

Señales de infrasonido asociadas a la actividad superficial en el volcán Sabancaya

Rosa Ancasi, Mayra Ortega, Vídel Chávez, Rafael Miranda, Albert Ramos

¹ Observatorio Vulcanológico de INGEMMET, Barrio magisterial 2B-16 Yanahuara, Arequipa, Perú (autonomodgar06@ingemmet.gob.pe)

Palabras clave: Infrasonido, señales sísmicas, volcán Sabancaya, emisiones, domo de lava.

INTRODUCCIÓN

Los volcanes producen sonidos en un amplio espectro, incluidas fuertes explosiones al final del rango de infrasonidos (0,1 Hz a 20-30 Hz) y pequeñas fumarolas en el rango audible. Los sonidos audibles en el volcán son apenas una pequeña parte de la verdadera energía que puede emitir a frecuencias infrasónicas, las cuales pueden ser propagadas varios kilómetros desde su fuente de origen sin disipación o difusión importantes (Paz, C., 2015). El infrasonido está íntimamente ligado al proceso de fragmentación del magma (rápida expansión de la mezcla gas-partícula dentro del conducto) y, en consecuencia, es relacionado con el dinamismo e intensidad eruptiva (Ripepe, M. et al., 2013, Johnson and Ripepe., 2011).

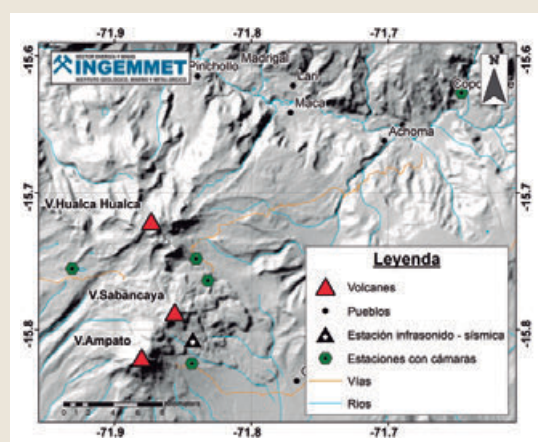
El volcán Sabancaya, se encuentra localizado en el sur del Perú, región de Arequipa y provincia de Caylloma

(Fig. 1). Ha tenido por lo menos 3 erupciones durante la época histórica, en los años 1750, 1784 d.C. y la última entre 1987 y 1998, clasificándose a esta erupción como tipo Vulcaniana (Thouret et al., 1994). Actualmente se encuentra en proceso eruptivo desde noviembre del 2016, caracterizándose por la ocurrencia de explosiones acompañadas de emisiones de ceniza y proyectiles balísticos.

En el presente trabajo se muestra la caracterización de las señales de infrasonido registradas en el volcán Sabancaya entre febrero y julio del 2022. Así mismo, se describe su correlación con la energía volcánica irradiada proporcionada por el sistema MIROVA, datos sismo-volcánicos y parámetros de las emisiones de ceniza medidas por las cámaras de video-vigilancia instaladas por el Observatorio Vulcanológico del INGEMMET-OVI.



► Fig. 1 - Mapa de ubicación del volcán Sabancaya.



► Fig. 2 - Ubicación de la estación de infrasonido - sísmica (ISB01) y estaciones con cámaras de video-vigilancia óptica (SMUC, SHUA, SIRH, SCOP y SAMP) instaladas en el volcán Sabancaya.

1. Instrumentación

El volcán Sabancaya está compuesta por una estación de infrasonido denominada ISB01 ubicada a 2.6 km al sureste del cráter, la cual cuenta con transmisión en tiempo real (Fig. 2). Esta estación contiene un digitalizador, un sensor de infrasonido y un sismómetro vertical (ambos con una tasa de muestro de 100 Hz) marca Raspberry Shake & Boom, GPS (que provee la corrección de la hora) y accesorios.

