasta holocena.

La distribución de las avalanchas de rocas de Pilun Challa, la de Picun Leo (Iaffa et al.

2002) y las "I" y "II" de la laguna Lauquen Mallín (González Díaz y Folguera 2005), muestra su coincidencia espacial con tramos de un conjunto de fallas, denominado sistema de fallas de Antñir-Copahue (Folguera et al. 2004).

Esta manifiesta coincidencia se podría extender sin dificultades más al norte, hasta involucrar aquellas avalanchas de rocas del cerro Los Cardos (González Díaz et al. 2005) y las reconocidas en un sector entre los valles de Reñileuvú y Guañaco (González Díaz y Folguera 2005).

EDAD DE LA AVALANCHA DE ROCAS DE PILUN CHALLA

Una relativa y genérica consideración *post-glaciar* de la ocurrencia de las avalanchas de rocas y grandes deslizamientos que fueran analizados y descritos en la Cordillera neuquina entre los 36° y 38°S por uno de los autores (G.D.), continúa siendo válida.

La distribución de sus acumulaciones en el interior de un valle glaciar avala esa asignación temporal, aunque no se descarta la alternativa de que en algunos casos el colapso de las pendientes haya acontecido en el Pleistoceno tardío, en momentos en que el término del glaciar se hallaba aguas arriba de la zona del desprendimiento.

Bermúdez y Delpino (1999) mediante el análisis radimétrico de turba extraída del sistema de arcos de la Puerta de Trolope de Copahue, han estimado en 30 ka la edad del máximo glacial en la región.

OTROS MOVIMIENTOS GRAVITACIONALES ADYACENTES (Fig. 2)

Algunos de ellos son reconocidos provisionalmente como asociados temporalmente a la avalancha; otros como posteriores.

Del primero se destaca un importante deslizamiento, de volumen afín al de una avalancha, cuyos materiales cubren una superficie estimada en 2,8 km². Aparentemente se superponen lateralmente a depósitos marginales del segmento proximal de la avalancha de rocas de Pilun Challa.

Su escarpa de desprendimiento se localiza

sobre el lateral derecho de la artesa de la laguna de los Maderos, en las cercanías de su desembocadura al valle de Pilun Challa (Fig. 2), y ha generado por obstrucción, la laguna de los Maderos.

Entre los probables posteriores se consideran como válidos para destacar:

- 1) El del Cajón Chico, cuyas acumulaciones originaron por endicamiento de su curso la extensa laguna Negra. La cicatriz de su desprendimiento se localiza sobre el flanco derecho, en las proximidades de su afluencia al Pilun Challa,
- 2) En el extremo norte de la morena marginal superior y mayor que compone la divisoria entre la anterior artesa y la del cerro Trolope, se individualizó un deslizamiento cuyos depósitos alcanzan la planicie aluvial del arroyo Pilun Challa.
- 3) Los distinguidos sobre la margen izquierda del valle de Pilun Challa, aguas arriba de la avalancha homónima y la confluencia del Cajón del Potrero de los Bueyes.
- 4) Al este y a mayor altura que la cúspide del run-up de la avalancha de Pilun Challa, se encuentra un importante deslizamiento, cuya cicatriz de desprendimiento muestra dos suaves concavidades asociadas. Pendiente abajo se observa un compacto bloque deslizado, cuyas características abogan por definir al movimiento como del tipo rotacional.

CONCLUSIONES

El reconocimiento de la avalancha de rocas de Pilun Challa, constituye una concluyente, sólida evidencia que refuerza la propuesta del reconocimiento de una única glaciación en la región de Caviahue-Copahue y sus adyacencias.

Su situación geográfica coincide con aquella geofoma que Groeber (1925), propusiera como evidencia de la presencia de una morena frontal correspondiente a un término de su segunda glaciación. Esta general confusión comprobada en la región neuquina entre los 36° y 38°S, sobre la génesis de ciertos depósitos de diamictos (Groeber 1947), es decir proceso de remoción en masa vs. morfogenia glaciar, sigue viéndose reiterada (Rovere *et al.* 2000).

