

DETERMINACIÓN DEL ÁREA INMEDIATA AFECTADA POR EL DESAGOTE DE LA LAGUNA NAVARRETE, PROVINCIA DE NEUQUÉN (36°30'S-71°O)

Ivanna M. PENNA¹, Reginald L. HERMANN² y Andrés FOLGUERA¹

¹ Universidad de Buenos Aires - Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Pabellón II Laboratorio de Tectónica Andina. CP.1428. E-mail: penna@gl.fcen.uba.ar

² Canadian Geological Survey, 101-605 Robson Street, Vancouver B. C. Canada

RESUMEN

Teniendo en cuenta la alta densidad de avalanchas de roca distribuidas en el norte neuquino y su asociación con cuencas lacustres entre los 36°-38°S y 70°-71°O, son escasos los registros de desagotes catastróficos por colapso de diques naturales, pese a que éste sería el estadio final más probable en su evolución. El presente trabajo está orientado a la delimitación del área inmediatamente afectada por la ruptura del dique natural Navarrete (175 millones de metros cúbicos) generado por la obstrucción, por parte de una avalancha de rocas, del tramo medio del arroyo Colorado (afluente del arroyo Pichi-Neuquén) en tiempos postglaciares no determinados. La dispersión del aluvión de ruptura desde su área fuente, se determina primeramente basándose en evidencias geomorfológicas y luego a partir del análisis sedimentario de la matriz de los depósitos de aluvión y su comparación con los del arroyo Colorado. Debido al área considerada, próxima a la boca de rotura del dique natural, las variaciones son poco significativas, si bien pueden reconocerse diferencias en la distribución de frecuencias en la matriz de los depósitos de aluvión y del arroyo en el punto de muestreo más distante al dique.

Palabras clave: *Avalancha de rocas, aluvión de colapso, análisis sedimentarios, Neuquén.*

ABSTRACT: *Identification of the area immediately affected by outburst flood of the Laguna Navarrete, Province of Neuquén (36°30'S-71°W).* Considering the high concentration of rock avalanches in the northern part of the Neuquén province of Argentina (36°-38°S and 70°-71°W) and their association with lacustrine basins forming natural dams, their catastrophic collapse seems not to be such a common process as could be expected for these cases. The present work depicts the area immediately affected by the outburst flood corresponding to the Navarrete dam catastrophic collapse (175 x 10⁶ m³), through a sedimentological analysis, generated since the arroyo Colorado was blocked due to a rock avalanche deposit during not well constrained postglacial times. The outburst flood dispersion is initially inferred based on morphological criteria and then determined from a sedimentological analysis of its matrix. Furthermore, the matrix is compared to that of the fluvial terraces, which have been sampled along the arroyo Colorado. This comparison shows that even though differences among them are not so significant through most of the study area, matrix frequency starts to be distinctive from the most distant point of sampling.

Keywords: *Rock avalanches, outburst flood, sedimentary analysis, Neuquén.*

INTRODUCCIÓN

La evolución postglaciar de los valles andinos ubicados entre los 36°-38°S, se encuentra principalmente dominada por fuerte incisión fluvial y procesos de remoción en masa. Adicionalmente, en varias ocasiones este proceso se asocia a la actividad del frente orogénico de la faja plegada y corrida de Guañacos (Fig. 1, Folguera *et al.*, 2004). La actividad tectónica cuaternaria en esta faja ha dado como resultado una gran concentración de avalanchas donde la sismicidad cortical de retroarco es muchas veces considerada como el mecanismo disparador. Algunos de estos

depósitos constituyen diques naturales de variable estabilidad (Hermanns *et al.* 2006, Penna 2006) que al ocluir las artesis glaciares, dan como resultado importantes cuencas lacustres. Costa y Shuster (1988) documentan que la mayor parte de estas cuencas colapsan dentro del primer año de su existencia.

Hasta el momento en el norte neuquino, se conocen dos casos que presentan como estadio final en su evolución un desagote catastrófico: Carrilufquen (Groeber 1916, González Díaz *et al.* 2001; Hermanns *et al.* 2004a) y Navarrete (Hermanns 2004b, Penna *et al.* 2005, Penna 2006) (Fig. 1). El caso de

Carrilufquen posee registros históricos, ya que la inundación generada en 1914 causó graves daños a las poblaciones ubicadas valle abajo del río Barrancas.

