

Estudio de la erupción del volcán Huaynaputina del año 1600 d.C. Características de la erupción e impacto en poblaciones y el clima

K. Cueva¹, Jersy Mariño¹, Carla Arias¹, Juan Cuno¹, Andy Ancalle¹ y Andrés Ticse¹

¹ Observatorio Vulcanológico del INGEMMET, Yanahuara, Arequipa, Perú

Palabras clave: Huaynaputina, pliniana, IEV, caídas, tefro-estratigrafía

INTRODUCCIÓN

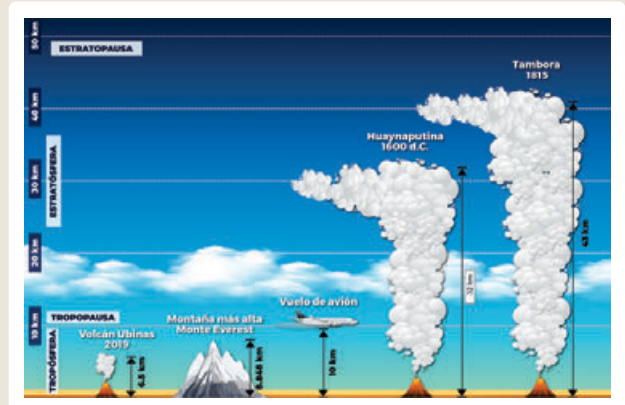
En el año de 1600 d.C. el volcán Huaynaputina (Fig. 1) ubicado en la provincia General Sánchez Cerro, al extremo norte de la región de Moquegua en el sur del Perú (8162195N, 302187E, 4860 msnm), presentó una erupción pliniana, considerada actualmente como la más grande de Sudamérica ocurrida en tiempos históricos en los Andes (Thouret et al. 1999, 2002; Adams et al. 2001). Según la tefroestratigrafía de la caída pliniana, esta erupción tuvo un volumen de 13-14 km³, 32 km (Fig. 2) e Índice de Explosividad Volcánica IEV 6 (Thouret et al. 1999, 2002; Adams et al. 2001, Prival et al. 2020), provocando efectos en el clima global y regional.



► Fig. 1 - Cráter del volcán Huaynaputina después de la erupción de 1600 d.C.

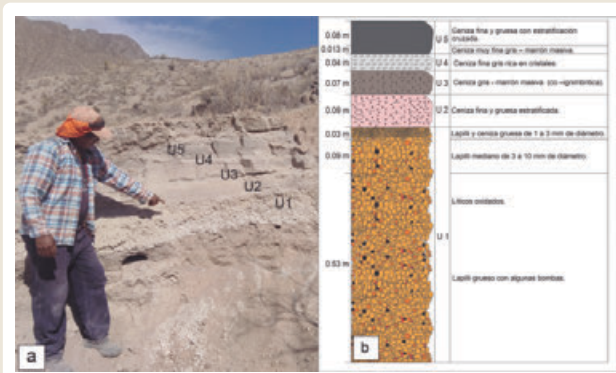
Trabajos multidisciplinarios de tefroestratigrafía, prospección geofísica y fotogrametría, han permitido conocer las características de 6 pueblos sepultados por la erupción: Estagagache, Calicanto, Chimpapampa, Moro Moro, San Juan de Dios y Cojraque (Fig. 3 y 4). A esta investigación se suman trabajos de comunicación

con Comunidades realizados en el periodo de 2015-2019 a los pueblos actuales que residen en las inmediaciones del volcán Huaynaputina. Es importante resaltar los beneficios de esta erupción con respecto a la importancia de la valoración del patrimonio natural y cultural, que se puede utilizar con fines geoturísticos (Mariño et al. 2021).



► Fig. 2 - Altura de la columna eruptiva de la erupción del volcán Huaynaputina del año 1600 d. C., comparada con la de los volcanes Tambora (1815); Monte Santa Elena (1980) y Ubinas (2019). (compilado de Prival et al. 2020; Thouret et al. 2002; OVI, 2019).

