

Avances de la Geomorfología en España 2012-2014

Susanne Schnabel y Álvaro Gómez Gutiérrez
(editores)



MAGNITUD Y FRECUENCIA DE INUNDACIONES HOLOCENAS GENERADAS POR VACIAMIENTO DE LAGOS GLACIARES EN EL RIO BAKER, CAMPO DE HIELO PATAGÓNICO NORTE, CHILE

Magnitude and timing of Holocene glacial lake outburst floods in the Baker River, Northern Patagonian Icefield, Chile

G. Benito¹, V.R. Thorndycraft², M.J. Machado¹, C. Sancho³, A. Dussaillant^{4,6}, y C.I. Meier^{5,6}

1. Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC Madrid

2. Dept. of Geography, Royal Holloway University of London, Egham, Surrey TW20 0EX, UK

3. Department of Earth Sciences, University of Zaragoza

4. Department of Civil Engineering, University of Greenwich, UK

5. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción, Concepción, Chile

6. Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia, Coyhaique, Chile

Abstract: The Baker River (Southern Chile) drains a catchment of 27,000 km² and has a mean annual discharge of 1100 m³s⁻¹. Since last deglaciation, the morpho-sedimentology of the Baker valley has been controlled by Outburst Floods (OFs) of different scales. We apply geomorphic mapping, stratigraphy (including radiocarbon and OSL dating) and palaeoflood hydrology to reconstruct the frequency, timing and magnitude of Holocene OFs. Geomorphic mapping reveals evidence of two Holocene alluvial terraces. The oldest (highest) contains basal gravels capped by a well-developed buried Podzolic Luvisol that was radiocarbon dated to 6160±40 BP. In this alluvial sequence, at least two major floods occurred between then and 5300 BP and at least eight major floods between 5300-2500 BP. At least three Late Holocene (post 610±30 BP) GLOF event(s) inundated upper terrace surfaces along the reach downstream the confluence of the Colonia River into the Baker River. We report on the implications of this palaeoflood research in relation to the proposed HydroAysén hydroelectric scheme.

Palabras clave: Paleoinundación, paleohidrología, GLOF, Patagonia, Chile

Key words: Palaeoflood, paleohydrology, GLOF, Patagonia, Chile

1. INTRODUCCIÓN

Los Campos de Hielo Norte y Sur de Patagonia presentan en la actualidad las mayores tasas relativas de pérdida de masa de hielo de las registradas en zonas glaciares de la Tierra (Dyurgerov y Meier, 2005). Esta pérdida de masa glaciaria ha favorecido el adelgazamiento de los cuerpos de hielo que represan algunos lagos glaciares, así como la generación de otros soportados por morrenas, que en caso de rotura generan avenidas catastróficas conocidas en la literatura anglosajona como Outburst Floods (OFs). Estas inundaciones suponen una amenaza y daños económicos para la región.

El caso más emblemático lo constituye el Lago Cachet 2, represado por el glaciar Colonia que alimenta al río del mismo nombre, afluente del río Baker en la región chilena de Aysén. Este lago ha generado dieciséis roturas (vaciamientos) desde abril de 2008, drenando

en cada una cerca de 230 millones de m³, con caudales pico que pueden superar 3500 m³/s (Dussaillant et al., 2010). Conviene indicar que, anteriormente a estas roturas recientes, el último OF conocido en el río Colonia se produjo en 1967. Existen evidencias geológicas de que este tipo de avenidas catastróficas también se han registrado con anterioridad, durante el Holoceno. En este trabajo se persigue determinar los patrones de roturas de lagos en glaciares que drenan al río Baker, y la frecuencia y magnitud de las avenidas generadas en el pasado, en relación con condiciones climáticas cambiantes.

2. ÁREA DE ESTUDIO

El río Baker es el segundo río más largo de Chile (370 km) y el más caudaloso, con un caudal medio de unos 1130 m³s⁻¹. La cuenca de drenaje tiene una superficie de unos 26,700 km²

que incluye el Lago General Carrera, el segundo lago más grande de América del Sur (ca. 1850 km²). Uno de sus afluentes, el río Colonia, presenta en cabecera un glaciar emisario del Campo de Hielo Patagónico Norte que termina en el Lago Colonia (Fig. 1). Este glaciar Colonia represa algunos valles afluentes laterales formando lagos glaciares, como el Lago Cachet 2 y el Lago Arco. A finales de la Pequeña Edad del Hielo (1850-1880) el glaciar Colonia probablemente se extendía unos 1250 m aguas abajo de su situación actual (Harrison y Winchester, 2000). En su retroceso se han producido diversas roturas de estos lagos, generando inundaciones del valle. El estudio de las avenidas actuales y pasadas debidas al vaciamiento de estos lagos se ha centrado en el río Baker (rectángulo en rojo, Fig. 1), aguas abajo de su confluencia con el Río Colonia, en un tramo de 5 km que incluye a la estación de aforos Baker bajo Colonia.

