

## DINAMICA DEL ALUVIÓN DE LA LAGUNA 513, CORDILLERA BLANCA, ANCASH PERÚ. PRIMEROS ALCANCES

Patricio Valderrama<sup>1,3</sup> y Oscar Vilca<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Lima- Perú

<sup>2</sup> Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos. Autoridad Nacional de Agua. Huaraz – Perú

<sup>3</sup> Laboratoire de Geophysique Interne et Tectonophysique, Université Joseph Fourier. Grenoble-Francia  
E.mail: pvalderrama@ingemmet.gob.pe

### INTRODUCCIÓN

La Cordillera Blanca ubicada en los andes centrales del Perú (Figura 1), cuenta con el 70% de los glaciares tropicales del planeta. Desde siempre, su dinámica ha sido un gran condicionante para la formación y evolución de las zonas aledañas, modificando su relieve, formando grandes ríos y condicionando el desarrollo de pueblos y grandes ciudades a sus alrededores.

Los numerosos aluviones<sup>1</sup> originados en la Cordillera Blanca, crearon las grandes planicies aluviales donde desde tiempos pre-históricos alteró la forma de vida de los antiguos peruanos como en Chavín de Huantar (Valderrama & Fidel, 2008) para posteriormente afectar seriamente a los poblados y ciudades modernas instaladas en esa zonas, claros ejemplos son los aluviones que afectaron las ciudades de Huaraz en 1941 y Yungay en 1970 (Zabala & Valderrama, 2007), (Evans et al, 2009).

El 11 de abril del 2010, a las 7:40 horas, se produce una avalancha de hielo y rocas, muy cerca de una de las principales ciudades del Callejón de Huaylas, Carhuaz. El desprendimiento de hielo y roca ocurrió en la cima oeste del nevado Hualcán (5500 msnm) e impactó sobre la laguna glaciaria denominada 513 situada al pie del mismo a una altura de 4428 msnm, ocasionando un oleaje violento en la laguna, un *GLOF*<sup>2</sup> y un posterior flujo de detritos que afectó levemente varios poblados. Afortunadamente, este evento no cobró víctimas ni afectó directamente a la ciudad de Carhuaz.

### El aluvión de la laguna 513 Zona de Arranque

A las 7:40 horas del 11 de abril del 2010, la avalancha de rocas y hielo proveniente del nevado Hualcán, cae pendiente abajo en un recorrido de aproximadamente 1.5 Km. arrasando con *seracs* y remanentes glaciares incrementando su volumen, hasta llegar a un precipicio rocoso y precipitarse en caída libre de una altura de 190 m sobre la laguna glaciaria 513.

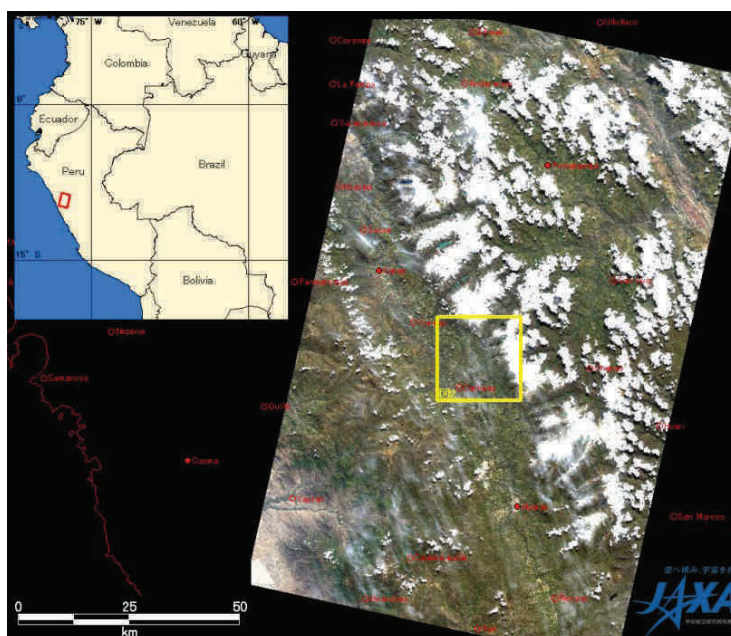


Figura 1. Imagen JAXA tomada el 12 de abril del 2010, donde se muestra la ubicación de la Cordillera Blanca en el Perú

Al momento de la presentación de este artículo, se desconoce la dinámica de la laguna al sufrir el impacto de la masa de hielo y roca, ya que aun se está levantando el modelo digital de elevación de la zona. Lo que sí se puede detallar, son las alturas de las olas en base a las inspecciones de campo y la verificación de las marcas de rebose que quedaron en los flancos de la cubeta rocosa de la laguna, considerando una altura promedio de 6 metros en las partes laterales.

