



Boletín de la Sociedad Geológica del Perú

journal homepage: www.sgp.org.pe ISSN 0079-1091

Resultados preliminares de simulaciones de lahares en la actualización del mapa de peligros del volcán Misti - Arequipa

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

¹Instituto Geológico Minero y Metalúrgico-INGEMMET, Observatorio Vulcanológico del INGEMMET.

²Universidad Nacional de San Agustín

RESUMEN

El volcán Misti es uno de los 10 volcanes activos ubicados al sur del Perú, actualmente emite fumarolas de vapor de agua, y es catalogado como uno de los más peligrosos de la tierra, debido a su cercanía con la ciudad de Arequipa. Uno de los peligros volcánicos, que ocurren a cada año sin producir una erupción, son los flujos de detritos o lahares secundarios, ocasionados en épocas de intensas lluvias (enero-marzo); se han propuesto el escenario de alto peligro, para lahares que se generan con precipitaciones acumuladas diarias hasta 30 mm y para el bajo peligro con precipitaciones hasta 125 mm.

El cálculo de volumen de agua se ha realizado multiplicando la precipitación acumulada por el área de la microcuenca, de las quebradas El Pato, Pastores y San Lázaro, asumiendo que el porcentaje de volumen de agua representa el 60% de volumen del lahar y 40% el volumen de sólidos. Dicho volumen nos sirvió para poder realizar simulaciones de lahares con el código VolcFlow, sobre un DEM de alta resolución, permitiendo conocer de zonas potenciales a sufrir inundaciones por lahares, dichas simulaciones permitirán el mejoramiento de zonas de peligro por lahares, contribuyendo así el desarrollo del mapa de peligros por lahares del volcán Misti, en beneficio a la ciudad de Arequipa.

Palabras Clave: volcán Misti, VolcFlow, lahares, mapa de peligros.

ABSTRACT

The Misti volcano is one of the 10 active volcanoes located in the south of Peru, currently emits vapour fumaroles, and is classified as one of the most dangerous on earth, due to its proximity to the city of Arequipa. One of the volcanic hazards, which occurs each year without an eruption, are debris flows or secondary lahars, caused in times of heavy rainfall (January-March); the high-risk scenario has been proposed, for lahars that are generated with accumulated daily precipitation up to 30 mm and for the low hazard with precipitation up to 125 mm.

The calculation of water volume has been done by multiplying the accumulated precipitation by the area of the micro-basin, El Pato, Pastores and San Lázaro streams, assuming that the percentage of water volume represents 60% of lahar volume and 40% the volume of solids. This volume allowed us to carry out simulations of lahars with the code VolcFlow, on a high-resolution DEM, allowing you to know of potential areas to suffer floods by lahars, such simulations will allow the improvement of areas of danger by lahars, thus contributing to the development of the hazard map by lahars of the Misti volcano, to the benefit of the city of Arequipa.

INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Arequipa, las microcuencas del volcán Misti son las principales fuentes de agua,

para la generación de flujos de detritos o lahares, que son flujos que descienden por las quebradas compuestos por agua y sólidos de origen volcánico, que ocasionan inundaciones en ciertas zonas durante su descenso. 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 estos fenómenos es necesario conocer las zonas posibles de inundación. Para lograr este objetivo se han recolectado datos de registros geológicos de lahares (Fig 1A), eventos de inundación históricos (Fernandez et al., 2001, Vargas et al., 2010), como los ocurridos el 8 de febrero del 2013 (Ettinger et al., 2015, Cacya et al., 2013) y el 8 de febrero de 1989 (Montesinos et al., 2019); 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), 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 computacionales de respectivas (Fig. 1), identificar las zonas posibles a inundarse en diferentes escenarios de precipitaciones pluviales, realizando simulaciones en las quebradas El Pato, Pastores y San Lázaro, ubicadas al suroeste del Misti. Dichas simulaciones permitirán establecer 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), el cual necesita como datos de entrada, un modelo de elevación digital (DEM), un punto de inicio y un volumen a simular. El DEM base obtenido es de 4m/pixel, corregido con toma de puntos con GPS diferencial dentro y fuera de la ciudad de Arequipa. Debido al trabajo computacional requerido, se ha transformado el DEM de 4m/pixel, a un DEM de 6m/pixel para el escenario de alto peligro y para el escenario de bajo peligro a 10m/pixel. Los puntos de inicio fueron obtenidos en base al registro geológico de lahares (Mariño et al., 2016; Harpel et al., 2013; Delaite et al., 2005; Thouret et al., 2001), también

fueron escogidos los puntos de salida de una microcuenca 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, cuyos datos se han obtenido de las diferentes estaciones del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

En tal sentido, se han multiplicado las áreas de las microcuencas obtenidas (usando el ArcMap) con la precipitación pluvial acumulada, obteniendo el volumen de agua (Tabla 1) de cada quebrada, considerando que el volumen del lahar representa el 60% del volumen total de agua, por lo tanto, el 40% se debe considerar de sólidos, tomando en cuenta las observaciones de eventos de lahar producidos en la ciudad de Arequipa. (Pallares et al., 2015; Thouret et al., 2020).

