

DELIMITACIÓN DE LAS ZONAS DE INUNDACIÓN POR LAHARES EN EL ÁREA DEL COMPLEJO VOLCÁNICO AMPATO-SABANCAYA (AREQUIPA)

Nina BELLOT^{1,2,3}, Pablo SAMANIEGO^{1,2,3}, Jersy MARINÑO³, Marco RIVERA³, Willy URBINA³

¹ Laboratoire Magmas et Volcans, Université Blaise Pascal, CNRS, IRD, 5, rue Kessler, F-63038 Clermont-Ferrand, Francia

² IRD, Teruel 357, Miraflores, Lima 18, Perú (pablo.samaniego@ird.fr)

³ INGEMMET, Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. Av. Dolores (Urb. Las Begonias B-3), J.L. Bustamante y Rivero, Arequipa, Perú

INTRODUCCIÓN

El Complejo Volcánico Ampato-Sabancaya (CVAS) está localizado a 60 km al NO de la ciudad de Arequipa (Fig. 1), fue construido durante el Pleistoceno sobre los remanentes de un complejo volcánico más antiguo, el Hualca Hualca (6025 msnm) ubicado al norte, entre el CVAS y valle del río Colca. Este grupo volcánico está cubierto por un importante casquete glaciar, que según Alcalá (2007) cubriría una superficie total (para los tres edificios volcánicos, Sabancaya, Ampato y Hualca Hualca) de 13.7 km² y tendría un volumen de 1.7 m³ (Fig. 2).

El Sabancaya (5980 msnm) constituye la parte joven y activa del complejo volcánico, mientras que el Ampato (6280 msnm) es un estratovolcán compuesto que constituye la parte más antigua del complejo, construida durante el Pleistoceno superior. El Sabancaya es uno de los 7 volcanes activos del arco peruano (Siebert et al., 2010), cuyo último episodio eruptivo ocurrió entre 1988 y 1997 (Gerbe y Thouret, 2004). Dentro del marco del convenio de cooperación existente entre el INGEMMET y el Instituto Francés de Investigación para el Desarrollo (IRD), se está realizando un estudio integral de este complejo volcánico que incluye la evolución geológica y petrológica del complejo (Rivera et al., 2012), así como la evaluación de los peligros volcánicos (Mariño et al., 2012). En este trabajo presentamos los resultados de la aplicación del software LAHARZ para la delimitación de los potenciales flujos de lodo y escombros asociados con una eventual erupción de este volcán.

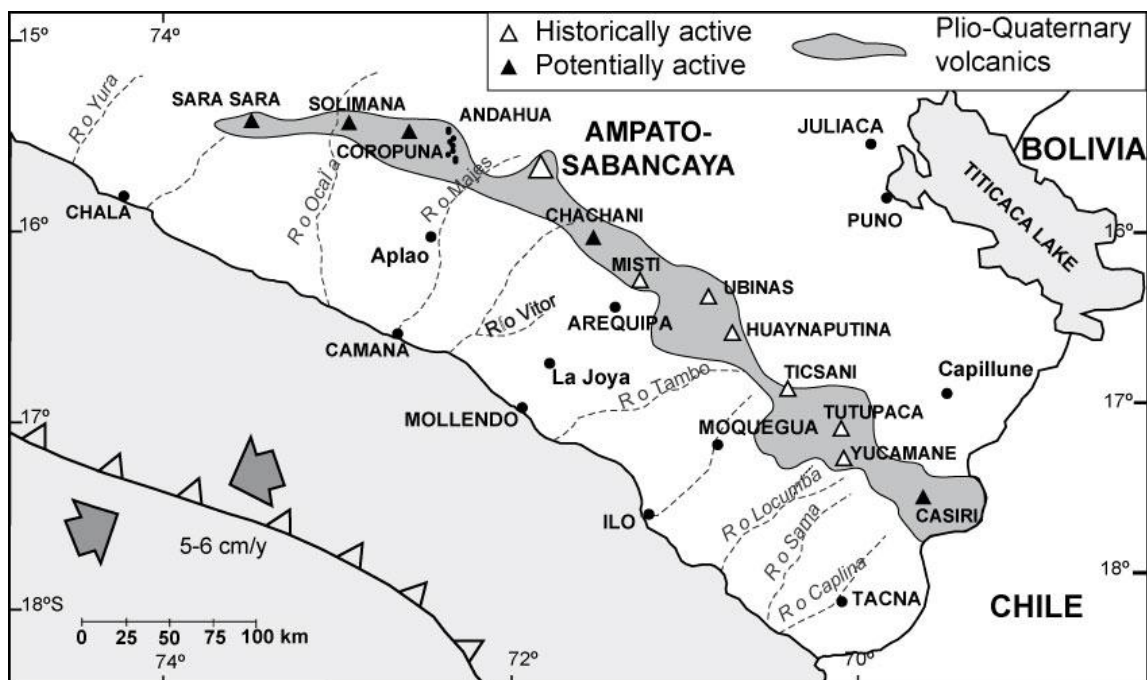


Figura 1. Arco volcánico Cuaternario del Sur de Perú. Se muestran los volcanes con actividad histórica (i.e. posterior a 1532 AD) y los volcanes potencialmente activos.



