

# EL ALUVIÓN DEL RÍO COLORADO DE 1914: PRIMERA CONTRIBUCIÓN GEOLÓGICA DE GROEBER DESDE SU LLEGADA A LA ARGENTINA

Victor A. RAMOS

Laboratorio de Tectónica Andina del Instituto de Estudios Andinos Don Pablo Groeber (IDEAN, UBA-CONICET), Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Email: andes@gl.fcen.uba.ar

## RESUMEN

Se analiza el informe realizado por Pablo Groeber pocos meses después del colapso catastrófico del paleolago Carri Lauquén de 1914 en la Cordillera Principal entre Mendoza y Neuquén, donde presentó el levantamiento topográfico del área ocupada por el paleolago, analizó las causas de su formación, estimó el volumen de agua liberado por la catástrofe que produjo la máxima creciente del río Colorado, llegando sus aguas al Atlántico a través de 1000 km de recorrido y discutió los motivos de su estallido y la súbita inundación producida agua abajo. Se evalúan los resultados de Groeber a través de trabajos específicos realizados en los últimos cien años, y se destaca la validez de sus conclusiones sobre la génesis del paleolago, las causas de su ruptura, el volumen de la inundación producida y los procesos involucrados. Se complementan sus observaciones en las nacientes del río Barrancas con los desastres producidos por la creciente agua abajo en el valle del río Colorado. Esto permite registrar las variaciones de la altura del pico de creciente de 32 a 3 metros, y la disminución de la velocidad de la creciente de 20 a 11 km por hora desde el cierre hasta casi su desembocadura en el Atlántico. El análisis realizado destaca la validez de la reconstrucción de los procesos descritos por Groeber cien años atrás y pone en evidencia una vez más la capacidad y conocimiento de este joven geólogo recién llegado a la Argentina en su primer trabajo publicado en nuestro medio.

**Palabras clave:** *Dique natural, avalancha de rocas, colapso catastrófico, aluvión, Río Colorado, Andes Principales, Neuquén, Mendoza*

## ABSTRACT

*The Colorado River flood of 1914: Groeber's first geological contribution since his arrival in Argentina*

It is analyzed the report made by Pablo Groeber a few months after the catastrophic collapse of the Carri Lauquén paleolake developed in 1914 in the Main Cordillera between Mendoza and Neuquén. He presented the topographic survey of the area occupied by the paleolake, analyzed the causes of its formation, and estimated the volume of water released during the disaster. This was the highest known flood of the Colorado River, reaching its waters through more than 1000 km to the Atlantic. Groeber discussed the reasons for its outburst and the sudden flood produced downstream. The results obtained are evaluated by specific works carried out in the region over the past one hundred years, and it is emphasized the validity of his conclusions on the genesis of the paleolake, the causes of its rupture, the volume of the flood produced and the processes involved. Supplementing Groeber's observations on the headwaters of the Barrancas River, are discussed the disasters produced downstream by the outburst flood in the Colorado River valley. This allows recording the variations of the height of the flood peak, decreasing from 32 to 3 meters, and the slowdown of the speed from 20 to 11 km per hour from the natural dam collapse to almost its mouth in the Atlantic Ocean. The analysis confirms the validity of the reconstruction of the processes described by Groeber one hundred years ago, and once again highlights the capacity and knowledge of this young geologist recently arrived in Argentina in his first published work in our country.

**Keywords:** *Natural dam, catastrophic collapse, outburst flood, Colorado River, Main Andes, Neuquén, Mendoza*

## INTRODUCCIÓN

Don Pablo Groeber luego de una importante serie de investigaciones en el Tien Shan y en Europa llegó a la Argentina en 1911, a instancias de Juan Keidel, Jefe de la Sección Geología de la aquel entonces denominada Dirección General de Minas, Geología e Hidrogeología, hoy día

SEGEMAR. Ante el pedido de su director el ingeniero Enrique Hermitte, es comisionado en 1915 a estudiar los desastres relacionados con el aluvión del río Colorado acaecido el 29 de diciembre de 1914. Este estudio sería su tercer campaña a la región cordillerana, la que ya había conocido en el invierno de 1914 previamente al desastre (Groeber 1933). Sus

trabajos de campo se desarrollan entre marzo y abril siguientes al aluvión, y el informe es elevado ese mismo año ante los Ministerios del Interior y Obras Públicas “para prevenir nuevas desgracias” (Hermitte 1915) y recomendado para su publicación (Groeber 1916). Esta se convierte así en la primera contribución publicada en nuestro país por Pablo Groeber. Han

pasado más de cien años y su informe sigue teniendo vigencia, como lo demuestran numerosos estudios posteriores.

El objetivo del presente trabajo es rescatar la validez de sus observaciones sobre la base del actual conocimiento que se tiene de la región donde se generó el aluvión, sus precisos cálculos y el análisis realizado sobre las causas del desastre.

## EL ALUVIÓN DEL RÍO COLORADO

Aproximadamente a las 16 horas del 29 de diciembre de 1914 se produjo el colapso del endicamiento natural que cerraba el lago Carri Lauquén<sup>1</sup>, según la Sra. Avelina Canale a sus 93 años, testimonio recogido de una pobladora de la comarca por González Díaz *et al.* (2001).

Groeber (1916) menciona que el invierno de 1914 se había caracterizado por nevadas excepcionales y que ese año el deshielo posterior había producido grandes desbordes de los ríos procedentes de la cordillera neuquina y sur mendocina. Cuando analiza las consecuencias del aluvión producido destaca pormenorizadamente sus efectos en el tramo correspondiente entre el antiguo lago y las nacientes del Colorado, después de su junta con el río Grande, región que recorrió personalmente. En la figura 1 se ubican las observaciones y desastres producidos a lo largo del recorrido del aluvión en su tramo proximal sobre la base principalmente de las observaciones de Groeber (1916 y 1933). En la figura 2 se presenta un resumen de las consecuencias del aluvión en su tramo medio y distal sobre la base de las observaciones de Coleman (1949) y González Díaz *et al.* (2001), complementadas con diversas fuentes periodísticas.

La extensión del paleolago Carri Lauquén ha sido establecida por Groeber (1916) en 21,5 km, sobre la base del levantamiento topográfico realizado en forma expeditiva a escala 1: 200.000. La reconstrucción

ha sido hecha sobre la base de la berma del antiguo lago, que en el momento del reconocimiento realizado por Groeber en 1915 estaba perfectamente preservada. Esta extensión original del lago ha sido confirmada por los estudios posteriores de González Díaz *et al.* (2001) y Hermanns *et al.* (2004). Sobre esta base y su mapa topográfico Groeber (1916) calculó basado en una profundidad media y una estimación variable del ancho del lago, que el volumen desagotado en pocas horas era de 1995 millones de metros cúbicos, con una altura de agua de 95 m en el cierre, valores que han persistido en la mayor parte de los informes posteriores (aproximadamente 2,0 km<sup>3</sup> cúbicos). El ingeniero S. Blencowe de los ferrocarriles ingleses estimó unos 1,8 km<sup>3</sup> de agua con una altura en la zona de cierre entre 85 y 110 m (Coleman 1949).

Estudios más precisos realizados por Hermanns *et al.* (2004) permitieron establecer un volumen de agua liberada de 1,55 km<sup>3</sup> con una altura de cierre de 85 metros.