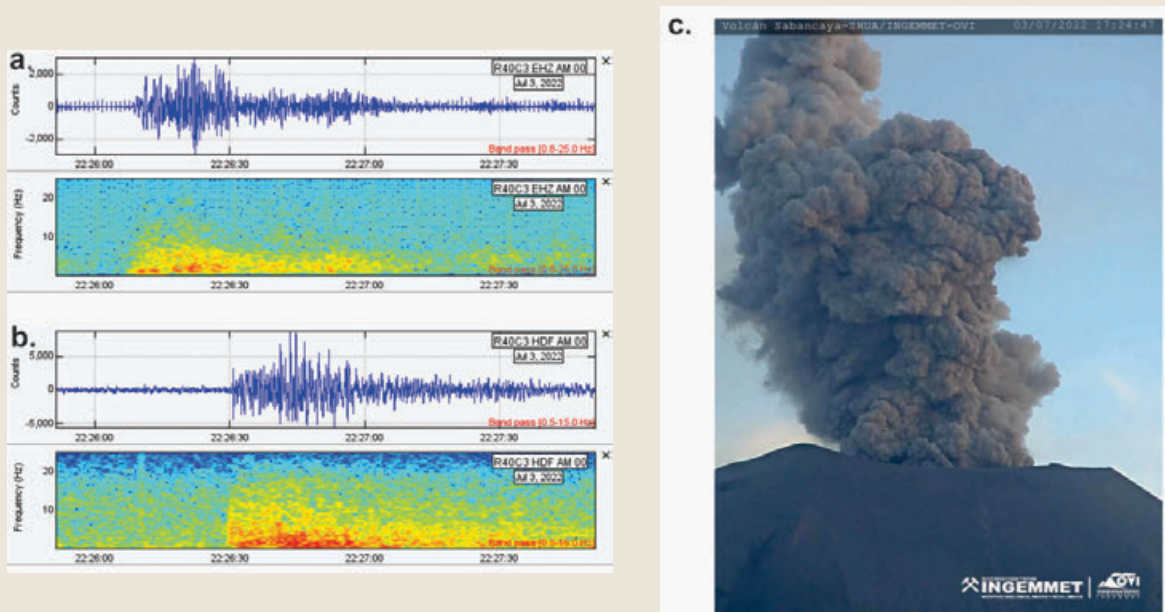
Además, la red de monitoreo volcánico está constituida por 05 estaciones con cámaras de video-vigilancia óptica (SMUC, SHUA, SIRH, SCOP y SAMP) de marca AXIS, ubicadas entre 4 y 29 km al noroeste, noreste y sureste respecto al cráter del volcán.

2. Señales de infrasonido en el volcán Sabancaya

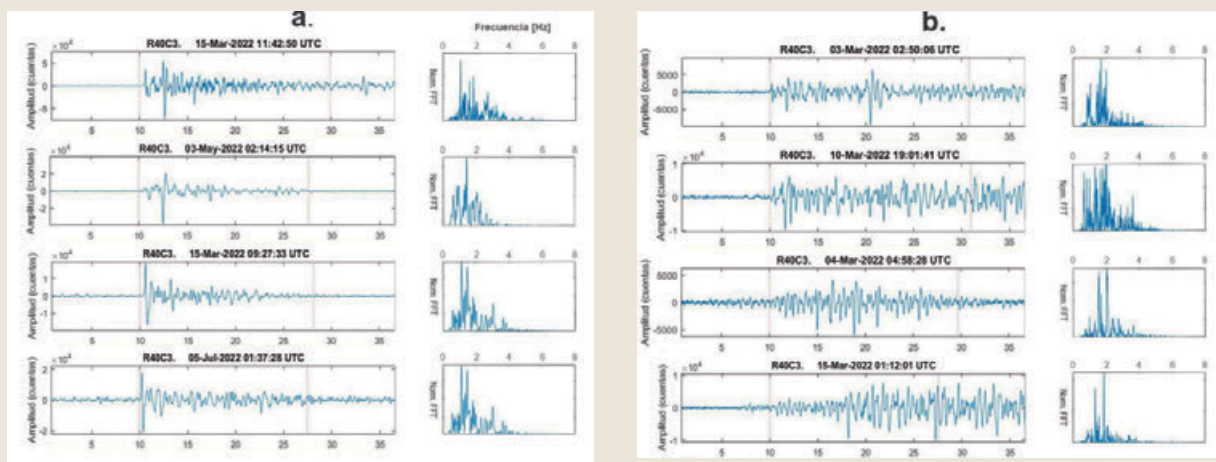
Cabe recordar que la propagación del infrasonido a distancias locales de los volcanes (<10 km) está influenciada principalmente por el viento, el cual contiene una banda de frecuencias de 0,01 a 5 Hz

