

GRANDES DESLIZAMIENTOS EN LAS CUENCAS TRIBUTARIAS NEUQUINAS DEL CURSO MEDIO DEL RÍO BARRANCAS (NORTE DEL NEUQUÉN)

Emilio F. GONZÁLEZ DÍAZ¹ e Inés DI TOMMASO²

¹Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.

²Sensores Remotos y Sistema de Información Geográfica (SIG), SEGEMAR. Buenos Aires. e-mail:inesditommaso05@yahoo.com.ar

RESUMEN

Se describen y analizan diversos procesos del fenómeno de remoción en masa hasta ahora desconocidos, situados en un sector del extremo norte del Neuquén, drenado localmente por tributarios de la cuenca del río Barrancas. En las quebradas de La Lagunita y de los Díaz se comprobaron dos grandes movimientos, que por sus volúmenes son definidos como avalanchas de rocas. Deslizamientos complejos (*slumps* + fase distal de corrientes de tierra), fueron identificados en las adyacencias orientales de la avalancha de rocas de La Lagunita y en los valles de los arroyos Los Nevados y Buta Cura. Un extenso deslizamiento rotacional se halló en el extremo este de la divisoria que separa las quebradas de La Lagunita y de los Díaz. Numerosos deslizamientos de menor porte, se distribuyen al pie de las pendientes de los valles tributarios principales. Actualmente, el proceso de la remoción en masa se hace evidente con expresiones reducidas de *debris flows* y corrientes de tierra. La promoción de los deslizamientos es variada. La ocurrencia de las avalanchas de rocas se relaciona con un promotor sísmico, en tanto aquella de los deslizamientos complejos y de los menores es vinculada con precipitaciones torrenciales. Las avalanchas de rocas son adjudicadas a tiempos postglaciares o al término del Pleistoceno, coincidiendo con el retiro parcial de los glaciares. Se ha tomado en cuenta, su desarrollo y el alojamiento de sus acumulaciones, en previos valles glaciares. Los eventos del resto de los fenómenos, son adjudicados a un Holoceno no determinado.

Palabras clave. *Mass-wasting, rock avalanches, complex landslides, flows, north of Neuquén Province.*

ABSTRACT

Big slides in Neuquén tributary ravines of Barrancas middle river, north of Neuquén Province.

Various phenomena of mass-wasting process so far unknown are described and discussed, located in the north-end of Neuquén province, drained by tributaries of the local river Barrancas basin. Two great movements were found in the ravines of La Lagunita and de los Díaz, which are defined by their volumes as rock avalanches. Complex landslides (*slumps* + distal earth flows), were identified in the east vicinity of the rock avalanche of La Lagunita and in the Buta Cura and Los Nevados valleys. A large rotational slip was found in the far east of the watershed, between the La Lagunita and de los Díaz valleys. Many smaller-scale landslides are distributed at the foot of the slopes of the main tributary valleys. At present, the process of mass-wasting is evidenced by small debris flows and earth flows. The promotion of landslides is varied. The occurrence of rock avalanches is related with earthquakes, while that of complex landslides and smaller-scale landslides are linked to excessive rainfall. Rock avalanches are awarded to post-glacial times or at the end of the Pleistocene, coinciding with the local withdrawal of the glaciers. The development and hosting of their accumulations have been taken place in previous glacial valleys. The events of other phenomena, are awarded to an undetermined Holocene.

Keywords: *Remoción en masa, avalanchas de roca, deslizamientos complejos, flujos densos, norte de la provincia de Neuquén.*

INTRODUCCIÓN

Este trabajo -de carácter regional- aporta información acerca de la geomorfología y en especial del proceso de la remoción en masa del noreste neuquino.

La región contaba con escasos antecedentes específicos sobre tales fenómenos. El más antiguo (Groeber 1916) se relaciona con “un derrumbe en el río Barrancas”, acontecido a fines del año 1914. Las pendientes muy colgadas del valle favorecieron

un “derrumbe” lateral, el que produjo -en tiempos no determinados- el endicamiento del curso y la formación de la laguna Carrilauquen, frente a las bardas de Yonqui-Ehue (Groeber 1916).

El colapso del dique natural el 29 de di-

ciembre del año 1914 generó el consecuente desarrollo de una creciente, que aguas abajo ocasionó enormes daños en los valles del río Barrancas y del río Colorado. Con posterioridad González Díaz *et al.* (2001), realizaron un detallado análisis que culminó con el establecimiento de las causas y de las graves consecuencias del fenómeno aguas abajo, al que definieron como la “avalancha de rocas del Cerro Pelán” y el reconocimiento de las geoformas allí descriptas. Asimismo, se realizaron reconocimientos complementarios y expeditivos por el valle superior del río Barrancas, que abarcaron las zonas de la laguna Fea y la quebrada de Los Nevados, (Fig. 2). Recientemente, la responsabilidad de la redacción del capítulo Geomorfología y la confección del Mapa Geomorfológico del Neuquén (González Díaz y Di Tommaso 2011 a y b), renovó el interés de los autores en dar a conocer estos fenómenos del proceso de remoción en masa, no descriptos hasta ahora. Mediante esta presentación se incrementa y actualiza el conocimiento geomorfológico y geológico del sector neuquino nororiental, situado al norte del paralelo 39° S. Asimismo se pone de manifiesto una vez más la

importancia que regionalmente alcanzaron en Neuquén, los deslizamientos del tipo avalanchas de rocas (González Díaz *et al.* 2006). El presente análisis geomorfológico se complementa con una somera descripción de las geoformas relacionadas con el volcanismo neógeno y cuaternario local.

UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de trabajo se encuentra situada en el extremo noreste de la provincia del Neuquén (Fig.1), su límite oriental está representado por un tramo del río Barrancas entre la Pampa de los Rayos, al norte y el del arroyo Chadileo, al sur. Al oeste por el meridiano de los 70° 30' O. El acceso se realiza desde la población de Barrancas, situada sobre la Ruta Nacional N° 40 utilizando la Ruta Provincial N° 53. La ruta provincial sigue una traza paralela a la margen derecha del valle del río Barrancas a escasos metros sobre el nivel del río. Permite un fácil y rápido arribo a la laguna Carri Lauquen, la que hoy se encuentra muy reducida –unos 5,6 km de largo y escasa profundidad- pero que alcanzó en 1914 unos 20,7 km de longitud. Por el co-

lapso del dique natural, su nivel descendió unos 95 m (Groeber 1916). Tramos discontinuos de antiguas y elevadas terrazas lagunares -margen izquierda del valle- han permitido una reconstrucción parcial de la extensión original y su profundidad (González Díaz *et al.* 2001).