Hermanns *et al.* (2004a) demuestran para el caso del colapso de la Laguna Carrilufquen que, a partir del análisis sedimentario (composición, granulometría y redondez) de la matriz de terrazas gravosas, pueden establecerse diferencias entre aquellas derivadas del aluvión de ruptura del dique natural (*outburst flood*) y aquellas originadas por ríos o arroyos que inciden su planicie. De esta manera, se podría conocer la proyección aguas abajo de los depósitos del aluvión.

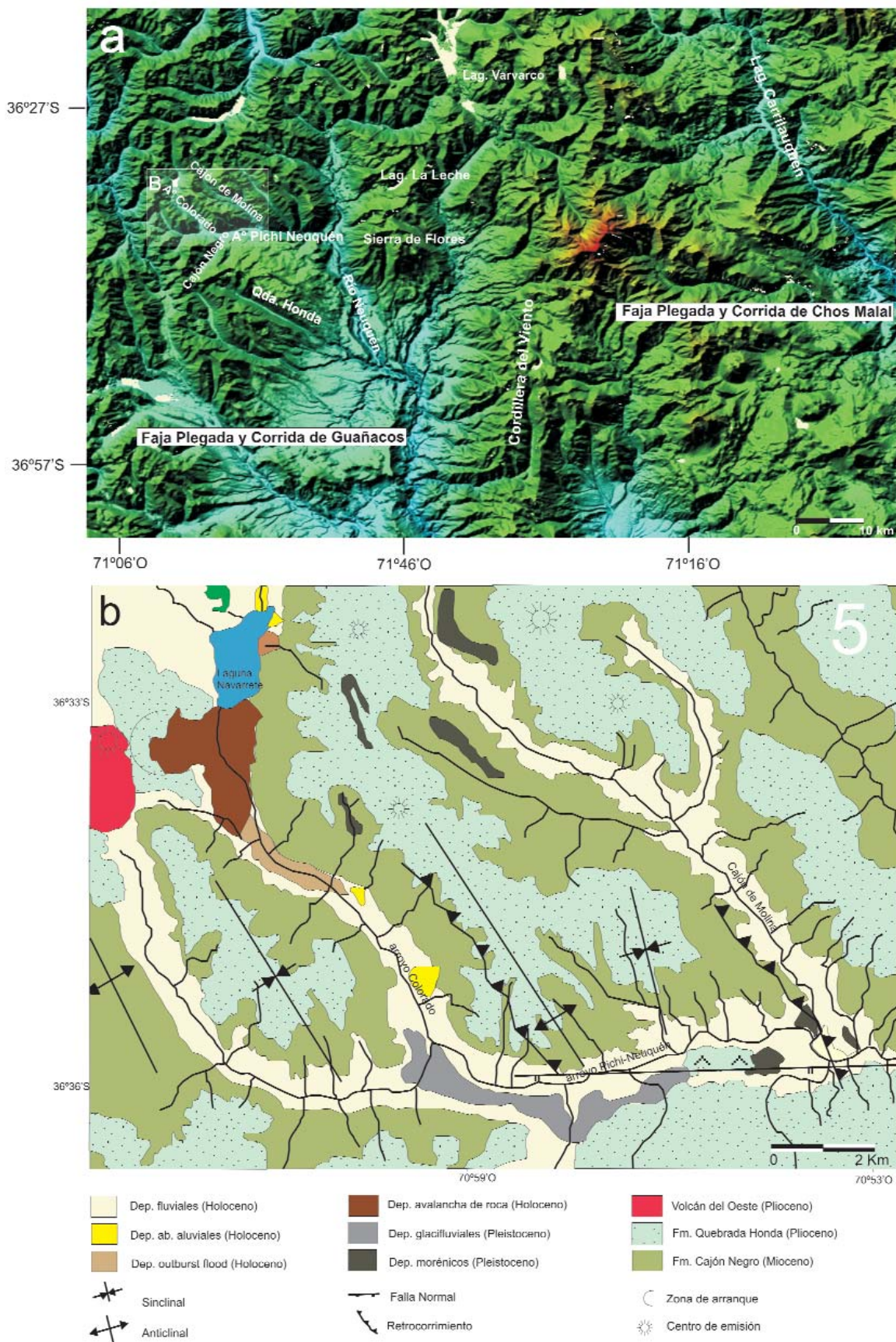


Figura 1: a) Modelo digital de elevación en el que se representa el contexto regional del área de estudio; b) Mapa geológico del valle superior del arroyo Pichi-Neuquén, confluencia con el arroyo Colorado (Penna 2006).