(Walker y Hedlin, 2010); y las interacciones con la topografía volcánica. (e.g., Fee and Garcés., 2007; Marcillo and Johnson, 2010; Matoza et al., 2009; Johnson et al., 2012; Lacanna et al., 2014; Kim et al., 2018), los cuales pueden difractar, reflejar e incluso bloquear la señal.

En el caso del volcán Sabancaya, aproximadamente el 50% de las explosiones fueron registradas claramente a pesar de los fuertes vientos en los alrededores del volcán. La identificación de las señales de infrasonido se logró con ayuda de las señales sísmicas y registros de las cámaras de video-vigilancia volcánica (Fig. 2), los cuales fueron asociadas a explosiones acompañadas de emisiones de ceniza y gases volcánicos (Fig. 3). Entre febrero y julio del 2022 se lograron identificar más de 1600 señales de infrasonido asociadas a la actividad explosiva del volcán. En la Fig. 4, se muestran dos subtipos de señales registradas, el primero con inicios impulsivos asociado a explosiones discretas (Fig. 4a) y el segundo con inicios emergentes y duración sostenida, asociada a explosiones seguidas de tremor (Fig. 4b).

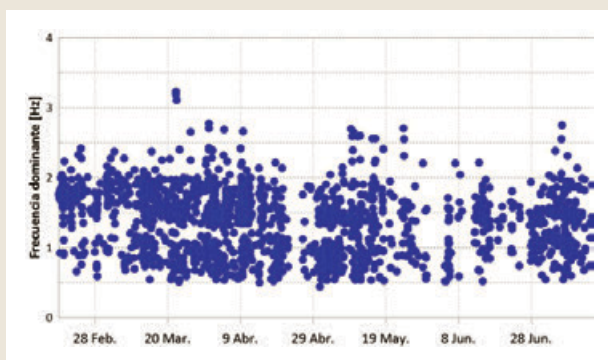


► Fig. 3 – Explosión registrada el 03 de julio del 2022 en la estación ISB01 del volcán Sabancaya; a. Señal sísmica (forma de onda y espectrograma); b. Señal de infrasonido (forma de onda y espectrograma); y c. Registro de imagen cámara SHUA (ubicada a 4.6 km del volcán).



► Fig. 4 – Señales de infrasonidos registradas en el volcán Sabancaya. a. Explosiones discretas; b. Explosiones con tremor.

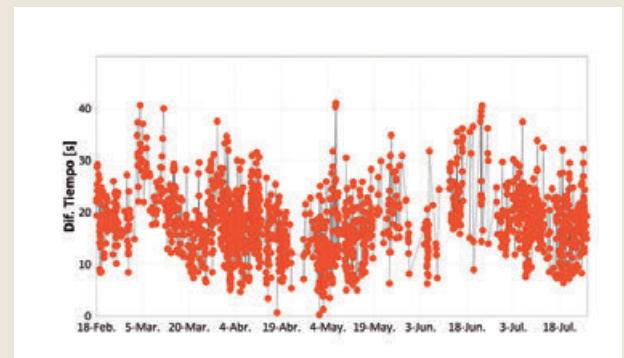
El rango de frecuencias de las señales de infrasonido estuvo entre 0.4 y 3.2 Hz (Fig. 5), los cuales concuerdan con Johnson y Ronan (2015), que indican que las explosiones volcánicas poseen frecuencias < 7 Hz.