Superando el vado del arroyo Domuyo o Cochico, se arriba al puesto de A. Canale, luego el camino accede al puesto Lonco Vaca y de allí el ascenso al plateau basáltico. Recorre el sector oriental de la cuenca del arroyo Buta Mallín y desciende en la zona de su afluencia al valle del río Barrancas.

Marginando nuevamente al río Barrancas se alcanza la desembocadura del arroyo Los Nevados, que permite el acceso a sus nacientes hasta la latitud del llamado puente de tierra, situado en el extremo sur de una planicie ignimbrítica extensa y regular, que remata hacia el norte en la laguna Fea.

METODOLOGÍA

Durante el reconocimiento de campo se identificaron los grandes movimientos gravitacionales, por el tramo inferior y medio de la quebrada de La Lagunita y la de su afluente principal, la quebrada de los Díaz. Ambas son tributarias del río Barrancas medio.

Un detallado análisis fotogeológico, realizado mediante fotogramas a escala aproximada 1:60.000 facilitó un mejor entendimiento y descripción de las variadas geoformas observadas. Se constató así la ocurrencia de dos enormes avalanchas de rocas. Los restantes deslizamientos pertenecen a corrientes de tierra (*earth flows*) muy extensas, a típicos movimientos rotacionales, deslizamientos menores de bloques rocosos (*rock glides*) e incontables y modernos flujos densos (*debris flows*) y corrientes de tierras menores.

Para elaborar el mapa geomorfológico se utilizó como base topográfica e interpretativa una imagen satelital Landsat ETM+, ortorrectificada (p232r085-2001/02/07) y el modelo digital de elevaciones SRTM (SRTM_u03_p232r085) asociado. Asimismo, se consultó la carta topográfica Barrancas 3769-I, a escala 1:250.000 de IGN, que abarca el sistema de drenaje neuquino tributario del río Barrancas, entre las latitudes de las lagunas Fea y Negra (36° 10' S) y el arroyo Butaco (37° 00' S).

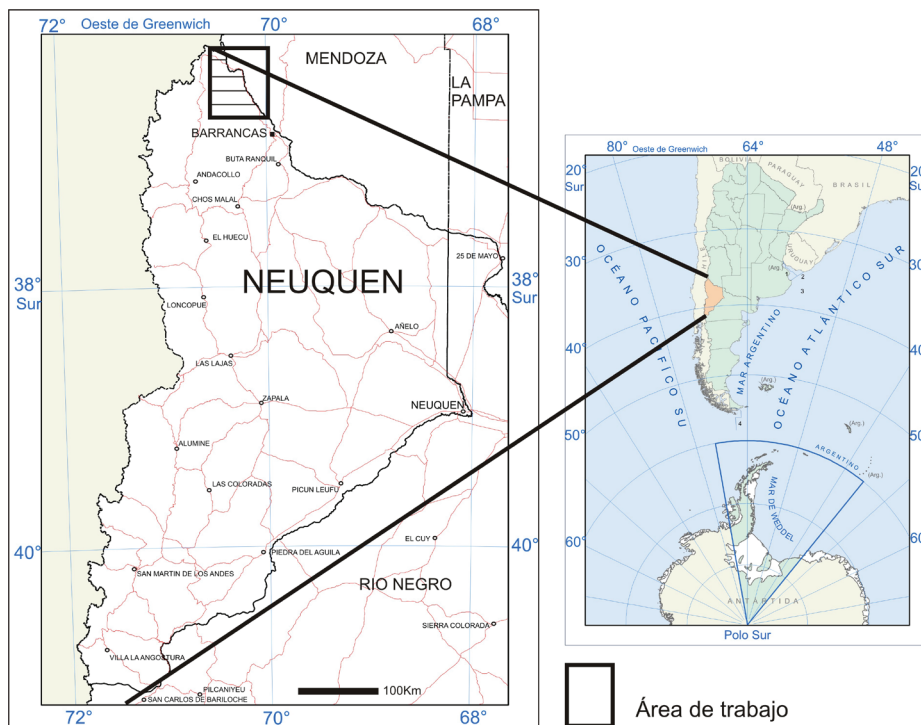


Figura 1. Ubicación del área de estudio

RASGOS GEOLÓGICOS REGIONALES

El más moderno antecedente sobre la geología de la región analizada corresponde a Narciso (2004). Pese a las diferencias halladas con respecto a sus consideraciones del Cuaternario local, su esquema estratigráfico regional constituye la base cronológica de este trabajo (Cuadro 1). Otras consideraciones estratigráficas previas, han sido extraídas de Groeber (1947).

De acuerdo a Narciso (2004), localmente la unidad más antigua es el Grupo Mendoza que abarca el lapso entre el Jurásico superior-Cretácico inferior, representado por una facie continental basal (areniscas, pelitas) de la Formación Tordillo y por las facies marinas de las formaciones Vaca Muerta y Agrio (pelitas, pelitas calcáreas y calizas). Afloran en forma discontinua, a favor de la erosión de la cobertura de coladas plio-pleistocenas, a lo largo de las márgenes del valle del río Barrancas, entre las afluencias de los arroyos Los Nevados, al norte y Butaco al sur. Más reducidas y aisladas son sus exposiciones en las quebradas de La Lagunita y la de los Díaz.

Dispersos afloramientos del Grupo Mendoza, fuertemente deformados, plegados y fallados por la tectónica terciaria, junto a diversas intrusiones del Grupo Domuyo, se hallan desde la quebrada de Los Nevados y el codo del valle del río Barrancas.

La Formación Agrio (calizas y arcillitas calcáreas, marinas) y el posterior Grupo Rayoso (Aptiano-Albiano) con su característica secuencia de evaporitas, calizas y fangolitas, deformados por la fase diastrófica Miránica Principal, exponen una distribución similar a la del Grupo Mendoza, entre la quebrada de Los Nevados y el paraje de Lonco Vaca. Discordantemente aflora el Grupo Neuquén (conglomerados, areniscas y limoarcillitas continentales del Cretácico Superior) en la zona del arroyo Butaco, en las cabeceras del Cajón de Piedra y de forma más reducida en la quebrada de La Lagunita. Luego del hiato que abarca el Cretácico superior Terciario inferior, la actividad magmática se reinicia en el Oligoceno-Mioceno inferior, se emplazan los intrusivos y facies volcánicas del Grupo Molle, afloran entre las cabeceras de los arroyos Buta Cura-Chadileo, al sur de la quebrada de los Díaz.