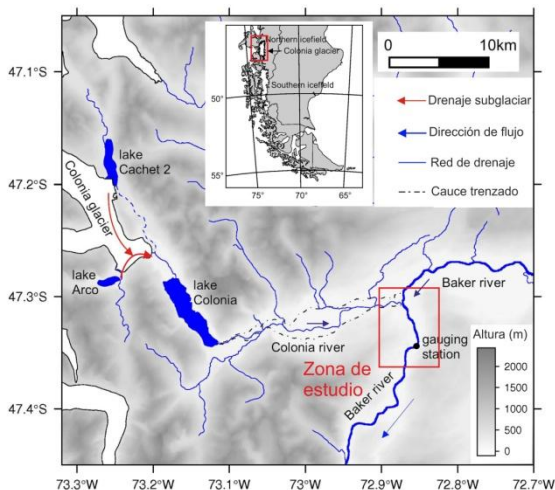


Fig. 1. Localización de la zona de estudio.

Location of the study area.

Modified from Dussailant et al., 2010

3. RESULTADOS

3.1. Geomorfología y estratigrafía

Se ha realizado un estudio geomorfológico y estratigráfico detallado que permite la reconstrucción de la paleohidrología de las principales inundaciones en este tramo del río Baker, desde el Pleistoceno tardío hasta la actualidad.

En el tramo estudiado aparecen evidencias de grandes bloques y gravas, con estructuras de sobreexcavación por flujo que revelan la

existencia de un drenaje por mega-crecida(s) de elevada energía y caudal, que habría(n) arrasado esta parte del valle del río Baker. Esta(s) mega-crecida(s) provendría(n) del drenaje parcial del Lago General Carrera hace unos 12,5 ka, por rotura de una presa de hielo o sedimento (morrena), causando el descenso súbito del nivel del lago y el cambio en su dirección de drenaje desde el Atlántico al Pacífico. Estos depósitos de mega-crecidas están compuestos por gravas y bloques, en parte cubiertos por arenas y limos depositados en tramos de expansión del valle del río Baker. Sobre estos depósitos de bloques se encaja una terraza con depósitos de gravas, parcialmente fosilizada por depósitos de loess y dunas eólicas, particularmente visibles en la margen derecha, aguas abajo de la confluencia de los ríos Baker y Colonia.

En el tramo aguas abajo de la confluencia con el Colonia se presentan insertadas sobre las gravas dos terrazas fluviales. La superior, más antigua y representada en el perfil La Valla (3.5 m de espesor; Fig. 2), contiene gravas basales sobre las que se ha desarrollado un paleosuelo enterrado del tipo Luvisol Podzólico que ha sido datado con una edad radiocarbono de 6160±40 BP. Sobre el suelo se registran al menos dos niveles de crecidas que ocurrieron desde su formación hasta unos 5300 años BP. A techo de ambos niveles de crecida se observa un suelo incipiente con un bajo grado de oxidación (Fig. 2). Posterior a 5300 años BP (y antes de 2500 BP) se han registrado al menos seis niveles de avenida escasamente espaciadas en el tiempo y de magnitud creciente, tal y como se interpreta por la falta de desarrollo de suelos y por el incremento gradual de los espesores acumulados. Sobre estos niveles se desarrolla otro suelo de tipo Luvisol Podzólico que indica un periodo largo de estabilidad, que se iniciaría antes de 2500 años BP (datación de radiocarbono en el suelo) y que se prolongaría hasta el inicio de la Pequeña Edad del Hielo (AD 1300-1425). Las dataciones y el modelo hidráulico implementado indican que durante los últimos 600 años se han producido al menos tres (o quizás cuatro) grandes OFs que inundaron la terraza más elevada del tramo estudiado. Este conjunto de crecidas se asocian con el río Colonia debido a las características de los sedimentos arenosos de tamaño medio y fino y de color grisáceo claro.