► Fig. 5 – Frecuencias dominantes de señales de infrasonido registradas en el volcán Sabancaya.

Adicionalmente, la diferencia de las primeras llegadas entre las señales sísmicas y de infrasonido variaron principalmente entre 5 y 30 segundos. Estos valores son muy altos considerando una velocidad de propagación del sonido de 340 m/s a temperatura ambiente de 25 °C, sin embargo, las condiciones atmosféricas en los alrededores del volcán Sabancaya son bastantes agrestes debido a las altas velocidades de viento que pueden llegar hasta los 15 m/s con un promedio de 8 m/s, así como, las temperaturas que pueden registrarse < 0 °C. Las condiciones atmosféricas pueden explicar parte de la variación en el tiempo, sin embargo, también

pueden ser producto de cambios en la ruta de propagación de las señales entre explosiones (Iezzi et al., 2020). Se puede apreciar una disminución en la diferencia de tiempo entre finales de abril y mayo, lo que posiblemente indica que la fuente de generación de las explosiones fue más superficial (Fig. 6).



► Fig. 6 – Diferencia de tiempos de llegada de señales sísmicas y de infrasonido (ISB01).

3. Dinámica explosiva mediante señales de infrasonido

En el volcán Sabancaya se ha podido identificar el emplazamiento y destrucción de 5 domos de lava desde inicios del 2017, los cuales han sido denominados huk, iskay, kimsa, tawa y pichqa que significa uno, dos, tres, cuatro y cinco en idioma quechua (Informe técnico anual del volcán Sabancaya, 2021; Reporte Vulcanológico RMV-SAB-088-2022/DGAR-INGEMMET). Cabe indicar que el emplazamiento de

domos de lava en sistemas vulcanianos afecta la presurización en el sistema de conductos poco profundos (Clarke et al., 2015) y, por lo tanto, influye en el proceso de explosión.

Entre febrero y julio del 2022 se registró en el volcán Sabancaya entre 30 y 50 explosiones por día, las cuales fueron acompañadas de ceniza, gases volcánicos y algunos proyectiles balísticos.

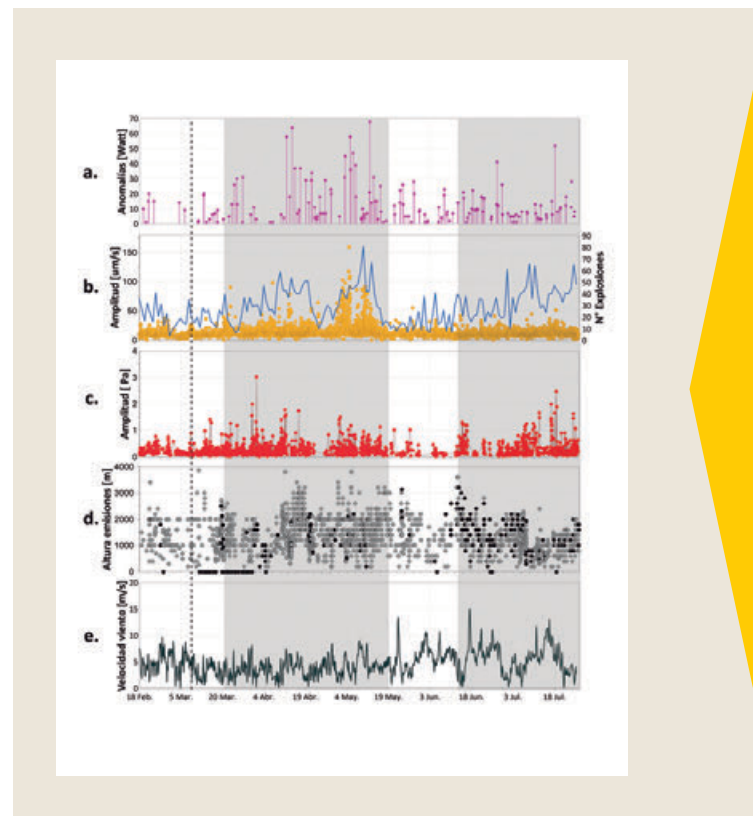
En la Fig. 7 se muestra la correlación de datos de infrasonido y parámetros de monitoreo volcánico registrados en el volcán Sabancaya entre febrero y julio del 2022. Se observaron 2 periodos de incremento en la amplitud de las señales de infrasonido:

Antes de describir los periodos, indicaremos que entre el 22 de mayo y 27 de julio se registraron valores altos en las velocidades del viento (máx. 13.4 m/s), lo cual dificultó la identificación adecuada de las señales de infrasonido (Fig. 7).

Período 22 de marzo y 17 de mayo: En este periodo se registró un incremento en la amplitud de las señales sísmicas (asociadas a las explosiones), así como su número con un máximo de 81 explosiones el 10 de mayo. Se identificó valores altos en la energía volcánica irradiada (anomalías en MIROVA), registrándose hasta 70 Mw. Lo antes descrito indicaría la presencia de volúmenes importantes de magma cercanos a la superficie, producto de los pulsos de intrusión magmática (provenientes del reservorio magmático ubicado por debajo del volcán Hualca Hualca, Boixart et al., 2020) registrados el 15 de marzo (línea negra entrecortada en Fig. 7). Durante este periodo también se confirmó el emplazamiento del quinto domo de lava denominado pichqa (que significa cinco en idioma quechua). Las emisiones de ceniza (producto de las explosiones) y sus alturas fueron notables, llegando a observar hasta los 4000 m sobre el cráter. Finalmente, las amplitudes altas en las señales de infrasonido estarían también relacionadas al magma cerca de la superficie, y la salida de material volcánico (ceniza y gases volcánicos) indicando así, que el domo de lava emplazado sería permeable.

Período 12 de junio - 15 de julio

Después del 17 de mayo, muchos de los valores de los distintos parámetros decayeron y no mostraron



► Fig. 7 - a. Energía volcánica irradiada (MIROVA); b. Amplitud sísmica en $\mu\text{m/s}$ (ISB01) y N° de explosiones; c. Amplitud de señales de infrasonido en Pa (ISB01); d. Altura de emisiones de ceniza medida mediante las cámaras (SMUC, SHUA, SIRH, SCOP y SAMP); y e. Velocidad del viento a 4900 m.s.n.m según el modelo del NOAA (Laboratorio Oceanográfico y Meteorológico del Atlántico).

cambios, lo cual se asoció a una estabilidad en el crecimiento del domo de lava.

En el presente período, observamos que las amplitudes de las señales de infrasonido se incrementaron nuevamente, por el contrario, no se observó tal incremento en la amplitud de las señales sísmicas, pero sí en la cantidad de las explosiones y mayor contenido de ceniza en las emisiones (información obtenida mediante la red de monitoreo volcánico del OVI). Por las características de los parámetros de monitoreo, se indicó que el 19 de junio se inició un proceso de destrucción parcial del domo de lava, lo cual es concordante con los cambios descritos anteriormente, ya que al producirse la destrucción del domo de lava se crearon nuevos agrietamientos que permitieron la salida de las emisiones, aunque hayan sido de poca energía debido a la pérdida de magma cercano a la superficie.

CONCLUSIONES

El Observatorio Vulcanológico del INGEMMET implementó una estación de infrasonido – sísmica denominada ISB01 localizada a 2.6 km al sureste del volcán Sabancaya, la cual sirvió para la identificación y caracterización de señales de infrasonido asociadas a la actividad explosiva del volcán. Se observó periodos de incremento relacionados al emplazamiento y destrucción del quinto domo de lava denominado pichqa. Así mismo, la variación de la diferencia de los primeros arribos de las señales sísmicas e infrasonido, indicarían cambios en la ruta de propagación o conducto, sumado a la influencia de las condiciones atmosféricas de la zona.

