

DINAMICA E IMPLICANCIAS DEL ALUVIÓN DE LA LAGUNA 513, CORDILLERA BLANCA, ANCASH PERÚ

Patricio VALDERRAMA¹ y Oscar VILCA²

¹Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Lima, Perú. pvalderrama@ingemmet.gob.pe

²Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos. Autoridad Nacional de Agua. Huaraz, Perú

RESUMEN

La Cordillera Blanca, al norte de Perú, es la zona con más actividad geodinámica externa en Perú. En ella ocurrieron grandes flujos de detritos de origen glaciar, varios de ellos fueron grandes desastres y cobraron miles de vidas. El 11 de abril del 2010, la laguna 513, ubicada en el centro de la Cordillera Blanca, sufrió un desembalse parcial por la caída de un gran bloque de hielo y rocas del nevado Hualcán (5500 m.s.n.m.). Este evento pese a ser de dimensiones considerables, no generó grandes pérdidas ni afectó alguna ciudad importante. Mediante simulaciones numéricas de flujo se estudió su dinámica, se determinó sus volúmenes y su turbulencia así como también explicamos el papel de la morfología de la zona en la desaceleración del flujo, su encausamiento en un valle fluvial y su posterior comportamiento como crecida de río. Las simulaciones realizadas mediante FLO2D se validan mediante comparaciones con imágenes de satélite post evento y datos de campo.

Palabras clave. *Cordillera Blanca, aluvión, laguna 513, Carhuaz, simulaciones numéricas.*

ABSTRACT

Dynamics and implications of the laguna 513 Aluvion, Cordillera Blanca, Ancash Perú.

The Cordillera Blanca in northern Peru is the most external geodynamics active areas in Perú. There have been occurred the biggest glacier source debris flow in the Peruvian history, most of them became on major disasters and claimed thousands of lives. On April 11th, 2010, the Laguna 513, located in the center of the Cordillera Blanca, suffered a partial GLOF due a massive rock and ice fall from Nevado Hualcán (5500 masl). This event, despite being of considerable size, did not generate large losses or affect any major city. Using numerical simulations we study the dynamics of the consequent GLOF and debris flow. We determined the volume and turbulence as well as also explained the role of the geomorphology of the area in the flow deceleration process and the river flood subsequent behavior. The FLO 2D simulations are validated with post event satellite image and field data.

Keywords: *Cordillera Blanca, aluvion, laguna 513, Carhuaz, numerical simulation.*

INTRODUCCIÓN

La Cordillera Blanca ubicada en los andes centrales del Perú (Fig. 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, modifica su relieve, forma grandes ríos y condiciona el desarrollo de pueblos y grandes ciudades a sus alrededores.

Los numerosos aluviones (flujo de detritos de origen glaciar generalmente consecuencia de un *GLOF* (*Glacial Lake Outburst Flooding*, Inundación por derrame (desborde) de un lago glaciar) originados

en la Cordillera Blanca, crearon las grandes planicies aluviales donde desde tiempos prehistóricos alteró la forma de vida de los antiguos peruanos como en Chavín de Huantar (Valderrama y 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 de Yungay en 1970 (Zabala y 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 m.s.n.m.) e impactó sobre la laguna glaciar denominada 513 situada al pie del mismo a una altura de 4428 msnm, ocasionando un oleaje violento en la laguna, un *GLOF* 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.

Antecedentes de las investigaciones en el nevado Hualcán

El nevado Hualcán, y en especial el glaciar 513 (que dio origen a la laguna del mismo