Este volumen de agua al ser descargado en forma súbita ocasionó un aluvión de gigantescas proporciones, donde se transportaban rocas, árboles, animales muertos, etc. que en las proximidades del dique natural alcanzó unos 32 m de altura, y todavía a 45 km, en la localidad de Barrancas tuvo una altura de 17 metros. En este lugar arrasó las dos comisarías ubicadas a ambos lados del río en el límite interprovincial, otros caseríos y los cultivos existentes. Esto motivó el traslado del pueblo de Barrancas a su posición actual, varias decenas de metros por encima del nivel del río.

Después de la junta con el río Grande, donde nace el río Colorado, el aluvión con 9 m de altura llegó al Paso de las Bardas a 95 km del dique natural, destruyó la estancia Marguerite y sus más de 100 hectáreas de alfalfa, falleciendo todos sus pobladores. Esta estancia según Groeber (1916) era la vanguardia del progreso en esta región.

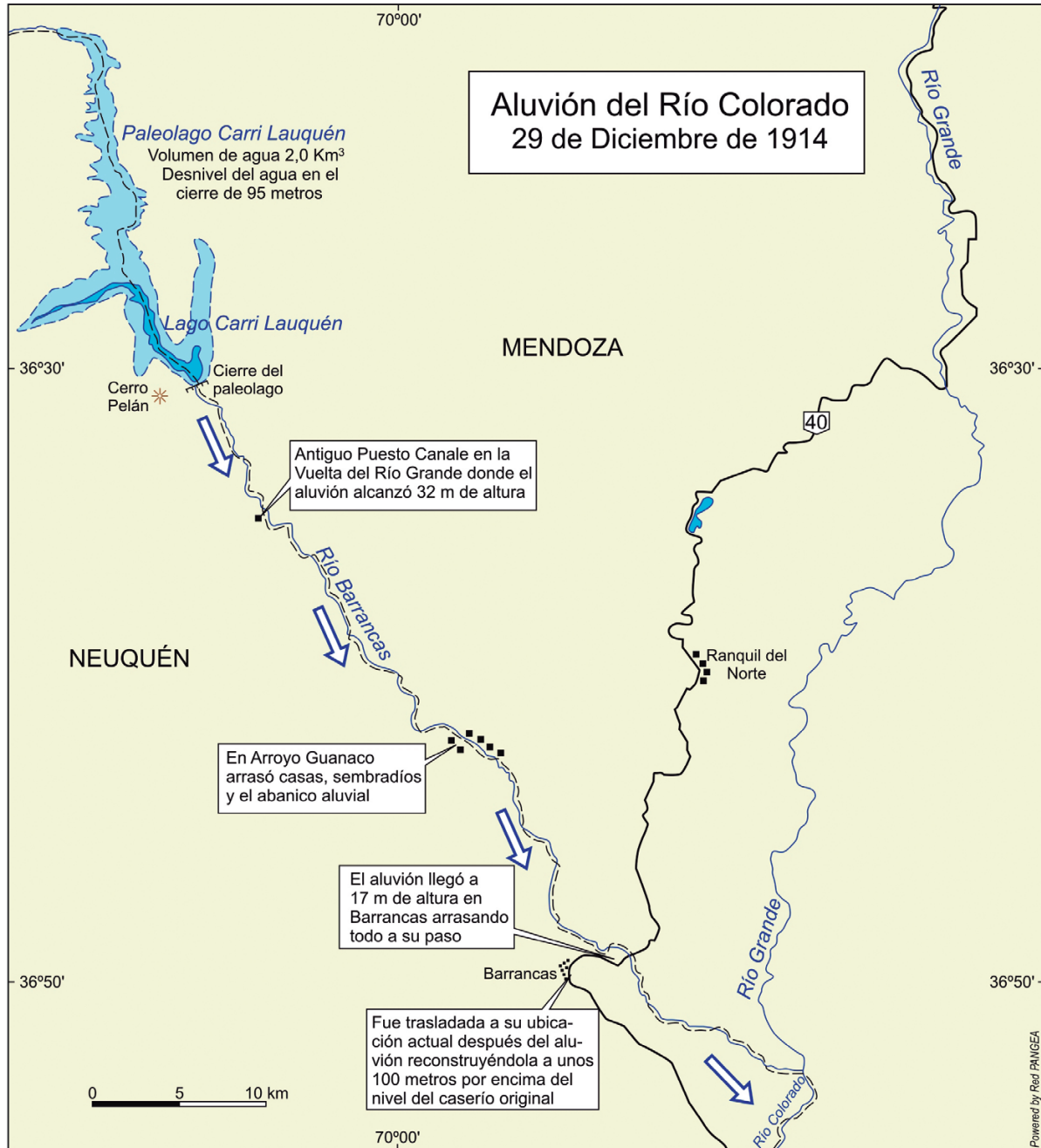
El aluvión alcanza el día 30 de diciembre a Puesto Hernández, ubicado a 150 km del cierre con una altura de 5 m de agua

(Fig. 2), pero debido a que llegó al amanecer los pobladores pueden escapar y ponerse a resguardo (González Díaz *et al.* 2001).

Uno de los sectores donde ocasionó la mayor pérdida de vidas fue en las colonias 25 de Mayo y Catriel; en ambas localidades ubicadas a uno y otro lado del río, a unos 300 km del cierre, las aguas llegaron cerca de las dos de la tarde con una altura entre 7 y 5 metros. La falta de un aviso previo hizo que las víctimas ascendieran a alrededor de 200 personas entre muertos y desaparecidos. Se puede calcular el avance del aluvión en unos 16 km por hora, levemente inferior a la velocidad inferida de 20 km/h en la parte proximal a pocos kilómetros de la ruptura del cierre por González Díaz *et al.* (2001).

La situación cambia cuando las aguas llegan al tramo donde el ferrocarril corre paralelo al valle del río desde Fortín Uno a Río Colorado (Fig. 2). El encargado de la estación de Pichi Mahuida con el agua a la cintura puede avisar el 3 de enero por telégrafo a Río Colorado la llegada del aluvión (Coleman 1949), que llega ese día a las 7 de la mañana a Río Colorado. La alerta previa hizo que no se hayan producido víctimas fatales en esta localidad. Ante la alerta se manda un tren de auxilio (véanse Figs. 4 a 6), que llega a Buena Parada, pocos kilómetros de Río Colorado, y salva a los pobladores llevándolos hasta Río Colorado. Un nuevo intento del tren de auxilio se interrumpe sin llegar a Juan de Garay (Fig. 2), por la creciente de las aguas. El tren descarrila, los socorristas deben dejarlo, mediante botes de auxilio que habían traído y pasan una semana aislados en la punta de una loma en forma precaria, hasta que las aguas comienzan a bajar (Coleman 1949). Las aguas en este sector habían alcanzado más 3 metros de altura, pero el ancho del río se expande de 10 a 25 km. El aluvión alcanzó Río Colorado, ubicado a unos 715 km de la zona de ruptura con una velocidad media de avance de 11,4 km/h. Si se tiene en cuenta el tiempo transcurrido en pasar de Buena Parada a Río Colorado, la velocidad del frente del aluvión de este tramo habría variado entre 9,6 y 11,2 km por ho-

<sup>1</sup> Si bien el nombre del lago ha recibido diferentes formas en su escritura, en el presente trabajo se sigue la grafía original de Groeber (1916), a pesar que más tarde en su toponimia araucana lo denomina Kari Lauquen (lago verde, Groeber 1926).