En este estudio se aplica en forma equivalente esta metodología para el caso del colapso del dique que originó la Laguna Navarrete, a partir del análisis de distribución de frecuencia y redondez de los granos de la matriz de los depósitos.

El valle del arroyo Pichi-Neuquén (Fig. 1), al igual que otros cursos perpendiculares al rumbo de la cordillera del norte neuquino, ubicados al oeste de la cordillera del Viento, se hallan enmarcados en una geología que se compone principalmente de unidades del Neógeno y cuaternarias. Dentro de estas últimas se encuentran depósitos de remoción en masa como: avalanchas de roca, flujos hiperconcentrados y deslizamientos.

Descripción de los procesos de remoción en masa y evolución del dique natural Navarrete

Ocluyendo el tramo medio del arroyo Colorado, un afluente del arroyo Pichi-Neuquén, se disponen los depósitos de la Avalancha Navarrete con un volumen de $175 \times 10^6 \text{ m}^3$ y una trepada (*run-up*) de 130 me-

tros. Esta avalancha se originó por el colapso de la ladera occidental del valle del arroyo Colorado, compuesta por una secuencia volcánica pliocena donde existe alternancia de tobas y andesitas.

En la superficie de esta avalancha, se encuentra la típica topografía *hummocky*, correspondiente a un relieve irregular compuesto por lomadas entre las cuales se instalan pequeñas lagunas, rasgo que llevó inicialmente a la interpretación del depósito como de origen glaciario (Groeber 1916, Zanettini 2001).

La evolución que en este trabajo se plantea para el arroyo Colorado, comienza primero con la modificación del perfil de equilibrio a causa de su oclusión. La laguna generada, para el sector de la cuenca que se encuentra aguas arriba, actúa como nivel de base local y temporario, dando como resultado la progradación de un delta. Posteriormente la apertura de una brecha en el dique natural en tiempos no determinados, produjo la descarga en forma violenta de 73.3 millones de metros cúbicos de agua de la laguna. Los rasgos que evidencian esta descarga súbita

son: la apertura de una brecha en el dique natural, la topografía *hummocky* que emerge como relictica sobre el plano horizontal generado durante la inundación (Fig. 2; Penna 2006) y la paleocosta ubicada a 40 metros sobre el pelo de agua actual. Este proceso generó un rejuvenecimiento en el sistema, que se expresa por los niveles de terraza labrados por el arroyo. El nivel de base local actualmente se encuentra constituido por el río Neuquén.

Este proceso es similar al ocurrido en el valle del río Barracas en 1914, por la ruptura del dique natural que dio origen a la laguna Carrilufquen. En este caso se liberaron súbitamente 1.55 km^3 de agua (Fig. 3), y el aluvión generado se desplazó valle abajo unos 1000 km hasta llegar al océano Atlántico (Groeber, 1916; González Díaz *et al.*, 2001). Cuando un aluvión de colapso (*outburst flood*) tiene lugar, el agua liberada removiliza materiales de la pared del dique en la zona de ruptura, de la superficie de la avalancha y de los sedimentos del valle aguas abajo. Este tipo de flujos sufren transformaciones a medida que se trasladan por el



- ① Zona de arranque
- ② Topografía hummocky
- ③ Paleosuperficie de inundación
- ④ Terrazas-dep. outburst flood
- ⑤ Cauce del arroyo Colorado

Figura 2: Rasgos geomorfológicos que resumen la evolución del tramo medio del arroyo Colorado, que se inicia con la depositación del material de la avalancha Navarrete.

valle, depositando su carga y adquiriendo comportamientos más fluidos, lo que los lleva a aumentar su capacidad de erosión y así incorporan materiales del valle (*bulking*). Este fenómeno puede observarse en la zona de estudio a partir de la existencia de abanicos aluviales, correspondientes a pequeños colectores, con sus partes distales disectadas, tales como los ubicados en secciones curvas del arroyo Colorado, en donde existe un incremento de energía de la corriente (Fig. 4).

La evidencia geomorfológica que permite diferenciar al aluvión es la presencia de un campo de bloques de 10 metros de espesor promedio (Fig. 2), con bloques de variados tamaños y similar composición a la avalancha de rocas (andesitas y tobas en menor proporción). Puede ser seguido claramente por continuidad morfológica desde la boca de rotura del dique natural hasta la confluencia de los arroyos Colorado y Pichi-Neuquén, lo que se traduce en un recorrido mínimo de unos 4 kilómetros (Fig. 1). En las zonas próximas al dique, se observan niveles aterrazados generados por la agradación del aluvión de ruptura (fase deposicional) y posterior erosión por la cola del flujo (fase erosiva) (Fig. 2).

