

## AVANCES EN EL ESTUDIO DE LAS AVALANCHAS DE ESCOMBROS EN LOS VALLES DE COLCA, COTAHUASI Y CHUQUIBAMBA, AREQUIPA-PERU

Juan Carlos Gómez Avalos<sup>1</sup>, José Luis Macías Vázquez<sup>2</sup>, José Luis Arce<sup>2</sup> y Claus Siebe<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Geofísico del Perú jgomez@geo.igp.gob.pe

<sup>2</sup> Instituto de Geofísica, UNAM-México. Email: macias@geofisica.unam.mx

### INTRODUCCIÓN

Los flujos de avalanchas de escombros son uno de los tipos de movimientos en masa más destructivos que existen. Estos eventos se caracterizan porque entierran y destruyen lo que encuentran a su paso y alteran enormemente la topografía. Adicionalmente, pueden generar lahares y crecidas directamente a partir del desagüe de avalanchas de escombros. Éstas también pueden represar ríos y formar lagunas, las mismas que pueden drenarse rápidamente y generar de esta manera lahares catastróficos.

El primer colapso de un edificio volcánico fue presenciado hasta la erupción cataclísmica del Monte Santa Elena, EUA, ocurrida el 8 de Mayo de 1980 (Glicken, 1996). La intrusión de un criptodomo causó la desestabilización del volcán y el derrumbe de una parte del edificio generando una avalancha de escombros que viajó más de 25 km del volcán a velocidades superiores a los 100 km/h. El derrumbe fue seguido de una explosión lateral “blast” que formó una oleada piroclástica que devastó más de 600 km<sup>2</sup> en minutos. La avalancha de escombros bloqueo el drenaje alrededor del volcán y el desagüe del Lago Spirit lo que posteriormente generó lahares que viajaron hasta 75 km del volcán (Scott, 1985). Esta clase de eventos dejan un cráter abierto en forma de herradura con topografía de hummocks al pie del volcán (Siebert, 1984).

Después del colapso del Monte Santa Elena se han reconocido este tipo de depósitos en muchos estratovolcanes del mundo (Gorshkov, 1959; Voight et al., 1981; Crandell et al., 1984; Ui y Glicken, 1986; Siebert et al., 1987; Francis et al., 1985; Francis y Self 1987). En América Latina, se conocen bien estos depósitos en México, donde se han identificado depósitos de avalanchas de escombros en el Complejo Volcánico de Colima, Popocatepetl, Pico de Orizaba, Jocotitlán, Nevado de Toluca y Tacaná (Carrasco-Núñez et al., 1993; Siebe et al., 1993; Capra et al., 2002; Macías, 2007).

Con todos estos estudios se definió que las avalanchas de escombros podían ser producidas por tres fenómenos principales: 1) la intrusión de un cuerpo de magma o tipo Bezymianny o Santa Elena (Gorshkov, 1959; Bogoyavlenskaya et al., 1985; Voight et al., 1981; Glicken, 1996), 2) a actividad freática o tipo Bandai (1984) y por actividad sísmica o tipo Unzen (Ui, 1985; Siebert et al., 1987). Posteriormente, se descubrió que edificios volcánicos sujetos a intensa alteración hidrotermal también podían ser el blanco de derrumbes del edificio, independientemente de que el volcán estuviera activo o no (Scott et al., 2001). El derrumbe de este tipo de edificios puede ser causado por actividad sísmica o por lluvias intensas como el generado por el Huracán Mitch en el volcán Casita Nicaragua en 1998. Este derrumbe formó una avalancha de escombros que se transformó con la distancia en un flujo de escombros, al originarse sin previo aviso tomó por sorpresa a los habitantes de dos poblados quitándole la vida a más de 2000 personas (Scott et al., 2005). Otra de las consecuencias de estos grandes derrumbes es el transporte de enormes volúmenes de material hacia las partes bajas, lo que bloquea el drenaje entorno al volcán y forma lagos temporales. Estos lagos pueden reventar repentinamente formando flujos de escombros gigantes que son muy peligrosos agua abajo. En México se han estudiado diversos eventos de este tipo en los volcanes de Colima (Capra y Macías 2002; Cortés et al., 2008) y Tacaná (Macías et al., 2008), así como en el Volcán Nevado del Huila, Colombia en donde un flujo de escombros viajó más de 70 km desde su origen (Pulgarín et al., 2004).