Evidencias fotográficas y de campo, confirmadas por testimonios de pobladores, nos permiten asegurar que no fue solo una avalancha la que afectó la laguna 513. En la Figura 2a tomada minutos después del evento se revela la zona de la avalancha de roca y nieve, mientras que en la Figura 2b se aprecia una fotografía tomada un día después se observa una segunda avalancha compuesta mayormente por hielo.

Estos hechos hacen muy complicada la dinámica de la laguna, ya que según testimonios de los pobladores afectados, fueron dos grandes crecidas de los ríos (que nacen en la laguna 513).

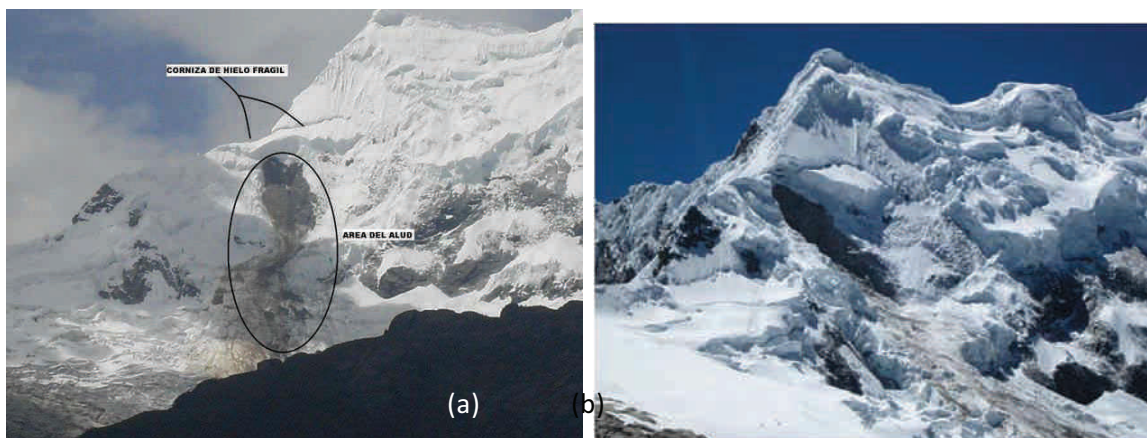


Figura 2: (a) Fotografía tomada por el Equipo de Rescate de Carhuaz horas después de la primera caída. Nótese la gran masa de hielo que queda suspendida en la parte superior a la escarpa de rotura. (b) Fotografía tomada por O. Vilca al día siguiente del evento durante la inspección de campo, se aprecia que la mitad de la masa de hielo de la figura (a) ha caído.

La mayor descarga de energía fue contenida por la parte frontal de la cubeta de la laguna, donde se tenía hasta 23 metros de borde libre los cuales fueron sobrepasados parcialmente. En la parte frontal del dique, el rebose de la ola, erosionó 5 metros de depósito morrénico (Figura 3), lo cual indica que no todo el flujo fue liberado por la parte frontal del dique.



Figura 3: Vista de la parte frontal del vaso, nótese el borde de seguridad de la laguna de 23 metros. La erosión producida por el flujo al salir de la cubeta fue de 5 metros en la morrena.

Por las evidencias de campo recolectadas el mismo día del evento, se puede afirmar que el sistema de túneles de liberación de carga y sistemas de seguridad de la laguna 513 funcionaron correctamente y la mayor cantidad de la turbulencia de las olas, producto del impacto, fueron disipadas por estos. De no haber tenido estas obras de seguridad, probablemente el flujo de detritos hubiera sido mucho mayor y la posibilidad de que afecte la ciudad de Carhuaz hubiera sido alta.

## Zona de Trayectoria

Superada la barrera que el dique de roca significaba, el *GLOF* pasó a convertirse en un típico flujo de detritos de origen glaciar, precipitándose violentamente por el cauce natural hacia donde se encuentra otra laguna glaciar (laguna Rajupaquinan, 4150 msnm) sin afectarla, pero si erosionando fuertemente el cauce y aumentando su velocidad por la fuerte pendiente de la zona (Figura 4).

