

Simulación de lahares en las microcuencas del volcán Misti, Arequipa - Perú

Juan Cuno¹, Kevin Cueva¹, Jersey Mariño¹, Carla Arias¹, Andy Ancalle^{1,2}, Yhon Soncco¹

¹ Instituto Geológico Minero y Metalúrgico-INGEMMET, juanjose.cunobayta@gmail.com

² Universidad Nacional de San Agustín

Palabras clave: volcán Misti, VolcFlow, lahares, mapa de peligros

En la ciudad de Arequipa, las microcuencas alrededor del volcán Misti son las principales fuentes de agua, para la generación de flujos de detritos o lahares, compuestos por agua y sólidos de origen volcánico. Los lahares se producen en épocas de intensas lluvias, donde las aguas colectadas por las microcuencas descienden y se mezclan con depósitos piroclásticos del volcán Misti, que incrementan su volumen, ocasionando inundaciones en la zona urbana de la ciudad de Arequipa.

Debido a la frecuente ocurrencia de estos fenómenos, es necesario conocer las posibles zonas de inundación. Para lograr este objetivo se han recolectado datos de registros geológicos de lahares, eventos de inundación históricos (Fernandez et al., 2001, Vargas et al., 2010), como los ocurridos el 8 de febrero del 2013 (Ettinger et al., 2016, Cacya et al., 2013) y el 8 de febrero de 1989 (Montesinos et al., 2019); así como también características físicas de los depósitos (Lowe et al., 1986; Pierson et al., 1990; Pallares et al., 2015; Vásconez et al., 2017; Thouret et al., 2020), y se ha hecho una delimitación de microcuencas, con el propósito de calcular el contenido de agua necesaria para la generación de lahares.

Los datos recolectados se han utilizado para realizar simulaciones de lahares con VolcFlow (Fig. 1), para identificar las zonas posibles a inundarse en diferentes escenarios de precipitaciones pluviales, en las quebradas El Pato, Pastores y San Lázaro, ubicadas al suroeste del Misti.

Los resultados (Fig. 1), obtenidos de las simulaciones, permitirán la mejora en la delimitación de las zonas de peligro por lahares, como parte de la actualización del mapa de peligros del volcán Misti, en beneficio de la gestión del riesgo volcánico en la ciudad de Arequipa.

METODOLOGÍA

Las simulaciones se han realizado con el código VolcFlow (Kelfoun et al., 2009), utilizando como datos de entrada: un modelo de elevación digital (DEM) de 4m/píxel, un punto de inicio y un volumen a simular.

El DEM base se ha corregido con puntos de GPS diferencial dentro y fuera de la ciudad de Arequipa. Debido al tiempo que toma realizar cada simulación (3-7 días), se ha transformado el DEM de 4m/píxel, a un DEM de 6m/píxel para el escenario de alto peligro 8 m/píxel, para el escenario moderado peligro y para el escenario de bajo peligro a 10m/píxel.

Los puntos de inicio fueron obtenidos con base en el registro geológico de lahares, que se encuentran en las quebradas del volcán (Mariño et al., 2016; Harpel et al., 2013; Delaite et al., 2005; Thouret et al., 2001), también fueron escogidos los puntos de salida de las microcuencas y quebradas de interés. El volumen total del lahar se ha obtenido, calculando las áreas de las microcuencas que se encuentran en los flancos del volcán Misti, siendo la principal fuente de agua las precipitaciones pluviales que ocurren entre enero y marzo. Los datos hidrológicos se han obtenido de las diferentes estaciones del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

Se ha calculado la precipitación efectiva que generaría la escorrentía (agua que discurriría por el drenaje principal) aplicando el método de las abstracciones (agua infiltrada, retenida por la vegetación o por procesos de evapotranspiración) desarrollado por el Servicio de conservación de suelos de los Estados Unidos (NSCS), dicha precipitación efectiva se ha multiplicado por el área de la cuenca y se ha obtenido el volumen de agua que estaría compuesto.

En cuanto al tipo de lahar, en la ciudad de Arequipa se ha encontrado depósitos en su mayoría flujos hiperconcentrados y en menor cantidad flujos de escombros (Cereceda, 2008; Pallares et al., 2015; Thouret et al., 2020). En tal sentido se han simulado lahares hiperconcentrados asumiendo que el volumen de agua que genera el lahar representa el 60% y los sólidos el 40%.