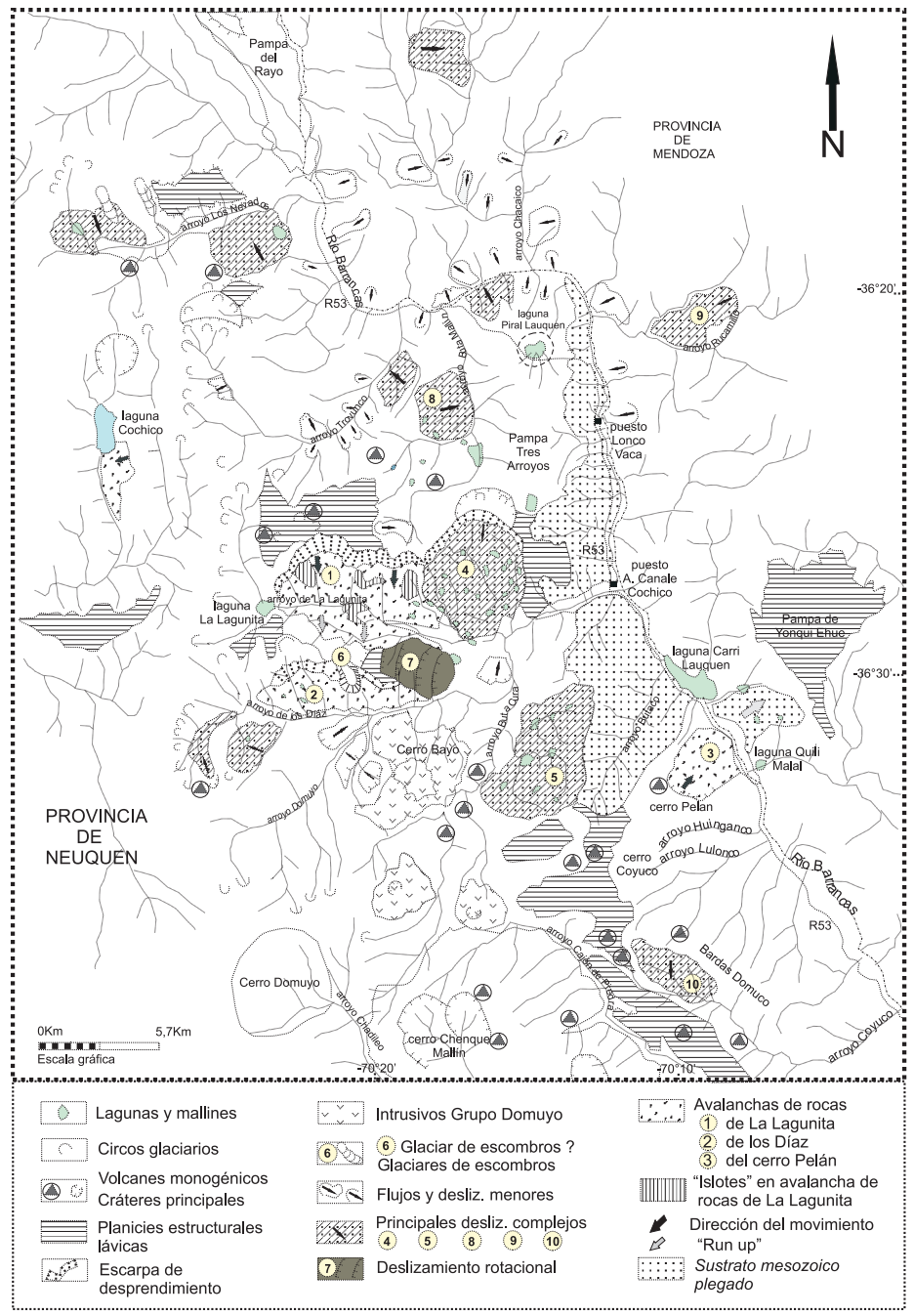


Figura 2. Mapa geomorfológico de la región analizada.

En el cerro Domuyo, que es un cuerpo intrusivo, aflora el Grupo Domuyo, representado por una asociación de granitos, granodioritas, adamellitas (Narciso 2004) adjudicado al Mioceno medio que, al igual que el cerro Palao y otros menores adyacentes, han perturbado las unidades mesozoicas. En el área analizada sus manifestaciones componen un conjunto de pequeños y

aislados cuerpos intrusivos, que sobresalen entre las acumulaciones de la avalancha de rocas de La Lagunita. Groeber (1947) ya señala en su esquemático mapa de la Hoja Domuyo, intrusivos de reducidas proporciones en las cercanías del arroyo de La Lagunita (adamellita y granito gráfico) similares a los de los cerros Domuyo y Palao. Groeber (1947) reafirma el carácter intru-

CUADRO 1. Cuadro Estratigráfico del área de estudio. Modificado de Narciso (2004).

CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Fm. El Puente		
		PLEISTOCENO	Fm. Fm. Tilhué		
		PLIOCENO	Fm. Coyocho		
	NEOGENO	MIOCENO	GRUPO DOMUYO		
			GRUPO MOLLE		
	PALEOGENO	OLIGOCENO			
		EOCENO			
		PALEOCENO	GRUPO MALARGÜE		
	MESOZOICO	CRETACICO	SUPERIOR	GRUPO NEUQUEN	
			GRUPO RAYOSO		
MENDOZA		INFERIOR	Fm. Agrio		
			Fm. Vaca Muerta		
JURASICO		SUPERIOR	Fm. Tordillo		

sivo del cerro Domuyo. Sin embargo, tal concepto contrasta con su mención acerca de su “forma de volcán”. Se entiende que la expresión debe tomarse como una referencia morfológica y no genética. Su ulterior cita acerca de que “sólo queda su foco profundo” por el intenso desmantelamiento de su techo, ha hecho posible que algunos autores posteriores lleguen a referirse al mismo como el volcán Domuyo.

El límite Neógeno-Cuaternario se caracteriza por una compleja actividad volcánica, representada por la Formación Coyocho-basaltos olivínicos pliocenos- y por la Formación Tilhué-andesitas, basandesitas, tobas y aglomerados mesosilíceos- (Narciso 2004). Esta última asignada al límite Plio-Pleistoceno expone un extenso y continuo desarrollo a lo largo de la margen oeste del área de estudio.

Narciso (2004) ha distinguido la Formación El Puente formada por rocas basálticas, de un volcanismo holoceno que abarca el área de la cuenca del arroyo Buta Mallín. La degradación de las manifestaciones volcánicas cenozoicas ha expuesto otros afloramientos mesozoicos menores, situados en el

interior de los valles principales tributarios del río Barrancas (arroyos de La Lagunita, de los Díaz, Butaco, Coyocho, Trovunco y Los Nevados).

Groeber (1947) consideró que las acumulaciones de las avalanchas de rocas de La Lagunita y de los Díaz, correspondían a depósitos glaciares cuaternarios.

En el área del estudio, Groeber (1923) interpretó y describió una extensa falla cuya orientación regional coincide con el curso del río Barrancas. En ella, el bloque oriental ocuparía una posición “mucho más baja” que aquel occidental. Reconoce además una serie de “fracturas” dispuestas en dirección perpendicular a la falla, las que coincidirían con la disposición espacial de las quebradas de La Lagunita y de los Díaz.