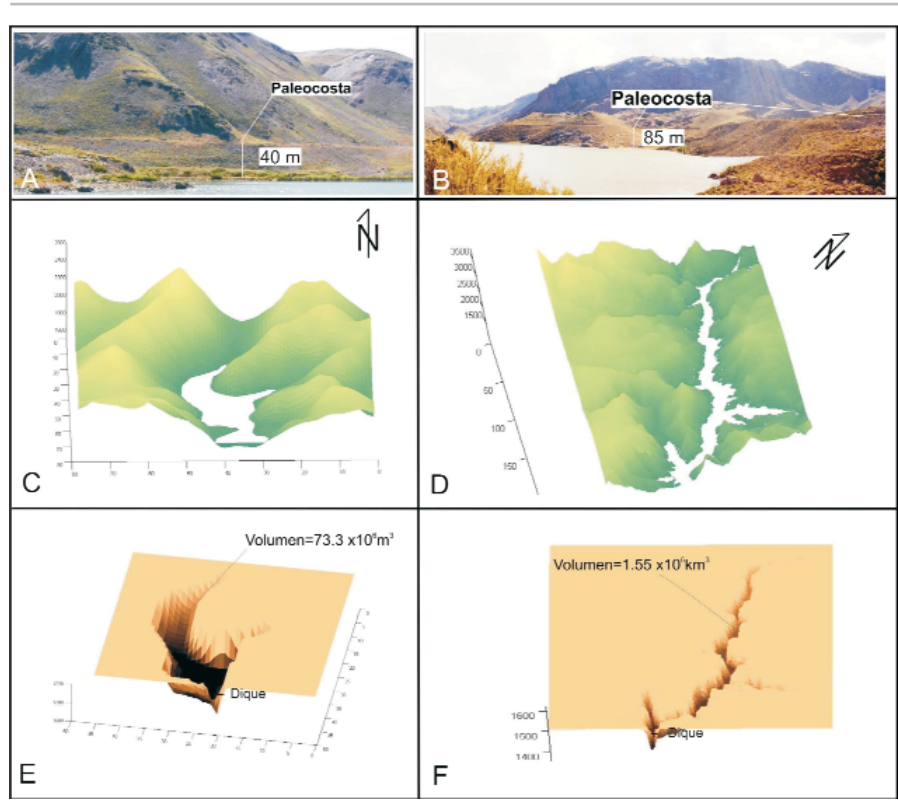


Figura 3: Comparación entre los volúmenes de agua liberados en el desagote de las lagunas Carrilauquen y Navarrete, tras el colapso de los respectivos diques naturales. a) y b) Paleocostas correspondientes a las lagunas Navarrete y Carrilauquen respectivamente; c) y d) Reconstrucción de las antiguas dimensiones de las lagunas Navarrete y Carrilauquen respectivamente; e) y f) Cálculo de los volúmenes de agua liberados en los desagotes catastróficos.