En el Perú, se ha identificado este tipo de evento en la Región Arequipa, en los valles de Colca, Cotahuasi y Majes.

En el valle del río Colca se produjo un colapso ocurrido durante el Pleistoceno tardío en el Volcán Hualca Hualca en el sur del Perú (Gómez et al., 2004). Este evento, representa un caso único en el mundo, ya que el derrumbe del volcán, bloqueo el valle del río Colca represándolo y formando un lago de varios kilómetros de longitud que posteriormente se reventó formando un flujo de escombros que viajó más de 80 km hacia el Océano Pacífico. En trabajos de campo realizados entre el 2006 y el 2009 se ha logrado definir que el Volcán

Hualca Hualca tuvo actividad entre 500 y 200 ka en antes del presente (en base a dataciones realizadas en el 2009) y que el colapso de este volcán ocurrió durante el Pleistoceno tardío hace más de 20,000 años, en base a dataciones radiométricas realizadas en la zona (isótopos cosmogénicos).

## AVALANCHAS DE ESCOMBROS EN EL VALLE DEL RIO COLCA

El Valle del Río Colca se encuentra ubicado a 90 km al norte de Arequipa, en el sur de Perú, con una profundidad máxima de 1.2 km, considerado como uno de los valles más profundos del mundo. Se ha realizado un reconocimiento geológico detallado a lo largo del río Colca que comprendió el área entre los poblados de Cabanaconde a Callalli, en donde se identificaron diversos productos asociados a la actividad volcánica del Hualca Hualca (Gómez y otros 2002). (Nota: Se hizo el reconocimiento hasta Callalli pues hasta esa zona se encontraron lacustres, que luego fueron diferenciados a otros colapsos)

Uno de los eventos geológicos mayores ocurridos en el Valle del Colca es una avalancha de escombros que originó el represamiento del cauce del río Colca (Palacios y Klinck, 1987). Este evento se originó por el colapso del flanco norte del volcán Hualca Hualca. La delimitación de este evento geológico mayor permitió estimar un área de 27.7 km<sup>2</sup> y un volumen de 1.3 km<sup>3</sup> (Gómez y otros, 2004). Antes de este estudio se había pensado que este depósito era de dimensiones mucho mayores. En el estudio preliminar ya realizado se determinó que esta avalancha de escombros viajó más allá del río Colca hasta el área ocupada actualmente por la Compañía Minera Madrigal. Este evento geológico alcanzó en algunos puntos más de 50 m de espesor represando el río y formando un paleolago (Comentario: El espesor del depósito de avalancha actual en campo se ha medido en 50 m como máximo, pues tiene una cubierta de depósitos glaciares que no forman parte de la avalancha) Se han medido las cotas máximas de los lacustrinos, este dato se presenta en la referencia Gomez 2004b en anterior Congreso. El paleolago abarcó las áreas ocupadas el día de hoy por los poblados situados entre Madrigal y Yanque. (Gómez y otros, 2004b). De las características de la trayectoria del evento, se estima que la avalancha de escombros proveniente del volcán Hualca Hualca, alcanzó una velocidad máxima aproximada de 250 km/h (método analítico que considera parámetros físicos básicos del material y la pendiente). Esta información es importante, no sólo para determinar las características de dichos fenómenos, sino también en términos de la prevención de peligros y el riesgo que esto pueda ocasionar a la población ubicada a lo largo de Valle que asciende a cerca de 100,000 habitantes. Sugiero incluir un resumen descriptivo de las facies (bloques, matriz, mista) encontradas, así como una discusión sobre la litología de la avalancha y la del estratovolcán Hualca Hualca, para ver si existe una relación genética: Este análisis se presenta en la referencia (gómez y otros 2004).