La mecánica de la avalancha de Pilun Challa mostraría al parecer la influencia de algunas

particulares características morfológicas previas de la zona adyacente a su desprendimiento. La presencia de una plataforma o explanada, para la que se propone un origen similar al de un bastión, apunta a proponer una fase de vuelo o salto durante su desarrollo.

Por la distribución y disposición de sus materiales en el valle del Pilun Challa, es referida al tipo II de Swanson *et al.* (1986). Ha endicado su curso y generado un lago efímero de amplias dimensiones, cuyo drenaje fue progresivo a medida que se elevaba el nivel de sus aguas, sin un episodio de colapso catastrófico.

La avalancha muestra una fase distal o final de *run-up* o trepada del lateral opuesto.

Su ocurrencia estuvo íntimamente ligada a las condiciones sísmicas de la región y a la existencia de zonas de debilidad estructural, relacionadas con un conjunto de fallas modernas (Neotectónica), que integran un sistema de fallas Antifiir-Copahue (Folguera *et al.* 2004) de finales del Cuaternario.

En cuanto a su asignación temporal se sugiere su relativa edad postglaciar, avalada por su ocurrencia y la presencia de sus acumulaciones en el ámbito de una artesa glaciar.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al SEGEMAR el haber facilitado los fotogramas y la imagen satelital para la concreción de esta presentación, gesto que se hace extensivo a las colegas Lic. María Alejandra González y Lic. Valerie Baumann, como árbitros de la misma.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Bermudez, A. y Delpino, D. 1999. Erupciones subglaciales y en contacto con el hielo en la región volcánica de Copahue, Neuquén. 14° Congreso Geológico Argentino (Salta), 2: 250-253. Buenos Aires.
- Coates, D.R., 1977. Landslides perspectives. En: D.R. Coates (ed.) Landslides. The Geological Society of America, Reviews in Engineering Geology 3: 3-28. Boulder.
- Cotton, C. A., 1941. Climatic Accidents, 353 págs. John Willey and Sons, Inc. N. York.
- Densmore, A.L. y Hovius, N. 2000. Topographic fingerprints of bedrock landslides. *Geology* 28(4): 371-374.

- Folguera, A., Ramos, V.A., Hermanns, R.L., y Naranjo, J.L. 2004. Neotectonic in the foothill of the Southernmost Central Andes (37°-38°S). Evidences of the strike-slip displacement along the Antifiir-Copahue Fault Zone. *Tectonics* 23, TC 5008, 23 pp.
- Folguera, A., Araujo, M., Ramos, V., Melnick, D., Hermanns, R., García Morabito, E., Bohm, M. 2003. Seismicity and variations of the crustal tensional state of the retroarc in the Southern Central Andes during the last 5 Ma (37°30'-39°S). 10° Congreso Geológico de Chile, archivos electrónicos 6 p., Concepción.
- González Díaz, E. F. 2003. 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.
- González Díaz, E. F. 2004. Geomorfología de la región del volcán Copahue y sus adyacencias (centro-oeste del Neuquén). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 60(1): 72-87, Buenos Aires.
- González Díaz, E. F. y Ferrer, J. F. 1986. Geomorfología de la Provincia del Neuquén. Consejo Federal de Inversiones, (inédito) 98 p., Buenos Aires.
- González Díaz, E.F., Fauque, L.E., Giaccardi, A.D. y Costa, C.H. 2000. Las lagunas de Varvar Co Campos y Varvar Co Tapia (N del Neuquén): 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 de Ailincó-Cerro Papas-Las Olletas (Departamento Minas, norte del Neuquén, Argentina). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 58(2): 194-200, Buenos Aires.
- González Díaz, E.F., Folguera, A. y Hermanns, R. 2005. La avalancha de rocas del C° Los Cardos (37°10'S, 70°53'O), en la región norte del Neuquén. *Revista de la*