Para definir los escenarios de alto, moderado y bajo peligro, se consideró la recurrencia de las precipitaciones que han generado lahares en tiempos históricos y modernos, es decir para un escenario de alto peligro son las precipitaciones de 30 mm (más frecuentes), el escenario moderado entre 50 mm y el de bajo peligro con 124.5 mm (menos frecuentes) de precipitación diaria acumulada.

Los volúmenes utilizados para la simulación de lahares, varían en el escenario de alto peligro entre 10000-120000 m³; en el de moderado peligro entre 50000-400000 m³; y en el de bajo peligro los volúmenes varían entre 80000-1.6x10⁶ m³.

RESULTADOS

La aplicación del método de las abstracciones ha permitido calcular el volumen de agua involucrado para la generación de flujo de detritos o lahares, cabe

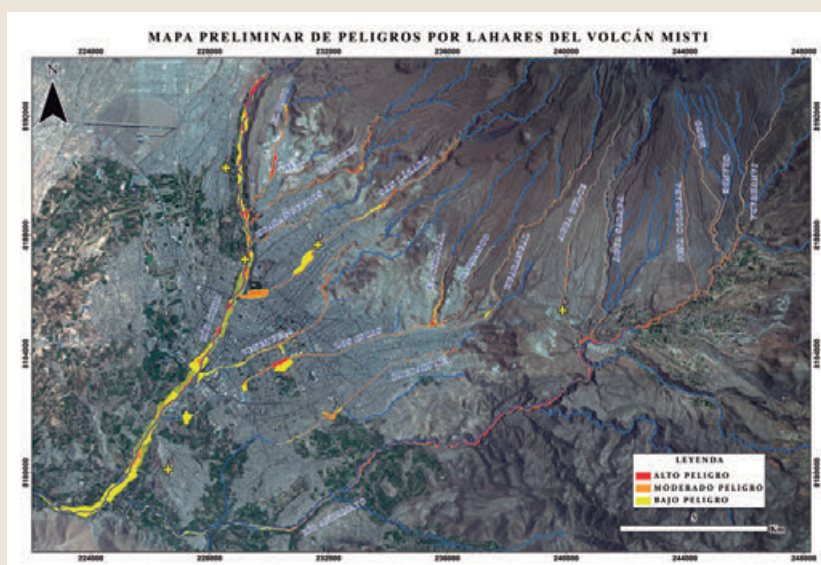
mencionar que dichos resultados de precipitaciones efectivas son aproximaciones y que se restringen a las limitaciones de dicho método.

Las simulaciones indican que las quebradas San Lázaro, Venezuela, Huarangal, Pastores y Paucarpata representan un peligro latente durante las épocas de lluvia (enero-marzo) dentro de la zona urbana de la ciudad.

Las simulaciones en la quebrada El Pato, indican posible desborde e inundación por lahares en el tramo que atraviesa el Asentamiento Villa confraternidad.

Los cauces de las quebradas Agua dulce, Agua Salada, Peña Colorada, Moto, Grande, Honda y Januhua, tienen profundidades entre 20-60 metros de profundidad, y entre 10-30 m de ancho los cuales desembocan en el Río Andamayo. Todos los cauces no atraviesan infraestructura urbana, pero si atraviesan la carretera que comunica el distrito de Chiguata con la ciudad de Arequipa, por lo que en caso de que resultaran afectados por lahares, dejarían incomunicados al distrito de Chiguata.

Las simulaciones con el código VolcFlow han permitido mejorar la delimitación de los alcances longitudinales y transversales (Fig. 1).



► Fig. 1 – Resultados de simulaciones de lahares en las principales quebradas en los flancos sureste-suroeste del volcán Misti, con el código VolcFlow