Figura 2. El Complejo Volcánico Ampato-Sabancaya (CVAS). Se observa su importante casquete glaciar, así como la cobertura de nieve de cubre estacional.

EL PROGRAMA LAHARZ

LAHARZ es un programa que permite delimitar de manera rápida las zonas de inundación por flujos de lodo y escombros (lahares) que se originan en los drenajes que nacen en los flancos de un volcán (Iverson et al., 1998; Schilling, 1998). El programa está basado en una correlación empírica entre el volumen de un evento lahático y el área planimétrica y en sección transversal inundadas por dicho lahar (Fig. 3). En base a la recopilación de datos de campo de 27 eventos laháticos bien estudiados alrededor del mundo, Iverson et al. (1998) dedujeron dos ecuaciones que relacionan los volúmenes con las áreas mencionadas anteriormente. Estas ecuaciones son:

$$A = 0.05V^{2/3}$$

$$B = 200V^{2/3}$$

En donde, A es el área transversal máxima inundada por el lahar, B es el área planimétrica total inundada y V es el volumen del lahar (Fig. 3). El programa LAHARZ fue diseñado para ejecutarse dentro de un Sistema de Información Geográfica (ArcGIS) que emplea las ecuaciones anteriores, un modelo digital de elevación (DEM) y los volúmenes de los lahares, previamente definidos por el usuario, para delimitar zonas potenciales de inundación, de manera automatizada y rápida. De esta manera es posible elaborar mapas de peligros de inundación por lahares para los drenajes de interés, considerando que los lahares menos voluminosos son más frecuentes que los lahares grandes.

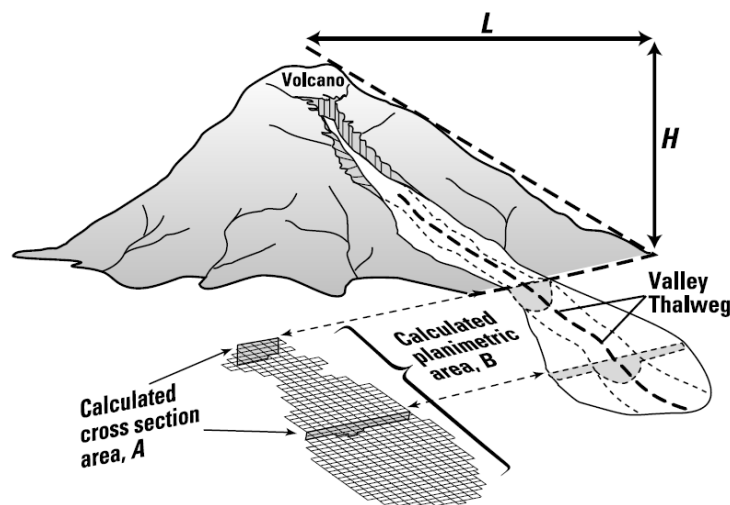


Figura 3. Relaciones entre la zona de peligro proximal alrededor de un volcán y las áreas, en sección transversal (A) y planimétrica (B), inundadas por un evento lahático (Schilling, 1998).

APLICACIÓN AL COMPLEJO VOLCÁNICO AMPATO-SABANCAYA (CVAS)

Los estudios geológicos en curso, y en particular el estudio de las turberas (bofedales) existentes en los alrededores del CVAS han permitido identificar al menos una docena de delgados depósitos de caída de cenizas ligados a erupciones explosivas moderadas registrados durante el Holoceno superior (Rivera et al., 2012, Mariño et al., 2012). En base a las características de los depósitos de ceniza atrapados en las turberas y a las observaciones del último período eruptivo (1988-1997 AD) se puede mencionar que estas erupciones fueron eventos pequeños a moderados (VEI 1-2), caracterizados por la ocurrencia de explosiones vulcanianas y la emisión de cantidades moderadas de ceniza. Este tipo de eventos pueden generar lahares secundarios por la removilización de la ceniza por acción de la lluvia. Esta situación fue frecuente durante el último período eruptivo que generó lahares secundarios tanto en los alrededores del complejo como en las quebradas que bajan hacia el valle del Colca (Quebrada Pinchollo, Fig. 4). Se estima que el volumen de este tipo de eventos sería pequeño (1-5 millones m^3).