**Figura 1:** El aluvión del río Colorado según la reconstrucción de Groeber (1916), complementada con los datos suministrados por Coleman (1949), González Díaz *et al.* (2001) y Hermanns *et al.* (2011). Nótese las variaciones de altura de la creciente condicionada por la velocidad del flujo y la estrechura del valle.

ra. La inundación persistió hasta el 9 de enero, que es cuando comienzan a bajar las aguas. Fue necesario reconstruir unos 130 km de vías férreas en este sector (Coleman 1949).

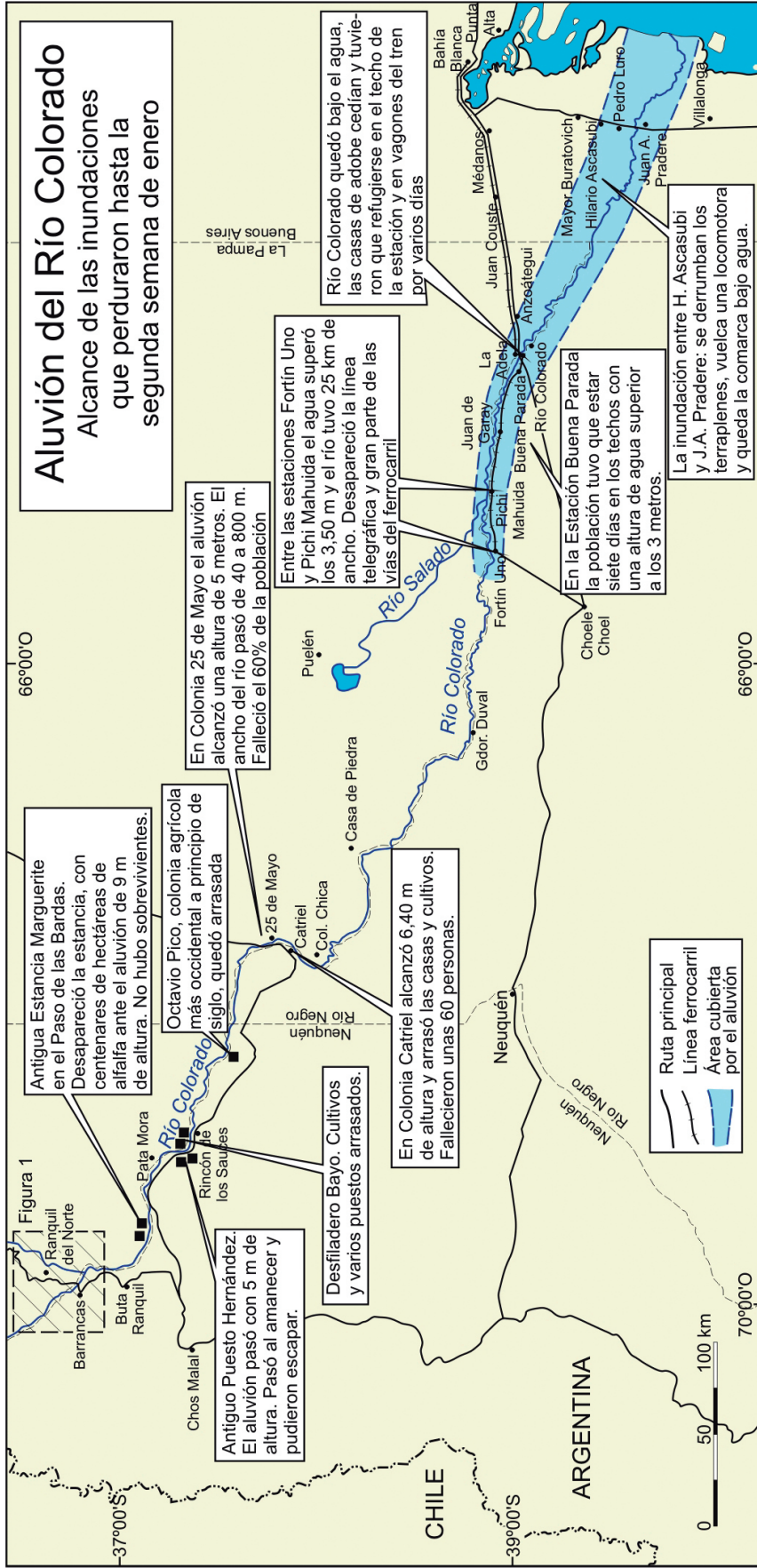
Río abajo el aluvión llegó a Pedro Luro, 200 km agua abajo, afectando nuevamente las vías del ramal del Ferrocarril al Pacífico que de Bahía Blanca llegaba a Villalonga (Fig. 2). En esta región destruyó los

terraplenes de las vías entre las estaciones Hilario Ascasubi y Juan A. Pradere, haciendo volcar una de las locomotoras y algunos vagones. Las aguas permanecen en esta vasta región hasta el 25 de enero (González Díaz *et al.* 2001).

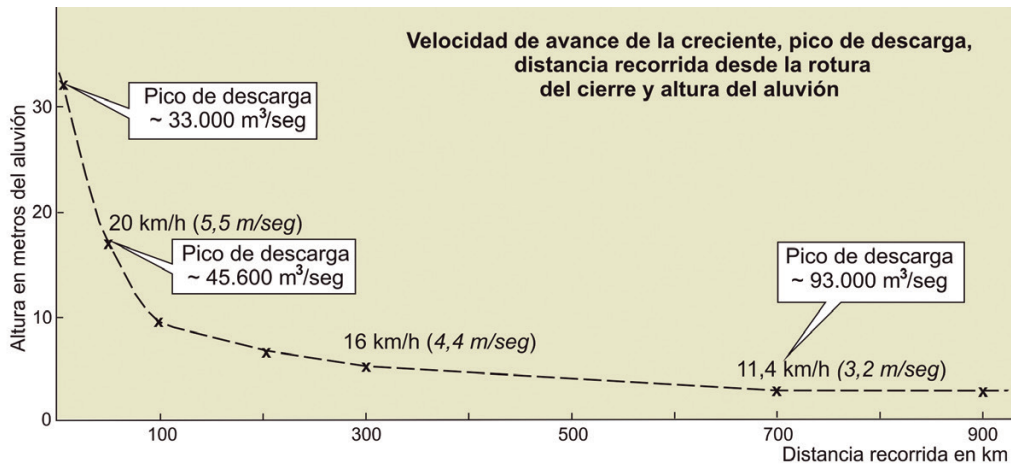
Es interesante destacar el alcance de este aluvión gatillado por la ruptura del dique natural de lago Carri Lauquén (Fig. 3). Llega a más de 900 km de distancia

con una altura de tres metros, a partir de una altura constatada de 32 m en el sector proximal. El ancho de la creciente fue de 800 metros en su parte media, los que pasan a 25 km en la parte distal. Esto refleja el importante volumen de agua escurrido, que puede estimarse por la anchura del flujo supeditada al ancho del valle y a la velocidad de escurrimiento.

La magnitud de la energía liberada es ilus-



**Figura 2:** Consecuencias del aluvión del Río Colorado del 29 de diciembre de 1914. Nótese la pérdida de altura del aluvión a través de su recorrido y el paulatino ensanche de la zona inundada que de 800 m pasó a 25 km en la parte distal. Basado en Groeber (1916), Rogind (1937), Coleman (1949), González Díaz *et al.* (2001) y diversas fuentes periodísticas de la época.