- Asociación Geológica Argentina 60(4): 207-220, Buenos Aires.
- González Díaz, E.F. y Folguera, A. R. 2005b. El reconocimiento de nuevas avalanchas de rocas en el área neuquina delimitada por los paralelos 37°15' y 37°30' S y los meridianos 70°55' y 71°05' O. Revista de la Asociación Geológica Argentina, presentado.
- Groeber, P. 1916. Informe sobre las causas que han producido las crecientes del río Colorado (Territorios del Neuquén y La Pampa) en 1914. Dirección General de Minas, Geología e Hidrogeología, Boletín 11 (Serie B, Geología): 1-19, Buenos Aires.
- Groeber, P. 1921. Vestigios de un yacimiento petrolífero en Pilún Challa (Territorio del Neuquén). Dirección General de Minas, Geología e Hidrogeología, Boletín 4, Serie F (Informes Preliminares y Comunicaciones): 39-42, 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. 1947. Observaciones a lo largo del meridiano 70. 3. Hojas Domuyo, Mari Mahuida, Huarhuar Co y parte de Epu Lauken. Revista de la Sociedad Geológica Argentina 2: 347-408, Buenos Aires.
- Hervé, M. 1976. Estudio geológico de la Falla Liquiñe-Reloncaví en el área de Liquiñe. Antecedentes de un movimiento transcurrente (Provincia de Valdivia). Primer Congreso Geológico Chileno, Actas 1: B39-B56.**
- INPRES, 1977. Instituto Nacional de Previsión Sísmica. Publicación Técnica 5, 39 p., San Juan.
- Iaffa, D., Gonzalez Diaz, E.F. y Folguera, A. 2002. Tectónica postglaciaria en la Cordillera neuquina, río Picun-Leo (37°30' S). 15° Congreso Geológico Argentino (El Calafate, Santa Cruz), Actas 1: 53-58, Buenos Aires.
- Keefe, D.K. 1984. Rock-avalanches caused by earthquakes: source characteristics. Science 223: 1288-1290.
- Laveno, A. y Cembrano, J. 1999. Compressional and transpressional stress patterns for Pliocene and Quaternary brittle deformation in fore arc and intra-arc zones (Andes of Central and Southern Chile). Journal of Structural Geology 21: 1660-1691.
- Linares, E., Ostera, H. D. y Mas, L. C. 1999. Cronología potasio-argón del Complejo Efusivo Copahue-Caviahue, Provincia del Neuquén. Revista de la Asociación Geológica Argentina 54(3): 240-247, Buenos Aires.
- Mazzoni, M. M. y Licitra, D. T. 2000. Significado estratigráfico y volcanológico de depósitos de flujos piroclásticos neógenos de composición intermedia en la zona del lago Caviahue, Provincia del Neuquén. Revista de la Asociación Geológica Argentina 55(3): 188-200, Buenos Aires.
- Niemeyer, H. y Muñoz, J. 1982. Hoja Laguna de la Laja, Región del Bio-Bio, Carta Geológica de Chile n° 57. Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile, escala 1:250.000, Santiago de Chile.
- Pesce, A. H. 1989. Evolución volcano-tectónica del Complejo Efusivo Copahue-Caviahue y su modelo geotérmico preliminar. Revista de la Asociación Geológica Argentina 44(1-4): 307-327, Buenos Aires.
- Rovere, E., Castelli, A., Hugo, C., Leanza, H., Toura, S. y Folguera, A. 2000. Mapa Preliminar sin texto de la Hoja Geológica Andacollo (3772-IV), Provincia del Neuquén. Carta Geológica de la República Argentina, escala 1:250.000, IRGM (SEGEMAR), Buenos Aires.
- Shreve, R.L. 1968a. The Blackhawk Landslide. Geological Society of America, Special Paper 108, 47 p., Boulder.
- Shreve, R.L. 1968b. Sherman Landslide, Alaska. Science, 154: 1639-1643.
- Swanson, F.J., Oyagi, N. y Tominaga, M. 1986. Landslide-dams in Japan. En: R.I. Schuster (ed.). Landslide Dams-Processes, Risk and Mitigation. American Society of Civil Engineering, Geotechnical Special Publication 3: 131-145, New York.
- Zapata, T. y Folguera, A. 2005. Tectonic evolution of the Andean fold and thrust belt of the Southern Neuquén Basin, Argentina. En: L. Spalletti, G. Veiga, E. Schwarz y J. Howell (eds.) The Neuquén Basin: a case study in sequence stratigraphy and basin dynamic. Geological Society of London, Special Publication (en prensa).

Recibido: 1 de agosto, 2005

Aceptado: 10 de noviembre, 2005