Por otro lado, en caso de erupciones más importantes (VEI 3-4), y en particular si se producen flujos piroclásticos, el volumen de agua generado sería mucho mayor debido a la interacción entre el casquete glaciar y los flujos incandescentes. En base a las estimaciones realizadas en otros edificios volcánicos como el Misti (Vargas et al., 2010), Nevado del Ruiz (Thouret et al., 2007) o el Cotopaxi (Mothes et al., 2005) se podrían generar lahares de volúmenes mucho más importantes (10-20 millones m^3).



Figura 4. Depósito del flujo de escombros (lahar) asociado con la actividad eruptiva de 1987-1998 AD, Quebrada Pinchollo.

Para la aplicación de LAHARZ al caso de los flujos de lodo y escombros asociados al volcán Ampato-Sabancaya se utilizó un modelo digital de elevación con una resolución de 25 m y se definieron 4 escenarios de flujos de lodo y escombros con volúmenes comprendidos entre 1, 5, 10 y 20 millones m^3 . Se consideraron todas quebradas principales que drenan de los volcanes Sabancaya y Ampato (Fig. 5), así como algunas quebradas que discurren al pie del flanco norte del Hualca Hualca y se escogió como punto de inicio de los lahares las cabeceras de las quebradas principales.

Los resultados obtenidos muestran que los lahares con volúmenes pequeños a moderados (1-5 millones m^3) se canalizan por los valles y no alcanzan distancias importantes, mientras que los lahares con volúmenes moderados a grandes (10-20 millones m^3) alcanzan distancias más importantes y forman planicies de inundación al llegar a las zonas planas, especialmente en el sector SE del CVAS (Sallalli, Fig. 5).