**Figura 3:** Variación de la altura del aluvión registrado en los ríos Barrancas y Colorado, con la velocidad del pico de la creciente producida por la ruptura del paleolago Carri Lauquén (basado en los registros periodísticos de la época). Los picos de descarga para la parte proximal son según Evans *et al.* (2011).

trada por la velocidad de desplazamiento (Fig. 3), que de 20 km/h (5,5 m/seg) en la parte proximal del río Barrancas llega a 11,4 km/h (3,2 m/seg) en la parte media a distal en el río Colorado. Sobre esta base se puede calcular el pico de descarga (*peak discharge*) del aluvión teniendo en cuenta la velocidad de la creciente y el área de la sección analizada. En la parte proximal Evans *et al.* (2011) han calculado un pico de descarga de  $\sim 33.000 m^3/s$  a 11,6 km río abajo de la rotura y de  $\sim 45.600 m^3/s$  en la confluencia del río Barrancas con el río Grande. Si se comparan estos valores con el cálculo empírico (Evans 1986), sobre la base de la altura del cierre y volumen de agua desalojado, el valor obtenido es de  $\sim 48.721 m^3/s$ . Agua abajo en la localidad de Río Colorado el pico de descarga es sustancialmente mayor  $\sim 93.000 m^3/s$ . Para este cálculo preliminar, teniendo en cuenta la sección del río y el ancho abarcado por la creciente, se asumió que la velocidad del aluvión de 3,2 m/s, estimada sobre la base de los tiempos observados por los pobladores, disminuía linealmente hacia las márgenes. La duplicación del pico de la creciente se puede deber al aporte del caudal del río Grande y otros arroyo menores (Fig. 3). Sin embargo, al desconocer el tipo y tamaño del sedimento transportado (Manville y Hodgson 2011) no se puede evaluar precisamente la variación de la velocidad de escurrimiento en forma transversal y vertical a la sección y por lo tanto su pico de descarga.

En todos los sectores donde fue observado llamó la atención de los pobladores la

densa masa de lodo, básicamente procedentes de la avalancha y material del lecho del valle, se le agregaba restos de árboles y una gran diversidad de animales muertos y escombros de todo tipo. Otra cosa que llamó la atención es el característico ruido producido por el avance del aluvión, el que acompañado por polvaredas producto de los deslizamientos derivados de las paredes del valle, permitió en ciertos sectores anunciar su avance. No hay un número exacto de víctimas, pero se estima que fácilmente debe haber superado los trescientos (Rögind 1937 y Coleman 1949).

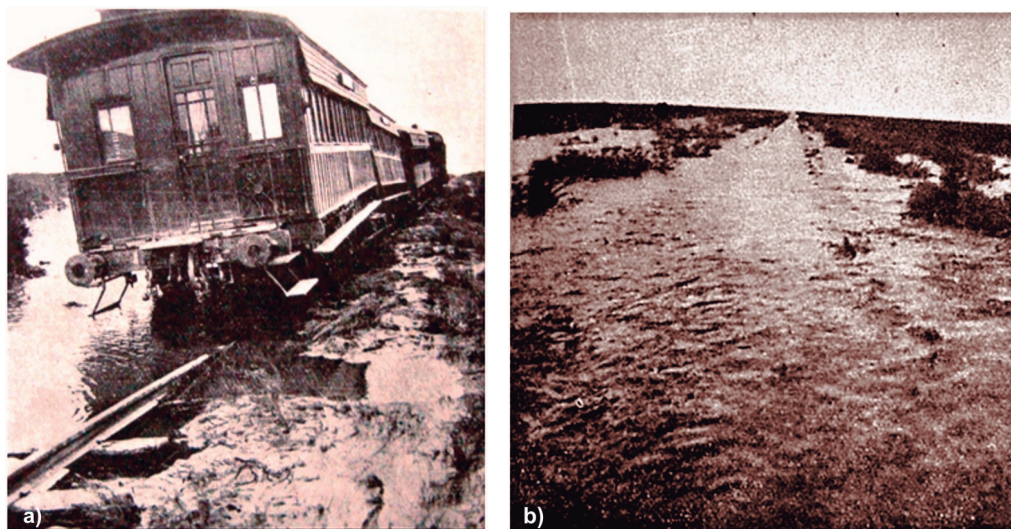
### EL ORIGEN DE LA FORMACIÓN DEL PALEOLAGO CARRI LAUQUÉN

El informe de Groeber establece y clasifica en forma muy didáctica y pionera las potenciales causas por las que en la región cordillerana se forman lagos que interrumpen el valle y la normal fluencia de sus ríos. Es interesante destacar su análisis de los cuatro orígenes más comunes de estos lagos: el endicamiento por morenas; la presencia de superficies irregulares de escoriales de lava con diferente resistencia a la erosión; la obstrucción y embalse por escoriales de lava, y finalmente por derrumbes de las faldas de los valles. Cada ejemplo es ilustrado con un bloque diagrama y su mapa correspondiente, mostrando sus diferencias y como distinguir su potencial origen. En ello an-

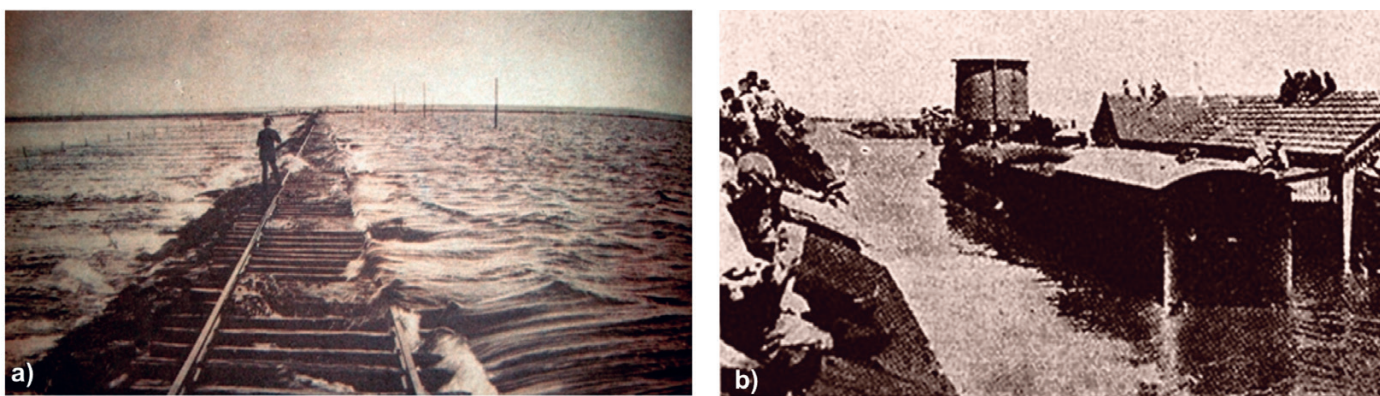
ticipa la clasificación clásica de Costa y Schuster (1988) sobre los diferentes tipos más comunes de endicamientos naturales que se reconocen la que es ampliamente usada en la evaluación de estos procesos. Sobre la base de estas alternativas concluye Groeber (1916) que los rasgos observados en el valle no muestran la acción glaciaria, siendo el paisaje modelado casi exclusivamente por la acción fluvial, como lo denotan las formas irregulares de erosión de sus faldeos. No observó rocas volcánicas recientes que pudieran endicar o controlar la morfología del valle (véase Narciso *et al.* 2000), por lo que selecciona como causa del embalse el derrumbe de una de las faldas del valle.