Fig. 2. Perfil en la llanura de inundación superior mostrando las arenas grises de OFs y suelos de carácter podzólico. Edad radiocarbono en años BP (uncal.) *Higher floodplain, composed by grey sands from OFs and Podzolic buried soils. Age in C-14 years BP.*

En la llanura inferior, más moderna, se presenta arena fina y media de tonos ocre y marrones, acumulada por crecidas provenientes de la parte más alta de la cuenca del río Baker. En esta secuencia se han reconocido al menos catorce eventos, doce de los cuales post-datan una edad de radiocarbono de 570±30 años BP. Estos sedimentos presentan color y características similares a aquellos provenientes de la cabecera del río Baker, y posiblemente tienen relación con crecidas anuales ordinarias producidas por deshielo.

3.2. Hidrología

Desde la primera rotura del lago Cachet 2 en 2008 hasta la última el 31 de enero de 2014 se han producido 16 ciclos de llenado y vaciado, drenándose ca. de 230 millones de m³ en cada evento (Casassa et al., 2008). El último precedente histórico de OF ocurrió en 1967 (Dussaillant et al., 2010).

Los estudios del glaciar Colonia indican que su retroceso comienza con anterioridad a 1881, cuando el lago Arco (Fig. 1) alcanza su nivel

máximo (Tanaka, 1980; Harrison & Winchester, 2000). En algún momento posterior, los 265 millones de m³ del nivel máximo alcanzado por el Lago Arco fueron drenados de forma súbita, a lo que siguieron al menos otros 38 OFs, según la interpretación de Winchester y Harrison (2000) en base a las líneas horizontales de sedimento acumulados en el contorno del lago y de la morrena que lo cierra. Existen evidencias históricas y documentales de múltiples OFs ocurridos en los periodos 1896/1897, 1914/1917, 1928/1958 (Tanaka, 1980), algunos descritos por viajeros, exploradores y colonos (Dussaillant et al., 2010).

En uno de los principales OFs ocurridos recientemente (marzo de 2009) se superaron los 3800 m³s⁻¹ en la estación Baker bajo Colonia, de los que al menos 2800 m³s⁻¹ provenían de la rotura del lago Cachet 2 (Fig. 3). En enero de 2014 se han superado los 4250 m³s⁻¹.

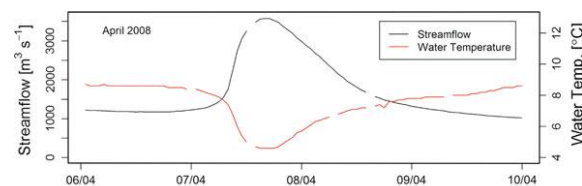


Fig. 3. Hidrograma de un OF del Lago Cachet 2. *Hydrograph of the OF fom Lago Cachet 2 Modified from Dussaillant et al., 2010*

Los registros sedimentarios estudiados no muestran evidencias de que los OFs recientes hayan superado los niveles de los registros sedimentarios, cuya altura se asocia a un caudal superior a los 4500 m³s⁻¹. En la salida del Lago Colonia existen evidencias geomorfológicas de avenidas pasadas (canales de erosión y barras con bloques) que requieren para su desarrollo un caudal pico mínimo de 7500 m³s⁻¹ (Dussaillant et al., 2010).

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La estratigrafía de la llanura aluvial aguas abajo de la confluencia de los ríos Baker y Colonia muestra una alternancia de fases con desbordamientos frecuentes y periodos dominados por la estabilidad y la formación de suelos. Las características de color y texturas del sedimento de inundación, y las estructuras sedimentarias que desarrollan, indican que se trata de flujos muy energéticos que transportan