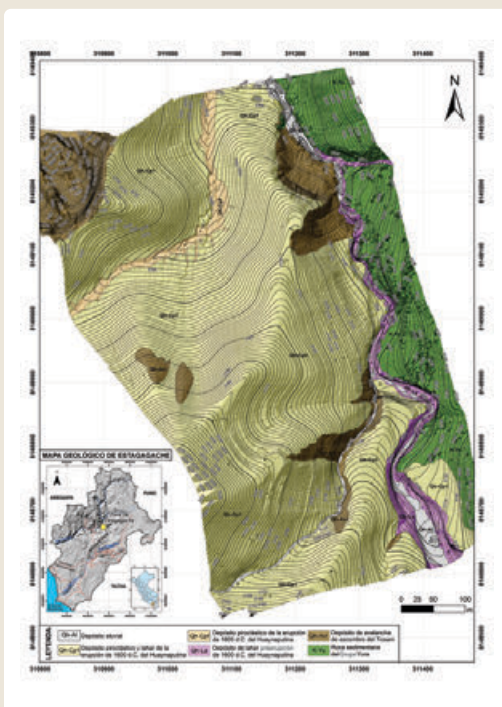
El estudio de la erupción de 1600 d. C. del volcán Huaynaputina es producto de un Proyecto del Ingemmet y el convenio de cofinanciamiento 015-2017 Fondecyt, con la participación de varias instituciones: La Universidad de Clermont-Auvergne, el Laboratorio de Magma y Volcanes, el Instituto de Investigación para el Desarrollo IRD, la Universidad de la Reunión, etc.



► Fig. 5 - Depósitos piroclásticos en la zona de Estagagache. a) Fotografía de los depósitos; b) Columna tefroestratigráfica. Tomado de Mariño et al. 2021.

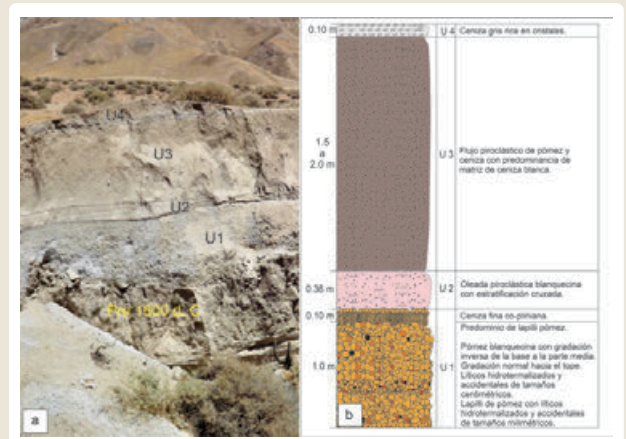
de pómez, flujos piroclásticos densos y canalizados de 2 a 6 m de espesor, que cubrieron las viviendas, además de lahares de espesores métricos que se movilizaron por las quebradas que descienden del volcán (Fig. 7).

En Chimpapampa, a 16 km del volcán se encontraron estructuras circulares de 9.5 m de diámetro, con paredes de piedra que poseen alrededor de 0.75 m de ancho y 1 m de altura. Estas estructuras fueron totalmente cubiertas por depósitos de la caída Pliniana y posiblemente por oleadas piroclásticas que luego fueron erosionadas (Mariño et al. 2021).



► Fig. 6 - Mapa geológico de la zona de Estagagache al Sureste del volcán Huaynaputina (Cueva et al. 2022).

El pueblo Inca Calicanto se encuentra situado a 13 km al sur del cráter del volcán Huaynaputina, en una planicie ubicada en la margen izquierda de la quebrada El Volcán (Fig. 4). Prevalece la caída Pliniana



► Fig. 7 - Afloramiento del pueblo Calicanto al sur del volcán Huaynaputina.

Las ruinas de Moro Moro se encuentran ubicadas a 21 km al SW del cráter del volcán Huaynaputina. Se han encontrado estructuras rectangulares, corrales o viviendas cubiertas por caídas de tefras, sin depósitos de flujos piroclásticos. La caída de lapilli pómez provocó el colapso de los techos de las viviendas y los cubrió casi por completo.

Cojraque ubicado a 12 km suroeste del Huaynaputina, se han identificado paredes de piedra con mortero de barro, con formas rectangulares, los cuales se encuentran cubiertos con depósitos de caída de más de 2 m de espesor, flujos piroclásticos más finos y poco densos de hasta 1 m, los cuales terminaron por destruir y sepultar la poca infraestructura que quedo.