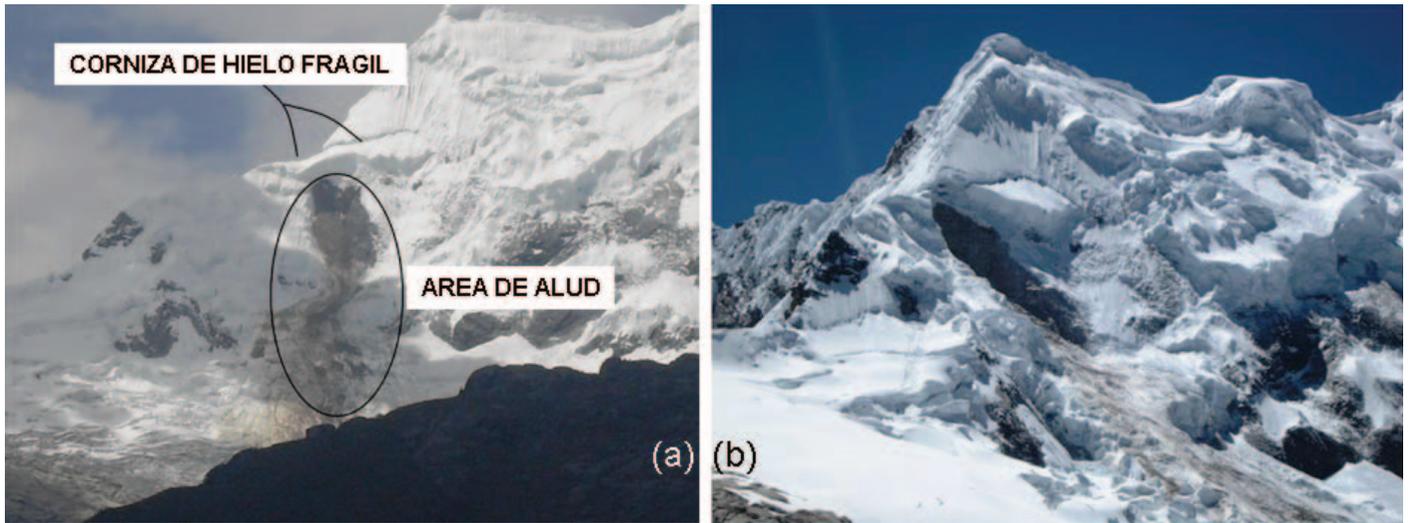


Figura 3. a) Fotografía tomada por el Equipo de Rescate de Carhuaz horas después de la primera caída. Nótese la gran masa de hielo que queda suspendida en la parte superior a la escarpa de rotura. b) Fotografía tomada por O. Vilca al día siguiente del evento durante la inspección de campo, se aprecia que la mitad de la masa de hielo de la figura (a) ha caído.