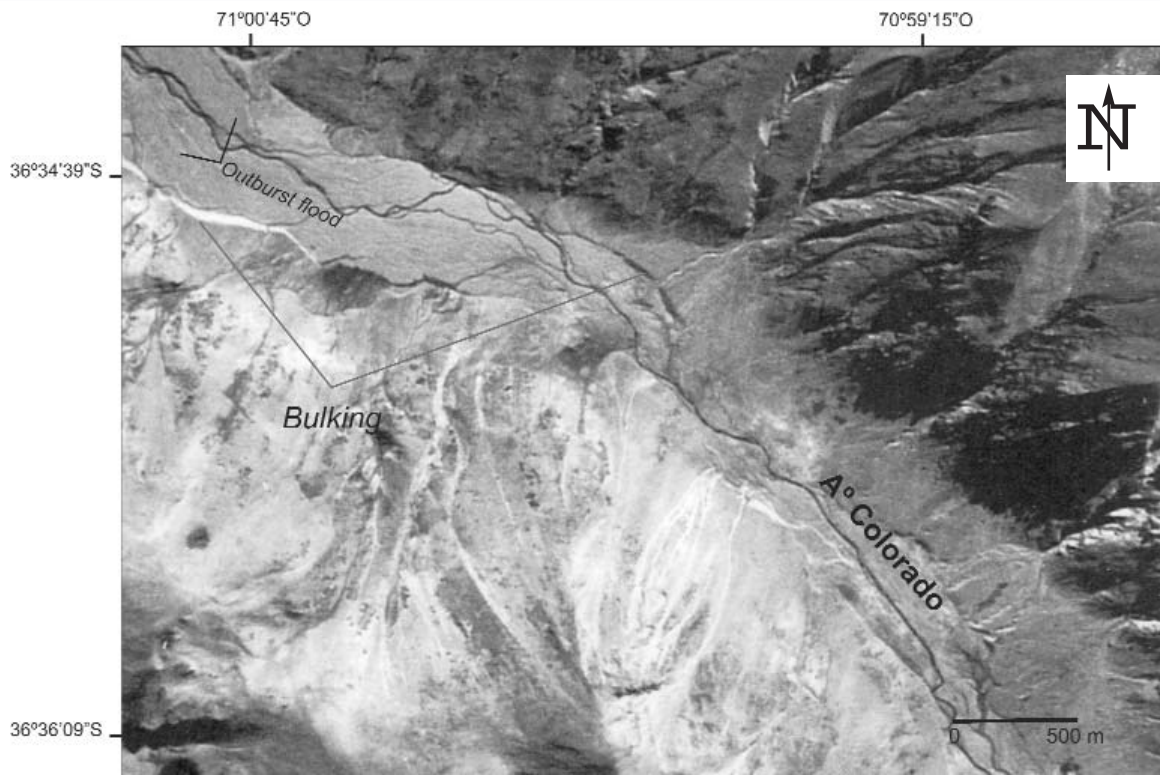


Figura 4: Fotografía aérea en la que se indica la erosión e incorporación de sedimentos de abanicos aluviales a lo largo del recorrido del aluvión de ruptura (*outburst flood*).