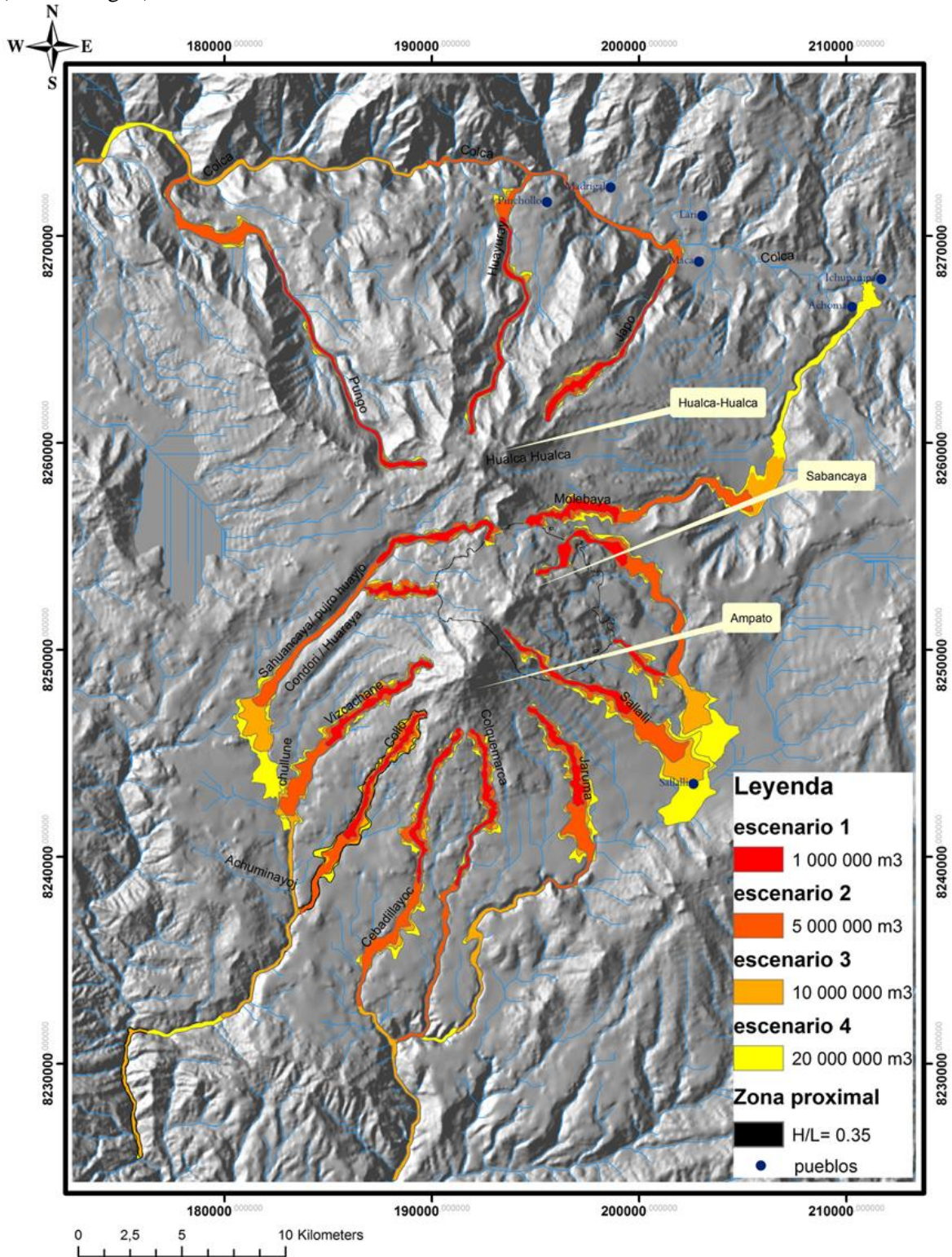


Figura 5. Modelo digital del terreno del Complejo Volcánico Ampato-Sabancaya (CVAS) mostrando las zonas de inundación por lahares para cuatro escenarios diferentes: 1, 5, 10 y 20 millones de m^3 .

CONCLUSIÓN

El volcán Sabancaya, la parte joven y activa del Complejo Volcánico Ampato-Sabancaya, ha presentado alrededor de una docena de eventos eruptivos en los últimos 4000 años, los cuales se han caracterizado por ser erupciones vulcanianas de tamaño pequeño a moderado (VEI 1-2) con una emisión limitada de ceniza. Un evento similar en el futuro podría producir lahares secundarios sobre todo por la removilización del material piroclástico durante lluvias importantes que acompañen o que sean subsecuentes con el episodio eruptivo. El volumen de lahar generado por este proceso sería pequeño a moderado (1-5 millones de m³), y su alcance estaría limitado a los valles que descienden del complejo volcánico, sin alcanzar distancias importantes (<8-10 km).

Sin embargo, en caso de que el Sabancaya experimente eventos eruptivos más importantes (VEI 3-4), como los ocurridos durante la historia eruptiva del CVAS, se podrían generar lahares primarios debido a la interacción del material incandescente (flujos piroclásticos) por la fusión del importante casquete glaciar del CVAS. En base a los estudios realizados en otros volcanes de este tipo el volumen de los eventos laháricos resultante podría ser mucho mayor (10-20 millones de m³). El alcance de estos eventos sería mucho mayor (>10 km) e inundarían las planicies de inundación al sur-orientado y sur-occidente del CVAS, así como el valle del río Colca al norte. Se considera sin embargo que la posibilidad de ocurrencia de un evento de este tipo es baja.

REFERENCIAS

- Alcalá J. (2007). La evolución de los glaciares en el Complejo Volcánico Ampato (Perú). Diploma de Estudios Avanzados, Universidad Complutense de Madrid, pp. 86.
- Gerbe M.C., Thouret J.C. (2004). Role of magma mixing in the petrogenesis of lavas erupted through the 1990-98 explosive activity of Nevado Sabancaya in south Peru. *Bulletin of Volcanology* 66, 541-561.
- Iverson R., Schilling S., Vallance J., (1998). Objective delineation of lahar-inundation hazard zones. *Geological Society of America Bulletin* 110, 972-984.
- Mariño J., Samaniego P., Rivera M., Delgado R. (2012). Mapa de peligros del Complejo Volcánico Ampato-Sabancaya (Arequipa). Congreso peruano de Geología, Lima. 23-26 septiembre 2012.
- Mothes P., Hall M.L., Andrade D. Samaniego P., Pierson T. Ruiz G., Yepes H. (2004). Character, Stratigraphy and Magnitude of Historical Lahars of Cotopaxi Volcano, Ecuador. *Acta Vulcanologica* 16, 85-108.
- Rivera M., Samaniego P., Mariño J., Delgado R. (2012). Historia eruptiva del Complejo Volcánico Ampato-Sabancaya (Arequipa). Congreso peruano de Geología, Lima. 23-26 septiembre 2012.
- Schilling S. (1998). LAHARZ: GIS programs for automated mapping of lahar-inundation hazard zones. US Geological Survey Open-File Report 98-638; 79 pp.
- Siebert L., Simkin T., Kimberly P. (2010). *Volcanoes of the world*. Third édition. Smithsonian Institution and University of California press. 551 pp.
- Thouret J.C., Ramirez J., Gibert-Malengreau B., Vargas C.A., Naranjo J.L., Vandemeulebrouck J., Valla F., Funk M. (2007). Volcano-glacier interactions on composite cones and lahar generation: Nevado del Ruiz, Colombia, case study. *Annals of Glaciology* 45, 115-127.
- Vargas Franco R., Thouret J.C., Delaite G., van Westen C., Sheridan M.F., Siebe C., Mariño J., Souriot T., Stinton A. (2010). Mapping and assessing volcanic and flood hazards and risks, with emphasis on lahars, in Arequipa, Peru. *Geological Society of America, Special Paper* 464, p. 265-280.