Esta afirmación lo lleva a identificar las cicatrices de deslizamiento que se observan sobre las paredes del lado sur del valle, lo que permite vislumbrar el tamaño y la importancia del derrumbe que obstruyó el valle para formar el embalse natural del paleolago Carri Lauquén. Si bien no pudo calcular el volumen de la avalancha reconoce su gran tamaño con una extensión frontal de 4 a 5 kilómetros.

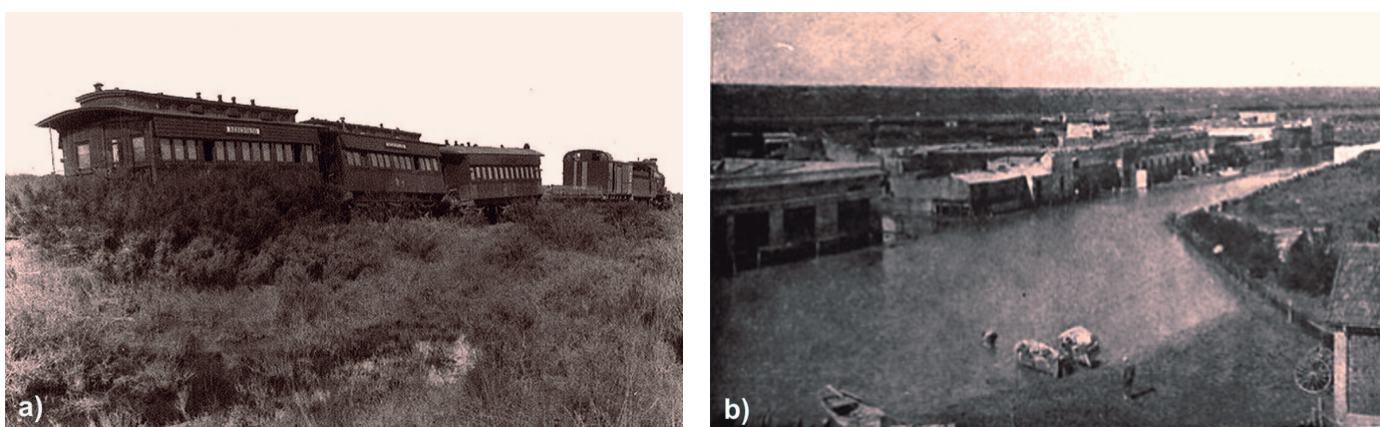
El estudio geomorfológico detallado realizado por González Díaz *et al.* (2001), pudo precisar que la avalancha de rocas que creó el lago en el valle del río Barrancas procedió del cerro Pelán, donde aún hoy se observan las cicatrices del deslizamiento. El cerro de 2900 m de altura sobre el nivel del mar y cuyas cicatrices están a 450 m de desnivel con el valle, está ubicado en el lado sur neuquino del valle. Establecieron una extensión frontal



**Figura 4:** a) Tren de auxilio que se descarrila al intentar aproximarse a Juan de Garay el 2 de enero de 1915; b) Vista de las vías hacia el oeste desde el miriñaque de la locomotora. Fotografías de Coleman (1949).



**Figura 5:** a) Estado de las vías cuando intentaron volver a Río Colorado; b) Los habitantes de Río Colorado debieron pasar varios días en el techo de la estación durante el pico de la inundación. Fotografías de Coleman (1949).

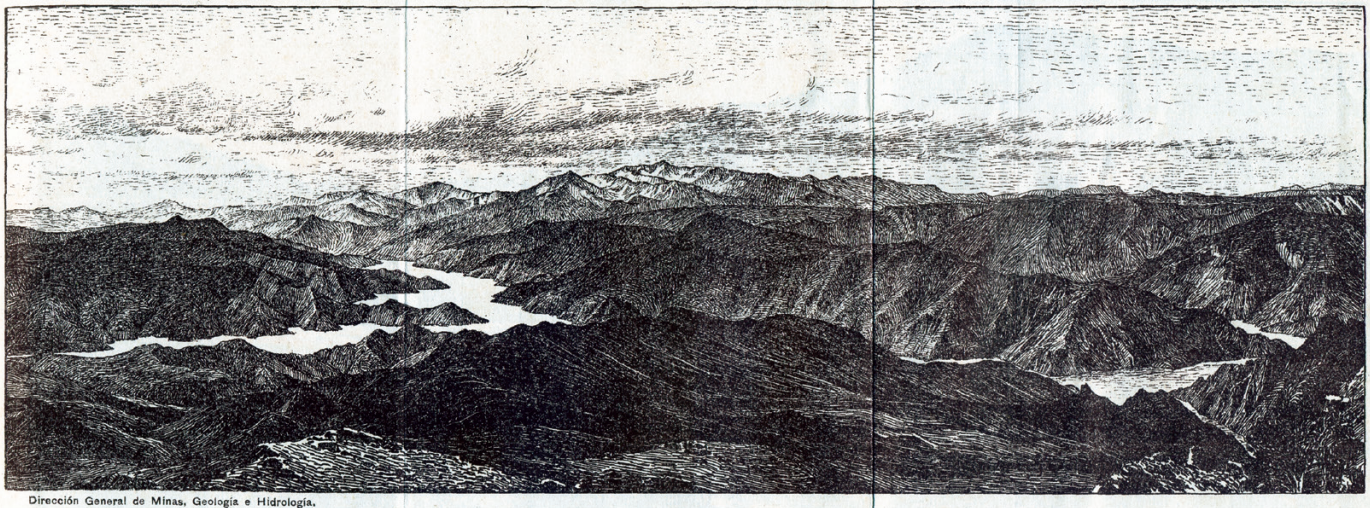


**Figura 6:** a) Tren de auxilio abandonado por descarrilamiento; b) Inundación en Río Colorado después de varios días del aluvión. Fotografías de Coleman (1949).

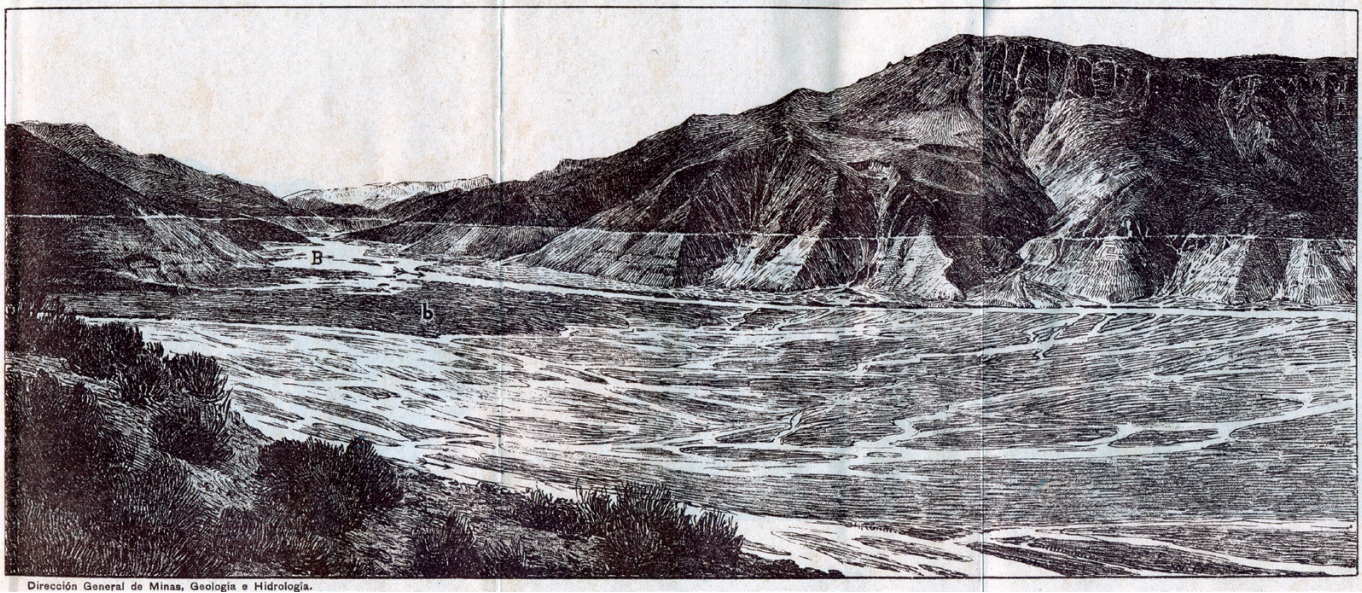
de 3,6 km para la avalancha, y una trepada hacia el este en el lado opuesto de 180 m, no observada por Groeber (1916). La magnitud de la trepada (*run-up*) ha permitido a estos autores establecer la velocidad de la avalancha al momento de su for-