DESCRIPCIÓN DE LOS MOVIMIENTOS GRAVITACIONALES

El proceso de remoción en masa integra el campo de la peligrosidad geológica, en modo similar a otros fenómenos geológicos súbitos como sismos y erupciones volcánicas. Su reconocimiento y análisis permite el desarrollo de estrategias adecuadas para su prevención o atenuación, siendo un ineludible requerimiento previo en el ámbito de la ingeniería.

La magnitud, el número y la variedad tipológica de los movimientos gravitacionales distinguidos junto con la ausencia de antecedentes específicos en la región, han sido factores determinantes para la presentación del trabajo.

Se destacan por sus volúmenes las avalanchas de rocas. Le siguen en importancia extensos deslizamientos complejos (rotacional + corriente de tierra) y otros menores. El orden descriptivo en el texto puede entenderse como interpretativo de su secuencia temporal.

Actualmente en la subida a la Pampa Tres Arroyos (Fig. 2), ocasionales precipitaciones dan lugar a esporádicos *debris flows*. Los daños resultantes y sus acumulaciones, suelen impedir temporalmente el acceso vehicular a la “pampa”.

1) Avalanchas de rocas

Se reconocieron dos avalanchas de rocas (Figs. 2 y 3), la de mayor volumen es iden-

tificada como la avalancha de rocas de La Lagunita por su desarrollo en la quebrada homónima. La restante se denominó avalancha de rocas de los Díaz, por razones similares. Los tramos de los valles que las alojan tienen una orientación general este-oeste y anteceden a su afluencia al río Barrancas. Se interpreta que los valles correspondían a previas artesas glaciares.

La posterior y profunda modificación morfológica, provocó el desarrollo de las avalanchas de rocas e invasión del valle de sus acumulaciones. Sus desprendimientos aparecen localizados en el tramo superior de los faldeos septentrionales de dichos valles. Se caracterizan por sobresalientes y abruptas muescas, observables en los márgenes australes de las planicies estructurales lávico-piroclásticas de la Formación Tilhué. Se proponen para ambos movimientos gigantescas fases proximales iniciales bajo la forma de caídas de rocas; están ausentes los bloques rotados proximales, propios de un clásico desprendimiento rotacional, reconocibles en otras avalanchas de rocas.

Distalmente, las acumulaciones exponen un paisaje de lomadas bajas y romas. Sólo en la avalancha de rocas de La Lagunita se pudo observar el desarrollo del fenómeno de *run up* (trepada), sobre el obstáculo representado por el lateral opuesto del valle. Por su disposición latitudinal, los desprendimientos están ubicados en la zona umbría (*ubac*) de sus valles respectivos, favorecidos por una mayor preservación de condiciones de humedad, un factor favorable y condicionante en fenómenos gravitacionales.

En la figura 2, la avalancha de rocas del río Barrancas (o del Cerro Pelán), aparece distinguida como (3), vale aclarar que la misma ha sido descripta y analizada en un estudio previo (González Díaz *et al.* 2001). La figura 3 y los perfiles de la figura 4, exponen los rasgos principales y estimaciones aproximadas de algunos parámetros de ambas avalanchas de rocas.

a) *Avalancha de rocas de la quebrada de La Lagunita* (en adelante ARQLL (1) en Figs. 2 y 3): Su denominación deriva de la pequeña laguna que se halla en el extremo sur de un innominado y extenso valle glaciario superior dispuesto norte-sur, que hoy integra la cuenca fluvial del arroyo homónimo. La Laguna, una consecuencia de la obstruc-

ción del drenaje local por la ARQLL, aparece marginada aguas arriba por una amplia zona cubierta por abanicos aluviales, generados por sus tributarios. Se interpreta que sus aguas rebalsaron el obstáculo del endicamiento natural de la ARQLL y que el desarrollo de la laguna alcanzó su máxima extensión aguas arriba.

El paisaje de las acumulaciones de la ARQLL se caracteriza por bajas lomadas y suaves depresiones, en las que se alojan pequeños -y a veces efímeros- cuerpos lagunares o zonas de una asociación botánica propia de los mallines. Se halla drenada localmente por una red de drenaje de diseño dendrítico.

En la composición sedimentológica de la ARQLL participan volcanitas de la Formación Tilhué y del subyacente compuesto por sedimentitas de los grupos Mendoza, Neuquén y Malargüe con abundantes pelitas calcáreas, areniscas, limoarcillitas, calizas y conglomerados.

Entre los componentes clásticos de las acumulaciones de la ARQLL, los de mayor tamaño, caracterizados por sus contornos irregulares y ásperos, corresponden a las volcanitas de la Formación Tilhué.

Marginados y aislados por los depósitos de la ARQLL y en forma de islotes, se hallan varios afloramientos reducidos y discontinuos del sustrato. Su exposición puede ser relacionada con la ausencia inicial de una cobertura contemporánea de materiales de la ARQLL o con la remoción posterior de estos últimos.

Los islotes más destacables (Fig. 3) son de los intrusivos miocenos adjudicados al Grupo Domuyo (Narciso 2004), más resistentes y numerosos que los compuestos por las sedimentitas mesozoicas.

El curso actual del arroyo La Lagunita aparece localizado en una garganta poco profunda, labrada en el ámbito de las acumulaciones de la ARQLL. A partir del límite oriental de la ARQLL, lo hace sobre una regular planicie aluvial que ha disectado. La ARQLL muestra una escarpa de desprendimiento irregular de orientación general este-oeste, paralela al rumbo de la quebrada. Tiene una extensión cercana a los 10 km. El frente de la muesca de desprendimiento está representada por una amplia y elevada escarpa, con ásperas y amplias sinuosidades asociadas a menores