Afortunadamente, el flujo al ingresar a la zona conocida como Shongilpampa sufre una gran desaceleración debido a la pendiente casi nula del área, compuesta por depósitos lacustres cuaternarios, a los cuales erosionó (Figura 5) incorporando material y aumentando su viscosidad, para luego tomar el cauce natural del río.

Finalmente, el flujo de detritos ingresó a la quebrada del río Chucchún y afectó terrenos de cultivos y viviendas. Cabe resaltar que el flujo de detritos colmató completamente el sistema de captación de agua potable de la ciudad de Carhuaz (50 mil habitantes) dejando a la población sin suministro de agua potable por casi 5 días.

## La simulación FLO 2D

Ya es bien conocida la efectividad del software de simulación de flujos hiperconcentrados FLO 2D (O'Brien, 2003). Su efectividad ha sido demostrada en casos como: el aluvión de Runtumayo, Cusco (Valderrama & Cárdenas, 2005), la generación de escenarios de flujos de detritos en las ciudades de Urubamba y Ollantaytambo, Cusco (Valderrama et al, 2007), la generación de mapas de evacuación de la ciudad de Huaraz (Valderrama, 2007) y otros.

En el caso de las simulaciones realizadas para la laguna 513 en febrero del 2009 (un año antes del evento) estas fueron parte de un proyecto experimental en el cual, basados en el script del FLO 2D se creó un programa en plataforma MatLab que no solo muestre el área de inundación y el caudal, sino también la turbulencia del flujo. La turbulencia permite determinar las áreas en las que el flujo de detritos será más violento y además hasta dónde llegará el flujo de detritos con esas características, para después pasar a ser una inundación (Valderrama, 2010 en preparación). Los resultados de dicha simulación en comparación con una imagen de satélite post-evento son notorios (Figura 6).



*Figura 4: El flujo de detritos se acelera considerablemente debido a la fuerte pendiente de la parte alta. El flujo posteriormente sufre una desaceleración por el brusco cambio de pendiente.*



*Figura 5: Depósitos lacustres del sector de Shongilpampa. El flujo de detritos erosionó aproximadamente 2 metros en el material, aumentando así su volumen.*