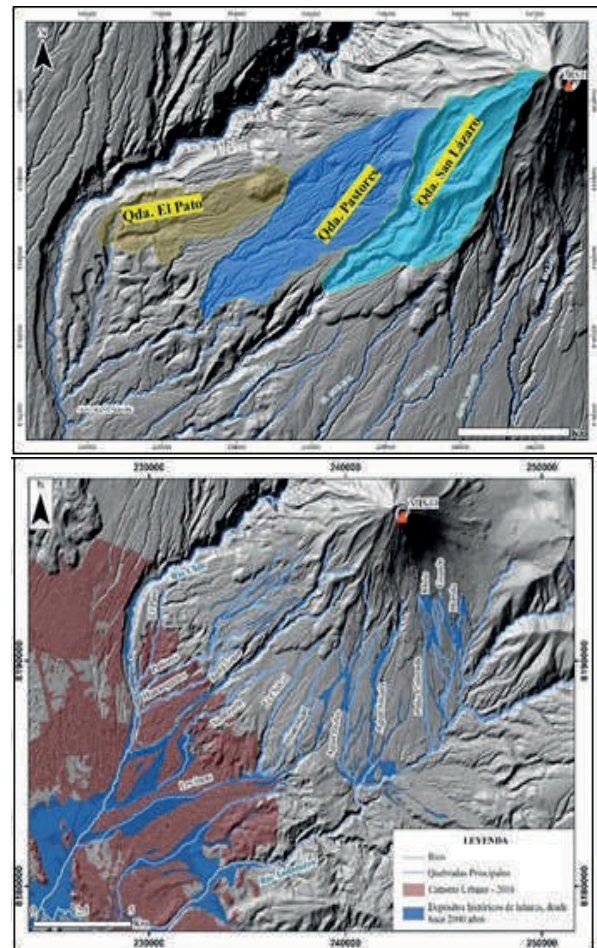


Fig. 1 a) Mapa de microcuencas ubicados al suroeste del volcán Misti, correspondientes a las quebradas San Lázaro, Pastores y El Pato b) Mapa de registros geológicos de lahares históricos en la ciudad de Arequipa y flancos del volcán Misti (representados por el color azul oscuro).

Nombre de la Cuenca	Área de microcuencas	30 mm		50 mm		125 mm	
		Volumen de agua (m ³)	Volumen de Lahar (m ³)	Volumen de agua (m ³)	Volumen de Lahar (m ³)	Volumen de agua (m ³)	Volumen de Lahar (m ³)
San Lázaro	12056366	361691	602818	602818.286	1004697	1507045.72	2511743
El Pato	6060319	181810	303016	303015.961	505027	757539.904	1262567
Pastores	12958893	388767	647945	647944.66	1079908	1619861.65	2699769

Tabla 1 Datos de las áreas de las microcuencas, volumen de agua captada y volumen de lahar, para las quebradas San Lázaro, El Pato y Pastores.

RESULTADOS

Los resultados de las simulaciones (Fig. 2) de lahares en las quebradas El Pato, Pastores y San Lázaro presentan los escenarios de alto (mayor de recurrencia) y bajo peligro (menor recurrencia). Observándose que los lahares, en el escenario de alto peligro, en la quebrada El Pato tiene un alcance de 8 km, en San Lázaro 10 km y en Pastores 7

km; en cambio el alcance, en el escenario de bajo Peligro, en la quebrada El Pato tiene 9 km, en San Lázaro, 17 km y en Pastores 15 km. De las 3 quebradas en mención, San Lázaro es la quebrada que atraviesa el centro histórico de la ciudad de Arequipa, en su último kilómetro se encuentra canalizado hasta desembocar en el Río Chili, en la simulación se observa un área de inundación en este tramo. La quebrada El Pato y Pastores, atraviesan asentamientos humanos, actualmente en sus cauces no se encuentra canalización, sin embargo, el ancho de su cauce se ha ido reduciendo por el avance urbano; en las simulaciones en estas dos quebradas, se presentan zonas de inundaciones cuando llegan a desembocar al río Chili; dichas zonas de inundación nos advierte realizar trabajos de campo para poder mejorar la delimitación de las zonas de peligro para la elaboración del mapa de peligros por lahares del volcán Misti.