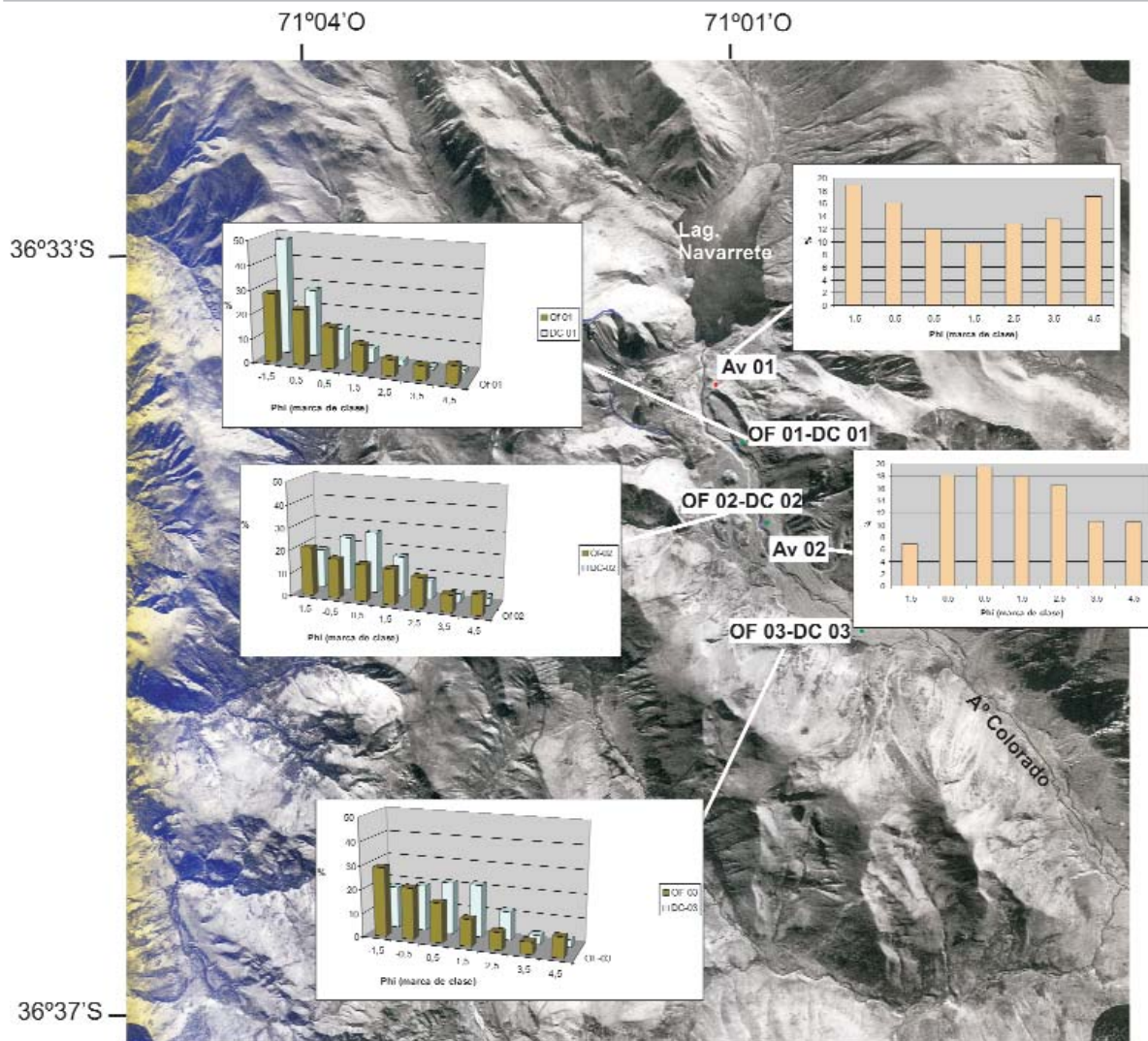


Figura 5: Comparación de la distribución de los tamaños de grano en la matriz de los depósitos de la avalancha de rocas (AV), del outburst flood (OF) y del arroyo (DC).

METODOLOGÍA

Para caracterizar los mecanismos de sedimentación y sus variaciones se realizó un muestreo que consistió en la extracción, por sitio de muestreo, de 500 gramos del material que conforma la matriz de los depósitos de avalancha, del aluvión de ruptura y del aluvio del arroyo Colorado. En total, se recolectaron 2 muestras de la avalancha (Av), 3 del aluvión (OF) y 3 de los sedimentos del arroyo (DC). A partir de las muestras recolectadas se hicieron análisis granulométricos con ROT-AP (Fig. 5) y de redondez (Fig. 6) por tamizado y comparación visual (Powers, 1953).

Análisis de distribución de frecuencia de grano

Mediante un análisis granulométrico que define estadísticamente a las muestras y del análisis de redondez de los granos, se determinan algunas características sedimentarias de la matriz de estos depósitos. En la figura 5, se presentan los histogramas resultantes, con los porcentajes acumulados en función de grados Phi enteros.

Análisis de redondeamiento

Este parámetro morfológico, que se basa en la medida de agudeza de los vértices de los clastos, depende entre otros factores, de la distancia de transporte y del retrabajo, por lo que es considerado útil para diferenciar la proyección del material del aluvión aguas abajo del dique natural, respecto de los de-

pósitos del arroyo Colorado (Fig. 6), así como para diferenciar los materiales pertenecientes a la matriz de la avalancha, respecto de aquellos pertenecientes al aluvión pero que se encuentran sepultando el depósito anteriormente mencionado.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Análisis de frecuencia

En la matriz del depósito de avalancha de rocas predominan las granulometrías grava y arena gruesa. La variación de distribución de frecuencia de tamaño de granos se nota significativa en el caso del arroyo Colorado, mostrando una tendencia a una distribución gaussiana con el incremento