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 gla-

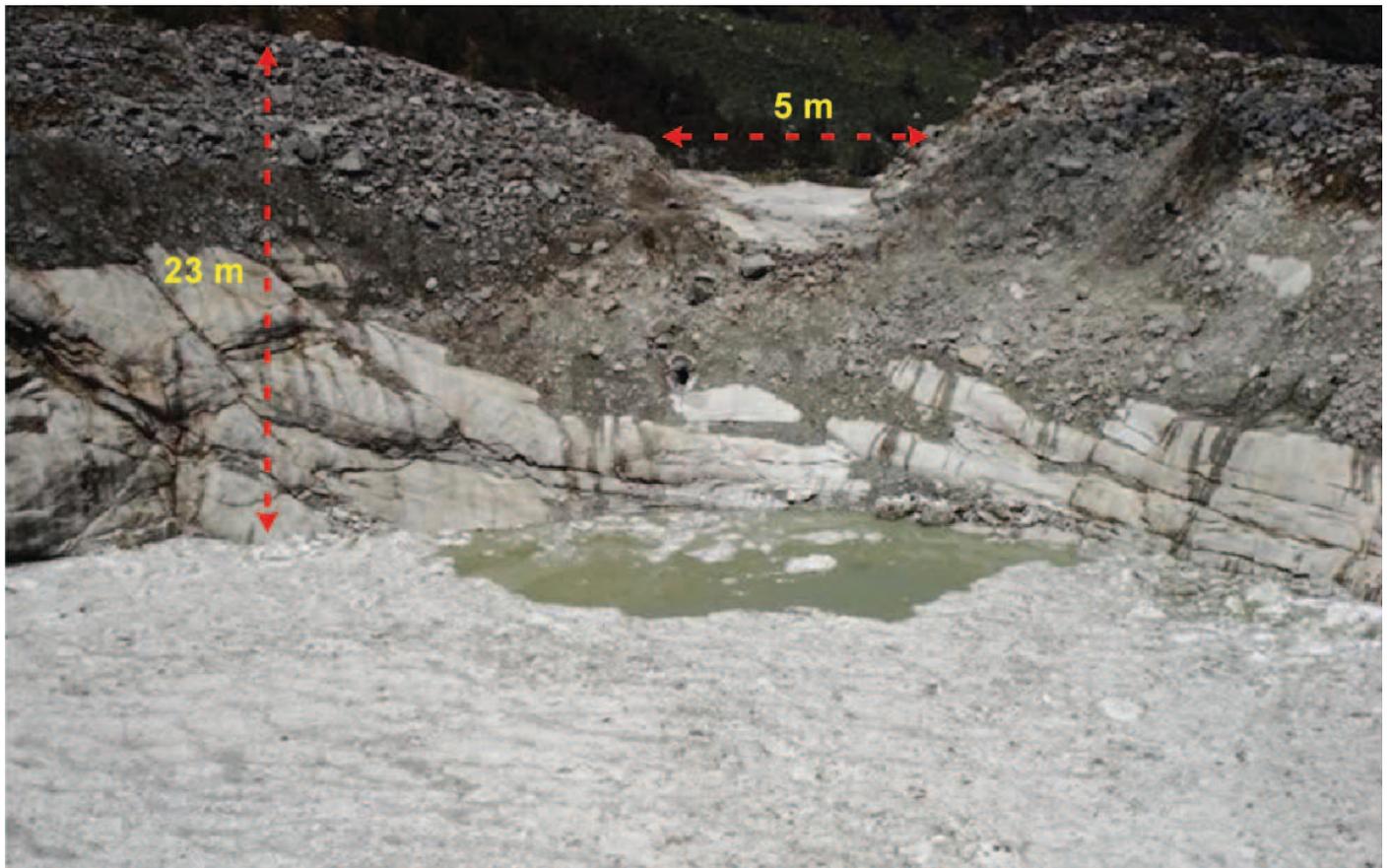


Figura 4. Vista de la parte frontal del vaso, nótese el borde de seguridad de la laguna de 23 metros. La erosión producida por el flujo al salir de la cubeta fue de 5 metros en la morrena.

ciaras incrementando su volumen, hasta llegar a un precipicio rocoso y precipitarse en caída libre de una altura de 190 m sobre la laguna glaciar 513. Al momento de la presentación de este artículo, aún se desconoce la dinámica de la laguna al sufrir el impacto de la masa de hielo y roca, ya que todavía no se tiene un modelo de elevación digital de la zona, ni se han realizado estudios batimétricos en la laguna. 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 permite 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, en ella 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, ocurrieron dos grandes crecidas de los ríos (que nacen en la laguna 513).

La mayor descarga de energía fue contenida por la parte frontal de la cubeta de la laguna, donde se tenían hasta 23 m 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 (Fig. 4), lo cual indica que no todo el flujo fue liberado por la parte frontal del dique.

Por las evidencias de campo recolectadas el mismo día del evento, se puede afirmar que el sistema de túneles de liberación de carga y los sistemas de seguridad de la laguna 513 funcionaron correctamente, y la mayor cantidad de turbulencia de las olas, producto del impacto, fuere disipada por éstos. De no haber tenido estas obras de seguridad, probablemente el flujo de detritos hubiera sido mucho mayor y la potencialidad para afectar a la ciudad de Carhuaz hubiera sido alta.

Las obras civiles construidas en los años 1991 y 1992 se realizaron con la finalidad de garantizar un borde libre (23 m.) que pueda disipar el impacto producto de las

avalanchas. De tal manera que se realizó una serie de galerías y un pique que conecta a un solo conducto de evacuación (Fig. 5).

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 m.s.n.m.) sin afectarla, pero si erosionando fuertemente el cauce y aumentando su velocidad por la fuerte pendiente de la zona (Fig. 6).

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 (Fig. 7) 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