mación en unos 270 km por hora. Si bien la magnitud de la avalancha fue establecida en el mismo orden de magnitud por ambos estudios, es importante destacar que la topografía del valle había sido levantada por Groeber a escala 1: 200.000

en forma expeditiva, mientras que las dimensiones establecidas para la avalancha por González Díaz *et al.* (2001), estaban basadas en un relevamiento aerofotogramétrico a escala 1: 20.000 realizado por el SEGEMAR.



**Figura 7:** Reconstrucción de una vista del lago hacia sus nacientes antes del vaciamiento del lago Carri Lauquén, basada en el nivel de terrazas reconocido correspondiente a la antigua berma del lago (Groeber 1916).



**Figura 8:** Vista actual del lo que quedaba del lago Carri Lauquén, con posterioridad a su vaciado. En B se indica la extensión del lago en 1914 según Groeber (1916). Nótese la precisión del dibujo y la caracterización de sus geoformas con indicación de la antigua berma del lago.

Los estudios más detallados llevados a cabo por Hermanns *et al.* (2004) han permitido evaluar el volumen de material de la avalancha del cerro Pelán, el cual estiman en aproximadamente 1300 millones de metros cúbicos ( $1,3 \text{ km}^3$ ), que cerraron el valle y formaron el paleolago de Carri Lauquén.

Con respecto a la edad del lago Groeber (1916) si bien no pudo establecer su antigüedad, lo desliga de las glaciaciones. Describe las características fluviales de la morfología del valle en forma posterior a la última época glacial. Establece que los

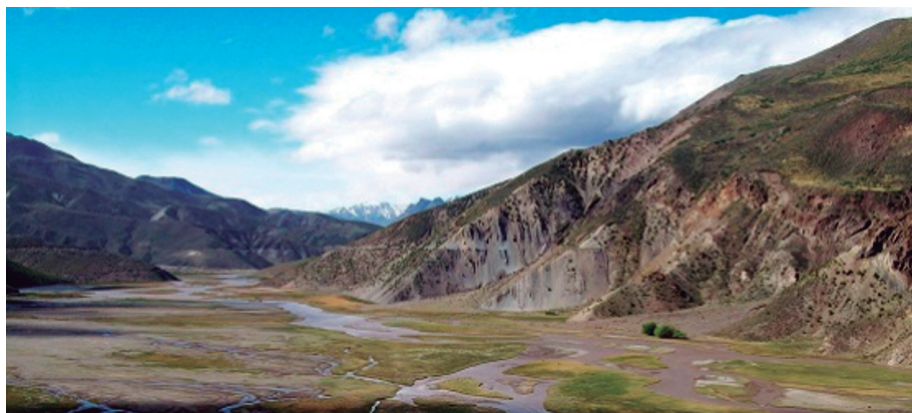
flancos del valle no muestran ningún indicio de la acción del hielo, por lo que descarta su origen glacial. Estudios más recientes de Costa y González Díaz (2007) han demostrado lo correcto de esta aseveración. Dataciones por radionucleidos cosmogénicos de una muestra de la avalancha del río Barrancas arrojó una edad holocena de  $2.200 \pm 600$  años mediante isótopos de  $^{36}\text{Cl}$ .

Los estudios de Hermanns *et al.* (2004) mediante isótopos de  $\text{C}^{14}$  en AMS (*Accelerator Mass Spectrometry*) de restos de troncos arrojaron una edad mínima de  $\pm 427$

años. Dado que los restos fueron obtenidos de la base de un sistema deltaico que tenía como base el nivel del paleolago, se puede afirmar que la edad del mismo es superior a los 400 años y que puede alcanzar hasta los 2.200 años, edad de la avalancha.

Sobre la base del mapa realizado, Groeber indica en sendos bloques diagramas las características del paisaje antes y después del desastre pudiendo reconocer la magnitud del paleolago Carri Lauquén (Figs. 7 y 8).

Es importante destacar que la identifica-



**Figura 9:** Vista actual del valle del río Barrancas donde se puede observar el nivel de la berma del antiguo lago, parcialmente destruido por deslizamientos en los últimos 100 años en el sector derecho de la fotografía.

ción de la antigua terraza que marcaba la altura del nivel del agua del antiguo lago fue lo que le permitió a Groeber (1916) estimar el volumen de agua endicado, la que si bien en la actualidad se preserva ha sido en parte destruida por la erosión (Fig. 9).

### Las causas del aluvión del río Colorado

En su trabajo Groeber (1916) explica la erosión retrocedente del río agua abajo del endicamiento. Destaca que lentamente el cauce debilita por erosión la parte superior de la avalancha que había producido el cierre, hasta que la presión del agua del lago vence la resistencia del obstáculo que cierra el río en la zona debilitada. Cuando se llega a este punto se produce el derrumbe del dique natural, que algunos lo refieren como al estallido del cierre, y gran cantidad de agua comienza a salir, erosionando rápidamente el depósito de la avalancha que cerraba el lago.

El estallido y la subsecuente inundación (*outburst flood*) produjo un súbito vaciamiento del lago y depósitos característicos agua abajo, producto de la destrucción de la avalancha de cierre, proceso que ha sido estudiado por diversos autores en diferentes ambientes geomorfológicos (Wayne 1999, Penna *et al.* 2011, 2012, 2013, 2015). En el caso que se analiza el colapso catastrófico del cierre produjo un redepósito del material de la avalancha agua abajo de varios kilómetros, como lo describe Penna *et al.* (2008),

quienes destacan que ya Groeber (1916) había identificado estos depósitos.

Un estudio sedimentológico de los depósitos producidos por el colapso catastrófico es presentado por Hermanns *et al.* (2004), quienes establecen un volumen de  $\sim 1,2$  km<sup>3</sup> de material removidos de la avalancha y reconocidos por lo menos hasta 60 km agua abajo del cierre. Estos autores pueden distinguir las terrazas formadas por este colapso catastrófico de las terrazas fluviales normales por la mineralogía y textura característicos de estos depósitos.

Con respecto a las causas de la avalancha que produjo la obstrucción y endicamiento natural del río Barrancas para formar el paleolago, hay consenso entre los diferentes autores que lo relacionan a fuertes nevadas y sus correspondientes deshielos como lo propusieron Groeber (1916), González Díaz *et al.* (2001) y Hermanns *et al.* (2003, 2004).