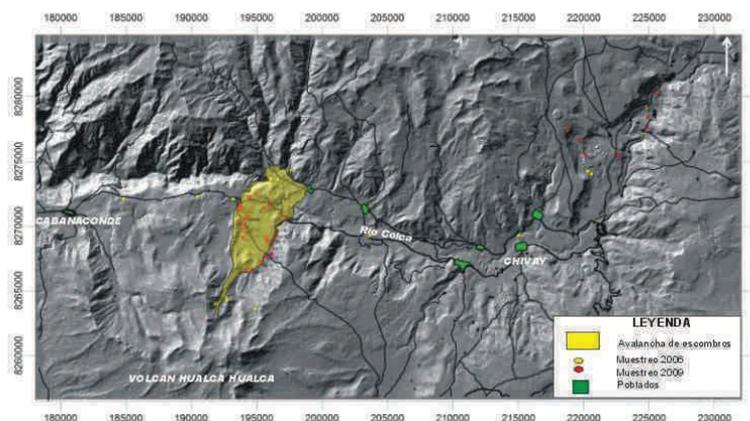


Figura 1. Modelo de elevación digital del Valle del río Colca donde se muestra el emplazamiento del depósito de avalancha de escombros del volcán Hualca Hualca – Arequipa.

LA FIGURA NO MUESTRA AFLORAMIENTOS DE LA AVALANCHA “COLGADOS” EN EL CAÑÓN DEL RÍO COLCA, AL OESTE DE CHIMPA. TAMBIÉN HAY AFLORAMIENTOS ENTRE LARI Y MADRIGAL (La figura muestra el emplazamiento principal del depósito de avalancha del Hualca Hualca, existen otros pequeños afloramientos que no son visibles a la escala de la figura)..

SE HAN IDENTIFICADO AFLORAMIENTOS DE DEPÓSITOS DE AVALANCHAS DE ESCOMBROS EN LA MARGEN DERECHA DEL RÍO COLCA, ENTRE SANGALLE (EL OASIS) Y TAPAY, ES LA MISMA AVALANCHA?: No corresponde a la misma avalancha.

RESPECTO A LOS MUESTREOS, DE QUÉ DEPÓSITOS SON Y CON QUÉ FIN?: Se han muestreado tanto los afloramientos del depósito de avalancha y de los flujos de lavas para establecer la cronología de eventos en la zona, esto se presentará en una próxima publicación.

### **AVALANCHA DE ESCOMBROS COTAHUASI**

El valle de Cotahuasi es una gran cicatriz generada en el altiplano por la incisión de este afluente del Ocoña. La intensa actividad tectónica ha producido el encajamiento del valle del río Cotahuasi en el altiplano por sobreimposición. En las laderas del valle son frecuentes un gran número de deslizamientos en cuya génesis han influido las estructuras de origen volcánico (fracturas, diaclasas de disyunción y otras) y la actividad tectónica (Palacios, 2004).

El evento geológico superficial más importante en el área estudiada es el emplazamiento de depósitos de avalancha de escombros sobre el río Cotahuasi, a la altura de la localidad del mismo nombre, que originó la formación de un lago, cuya extensión llegó hasta las inmediaciones del poblado de Taurisma, es decir alcanzó una longitud promedio de 6 km aguas arriba de Cotahuasi (Gómez, 2006).

Incluir una imagen con la ubicación del depósito.

Resumir las características litológicas, facies, espesor, etc., del depósito: (A la fecha se ha hecho una descripción morfológica del depósito, en Octubre de este año se hará los trabajos geológicos que permitan describir los aspectos litológicos. .

### **AVALANCHA DE ESCOMBROS CHUQUIBAMBA**

En la margen derecha de la cabecera del río Majes se emplaza la localidad de Chuquibamba, rodeada de un gran herradura compuesta por flujos lávicos y piroclásticos provenientes del volcán Coropuna. De la inspección de campo llevada a cabo en el 2009 se inspeccionaron algunos puntos de este depósito que se originó aguas debajo de Chuquibamba (margen derecha) y que viajó 20 km hacia el poblado de Aplao. Se ha tomado muestras para fechamiento y análisis geoquímico que se encuentran en preparación.