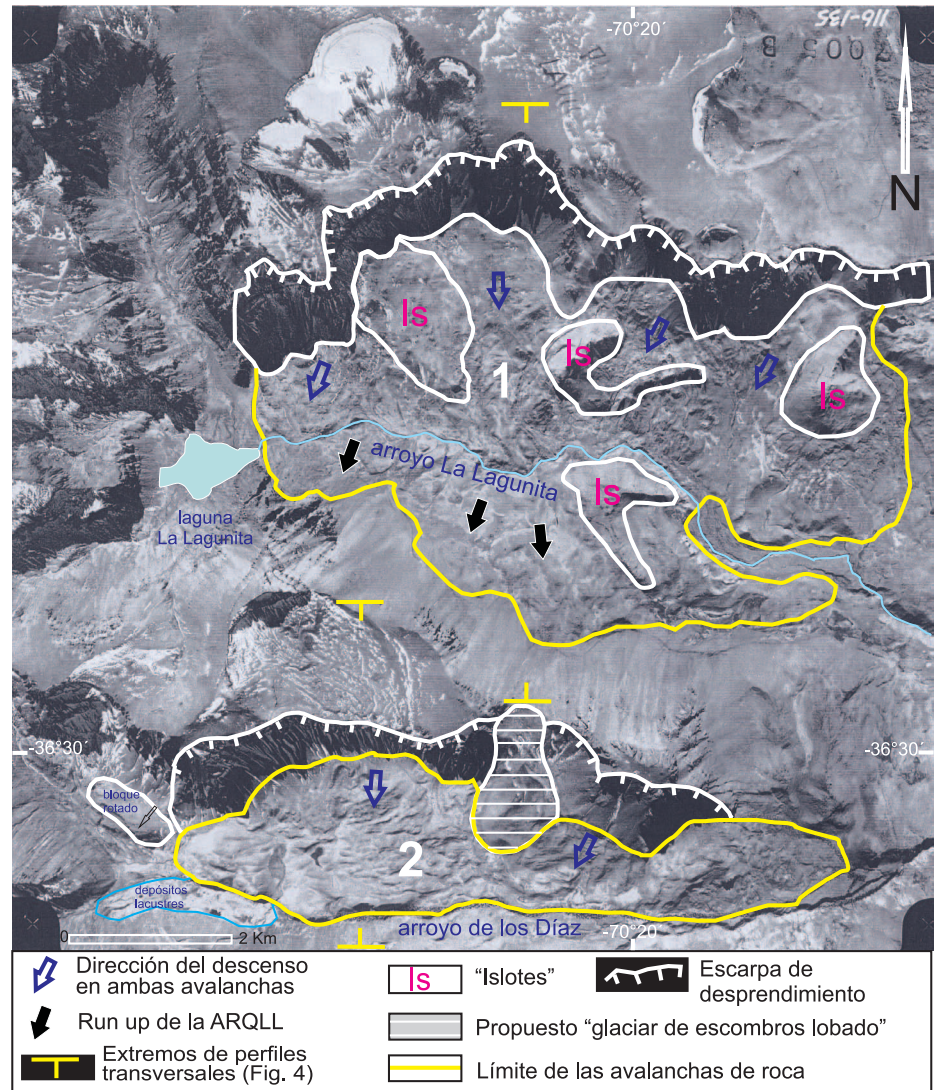


Figura 3. Fotograma del área de las avalanchas de rocas de la quebrada de La Lagunita (1) y de la quebrada de los Díaz (2).

concavidades, las que son muy irregulares en detalle.

La escarpa presenta diferencias altimétricas en su desarrollo vertical. Alcanza su mayor expresión en la zona de una amplia concavidad algo desplazada al oeste, con alturas cercanas a los 450 m (Fig. 4). Pequeños taludes enmascaran por tramos el contacto entre el pie desnudo de la escarpa y las acumulaciones más superiores de la ARQLL. Los valles tributarios de la quebrada de La Lagunita situados al oeste y al norte de la laguna homónima, exponen los abruptos rasgos laterales característicos de una artesa glaciar. El desprendimiento de la ARQLL

que afectó el lateral norte del previo valle glaciarario troncal de La Lagunita, sugiere un importante retroceso del citado lateral estimado en 1.800 m.

Tomando en cuenta el modelo digital de elevación SRTM se han interpretado y mensurado diversos parámetros morfométricos de la ARQLL.

La superficie cubierta por la ARQLL alcanza aproximadamente unos 34 km². Descontando aquella de los mencionados islotes (3 km²), ella se reduce a 31 km². La distancia horizontal y perpendicular recorrida por sus acumulaciones entre el pie de la escarpa del desprendimiento y su situa-

ción más distal resultante de la “trepada” (*run up*) sobre el lateral opuesto, es de unos 4.275 m (Fig. 4).

Para la definición de ambos movimientos como avalanchas de rocas se tomó en cuenta la propuesta de Keefer (1984a), quien consideró como tales a aquellos deslizamientos cuyas acumulaciones alcanzarán valores mínimos del orden de los $0,5 \times 10^6 \text{ m}^3$. Otra propuesta es la de Coates (1977), que reclama un valor de $10 \times 10^6 \text{ m}^3$.

El espesor y el volumen de las acumulaciones de la ARQLL determinados son aproximados. Pese a ello, sugiriendo para el depósito un espesor mínimo de 2 m, el volumen alcanzaría $62 \times 10^6 \text{ m}^3$, estimación que supera ampliamente los mencionados “volúmenes mínimos” de Keefer (1984a), como también el propuesto por Coates (1977). También es comparable con aquel de los depósitos de los *sturzstroms* de Hsü (1975).

Para los autores, la pérdida de altura en el descenso (H) de la masa rocosa durante la fase inicial del movimiento de la ARQLL, es evaluada mínimamente en 450 m (Fig. 4). La altura alcanzada por la “trepada” o *run up* (h), en el ascenso del obstáculo topográfico representado por el faldeo opuesto de la quebrada, es estimada en 250 m. Para ello se tuvo en cuenta la situación al-

timétrica del cauce actual del arroyo de La Lagunita al pie del descenso. En el perfil de la figura 4, se halla en 2.150 m.s.n.m.

La velocidad de la ARQLL ha sido evaluada utilizando dos métodos. De acuerdo a Crandell y Fahnestock (1965), donde velocidad $v = (2 \cdot g \cdot h)^{0.5}$ en la que g = aceleración de la gravedad y h = altura del *run up* (250 m), el valor mínimo de su velocidad es de 70 m/s (252 km/hora).

La propuesta de Francis y Baker (1977) es otro método analítico para el establecimiento de la velocidad en el pie de un obstáculo topográfico, que involucra las variaciones en las energías cinética y potencial y las pérdidas por fricción.

El cálculo del % de la pérdida friccional para el caso de la avalancha de rocas de La Lagunita es:

$$F = 100 [1 - (h / H)^{0.5}] \%$$

$$v = 10 [2gh / (100 - F)]^{0.5}$$

La velocidad estimada para la ARQLL es del orden de los 81 m/s (291 km/hora).

Pese a reconocer cierta imprecisión en las estimaciones de los parámetros, se considera que son válidos para tipificar al movimiento de la ARQLL como propio de una avalancha de rocas.

b) *Avalancha de rocas de la quebrada de los Díaz* (en adelante ARQD (2) en Figs. 2 y 3): Una divisoria de cumbres estrecha y paralela la separa de aquella de La Lagunita y por ende de las áreas de sus acumulaciones. Su drenaje es tributario de la cuenca fluvial de La Lagunita.