El colapso catastrófico y su posterior aluvión fue asociado a un período de fuertes nevadas invernales e intensas lluvias estivales en el verano 2014/ 2015 por Groeber (1916), Coleman (1949), González Díaz *et al.* (2001) y Hermanns *et al.* (2003, 2004). Es interesante destacar que fuertes precipitaciones como las acaecidas ese año son relativamente comunes con una frecuencia de 5 a 17 años, como se puede establecer por los registros climáticos de esa época en estaciones meteorológicas relativamente cercanas (Evans *et al.* 2011). Lo verdaderamen-

te excepcional, como lo establecen estos autores, ha sido las altas temperaturas del verano de 2013, que fue el verano más caliente de los últimos 145 años en un largo registro de 1858 a 2003. Esta combinación de un verano anterior excepcionalmente caliente con fuertes deshielos y un invierno posterior con intensas precipitaciones, causaron los altos niveles del paleolago que sobrepasaron (*overtopping*) la altura del endicamiento natural producido por la avalancha (Evans *et al.* 2011).

Si se compara lo acaecido con los estudios globales realizados por Costa y Schuster, (1988) y Evans *et al.* (2011), la razón más probable para el colapso del dique ha sido la situación climática que permitió a las aguas del río Barrancas sobrepasar la cresta del endicamiento. Además como fuera analizado por Hermanns *et al.* (2011) las características geomórficas del dique natural indicaban que éste era estable. Estas características establecidas por Ermini y Casagli (2003), hoy día ampliamente aceptadas, explican por qué el endicamiento fue estable por varias decenas de años, quizás milenios, y que se necesitaron condiciones verdaderamente excepcionales para su colapso, como el verano más caliente de los últimos 150 años asociado a intensas precipitaciones posteriores en el período invernal.

El colapso catastrófico es asociado también por diversos autores a probable actividad sísmica como disparadora del estallido del cierre, aunque no hay pruebas fehacientes de esa actividad en este caso. Existen evidencias en otros casos de colapsos catastróficos asociados a actividad sísmica en la cordillera neuquina, basadas ya sea por su proximidad a actividad neotectónica a lo largo del curso, o a la presencia de sismitas en sus depósitos y a la aparente sincronidad de algunos de estos colapsos, como fuera propuesto por González Díaz *et al.* (2001), Hermanns *et al.* (2003, 2004), Penna *et al.* (2007, 2008, 2011, 2012, 2015), entre otros. Sin embargo, no hay actividad neotectónica registrada a lo largo del lineamiento Barrancas, aunque su falta no es concluyente, dado que un terremoto registrado en áreas relativamente vecinas,



pudo haber disparado la ruptura. Sin embargo, es interesante destacar la posibilidad como lo mencionan González Díaz *et al.* (2001), que en la zona de cierre las filtraciones a través de la avalancha se habían incrementado el día del colapso, lo que pudo llevar al estallido sin necesidad de actividad sísmica.

## PROPUESTAS PARA EVITAR NUEVOS DESASTRES

Una de las características destacadas del informe de Groeber (1916), es su preocupación para evitar nuevos desastres en el futuro. Hace un pormenorizado análisis de las diferentes alternativas y de sus costos relativos, sugiriendo una de ellas como la más apropiada. En su análisis ingenieril propone llevar las fuertes pendientes de hasta 50° observadas en el canal labrado en la avalancha, a condiciones de equilibrio decreciendo la inclinación de los taludes, con precisos esquemas y cálculos del movimiento de tierra a realizar. Dada la imposibilidad en aquellos tiempos de recurrir a maquinaria pesada para hacer los trabajos debido a la falta de caminos y la lejanía del lugar, propone hacer el trabajo con mulas con “palas a buey” (sic). Han sido muy usadas a principios de siglo las “palas de buey” ya sea tirada por caballos o mulas, para la excavación de caminos de tierra. En su informe calcula la cantidad de peones y mulas, junto al apoyo logístico necesario de cocineros provisiones, etc. junto con una estimación de los costos involucrados. Estas recomendaciones las realiza para evitar el envío de un ingeniero en una nueva comisión y esperar un año más, dada las limitaciones climáticas para trabajar en la comarca. Esto muestra fehacientemente, que cómo geólogo se sentía plenamente habilitado para preparar un proyecto, calcular sus costos y tiempos de ejecución, quizás con mejor capacidad que un ingeniero. El informe fue elevado al Ministerio de Obras Públicas a sus efectos.

Es interesante destacar una vez más que el análisis de Groeber (1916) está en línea con conceptos actuales de evaluación de

la peligrosidad de un endicamiento natural. Como ha sido establecido en estudios modernos como los de Evans *et al.* (2011, y diversos trabajos en ese mismo volumen), el análisis de la estabilidad de las pendientes es fundamental para evaluar el riesgo de nuevos colapsos.

## RELEVANCIA Y TRASCENDENCIA DEL ESTUDIO DE GROEBER

Cien años después del estudio realizado por Groeber (1916), y su identificación de la génesis del paleolago Carri Lauquén, constatando que se había formado por un endicamiento natural a partir de una avalancha de rocas, y que su estallido había producido el importante aluvión agua abajo, con importantes desastres hasta la costa atlántica, se puede ver claramente la relevancia de este trabajo. Cuando se comparan los parámetros calculados por Groeber (1916), levemente modificados por los estudios posteriores de González Díaz *et al.* (2001) y Hermanns *et al.* (2003, 2004, 2011), entre otros, se destaca la relevancia de sus resultados. Hoy se sabe que el volumen del estallido y la subsecuente inundación (*outburst flood*) de 1,55 km<sup>3</sup>, si bien menor al que había asumido Groeber (1916, 2,0 km<sup>3</sup>), es uno de los tres más grandes registrados a nivel mundial por rotura de un endicamiento natural producido por una avalancha. Este volumen es sólo superado por el aluvión del río Indus en Pakistán de 6,5 km<sup>3</sup>, producido en 1840 y el del río Yigong Zangbo en el Tíbet de 2,0 km<sup>3</sup> en 1900 (véase Evans *et al.* 2011). Estos tres ejemplos superan ampliamente en volumen al mayor aluvión conocido por rotura de un dique artificial hecho por el hombre (Evans 2006).

El estudio de Groeber (1916) ha sido uno de los primeros trabajos geológicos a nivel global que describe, clasifica e interpreta la rotura de un importante endicamiento natural por una avalancha y sus consecuencias catastróficas. Su trascendencia es que ya a principios del siglo pasado pudo identificar correctamente los procesos involucrados y sus efectos, siendo lo acaecido en el río Barrancas hoy día

analizado como un ejemplo a nivel mundial (Evans *et al.* 2011).

## CONCLUSIONES

La descripción del trabajo realizado por Groeber y sus conclusiones, validadas a través de numerosos trabajos posteriores más específicos, con una mayor tecnología y conocimiento de los procesos, resaltan su preparación y capacidad. Si se tiene en cuenta que era su tercera campaña a la Cordillera de los Andes, en un tema alejado a los de su especialidad, hasta aquel entonces dedicado a la estratigrafía y a la tectónica, sobresalen lo agudo de sus observaciones, el entendimiento de los procesos y las recomendaciones futuras para evitar nuevos desastres de este tipo.