Dentro de la perspectiva de trabajos a futuro, está la implementación del programa VolcanStudio (desarrollado por el Servicio Geológico Colombiano) para el procesamiento en tiempo real de señales de infrasonido mediante correlogramas, así mismo, el cálculo de VARS (Volcano Acoustic Seismic Ratio) y la estimación de la profundidad de la fuente de generación de explosiones.

REFERENCIAS

- ▶ Boixart, G., Cruz, L., Miranda, R., Euillades, P., Euillades, L., Battaglia, M. (2020). Source model for Sabancaya volcano constrained by dInSAR and GNSS surface Deformation Observation. *Remote Sensing* 12:1852. <https://doi.org/10.3390/rs12111852>.
- ▶ Clarke, A. B., Esposti Ongaro, T., Belousov, A. (2015). Vulcanian eruptions. *Encycl. Volcanoes*. 10, 505-518. doi:10.1016/b978-0-12-385938-9.00028-6.
- ▶ Fee, D., Garcés, M. (2007). Infrasonic tremor in the diffraction zone. *Geophys. Res. Lett.* 34, L16826. doi:10.1029/2007GL030616
- ▶ Iezzi, A., Fee, D., Haney, M., Lyons, J. (2020). Seismo-Acoustic Characterization of Mount Cleveland Volcano Explosions. *Front. Earth Sci.* 8:573368. doi: 10.3389/feart.2020.573368.
- ▶ Johnson, J.B., Ripepe, M. (2011). Volcano infrasound: a review. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 206(3-4), 61-69.
- ▶ Johnson, J.B., Anderson, J., Marcillo, O., Arrowsmith, S. (2012). Probing local wind and temperature structure using infrasound from Volcan Villarrica (Chile). *J. Geophys. Res. Atmospheres* 117, D17107. doi:10.1029/2012JD017694.
- ▶ Johnson, J.B., Ronan, T.J. (2015). Infrasound from volcanic rockfalls. *J. Geophys. Res. Solid Earth* 120, 2015JB012436. doi:10.1002/2015JB012436.
- ▶ Kim, K., Rodgers, A., Seastrand, D. 2018. Local infrasound variability related to in situ atmospheric observation. *Geophys. Res. Lett.*, 45, doi: 10.1002/2018GL077124.
- ▶ Lacanna, G., Ichihara, M., Iwakuni, M., Takeo, M., Iguchi, M., Ripepe, M. (2014). Influence of atmospheric structure and topography on infrasonic wave propagation. *J. Geophys. Res. Solid Earth* 119, 2988-3005. doi:10.1002/2013JB010827.

- ▶ Ripepe, M., Bonadonna, C., Folch, A., Delle Donne, D., Lacanna, G., Marchetti, E., Hoskuldsson, A. (2013). Ash-plume dynamics and eruption source parameters by infrasound and thermal imagery: The 2010 Eyjafjallajökull eruption. *Earth and Planetary Science Letters* 112 – 121.
- ▶ Marcillo, O., Johnson, J.B. (2010). Tracking near-surface atmospheric conditions using an infrasound network. *J. Acoust. Soc. Am.* 128, EL14–EL19. doi:10.1121/1.3442725.
- ▶ Matoza, R., Fee, D., Garcés, M., Seiner, J.M., Ramón, P., Hedlin, M. (2009). Infrasonic jet noise from volcanic eruptions. *Geophysical Research Letters*, 36(8). doi: 10.1029/2008gl036486.
- ▶ Paz, C. (2015). Modelo experimental de la dinámica de estallido y emisión acústica en volcanes. Tesis para optar al título de doctor en ciencias mención física. Universidad de Santiago de Chile.
- ▶ Thouret, J.-C., Guillaude, R., Huamán, D., Gourgaud, A., Salas, G., Chorowicz, J. (1994). The current activity of Nevado Sabancaya (South Peru): geological and satellite reconnaissance, assessment and mapping of volcanic.
- ▶ Walker, K.T., Hedlin, M.A. (2010). A review of wind-noise reduction methodologies, in: *Infrasound Monitoring for Atmospheric Studies*. Springer, pp. 141–182.