De forma similar al caso anterior, ocurrió un enorme deslizamiento sobre el flanco norte. Sus acumulaciones cubren una superficie menor que la ARQLL. En su extremo oeste, la ARQD muestra una leve expansión del movimiento aguas arriba hacia la confluencia de los tributarios del arroyo de los Díaz. En sus cercanías e inmediatamente al poniente, aparece un gran bloque deslizado con leve rotación hacia atrás (Fig. 3), el que no aparenta tener otra conexión con la ARQD que su probable contemporaneidad. Su escarpa de desprendimiento tiene menor extensión que aquella de la ARQLL (6.940 m) y el desnivel altimétrico de su descenso también es menor (máximo 300 m). Hacia el este la masa del deslizamiento reduce progresivamente su superficie y volumen, condicionada por una suave inflexión de la escarpa de desprendimiento hacia niveles inferiores.

Hacia el extremo oriental de la escarpa del desprendimiento de la ARQD, una acumulación exótica y probablemente ajena a la génesis de la ARQD, se intercala sobreponiéndose a sus depósitos y a la traza de la muesca del desprendimiento. Adopta la configuración de una potente geoforma agradacional lobulada (Figs. 2 y 3).

La superficie de los depósitos de la ARQD expone una morfología similar a la de *knob and kettle* propia de una morena basal (causal de la confusión genética de Groeber 1947) y limitada disección fluvial. Pequeñas lagunitas y mallines ocupan algunas de esas depresiones. La morfología de la ARQD contrasta con la marcada irregularidad y grado de la erosión fluvial de las áreas circundantes.

El análisis fotegeomórfico llevó a interpretar que la obstrucción del drenaje del curso previo del arroyo de los Díaz por los depósitos de la ARQD (Figs. 2 y 3), alcanzó a generar aguas arriba de esta última, una extensa laguna. Sus evidencias morfológicas se extienden en el valle, aguas arriba del límite oeste de la ARQD. Llegó a tener una

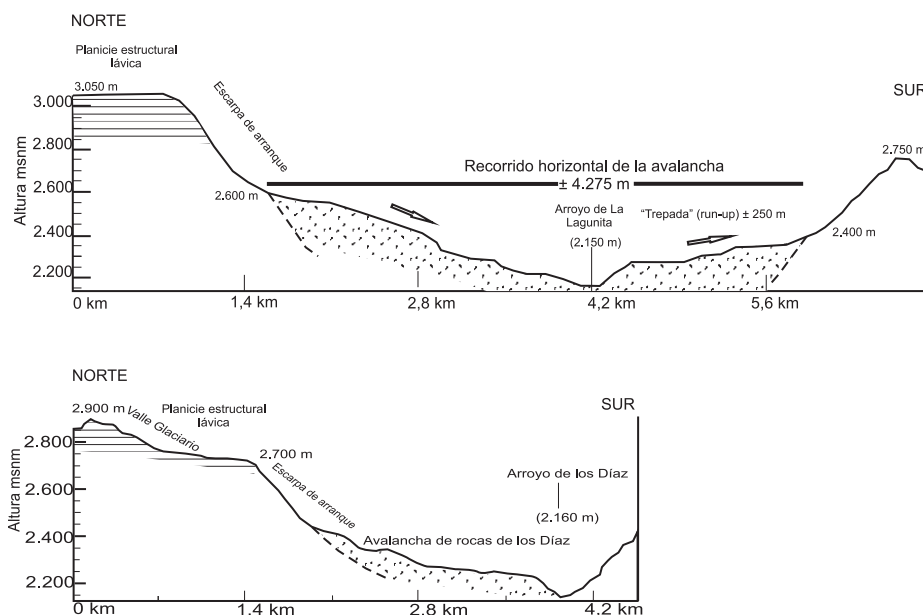


Figura 4. Perfiles transversales esquemáticos de las avalanchas de rocas “de La Lagunita” y la “de los Díaz”.

longitud de 2.000 m y un ancho de unos 350 m aproximadamente.

Superficialmente ARQD abarca unos 8,5 km² y su recorrido horizontal y transversal al valle es de menor extensión que en la ARQLL. Ha sido calculado en unos 1.600 m. De forma similar al cálculo realizado en el caso de la ARQLL, su volumen mínimo alcanzaría 17 x 10⁶ m³, una dimensión que también se ajusta a la propuesta consideración volumétrica para la distinción tipológica de una avalancha de rocas (Keefer 1984a).

Distalmente, la ARQD carece de las requeridas evidencias morfológicas para avalar una "trepada" sobre el lateral opuesto.

2) Otros tipos de deslizamientos

Si bien son de menor porte que los dos anteriores, algunos alcanzan dimensiones tales que los convierten en geoformas sobresalientes del paisaje regional. Exponen gran variedad tipológica y volumétrica. Se describirán de acuerdo a un orden de importancia dimensional.

a) Deslizamientos complejos: Integrados por una limitada fase proximal del tipo rotacional (*slump*), suelen culminar con una extensa fase distal como corriente de tierra (*earth flow*). La ausencia general de términos geográficos que muestra la Hoja Geológica Barrancas, ha dificultado una más precisa ubicación. La situación de sus ocurrencias principales ha sido distinguida en la figura 2. El mayor de ellos (4), se halla adyacente y al naciente de la ARQLL. Su superficie abarca unos 20,3 km², su límite superior lo constituye una extensa escarpa de desprendimiento de 6.000 m de longitud. De relieve bajo y suaves irregularidades, aloja mallines o pequeñas lagunas en épocas lluviosas. Algunas de estas últimas son permanentes de acuerdo a referencias de los pobladores.

La fase proximal está representada por una estrecha faja de movimientos rotacionales que afectaron los sectores más australes del basalto holoceno de la Formación El Puente y partes de su sustrato, compuesto por las sedimentitas mesozoicas (Formación Agrio, y los grupos Rayoso y Neuquén; Narciso 2004).

Distalmente y luego de un recorrido general hacia el sur de unos 5.500 m, los depó-

sitos se expanden en forma de una amplia corriente de tierra, rematando en las cercanías de la margen norte del arroyo de La Lagunita.

Le sigue en importancia otro deslizamiento (5) de similar tipología, cuya escarpa de desprendimiento muestra una longitud de 5.500 m. Se halla en la parte superior del faldeo occidental de la divisoria que separa las cuencas de drenaje de las quebradas de Butaco y Buta Cura. Distalmente su frente culmina sobre el arroyo Buta Cura.

Los rasgos generales de relieve son similares a (4), aunque con menores diferencias altimétricas relativas. Aloja un mayor número de lagunitas y mallines. La distribución espacial de sus acumulaciones es asimétrica, al mostrar una mayor elongación en sentido transversal con respecto a su trayectoria pendiente abajo. Su superficie ha sido calculada en 8,5 km².

El deslizamiento más austral (10), se halla cercano a la Barda de Domuco (Fig. 2).