Su trabajo comienza con el levantamiento topográfico, dada la falta de mapas en aquellos tiempos. Esto le permite establecer las dimensiones originales del paleolago, a la vez que estudia las causas de su génesis, el porqué de su colapso catastrófico, el volumen de agua producido por el estallido del cierre, y los procesos involucrados.

Una vez más Groeber nos sorprende por su capacidad y la amplitud de su conocimiento; no se amilanó por el desafío a emprender, en una época en la cual no se tenía conocimiento de la geología de la región, se desconocían sus características físicas más básicas, pero que sin embargo logró obtener resultados que más de cien años después siguen teniendo vigencia. Sirva esta breve síntesis como un modesto homenaje a una personalidad que a través de los años se agiganta, que debiera servir de ejemplo a toda una legión de geólogos que hoy día transita nuestra cordillera para desentrañar sus misterios, y al que tendríamos que emular por su dedicación al trabajo y por la trascendencia de sus aportes tanto científicos como aplicados.

## AGRADECIMIENTOS

El autor desea dejar su expreso reconocimiento al Dr. Reginald Hermanns profesor del *Institutt for geologi og bergteknikk* de la *Norwegian University of Science and Tech-*

nology, y al profesor Luis Fauqué, por sus críticas constructivas y comentarios que han contribuido a mejorar el manuscrito original. Este se hace extensivo al Dr. Pablo Jacovkis por su asesoramiento en aspectos hidrológicos. Ésta es la contribución R- 217 del Instituto de Estudios Andinos Don Pablo Groeber.

#### TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Coleman, A. 1949. *Mi Vida de Ferroviario Inglés en la Argentina 1887-1948*. Ed. Part., 701 p., Bahía Blanca.
- Costa, C.H. y González Díaz, E.F. 2007. Age constrains and paleoseismic implication of rock-avalanches in the Northern Patagonian Andes, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 24: 48-57.
- Costa, J.E. y Schuster, R.L. 1988. The formation and failure of natural dam. *Geological Society of America, Bulletin* 100: 1054-1068.
- Ermini, L. y Casagli, N. 2003 Prediction of the behaviour of landslide dams using a geomorphological dimensionless index. *Earth Surface Processes and Landforms* 28: 31-47.
- Evans, S.G. 1986. The maximum discharge of outburst floods caused by the breaching of man-made and natural dams. *Canadian Geotechnical Journal* 23: 385-387.
- Evans, S.G. 2006. The formation and failure of landslide dams: an approach to risk assessment. *Italian Journal of Engineering Geology and Environment, Special Issue* 1: 15-19.
- Evans, S.G., Delaney, K.B., Hermanns, R.L., Strom, A. y Scarascia-Mugnozza, G. 2011. The formation and behavior of natural and artificial rockslide dams; Implications for engineering performance and hazard management. En Evans, S.G., Hermanns, R.L., Scarascia Mugnozza, G. y Strom, A. (eds.) *Natural and artificial rockslide dams*, Springer Verlag, Chapter 1, Lecture notes in Earth Sciences 133: 1-75.
- 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 del Neuquén y La Pampa) en 1914. Dirección General de Minas, Geología e Hidrología, Boletín 11, Serie B (Geología): 1-29, Buenos Aires.
- Groeber, P. 1926. Toponimia Araucana. Sociedad Argentina de Estudios Geográficos (GAEA), Anales 2(1): 195 p., Buenos Aires.
- Groeber, P. 1933. Confluencia de los ríos Grande y Barrancas (Mendoza y Neuquén). Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín 38: 1-72, Buenos Aires.
- Hermanns, R.L., González Díaz, E.F., Folguera, A. y Mardones, M. 2003. Large massive rock slope failures, landslide dams, and their association with the tectonic setting in the Argentine and Chilean Andes between 36° and 38° S. 10° Congreso Geológico Chileno, 5 p., Concepción.
- Hermanns, R.L., Naumann, R., Folguera, A. y Pagenkopf, A. 2004. Sedimentologic analysis of deposits of an historic landslide dam failure in Barrancas valley causing a catastrophic 1914 Rio Colorado flood, northern Patagonia, Argentina. En Lacerda, W.A. Ehrlich, M. Fontoura y Sayao, A. (eds.) *Landslides: Evaluation and Stabilization*, Balkema 2: 1439-1445.
- Hermanns, R.L., Folguera, A., Penna, I.M., and Fauqué, L. 2011. Landslide dams in the Argentine Andes, relation between dam - and valley morphology, climate and long term stability. En Evans, S.G., Hermanns, R.L., Scarascia Mugnozza, G. y Strom, A. (eds.) *Natural and artificial rockslide dams*, Springer Verlag, Chapter 5, Lecture Notes in Earth Sciences, 133: 147-176.
- Hermitte, E. 1915. A S.E. el señor Ministro de Agricultura Dr. Horacio Calderón. Dirección General de Minas, Geología e Hidrología, Boletín 11, Serie B (Geología): 3, Buenos Aires.
- Manville, V. y Hodgson, K.A. 2011. Paleohydrology of volcanogenic lake break-out floods in the Taupo Volcanic Zone, New Zealand. En Evans, S.G., Hermanns, R.L., Scarascia Mugnozza, G. y Strom, A. (eds.) *Natural and artificial rockslide dams*, Springer Verlag, Chapter 21, Lecture Notes in Earth Sciences, 133: 519-541.
- Narciso, V., Santamaría, G. y Zanettini, J.C. 2000. Hoja Geológica 3769-I, Barrancas. Escala 1: 250.000. Servicio Geológico Minero Argentino, Buenos Aires.
- Penna, I.M., Hermanns, R.L. y Folguera, A. 2007. Determinación del área inmediata afectada por el desagote de la Laguna Navarrete, provincia de Neuquén (36°30'S-71°O). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 62(3): 460-466.
- Penna, I.M., Hermanns, R.L. y Folguera, A. 2008. Remoción en masa y colapso catastrófico de diques naturales generados en el frente orogénico andino (36°-38°S): los casos Navarrete y Río Barrancas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 63(2): 172- 180.
- Penna, I.M., Hermanns, R.L., Niedermann, S. y Folguera, A. 2011. Multiple slope failures associated with neotectonic activity in the Southern Central Andes (37°-37°30'S), Patagonia, Argentina. *Geological Society of America, Bulletin* 123(9-10): 1880-1895.
- Penna, I.M., Hermanns, R.L. y Paz González, M. 2012. Endicamientos naturales en las nacientes del arroyo Lileo (Provincia del Neuquén, Argentina). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 69 (3): 372-381.
- Penna, I.M., Derron, M-H., Volpi, M., Jaboyedoff, M. 2013. Analysis of past and future dam formation and failure in the Santa Cruz River (San Juan province, Argentina). *Geomorphology* 186: 28-38.
- Penna, I.M., Hermanns, R.L., Daicz, S., Suriano, J. y Tedesco, A.M. 2015. Effects of tectonic deformation and landslides in the erosion of a mountain plateau in the transitional zone between the central and Patagonian Andes. *American Journal of Science* 315: 257-274.
- Rögind, W. 1937. Inundación del valle del río Colorado - Camino afirmado de la Plata a Avellaneda. En *Historia del Ferrocarril del Sur*, Capítulo 49: 531-555, Buenos Aires.
- Wayne, W.J. 1999. Alemania rockfall dam: A record of a mid-Holocene earthquake and catastrophic flood in northwestern Argentina. *Geomorphology* 27: 295-306.

Recibido: 14 de noviembre, 2016

Aceptado: 20 de diciembre, 2016