Comunicación y difusión

Con el objetivo de dar a conocer a las poblaciones locales (Quinistaquillas y Omate) y autoridades regionales (Moquegua y Arequipa) los recursos geoturísticos, se implementaron trabajos de educación, difusión y sensibilización entre los años 2015 y 2019 (Macedo et al. 2016; Thouret-Pina et al. 2018). Reuniones de trabajo, charlas y talleres de capacitación a profesores y alumnos de Instituciones Educativas, a pobladores locales, operadores y guías de turismo, difusión de los trabajos a través de radio y televisión, elaboración de materiales de difusión, como afiches, trípticos y posters.

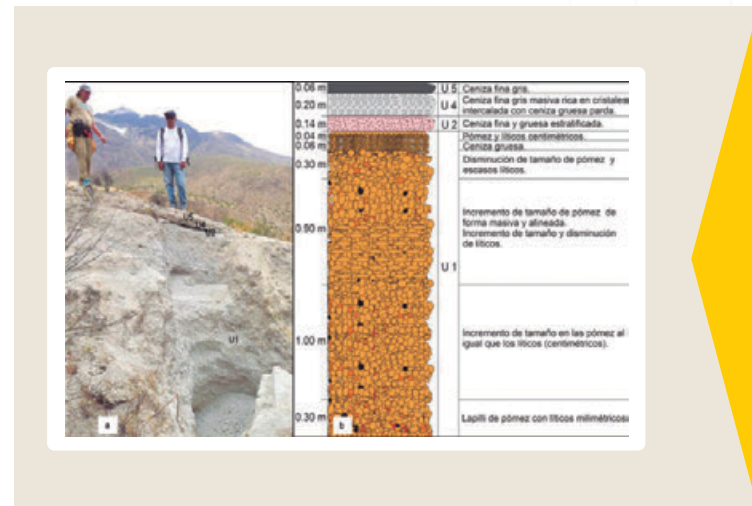
Comentarios finales

La erupción del Huaynaputina modificó la geografía de la zona, donde se emplazaron voluminosos depósitos de caídas y flujos piroclásticos. Los estudios multidisciplinarios realizados, han permitido conocer mejor las características de seis pueblos Incas, destruidos por la erupción, los cuales estuvieron ubicados en el flanco suroeste, sureste, sur y noroeste del cráter del volcán Huaynaputina. Gracias a diferentes herramientas se identificaron importantes infraestructuras, cubiertos por tefras y flujos piroclásticos, como paredes de viviendas, corrales, canales de agua, caminos y andenes.

Se han elaborado los mapas geológicos de Calicanto, Chimpapampa y Estagagache a escalas 1:2000, 1:3000 y 1:2500. El depósito de caída pliniana presenta espesores entre 1 m a 3 m en estos pueblos, mientras que los depósitos de flujos piroclásticos llegan hasta 6 m. Se utilizaron varios métodos geofísicos para investigar estructuras potenciales e identificar ruinas (muros, andenes, corrales, etc.). Con el uso de la Fotogrametría con drones (Phantom 3 y 4Pro), se obtuvieron Modelos de Elevación Digital (DEM) con resoluciones centimétricas, los cuales sirvieron como base para sobreponer los mapas geológicos y de prospección geofísica. Se pretende continuar trabajando con autoridades con miras a realizar excavaciones arqueológicas y proponer futuros geositos y museos de sitios. Además de realizar el mapa de peligros volcánicos del Huaynaputina en beneficio de la sociedad.



► Fig. 8 Orto-mosaico del sector de Moro Moro. a) Fotografía de los muros de viviendas y corrales; b) Calicata que muestra el depósito de caída y parte de un muro de 0.7 m de piedra de una vivienda. Tomado de Mariño et al., 2021).



► Fig. 9 Depósitos piroclásticos en el sector de Cojraque. a) Fotografía de los depósitos que en total posee alrededor de 3 m de espesor; b) Columna estratigráfica de los depósitos.