Incluir una imagen con la ubicación del depósito.

Resumir las características litológicas, facies, espesor, etc., del depósito. (Idem punto anterior)

### **METODOLOGÍA DE ESTUDIO**

El estudio de este tipo de depósitos tienen como finalidad determinar la causa del derrumbe del edificio volcánico, características del depósito, lago temporal formado y finalmente mecánica del flujo de escombros masivo. Lo anterior implica lo siguiente:

- Determinar la edad del edificio volcánico y del derrumbe masivo.
- Determinar las condiciones de formación del lago temporal y tiempo de ruptura.
- Delimitar el depósito flujo de escombros sus características texturales y modo de ocurrencia.
- Establecer un modelo de formación del evento avalancha-lago-flujo de escombros.
- Obtener un mapa geológico de la zona.

VARIOS DE ESTOS PUNTOS NO HAN SIDO RESPONDIDOS EN ESTE ESTUDIO. Para el caso del Hualca Hualca solo falta responder el punto 2 (tiempo de ruptura) y punto 5, para los otros dos casos falta completar los estudios.

Para el caso del Hualca Hualca en el río Colca esta metodología ya se desarrollo, falta hacer los estudios de detalle en Cotahuasi y Chuquibamba.

## CONCLUSIONES

- Las avalanchas de escombros son uno de los tipos de movimientos en masa más destructivos que existen. Estos eventos se caracterizan porque entierran y destruyen lo que encuentran a su paso y alteran enormemente la topografía...es una conclusión general (de eso se trata de dar ha conocer de forma general ese evento y mostrar casos ocurridos en Perú).
- La génesis y mecánica de estos eventos viene siendo estudiado desde 1980 hasta la actualidad, existiendo eventos catastróficos a nivel mundial. En nuestra región se conocen eventos de gran magnitud en México, Colombia y Perú....otra conclusión general. (idem anterior)
- En el Perú, se ha identificado este tipo de evento en la Región Arequipa, en los valles de Colca, Cotahuasi y Majes.
- El conocimiento de la fenomenología de este tipo de eventos es importante para la toma de medidas de mitigación y prevención de desastres.

PIENSO QUE LAS CONCLUSIONES DEBEN ENFOCARSE EN EL TEMA DE ESTUDIO, ES DECIR EN LAS CARACTERÍSTICAS, MODO DE EMPLAZAMIENTO, VOLUMEN, FACIES, ETC., DE LOS DEPÓSITOS EN ESTUDIO. (Falta completar parte de esto, por eso no se muestra como resultado).

SUGIERO LEER LOS SIGUIENTES ARTÍCULOS SOBRE LAS AVALANCHAS EN PERÚ: (ya fueron revisados estos articulos)

- T. F. Schildgen, K. X. Whipple, K. V. Hodges, & M. S. Pringle (2005). Geochronological constraints on tectonics and uplift of the Western Cordillera in southern Peru....
- J.-C. Thouret, G. Wörner, Y. Gunnell, B. Singer, X. Zhang, T. Souriot (2007). Geochronologic and stratigraphic constraints on canyon incision and Miocene uplift of the Central Andes in Peru.....