REFERENCIAS

- ▶ Cacya, L., Meza, P., Carlotto, V., & Mamani, L. (2013). Aluvión del 8 de Febrero del 2013 en la ciudad de Arequipa. Resumen extendido Foro Internacional de Riesgos Geológicos. INGEMMET, 195-200.
- ▶ Delaite, G., Thouret, J. C., Sheridan, M., Labazuy, P., Stinton, A., Souriot, T., & Van Westen, C. (2005). Assessment of volcanic hazards of El Misti and in the city of Arequipa, Peru, based on GIS and simulations, with emphasis on lahars. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 140, 209-231.
- ▶ Ettinger, S., Mounaud, L., Magill, C., Yao-Lafourcade, A. F., Thouret, J. C., Manville, V., ... & Llerena, N. M. (2016). Building vulnerability to hydro-geomorphic hazards: Estimating damage probability from qualitative vulnerability assessment using logistic regression. *Journal of Hydrology*, 541, 563-581.
- ▶ Fernández, J. & A. Benites. 2001. Estudio: Inundaciones en la localidad de Arequipa ocasionadas por el ingreso de las torrenteras. INDECI. 53 p.
- ▶ Harpel, C. J., De Silva, S., & Salas, G. (2011). The 2 ka Eruption of Misti Volcano, Southern Peru—The Most Recent Plinian Eruption of Arequipa's Iconic Volcano. *The Geological Society of America, Special Paper 484*.
- ▶ Gueugneau, V. (2014). Evaluation du logiciel VolcFlow pour la simulation numérique de lahars et application aux risques associés. Rapport de Travail d'Etude et de Recherche (TRE). Université Blaise Pascal Clermont II. France.
- ▶ Kelfoun, K. (2009). VolcFlow simulation of Volcanic Flows. Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Fd (OPGC), Université Blaise Pascal. Francia.
- ▶ Lowe, D. R., Williams, S. N., Leigh, H., Connort, C. B., Gemmell, J. B., & Stoiber, R. E. (1986). Lahars initiated by the 13 November 1985 eruption of Nevado del Ruiz, Colombia. *Nature*, 324(6092), 51-53.
- ▶ Mariño J., Rivera M., Thouret J., Macedo L., (2016). Geología y Mapa de Peligros del volcán Misti. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. INGEMMET.
- ▶ Montesinos-Tubée Daniel B., Núñez del Prado Hernando, Toni Bustaman Brian J., Álvarez Tejada Erik M., Borgoño Lozada Alejandra, Zegarra Flores Jorge, Gutiérrez Paco, Maldonado Mónica, Rodríguez Moscoso Mari del Pilar, Riveros Arteaga Gilbert C., Guillén Tamayo Dora, 2019. Floristic diversity, plant communities and conservation proposals of the riparian forest in the Chili River (Arequipa, Peru). doi.org/10.22497/arnaldoa.261.26106.
- ▶ Pallares, C., Fabre, D., Thouret, J.C. 2015.. Geological and geotechnical characteristics of recent lahar deposits from El Misti volcano in the city area of Arequipa, South Peru. *Geotech Geol Eng* 33, 641-660. <https://doi.org/10.1007/s10706-015-9848-x>
- ▶ Pierson, T., Richard J., Thouret, J-C., Borrero, C., 1990. "Perturbation and Melting of Snow and Ice by the 13 November 1985 Eruption of Nevado Del Ruiz, Colombia, and Consequent Mobilization, Flow and Deposition of Lahars." *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 41, no. 1: 17-6.
- ▶ Thouret J-C, Antoineb S., Magillc C. Ollierd C., 2020. Lahars and debris flows: Characteristics and impacts. *Earth-Science Reviews*. doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.103003.

- ▶ Thouret, J.-C., Finizola, A., Fornari, M., Legeley-Padovani, A., Suni, J., and Frechen, M., 2001. Geology of El Misti volcano near the city of Arequipa, Peru: *Geological Society of America Bulletin*, 113, 1593–1610.
- ▶ Vásconez F., Vásconez R., Mothes P., 2017, Reconstrucción de los flujos de lodo del volcán Carihuairazo originados por el terremoto de 1698 utilizando el código Volcflow.
- ▶ Vargas Franco, R.D., Thouret, J.-C., Delaite, G., van Westen, C., Sheridan, M.F., Siebe, C., Mariño, J., Souriot, T., and Stinton, A., 2010, Mapping and assessing volcanic and flood hazards and risks, with emphasis on lahars, in Arequipa, Peru, in Grippelli, G., and Viereck-Goette, L., eds., *Stratigraphy and Geology of Volcanic Areas: Geological Society of America Special Paper 464*, p.265–280, doi: 10.1130/2010.2464(13).
- ▶ Kelfoun, K. (2017). A two-layer depth-averaged model for both the dilute and the concentrated parts of pyroclastic currents. *J. Geophys. Res. Solid Earth* 122, 4293–4311. doi: 10.1002/2017JB014013