una elevada concentración de sedimento, similares a los actuales OFs procedentes de la cabecera del río Colonia. El grado de oxidación y edafización entre niveles dependen del tiempo transcurrido entre la acumulación de los distintos niveles. En algunos de ellos la oxidación es baja, indicativa de periodos cortos entre OFs (años a décadas), mientras que otros existe un mayor grado de podzolización a techo (niveles de oxidación), cuyas dataciones muestran intervalos que oscilan entre 100 y 500 años. Existen dos periodos principales de formación de suelos de tipo Luvisol Podzólico, concretamente hace 7000-7200 cal. yr BP, y 2500-2800 cal. yr BP. El desarrollo de estos suelos tiene lugar en condiciones de baja tasa de agradación de la llanura aluvial, y está posiblemente conectado con la propagación de la vegetación forestal en los sectores antiguos o elevados de la llanura de inundación (Alexandrovskiy et al., 2004). Esta estabilidad aluvial y carencia de inundaciones se asocia con periodos fríos y húmedos de estabilidad y/o avance glaciario. Por su parte, los periodos con elevada tasa de agradación en la llanura aluvial estarían asociados con desbordamientos, en gran parte debidos a episodios de vaciamiento de lagos formados en ambientes glaciares, y característicos de periodos de retroceso glaciario. En el último milenio se han producido al menos 3-4 desbordamientos importantes. Uno o dos niveles de inundación presentan restos de carbón datados entre AD 1300-1400. Posteriormente, un nivel de desbordamiento mayor que los anteriores presenta restos datados con una edad AD 1650-1810, que puede ser indicativo del incipiente retroceso glaciario al final de la Pequeña Edad de Hielo. En esta línea, Harrison y Winchester (2000) datan un árbol de finales del siglo XVIII que se encuentra por encima del nivel de abrasión del hielo, y que marca la altura máxima del avance del glaciario Colonia contra el margen rocoso al final de la Pequeña Edad de Hielo. Estas evidencias son coherentes con el vaciamiento y formación de una avenida catastrófica procedente del Lago Arco, entre la última década del S. XVIII y la primera del S. XIX. Finalmente, el nivel de arenas de desbordamiento más reciente presenta una edad radiocarbono AD 1803-1937, y podría corresponder con el mayor de los OFs recientes,

datado como post 1881 (Winchester y Harrison, 2000), y descrito en algunos relatos históricos como de 1896/1897 (Tanaka, 1980). No existen evidencias sedimentarias de OFs recientes (procedentes del Lago Cachet 2) que hayan desbordado la llanura de inundación alta descrita anteriormente. Estos resultados evidencian la necesidad de estudiar el riesgo de los OFs para una presa proyectada aguas abajo de la zona de estudio por HidroAysén.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado con financiación de los proyectos intramural del CSIC 201430E003. Es una contribución del Grupo PaleoQ (Universidad de Zaragoza-Gobierno de Aragón). A. Dussailant ha sido financiado por UoG RAE-ENG-11-13. V. Thorndycraft obtuvo financiación en 2012 del Research Strategy Fund grant del Royal Holloway University of London, y en 2010 estuvo apoyado por el Natural Resources Defense Council. Se agradece el apoyo logístico y datos de DGA-Aysén.

REFERENCIAS

- Alexandrovskiy, A.L., Glasko, M.P., Krenke, N.A., Chichagova, O.A. 2004. Buried soils of floodplains and paleoenvironmental changes in the Holocene. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 21, 9-17
- Casassa, G., Leidich, J., Rivera, A., Wendt, J., Escobar, F., Guzmán, F., Carrasco, J., López, P. 2008. Sudden drainage of glacial Lake Cachet 2, Patagonia. EGU conference, Santiago, Chile.
- Dussailant, A., Benito, G., Buytaert, W., Carling, P., Meier, C., Espinoza, F. 2010. Repeated glacial-lake outburst floods in Patagonia: An increasing hazard? *Natural Hazards* 54, 469-481.
- Dyurgerov, M.B., Meier, M.F. 2005. *Glaciers and the Changing Earth System: a 2004 Snapshot*. Institute of Arctic and Alpine Research, University of Colorado, Boulder, USA. Paper 58, 118 pp.
- Harrison, S., Winchester, V. 2000. Nineteenth- and twentieth-century glacier fluctuations and climatic implications in the Arco and Colonia valleys, Hielo Patagónico Norte, Chile. *Arct. Alp. Res.* 32, 55-63.
- Tanaka, K. 1980. Geographic contribution to a periglacial study of the Hielo Patagónico Norte with special reference to the glacial outburst originated from glacier-dammed Lago Arco, Chilean Patagonia. Centre Co Ltd, Tokyo 97 pp.
- Winchester, V., Harrison, S. 2000. Dendrochronology and lichenometry: colonization, growth rates and dating of geomorphological events on the east side of the North Patagonian Icefield, Chile. *Geomorphology* 34, 181-194.