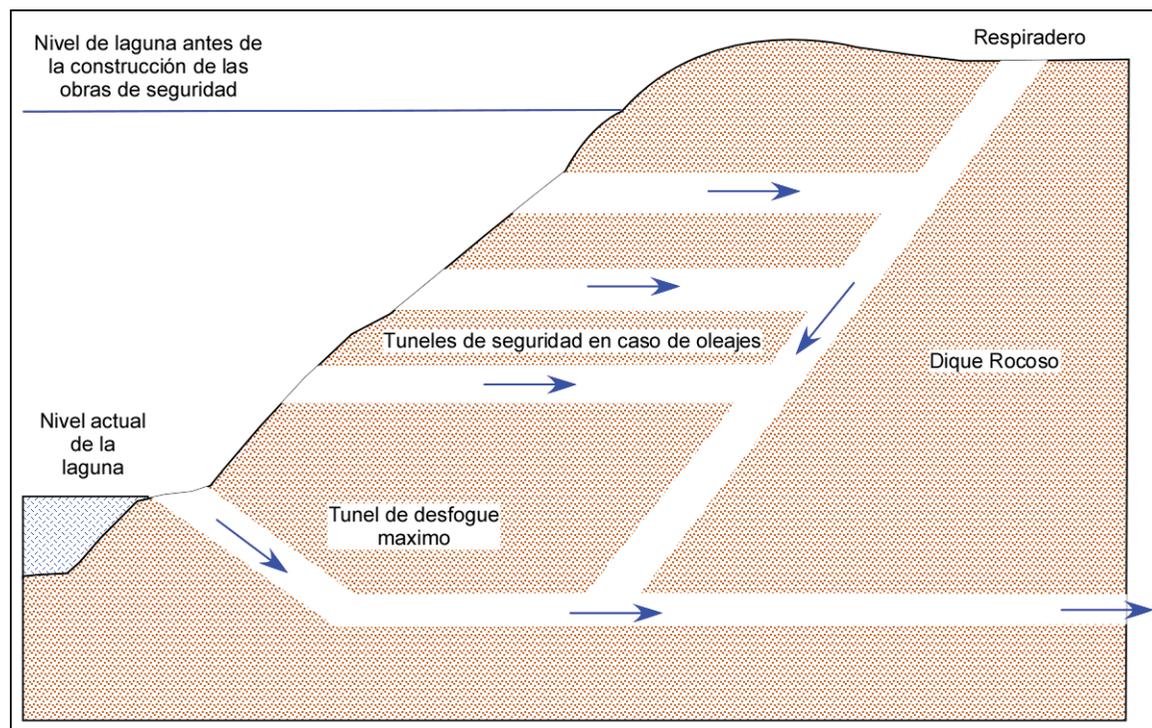


Figura 5. Diagrama de las obras de seguridad en el interior del dique de la laguna 513.



Figura 6. 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 7. Depósitos lacustres del sector de Shongilpampa. El flujo de detritos erosionó aproximadamente 2 metros en el material, aumentando así su volumen