Otros deslizamientos menores se distribuyen regionalmente en el área de estudio. Son comunes en las quebradas de Los Nevados, de Trovunco, en la cabecera del arroyo de los Díaz y en la zona de la cuenca del arroyo Buta Mallín. En este último caso (8), la validez conceptual de su consideración como tal y de su extensión, es el resultado de la interpretación de fotogramas. El análisis fotogeomorfológico de (8) ha interpretado una sucesión de bloques de composición basáltica (Formación El Puente), con evidencias morfológicas de rotación (*slumps*). Se extienden (Fig. 2) en el área occidental de la cuenca del arroyo Buta Mallín que drena la amplia extensión de la citada formación (Narciso 2004). Probablemente su desarrollo sería mayor que el graficado en la figura 2.

Si bien en este estudio se reconocen y describen un gran número de movimientos complejos gravitacionales en el territorio neuquino, se considera de interés incorporar la mención de otros desconocidos y grandes deslizamientos que se disponen adyacentes a la margen mendocina del valle del río Barrancas como (9) en las cercanías del arroyo Rucamillo (Fig. 2).

b) Deslizamientos rotacionales (slumps): Un extenso y típico ejemplo (7) (Fig. 2), se localiza en el extremo oriental de la divisoria

estrecha que separa las cuencas de los arroyos de La Lagunita y de los Díaz. Presenta el clásico escalonamiento compuesto por grandes bloques rotados. Afecta volcanitas que Narciso (2004) asigna a la Formación Tilhué.

c) Deslizamientos tipo rock-glide (en bloque): De reducidos tamaños, pertenecen al tipo planar. El deslizamiento aparece controlado por planos de estratificación de las sedimentitas mesozoicas (Grupo Mendoza; Narciso 2004). Aparecen en un sector ubicado entre los valles de los arroyos Los Nevados y Trovunco.

d) Debris flows (flujos densos): Ocurren en la actualidad. Sus manifestaciones son comunes en el ambiente del "mal país" (*bad lands*) mesozoico (Fig. 2), a lo largo de la margen occidental del río Barrancas entre las latitudes de la laguna Piral Lauquen, la Pampa Tres Arroyos y la desembocadura del arroyo La Lagunita. Predominan en sus acumulaciones -de limitados espesores- los tonos rojizos debido a la participación principal de las pelitas del Grupo Rayoso (Narciso 2004). Las márgenes de sus desprendimientos son reducidas y múltiples.

e) Otros tipos locales del proceso de la remoción en masa: Inmediatamente al norte del deslizamiento de la quebrada de Los Nevados, se reconocieron -mediante interpretación fotogeológica- varios glaciares de escombros. Pertenecientes al tipo de valle o longitudinales, muestran sectores activos e inactivos con predominio de los primeros. El origen de sus acumulaciones es relacionado con el desplazamiento gravitacional de depósitos glaciares previos (*tills*), bajo condiciones periglaciares.

3) Un propuesto glaciar de escombros lobado en la quebrada de los Díaz (6)

Los rasgos morfológicos, el excelente grado de conservación de la citada acumulación exótica y su situación sobrepuesta a los depósitos de la ARQD, definen una geoforma que se considera posterior a la ARQD. Morfológicamente se caracteriza por unos elevados y empinados laterales, que guardan gran similitud geomórfica con los propios de un glaciar de escombros del tipo lobado, activo y alojado en el talud de la escarpa de desprendimiento de la ARQD. Se sugiere que con posterioridad a la ARQD

y bajo condiciones climáticas locales de permafrost, la movilización de una parte de las acumulaciones de la ARQD alcanzó a invadir el valle de los Díaz y explicaría su situación sobrepuesta a la ARQD.

FACTORES CONDICIONANTES PREVIOS Y CAUSALES O PROMOTORES DE LOS MOVIMIENTOS GRAVITACIONALES LOCALES.

Como se mencionara en párrafos anteriores, si bien las ocurrencias son asignadas temporalmente a tiempos postglaciarios, se propone que las mismas siguen un orden similar a la distribución de sus descripciones en el presente texto. Se reconoce en ellos la influencia de ciertos factores (denominados dependientes), relacionados con las propiedades internas de las rocas. Entre ellos se destacan su composición litológica y la estructura, a los que se suman los rasgos geomórficos locales y el medio ambiente en el que se desarrollaron. Como promotores o “disparadores”, intervinieron dos principales factores independientes: sismos y precipitaciones abundantes.

- 1) Los factores para el caso de las avalanchas de rocas son:
 - a) Los desprendimientos acontecen en empinadas pendientes de un previo valle glaciario, con pendientes superiores a los 25° (Keefer 1984b). Es una característica geomórfica comprobable en todos los valles glaciarios situados aguas arriba de las ARQLL y ARQD;
 - b) Sus localizaciones coinciden con una debilidad estructural regional representada por un lineamiento este-oeste, interpretada para ambos valles y en otros de más al norte (Los Nevados y en un tramo cercano del río Barrancas);
 - c) Control fisiográfico: expresado por la orientación austral de las pendientes donde acaecieron, una zona de baja insolación (*ubac*), húmeda, de marcada meteorización física;
 - d) Disposición estructural: un espeso, horizontal y resistente manto lávico-piroclástico (Formación Tilhué), sobre un sustrato mesozoico (Grupo Mendoza; Narciso 2004), de composición litológica heterogénea, perturbado tectónicamente y con dispar comportamiento ante un estrés sísmico.

- 2) Con relación a los promotores, se propone que la ocurrencia de las dos avalanchas de rocas estaría genéticamente relacionada con movimientos sísmicos reiterados, que desestabilizaron las pendientes abruptas de valles glaciarios previos. Su ubicación en un área de actividad sísmica (González Díaz *et al.* 2006), avalaría la propuesta. Además el mejoramiento (*amelioration*) climático postglacial, asociado a mayores precipitaciones, también contribuyó a su desarrollo.
- 3) Por su parte, la promoción de los deslizamientos complejos se adjudica a excesivas precipitaciones. La infiltración consecuente debilitó los depósitos mesozoicos subyacentes a las volcánicas de la Formación Tilhué, incrementando la presión del agua en los poros, a favor del desplazamiento del aire en los poros y fracturas de las rocas, con la consiguiente reducción de la estabilidad de las pendientes.
- 4) Los pequeños y escasos deslizamientos planares en bloque (*rock glide*), observados, estarían relacionados genéticamente con un promotor similar al de los deslizamientos complejos y a la consiguiente sobrecarga por presión (*overburden*), sobre potenciales superficies de deslizamientos constituidos por los planos de estratificación de las sedimentitas mesozoicas deformadas. A ello se sumaría la presión del agua en los poros, a lo largo de tales potenciales superficies de corte.
- 5) La promoción de los actuales *debris flows* estaría vinculada con la saturación de las sedimentitas arcillosas del Grupo Rayoso, por precipitaciones. Aguas abajo de sus reducidos desprendimientos (muesca semi-circular), se generan lenguas delgadas que se desplazan pendiente abajo por las pequeñas quebradas. En ciertos lugares, como el paraje de Lonco Vaca, luego de ocasionales precipitaciones torrenciales, los flujos suelen impedir el tránsito de vehículos hacia la Pampa Tres Arroyos.