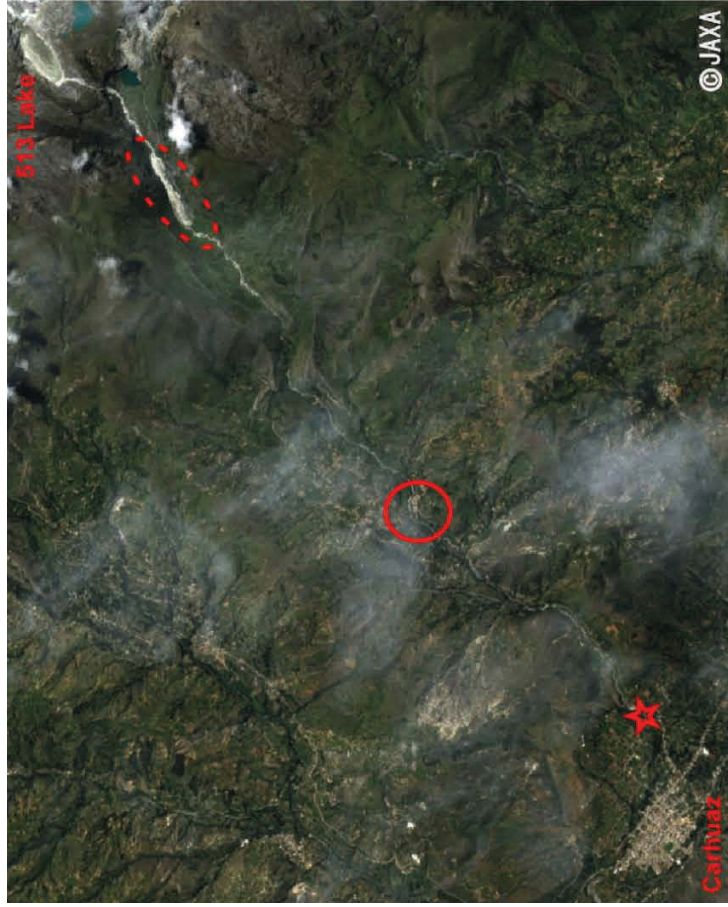


Figura 06: Der. Imagen de Jaxa posterior al evento. Izq. Simulación FLO 2D antes del evento. Con líneas entrecortadas se aprecia las grandes zonas de disipación de energía producto de los cambios de pendiente. En línea continua se aprecia las áreas más susceptibles a run ups, en esta zona hubo varias viviendas afectadas. La estrella marca el límite de la turbulencia, desde ahí el flujo de derritos se convierte en una inundación, que sigue el cauce del río pre establecido naturalmente.

Gracias a la simulación se puede apreciar porqué el flujo no llega a afectar directamente a la ciudad de Carhuaz, ya que por los fuertes cambios de pendientes y lo estrecho del valle, el flujo pierde turbulencia en la zona de Shongilpampa convirtiéndose desde allí en una inundación, las que típicamente siguen cauces pre-establecidos sin rebosarlos y con dinámica de fluidos simple.

De no haber existido estructuras de seguridad en la laguna 513, la cantidad de fluido liberado hubiera sido mucho mayor, por lo tanto la turbulencia y caudal del flujo hubieran tenido mayor alcance, comprometiendo seriamente la ciudad de Carhuaz.

De los resultados de la simulación y su gran similitud con los hechos ocurridos el 11 de abril del 2010, se pueden extraer los siguientes datos:

Detalle	Cantidad
Volumen del flujo de detritos (agua y mezcla de sedimentos)	909 562.32 m <sup>3</sup>
Volumen de la masa de hielo y roca desprendida	~ 1 500 000 m <sup>3</sup>
Total de área inundada por el flujo de detritos	1 539 200.00 m <sup>2</sup>

## CONCLUSIONES

Los resultados que se muestran en este resumen son preliminares, por lo tanto deberán ser reajustados con modelos de elevación digital más precisos y simulaciones post-evento tipo back-analysis.

Todas las evidencias muestran que las estructuras de seguridad de la laguna 513 fueron las que redujeron la turbulencia del *GLOF* inicial. De no haber existido estas estructuras, seguramente este evento hubiera afectado seriamente a la ciudad de Carhuaz.

En comparación con eventos anteriores, este aluvión se puede catalogar como leve, pese al gran volumen de material desplazado.

Las obras de prevención en nuestro territorio no son cuantificables en forma tangible e inmediata, y una muestra son las obras civiles realizadas en la laguna 513 que después de 18 años evitaron que se produjera consecuencias realmente lamentables.

## REFERENCIAS

- Evans, S.G., Bishop, N.F., Smoll, L.F., Valderrama, P., Oliver-Smith, A., Delaney, K.B. & Kampher, T.S. (2009). A re-examination of the mechanism and human impact of catastrophic mass flows originating on Nevado Huascarán, Cordillera Blanca, Peru in 1962 and 1970. *Engineering Geology* 108. *Pages 96-118*
- O'Brien (2003). Manual of FLO-2D. Flo 2D. Web site [www.flo2d.com](http://www.flo2d.com)
- Valderrama, P. & Cárdenas, J. (2005). Geología, Geodinámica y Peligros en la Quebrada Runtumayo (Cusco): Avalancha y Aluvión del 12 de octubre del 2005. Proceedings of the XIII Peruvian Geological Congress.
- Valderrama, P., Cárdenas, J. & Carlotto, V. (2007). FLO 2D simulation in Urubamba and Ollantaytambo cities, Cusco. *Geological Society of Peru, Bulletin* 102.
- Valderrama, P. (2007). Peligros Geológicos asociados al cambio climático en la ciudad de Huaraz, Ancash. 1st International Engineering Congress Cusco.

- Valderrama, P. & Fidel, L. (2008). Origen y dinámica del aluvión de 1945 en el complejo arqueológico de Chavín de Huantar. Proceedings of the XIV Peruvian Geological Congress XIII Latin American Geological Congress.
- Valderrama, P. (2010). Numerical turbulence debris flow modeling. En preparación.
- Zavala, B. & Valderrama, P. (2007). Mass Movements and Valley Dams of great dimension in Ancash region. Proceedings of the 2nd Alexander Von Humboldt International Conference. 2007.