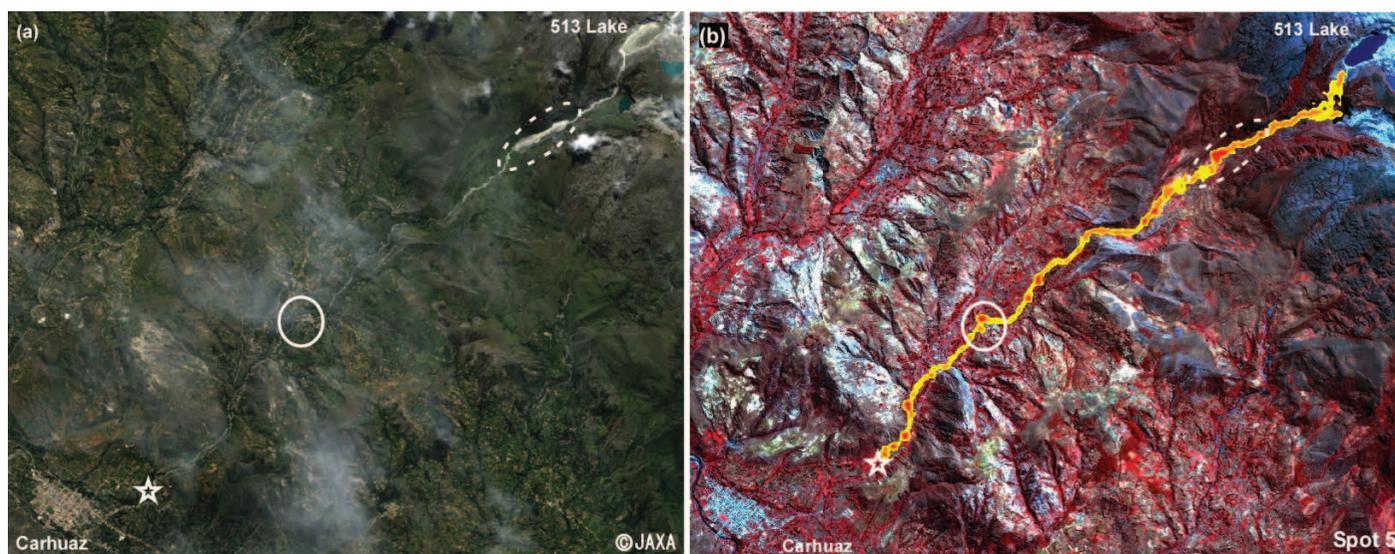


Figura 8. a) Imagen de Jaxa posterior al evento. b) Simulación FLO 2D antes del evento. Con líneas entrecortadas se aprecia las grandes zonas de disipación de energía producto de los cambios de pendiente. En línea continua se aprecia las aéreas más susceptibles a *run up* en esta zona hubo varias viviendas afectadas. La estrella marca el límite de la turbulencia, desde ahí el flujo de detritos se convierte en una inundación, que sigue el cauce del río pre establecido naturalmente.

potable de la ciudad de Carhuaz (50000 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 2004). Su efectividad ha sido demostrada en casos como: el aluvión de Runtumayo, Cusco (Valderrama y 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) éstas 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 muestra 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 donde llegará el flujo de detritos con esas características, para después pasar a ser una inundación (Valderrama 2011). Los resultados de dicha simulación en comparación con una imagen de satélite post-evento son notorios (Fig. 8).

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 del Cuadro 1.

CUADRO 1. Resultados de la simulación FLO 2D para la laguna 513.

Detalle	Cantidad
Volumen del flujo de detritos (agua y mezcla de sedimentos)	909 562.32 m3
Volumen de la masa de hielo y roca desprendida	~ 1 500 000 m3
Total de área inundada por el flujo de detritos	1 539 200.00 m2

CONCLUSIONES

Todas las evidencias muestran que las estructuras de seguridad en el dique rocoso 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 para aluviones en la Cordillera Blanca y los Andes peruanos en general 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 produjeran consecuencias realmente lamentables. Estos trabajos se tienen que seguir realizando.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ing. Benjamín Morales Arnao, Director del Patronato del Museo de las Montañas - Perú por los datos brindados para la elaboración del presente artículo y al comité organizador del XV Congreso Peruano de Geología y del II Simposio de Movimientos en Masa en la Región Andina por aceptar este manuscrito.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Evans, S.G., Bishop, N.F., Smoll, L.F., Valderrama, P., Oliver-Smith, A., Delaney, K.B. y 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: 96-118.
- INDECI – PNUD. 2004. Programa de Ciudades Sostenibles – Ciudad de Carhuaz, Ancash. Informe Nacional. 193 p., Lima, Perú.
- O'Brien, J.S. 2004. FLO2D User Manual version 2004.10. 90 pp., FLO2D Inc. Nutrioso, Arizona.
- Valderrama, P. 2007. Peligros Geológicos asociados al cambio climático en la ciudad de Huaraz, Ancash. 1° Congreso Internacional de Ingeniería. Perú. Resúmenes extendidos: 178-180, Cusco, Perú.
- Valderrama, P. 2011. MatLab scrib for debris flow simulation based on FLO 2D. (inédito), 26p, Lima, Perú.
- Valderrama, P. y Cárdenas, J. 2005. Geología, Geodinámica y Peligros en la Quebrada Runtumayo (Cusco): Avalancha y Aluvión del 12 de octubre del 2005. INGEMMET. Reporte interno. 29 p.
- Valderrama, P. y Fidel, L. 2008. Origen y dinámica del aluvión de 1945 en el complejo arqueológico de Chavín de Huantar. 14° Congreso Peruano de Geología y 8° Congreso Latinoamericano de Geología. Resúmenes Extendidos: 336-341, Cusco.
- Valderrama, P., Cárdenas, J. y Carlotto, V. 2007. Simulación FLO 2D en las ciudades de Urbamba y Ollantaytambo, Cusco. Sociedad Geológica del Perú. Boletín 102: 43-62.
- Zavala, B. y Valderrama, P. 2007. Mass Movements and Valley Dams of great dimension in Ancash region. 2° Alexander Von Humboldt International Conference. Acta 1: 33. Lima, Perú.

Recibido: 11 de febrero, 2012

Aceptado: 23 de abril, 2012