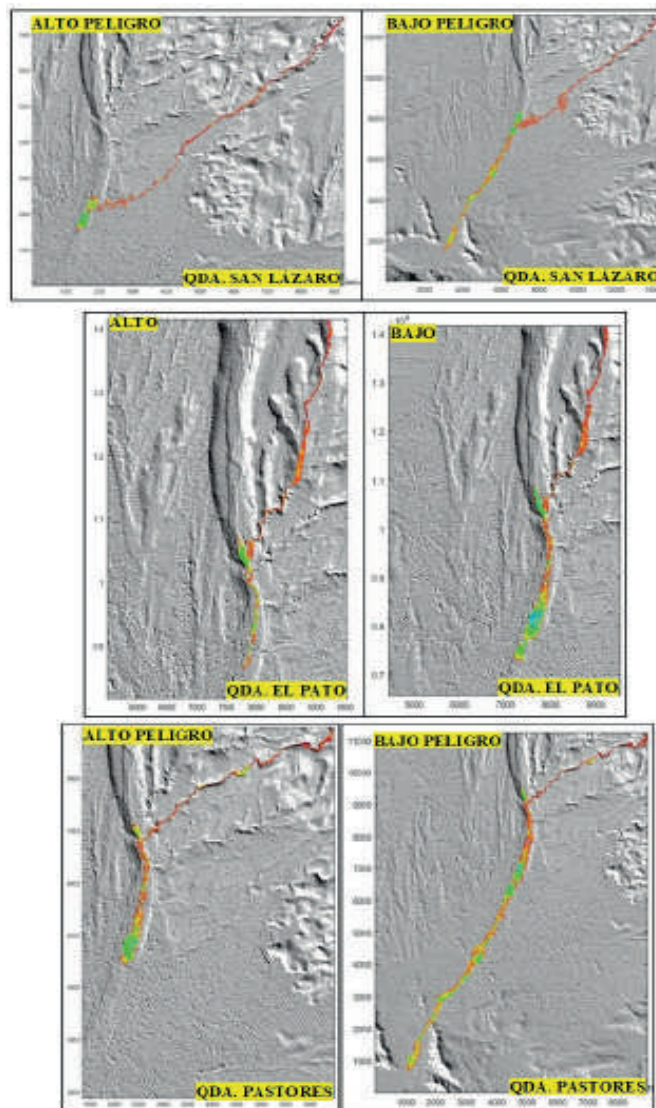


Fig. 2 Resultados de las simulaciones de lahares en las quebradas San Lázaro, El Pato y Pastores, para los escenarios de alto y bajo peligro, ubicadas al suroeste del volcán Misti.

CONCLUSIONES

- El uso del código VolcFlow permitió conocer las zonas de posible inundación, cuando ocurren lahares en las quebradas El Pato, Pastores y San Lázaro.
- La metodología aplicada para el cálculo de volumen de lahar, es una metodología que está dando resultados coherentes con la realidad, la cual puede aplicarse antes de un evento o después del evento para la evaluación de peligros por lahares.
- Los resultados de las simulaciones nos advierten zonas de posible inundación, lo cual permitirán una mejora en la delimitación de las zonas de peligrosidad, para el mapa de peligros por lahares del volcán Misti.

REFERENCIAS

- Cacya, L.; P. Meza; V. Carlotto & L. Mamani. 2013. Aluvión del 8 de febrero del 2013 en la ciudad de Arequipa. Foro internacional Peligros geológicos, Arequipa, 14-16.
- Ettinger, S., et al. Building vulnerability to hydro-geomorphic hazards: Estimating damage probability from qualitative vulnerability assessment using logistic regression. *J. Hydrol.* (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.04.017>
- Fernández, J. & A. Benites. 2001. Estudio: Inundaciones en la localidad de Arequipa ocasionadas por el ingreso de las torrenteras. INDECI. 53 p.
- 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, 25 pp.
- Kelfoun, K. (2009). VolcFlow Simulation of Volcanic Flows. Available online at: http://www.wobs.univ-bpclermont.fr/lmv/perso/Kelfoun_Karim/VolcFlow/VolcFlow.html
- Lowe, Donald R., Stanley N. Williams, Henry Leigh, Charles B. Connort, J. Bruce Gemmill, and Richard E. Stoiber. "Lahars Initiated by the 13 November 1985 Eruption of Nevado Del Ruiz, Colombia," 1986. <http://www.nature.com/nature/journal/v324/n6092/abs/324051a0.html>.
- 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. et al. 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 (2015). <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., Magille C. Ollierd C., 2020. Lahars and debris flows: Characteristics and impacts. *Earth- Science Reviews*. doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.103003
- 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.