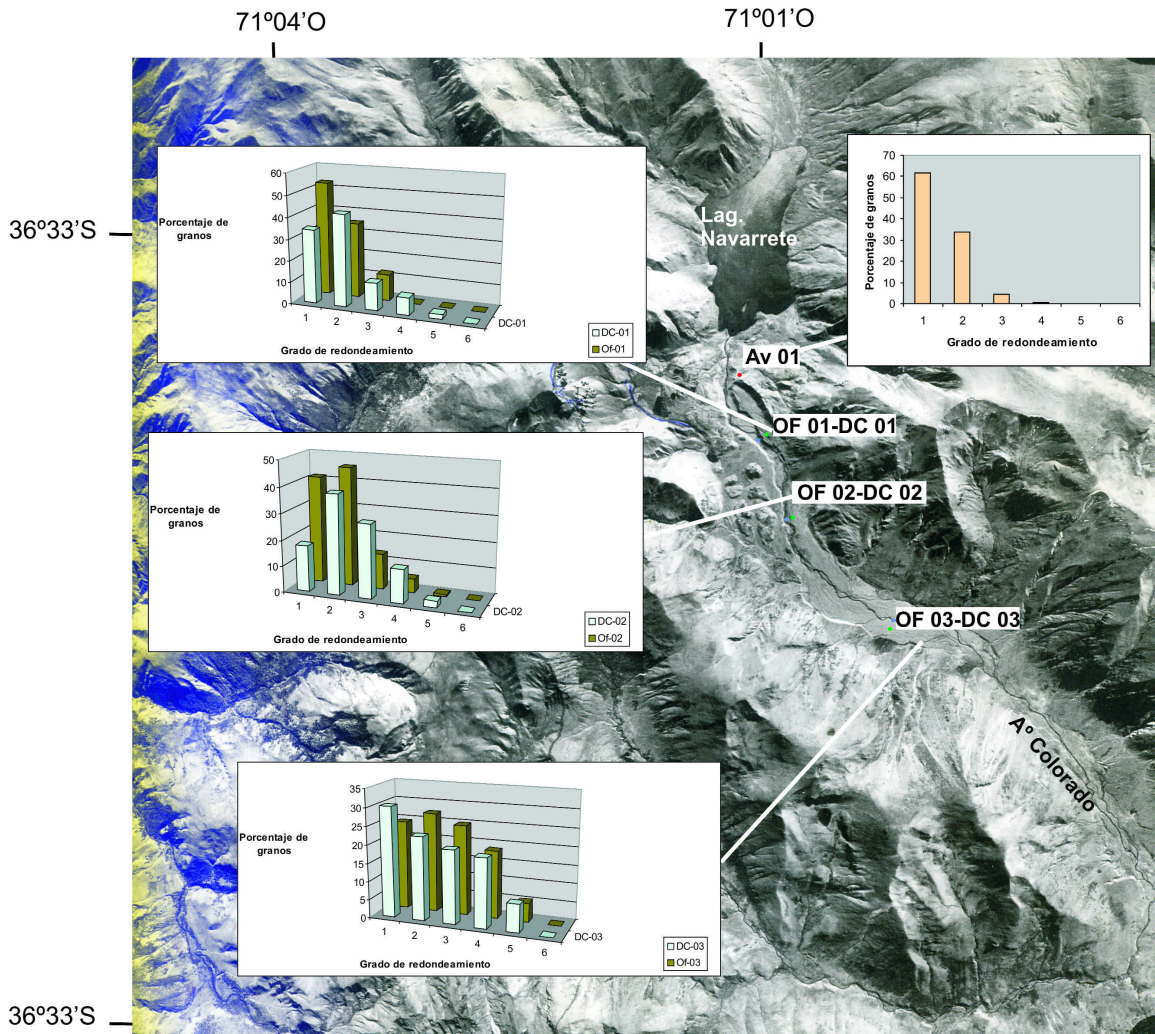


Figura 6: Comparación de grado de redondez de los clastos que constituyen la matriz de los depósitos de la avalancha de rocas (AV), del *outburst flood* (OF) y del arroyo (DC).

de la distancia al dique, la moda tiende hacia distribuciones más arenosas (Fig. 5). Este comportamiento no se observa en la matriz del aluvión de ruptura (*outburst flood*), lo que permite cierta diferenciación entre los depósitos respectivos.

Puede verse que en el punto de muestreo 01, existe similitud en la distribución del aluvión y del arroyo, considerándose que esta situación se debe a que en la zona de reconstitución del arroyo, las inclinadas pendientes de la brecha aportan derrubio, incrementado las fracciones gruesas (Fig. 5). La comparación de distribuciones de tamaño de grano del aluvión en su parte media y distal, refleja un incremento de las granulometrías mayores que componen la matriz (grava y arena muy gruesa). Esto indica modificaciones en las condiciones de transporte, a lo cual podría estar suma-

do el aporte por erosión de las partes distales de abanicos aluviales que fueron disectados (*bulking*).

Análisis de redondez

En la matriz de la avalancha de rocas predominan formas muy angulosas y angulosas. La variación de redondez, para el tramo comprendido entre la zona de brecha y la confluencia de los arroyos Pichi-Neuquén y Colorado (Fig. 6), es ciertamente poco significativa debido a la escasa distancia de transporte (aprox. 10 km) y la litología de los sedimentos, la cual es poco propicia al rápido desgaste. Lo que se observa para los casos del arroyo y del aluvión es una apertura del espectro con incremento de granos subangulosos hasta con moderada redondez. Debido a que la avalancha se dio por

colapso de una secuencia de tobas y andesitas, puede ser que los mayores redondeamientos se deban al desgaste de las puntas angulosas de los clastos tobáceos.