## REFERENCIAS

- Capra, L., y Macías, J.L. (2002). The Cohesive Naranjo debris-flow deposit (10 km<sup>3</sup>): A dam breakout flow derived from the Pleistocene debris-avalanche deposit of Nevado de Colima Volcano (Mexico). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 177, p. 213-235.
- Capra, L., Macías, J.L., Scout, K.M., Abrams, M., Garduño, V.H, (2002). Debris avalanches and debris flows transformed from collapses in the Trans-Mexican Volcanic Belt, Mexico-behavior, and implications for hazard assessment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 2362 p. 1-30.
- Carrasco-Núñez, G. Vallance, J.W. and Rose, W.I., (1993). A voluminous avalanche-induced lahar from Citlatépetl volcano, México: Implications for hazard assement. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 59, p. 35-46.
- Cortés, A. (2002) Depósitos de avalancha y flujos de escombros originados hace 3,600 años por el colapso del sector suroeste del Volcán de Colima. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de México. Ciudad de México. P 121.
- Francis, P. and Self, S., (1987). Collapsing volcanoes. *Scientific American*, v. 256, No. 6, p. 90-97.
- Glicken, H., (1996). Rockslide avalanche of May 18, 1980, Mount St. Helens Volcano, Washington, U. S. Department of the Interior, USGS: Open File Report 96-677, 88p.
- Gómez, J., Palacios, D. (2006) Peligro Geológico Potencial del valle del río Cotahuasi, Arequipa. XIII Congreso Peruano de Geología. Sociedad Geológica del Perú. Resúmenes Extendidos. Pág. 234-238 Lima.
- Gómez,J., Siebe, C., Macías J.L. y Ocola, L. (2004) Debris Avalanche in Hualca Hualca Volcano-Arequipa, Perú. Penrose Meeting. American Geology Society. Pages 313-315 Puebla, México.
- Gómez, J., Cornejo, D. y Ocola, L. (2004b) Series lacustrinas en el valle del río Colca, Arequipa: Paleolagos Colca y Canocota. XII Congreso Peruano de Geología. Sociedad Geológica del Perú. Pág. 188-193 Lima.
- Gómez, J., Siebe, C., Ocola, L. (2002) Paleoeventos geológicos en el Valle del Colca Arequipa. XI Congreso Latinoamericano de Sensoramiento Remoto: SELPER. Pág. 205-211.
- Gorshkkov, C. S., (1959). Gigantic eruption of the Volcano Bezymiany. *Bulletin of Volcanology*, v. 20: 77-109.
- Palacios O. y B. A. Klinck. 1987. Evidencias de embalse volcánico en el Valle del Colca. VI Congreso Peruano de Geología. Sociedad Geológica del Perú. Lima, Perú.
- Palacios D. (2004) Colca and Cotahuasi Valleys Geomorphology Hazard Project: Study of the geomorphologic instability in relation to tectonic, volcanic, erosion and climate change interactions as a first step in the sustainable development of the area. Research Project Universidad Complutense de Madrid-España y el Instituto Geofisico del Perú.

- Pulgarín, (2000). Depósitos masivos del Pleistoceno Tardío asociados al colapso del flanco sur del Volcán Nevado del Huila, Colombia. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México. 135 p.
- Scott, K. M., (1985). Lahar and flow transformations at Mount St. Helens, Washington, U.S.A., in International Symposium on Erosion, Debris Flow and Disaster Prevision, Tsukuba, Japan, p. 209-214.
- Siebert, L., (1984). Large volcanic debris avalanche: characteristics of source areas, deposits and associated eruptions. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 22: 163-197.
- Siebert, L., Glicken H., y Ui, T., (1987). Volcanic hazards from Bezymiany – and Bandai type eruptions: *Bulletin of Volcanology*, v. 49, p. 435-459.
- Stoopes and Sheridan (1992). Giant debris avalanches from the Colima Volcanic Complex, Mexico: Implications for long-runout landslides (< 100 km) and hazard assesment. *Geology* 20: 299-302.
- Ui, T., (1985). Debris avalanche depsoits associated with volcanic activity: Proceedings, IVth International Conferenceand Field Workshop on Landslides, Tokyo, Japan, p. 405-410
- Ui, T., and Glicken, H., (1986). Internal structural variations in a debris-avalanche deposit from ancestral Mount Shasta, California, USA: *Bulletin of Volcanology*, v. 48., p. 189-194.
- Voight, B., Glicken, H., Janda, R.J., y Douglass, P.M., (1981). Catastrophic rockslide avalanche of May 18. In: P. W. Lipman and Mullineaux, eds. *The 1980 eruptions of Mount St. Helens Washington*. U.S. Geological Survey professional paper. v.1250, p. 347-377.