Edad de los movimientos gravitacionales

El desarrollo de las avalanchas de rocas locales (ARQLL y ARQD) en el ámbito de previos e inactivos valles glaciarios y su consecuente cobertura parcial por sus depósitos gravitacionales y la asociada obstrucción del drenaje local, permitiría adjudicar su ocurrencia a tiempos posteriores al en-

glazamiento local o por lo menos, ulterior al retiro de los hielos en los tramos de los valles donde se desarrollaron.

Respecto de la temporalidad de los restantes deslizamientos, es dudosa su determinación. Proponer su inducción por intensas precipitaciones lleva a sugerir su posterioridad a las avalanchas de rocas. Algunas manifestaciones de deslizamientos y flujos menores acontecen actualmente.

CONCLUSIONES

Se han reconocido en un sector de la región noreste de la provincia de Neuquén y en el ámbito de las cuencas tributarias neuquinas del río Barrancas, un conjunto de fenómenos y geoformas del proceso de la remoción en masa. Exponen una variada tipología: avalanchas de rocas, deslizamientos complejos y deslizamientos del tipo planar y *debris flows*.

El marco geológico regional (Narciso 2004) de las ocurrencias, está integrado por una cobertura volcánica (Fm Tilhué) que sobreyace a sedimentitas del Mesozoico (Jurásico-Cretácico) de variada litología, un conjunto que mostró un comportamiento heterogéneo ante el estrés de los promotores de los movimientos.

Las acumulaciones de algunos de ellos, avalanchas de rocas, fueron previamente definidas como correspondientes a depósitos glaciarios (*tills*) y descritas como componentes de morenas (Groeber 1947). El error estaría justificado debido al sobresaliente y contemporáneo desconocimiento del proceso de la remoción en masa y de sus diversos fenómenos y geoformas resultantes.

Diversos factores dependientes (morfológicos y litológicos) han favorecido la ocurrencia de los distintos fenómenos del proceso de la remoción en masa. Se propone a la sismicidad local como promotor (factores independientes) de los casos de las avalanchas de rocas de La Lagunita y de los Díaz y a fuertes precipitaciones para el resto de los fenómenos y geoformas reconocidas. Para esto último, se hace hincapié en la influencia del mejoramiento (*amelioration*) climático postglaciario.

Pese a la carencia de datos concretos acerca de la edad de las ocurrencias de los fenó-

menos gravitacionales descritos en este trabajo el orden propuesto sería: en tiempos postglaciaros avalanchas de rocas, los importantes deslizamientos complejos y posteriormente los deslizamientos simples y menores, algunos de los cuales acontecen en la actualidad (*debris flows*).

La estimación de los parámetros volumétricos de los deslizamientos de las quebradas de La Lagunita y de los Díaz, es considerada válida para su definición como avalanchas de rocas. Se adjuntan también valores estimativos de parámetros morfométricos correspondientes a las superficies cubiertas por los deslizamientos principales, sus volúmenes y una estimación de la velocidad que alcanzó la avalancha de rocas de La Lagunita.

AGRADECIMIENTOS

Se deja constancia que la presentación de este informe, ha sido posible gracias a la colaboración prestada por el SEGEMAR, al facilitar en calidad de préstamo los fotogramas necesarios para la interpretación geomórficas y además el apoyo logístico de su Sector Sensores Remotos y Sistema de Información Geográfica.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Coates, D.K. 1977. Landslides. *Reviews in Engineering Geology*. The Geological Society of America 3: 4-278.

Crandell, D.R. y Fahnestock, R.K. 1965. Rockfalls and avalanches from Little Tahoma Peak on Mount Rainier, Washington. U.S. Geological Survey Bulletin 1221-A: 1-30.

Francis, P. W. y Baker, M. C. W. 1977. Mobility of pyroclastic flows. *Nature* 270: 164-165.

González Díaz E.F. y Ferrer, J.A. 1986. Geomorfología de la Provincia del Neuquén. Consejo Federal de Inversiones, con mapa geomorfológico escala 1:500.000 (informe inédito), 111p., 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: 466-480.

González Díaz, E.F., Folguera, A., Costa, C.H., Wright, E. y Elisondo, M. 2006. Los grandes deslizamientos de la región septentrional neuquina entre los 36° - 38° S; una propuesta de su inducción sísmica. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 61: 197-217.

González Díaz, E.F. y Di Tommaso, I. 2011a. Geomorfología. En Leanza, H. A., Arregui, C., Carbone, O., Danielli, J.C. y Vallés, J.M., 2011. (eds.). *Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén*. Relatorio 18° Congreso Geológico Argentino. Asociación Geológica Argentina, 893 p., Buenos Aires.

González Díaz, E.F. y Di Tommaso, I. 2011b. Mapa Geomorfológico de la Provincia del Neuquén a escala 1:500.000, SEGEMAR, Buenos Aires.

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 Hidrología, Boletín N° 11 (Serie B, Geología): 1-29.

Groeber, P. 1923. Petróleo. El origen del petróleo de Barrancas. Deducciones que sugiere su

estudio, provincias de Mendoza y Neuquén. Boletín de la Dirección General de Minas, Geología e Hidrología, Serie F, (informes preliminares y comunicaciones): 3-14.

Groeber, P. 1947. Observaciones geológicas a lo largo del meridiano 70°. Hojas Domuyo, Mari Mahuida, Huarhuar Co y parte de Epu Lauken. *Revista de la Sociedad Geológica Argentina* 2: 347-408.

Hsü, K.J., 1975. Catastrophic debris streams (sturzstroms) generated by rockfalls. *Geological Society of America Bulletin* 86: 129-140.

Keefer, D.K., 1984a. Rock avalanches caused by earthquakes: source characteristics. *Science* 223: 1288-1290.

Keefer, D.K., 1984b. Landslides caused by earthquakes. *Geological Society of America Bulletin* 95: 406-421.

Narciso, V. 2004. Hoja Geológica 3769-I "Barrancas", provincias de Mendoza y Neuquén, escala 1:250.000. SEGEMAR, Boletín N° 253, 60 p., Buenos Aires.

Ramos, V.A. y Nullo, F.E. 1993. El volcanismo de arco mesozoico. *Geología y Recursos Naturales de Mendoza*, Relatorio 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos: 149-160, Buenos Aires.

Recibido: 20 de octubre, 2011

Aceptado: 25 de julio, 2012