Es de destacar que, durante los análisis sedimentarios, se reconocieron variaciones en el contenido de minerales pesados magnéticos, bipiramidales, minerales pesados traslúcidos como anfíboles y piroxenos y obsidiana. En todos los casos y en especial en el punto de muestreo 01, los depósitos fluviales presentaban una considerable mayor proporción de pesados, respecto de los sedimentos de aluvión. Esto podría ser un elemento de diferenciación de dichos depósitos debido a la tendencia de los sistemas fluviales proximales a concentrar estos minerales, teniendo en cuenta que la procedencia es la misma y que presentan escasa diagénesis y meteorización.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Dr. Víctor A. Ramos, por la corrección de la primera versión del manuscrito y a las valiosas y constructivas observaciones de los revisores doctores Luis Fauqué y Jorge Rabassa. Este trabajo se desprende parcialmente del trabajo final de licenciatura "Formación y desagote de la laguna Navarrete en relación a la evolución tectónica de la cuenca del arroyo Pichi-Neuquén (36°37'-36°42'S y 71°3'-70°48'O)" de la primera autora del trabajo, realizado en la Universidad de Buenos Aires, en el marco del proyecto PICT 06729/99 de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica a cargo de V.A. Ramos.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Costa, J. E. y Schuster, R. L. 1988. The formation and failure of natural dam. Geological Society of America. Bulletin 100: 1054-1068.
- Folguera, A., Ramos, V., Hermanns, R.L. y Naranjo, J. 2004. Neotectonics in the foothills of the Southernmost Central Andes (37°-38°S). Evidence of the strike-slip displacement along the Antifurc-Copahue fault zone. *Tectonics*. 23(5) TC5008, doi: 10.1029/2003TC001533.
- 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.
- Groeber, P. 1916. Informe sobre las causas que han producido las crecientes del río Colorado (Territorios de Neuquen y La Pampa) en 1914. Dirección General de Minas, Geología e Hidrogeología, Boletín 11 (Serie B Geología): 1-29, Buenos Aires.
- Hermanns, R.L., Naumann, R., Folguera, A. y Pagenkopf, A. 2004a. Sedimentologic analysis of deposits of an historic landslide dam failure in Barrancas valley causing a catastrophic 1914 Río Colorado flood, northern Patagonia, Argentina. En Lacerda, W.A. *et al.* (eds.) *Landslides: Evaluation and Stabilization*, Balkema, 2: 1439-1445.
- Hermanns, R.L., Niedermann, S., González Díaz, F.E., Folguera, A., Ivy-Ochs, S.D. y Kubuk, P. 2004b. Landslide dams in the Argentine Andes. NATO Advanced Research Workshop Security of natural and artificial rockslide dams, 79-85, Bishkek, Kyrgyzstan.
- Hermanns, R.L., Folguera, A., Penna, I.M., González Díaz, F.E., Fauque, L. y Niedermann, S. 2006. Landslides dams in Central Andes of Argentina (northern Patagonia and the Argentine northwest). En Evans, S.G., Hermanns, R.L., Strom, A. y Scarascia, M.G. (eds.) *NATO Series Publication Security of natural and artificial rock slide dams*, Springer, (en prensa), Berlín.
- Penna, I.M. 2006. Formación y desagote de la Laguna Navarrete en relación a la evolución tectónica de la cuenca del arroyo Pichi-Neuquén (36°37'-36°42'S y 71°3'-70°48'O). Trabajo Final de Licenciatura, Universidad de Buenos Aires, (inédito), 66 p., Buenos Aires.
- Penna, I.M., Folguera A. y Hermanns R.L. 2005. Desagote catastrófico de la Laguna Navarrete en relación a la actividad tectónica del norte neuquino (36 33'S y 71 01'O). 16° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 411-414. La Plata.
- Powers, M.C. 1953. A new roundness scale for sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Petrology* 23:117-119.
- Zanettini, J.C. 2001. Hoja Geológica 3772-II, Las Ovejas, 1: 250.000. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina. Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 263, 61 p., Buenos Aires.

Recibido: 8 de noviembre, 2006

Aceptado: 6 de julio, 2007