REFERENCIAS

- ▶ Adams N, de Silva S, Self S, Salas G, Schubring S, Permenter J, Arbesman K (2001). The physical volcanology of the 1600 eruption of Huaynaputina, Southern Peru. *Bull Volcanol.* Volumen 62:493–518. <https://doi.org/10.1007/s00444-000-105>.
- ▶ Antoine R, Macedo L, Finizola A, Delcher E, Thouret J-C, Fauchard C et al (2018). The Huayruro Project: mapping the Calicanto Inca area buried by the A.D. 1600 Huaynaputina eruption, with geophysical imaging and remote sensing. *Cities on Volcanoes 10*, 2–7 September 2018. Napoli, Italy.
- ▶ Arias C (2021). Recursos geoturísticos generados a partir del impacto de la erupción del volcán Huaynaputina del año 1600 d.C. como patrimonio geológico. Tesis de ingeniero geólogo. Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú, 225 p
- ▶ Cueva K.; Mariño J.; Japura S.; Sánchez N.; Arias C.; Ramos D.; Lazarte I.; Macedo L.; Carpio J.; Pari W. & Huilca J. (2022). Estudio de la erupción del volcán Huaynaputina del año 1600 d. C.: Características de la erupción e impacto en poblaciones y el clima. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, xx, 173 p.
- ▶ Finizola A, Macedo L, Antoine R, Thouret J-C, Delcher E, Bacri C, Fauchard C, Gusset R, Japura S, Lazarte I, Marino J, Normier A, Ramos D, Saintenoy T, Thouret L, Del Carpio J, Puma N, Macedo O (2018). Physical impacts of the CE 1600 Huaynaputina eruption on the local hábitat: geophysical insights. *Hazard and risk mapping. The Arequipa El Misti case and other threatened cities.* Presses Universitaires Blaise Pascal, Territoires H.S. 1, pp 105–110.
- ▶ Japura S (2018). Estudio estratigráfico y sedimentológico del depósito de caída pliniana de la erupción del volcán Huaynaputina del año 1600 d.C. Tesis de Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, 192 p.
- ▶ Labazuy P, Donnadiou F, Thouret J-C, Ramos D, Marinon J, Sanchez N, Lazarte I, Japura S (2018). Physical impacts of the AD 1600 Huaynaputina VEI 6 eruption on habitat and infrastructure, southern Peru: geophysical insights from the Huayruro project. *Cities on Volcanoes 10*, 2–7 September 2018. Napoli, Italy.
- ▶ Macedo L, Thouret-Pina L, Carrasco B (2016). Implementing an outreach and training program for reducing the volcanic risk at Huaynaputina volcano, Perú. *Cities on Volcanoes 9*, 25 November 2016. Puerto Varas, Chile.
- ▶ Mariño J, Cueva K, Thouret J-C, Arias C, Finizola A, Antoine R, Delcher E, Fauchard C, Donnadiou F, Labazuy P, Japura S, Gusset R, Sanchez P, Ramos D, Macedo L, Lazarte I, Thouret L, Del Carpio J, Jaime L, Saintenoy T (2021). Multidisciplinary study of the impacts of the 1600 CE Huaynaputina eruption and a project for geosites and Geo-Touristic attractions. *The European Association for Conservation of the Geological Heoheritage.*
- ▶ Prival JM, Thouret J-C, Japura S, Gurioli L, Bonadonna C, Mariño J, Cueva K (2020). New insights into eruption source parameters of the 1600 CE Huaynaputina Plinian eruption. *Peru. Bull Volcanol.* 82:7. <https://doi.org/10.1007/s00445-019-1340-7>.
- ▶ Stoffel M.; Khodri M.; Corona C.; Guillet S.; Poulain V.; Bekki S.; Guiot J.; Luckman B.; Oppenheimer C.; Lebas N.; Beniston M.; Masson-Delmotte V, (2015). Estimates of volcanic-induced cooling in the Northern Hemisphere over the past 1,500 years. *Nature Geoscience.*
- ▶ Thouret J-C, Davila J, Eissen JP (1999). Largest explosive eruption in historical times in the Andes at Huaynaputina volcano 1600 CE, southern Peru. *Geology* 27(5):435–438. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1999\)027%3c0435:LEEIHT%3e2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1999)027%3c0435:LEEIHT%3e2.3.CO;2).
- ▶ Thouret J-C, Juvigné E, Gourgau A, Boivin P, Dávila J (2002). Reconstruction of the 1600 CE explosive eruption at Huaynaputina volcano, Peru, based on geologic evidence and spanish chronicles. *J.*
- ▶ Thouret-Pina L, Carrasco B, Callo Paye G, Sardón L, Macedo L, Thouret J-C (2018). The educational program of the “Huayruro” project: increasing knowledge and risk perception amongst children living around the Huaynaputina volcano, south Peru. *Hazard and risk mapping. The Arequipa El Misti case and other threatened cities.* Presses Universitaires Blaise Pascal, Territoires H.S. 1, pp 111–116.