



Boletín de la Sociedad Geológica del Perú

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

Sismicidad precursora del proceso pre-eruptivo y eruptivo del volcán Sabancaya (2013-2018), Arequipa - Perú

José Torres¹, Nino Puma¹, José Del Carpio¹, Roger Machacca¹

¹Instituto Geofísico del Perú, Observatorio Vulcanológico del Sur, Mz B, Lt 19, Urb. La Marina, Cayma, Arequipa, Perú.

RESUMEN

Luego de más de 15 años de haber presentado su último proceso eruptivo, en 2013 el volcán Sabancaya registró un incremento de su actividad sísmica asociado a otros signos de intranquilidad volcánica que denotaban el camino hacia su próxima erupción. Posteriormente, en noviembre de 2016, el Sabancaya inició un nuevo proceso eruptivo que perdura hasta la actualidad. Respecto a la actividad sísmica pre-eruptiva, se destaca principalmente el registro de enjambres sísmicos de tipo Volcano-Tectónico (VT) observados en febrero y julio de 2013, y posteriormente, entre enero a agosto de 2015; también se registraron 3 explosiones freáticas ocurridas en agosto y noviembre de 2014, las cuales fueron precedidas por un incremento en el número y energía de sismos de tipo Largo Periodo e Híbridos. En agosto de 2016 se registró una nueva explosión freática y, poco antes del inicio de la erupción ocurrida el 6 de noviembre de 2016, se observó un incremento de sismos de tipo Híbrido. El trabajo de monitoreo sísmico durante la etapa pre-eruptiva y eruptiva fue complementado con observaciones visuales y mediciones de temperatura del cráter, mediante los cuales se registraron incrementos de las emisiones de vapor de agua y gases magmáticos y de la temperatura del cráter.

Palabras claves: Enjambre sísmico VT, Sismos Largo Periodo, Sismos Híbrido y Explosiones

ABSTRACT

After more than 15 years of having presented its

last eruptive process, the Sabancaya volcano registered an increase in its seismic activity in 2013 associated with other signs of volcanic unrest that denoted the path to its next eruption. Thus, in November 2016, the Sabancaya began a new eruptive process that continues to this day. Regarding pre-eruptive seismic activity, the record of seismic swarms of the Volcano-Tectonic type (VT) observed in February and July 2013 and, subsequently, between January and August 2015, stands out mainly. There were also 3 phreatic explosions that occurred in August and November 2014, which were preceded by an increase in the number and energy of Long-Period and Hybrid earthquakes. In August 2016, a new phreatic explosion was recorded and, shortly before the eruption that began on November 6, 2016, an increase in Hybrid-type earthquakes was observed. The seismic monitoring work carried out during the preeruptive and eruptive phase was complemented with visual observations and temperature measurements in the crater, through which increases in the emissions of water vapor and magmatic gases and in the temperature of the crater were recorded.

Keywords: VT seismic swarm, Long Period earthquakes, Hybrid earthquakes and Explosion

INTRODUCCIÓN

El volcán Sabancaya (15.7867°S; 71.8560°W; a 5960 m.s.n.m) está ubicado a 80 km al NO de la ciudad de Arequipa. Su última erupción ocurrió entre 1990 y 1998, la cual alcanzó un Índice de Explosividad Volcánica (IEV) de 3 (Siebert et al.,

2010). Quince años después, en febrero de 2013, el volcán mostró indicios de reactivación tras generar eventos sísmicos de moderada magnitud (hasta 5.2 ML) e incremento de sus emisiones fumarólicas (Jay et al., 2013; Macedo et al., 2013). Desde ese momento, la actividad incremento durante los siguientes años. Posteriormente, en noviembre de 2016 el volcán Sabancaya inició su proceso eruptivo, el mismo que continúa hasta la actualidad.

El Instituto Geofísico del Perú (IGP) mantiene operativa una red de monitoreo continuo en la zona del Sabancaya, gracias a ello, desde el 2013 se han detectado sismicidad en forma de enjambres o agrupamiento de sismos de tipo Volcano - Tectónico (VT). Según estudios de Wassermann (2012), los enjambres sísmicos (swarm) son una secuencia de sismos casi similares en magnitud. En la práctica, la diferencia entre la mayor magnitud de un evento y la segunda más grande de un enjambre es de 0.5 unidades de magnitud. Si esta diferencia es mayor se denomina como secuencia mainshock-aftershock (Zobin, 2012). Por lo general, en ambientes volcánicos la ocurrencia de intensa actividad sísmica en forma de enjambre, hace parte de signos precursores de una posible intrusión magmática (White & McCausland, 2016) y muchas veces son acompañadas por la deformación del edificio volcánico (Pritchard & Simons, 2002).

METODOLOGÍA Y DATOS

La información analizada comprende el periodo febrero 2013 a febrero 2018, adquirida por una red de estaciones sísmicas permanentes y temporales, administradas por el Instituto Geofísico del Perú. En efecto, a raíz de la intranquilidad observada en febrero de 2013, el IGP instaló temporalmente 9 estaciones sísmicas de banda ancha distribuidas entre 3 km y 22 km alrededor del volcán Sabancaya. A partir de marzo de 2013, paralelamente se fue implementando la red sísmica del Sabancaya (REDSAB), la cual transmite datos vía telemetría a la sede del IGP en Arequipa. La metodología de trabajo consistió en el análisis y clasificación de señales sismovolcánicas, así como en el cálculo de energía de los sismos de baja frecuencia (LP) e Híbridos utilizando la ecuación de Johnson & Aster (2005), además de la localización de sismos utilizando el algoritmo de Hypoellipse (Lahr, 1999). Asimismo, la información sísmica fue correlacionada con imágenes satelitales y observaciones de campo.

RESULTADOS Y INTERPRETACIÓN

Según el análisis realizado, el proceso eruptivo se dividió en dos etapas: (1) Etapa pre-eruptiva, que comprende un periodo de intranquilidad volcánica (I periodo) y un periodo de ocurrencia de enjambre sísmicos (II periodo). (2) Etapa eruptiva, en donde se observa el inicio de las explosiones magmáticas (III periodo).

Etapa pre-eruptiva (I periodo: febrero 2013 – diciembre 2013)

En febrero de 2013 el volcán Sabancaya inicia un estado de intranquilidad mostrando importante actividad sísmica, incremento de fumarolas y temperatura en el cráter. En relación a la sismicidad, se observaron 2 enjambres de sismos de tipo Volcano-Tectónico (VT): el primero ocurrido entre el 22 y 23 de febrero de 2013 (E1-círculos verdes, Zona A), localizado a 7 y 9 km al NE y SE del volcán y menos de 8 km de profundidad (Fig. 1). Mientras que el segundo enjambre ocurre entre el 16 y 17 de julio (E2-círculos rojos, Zona B), localizado a 15 km al NO del cráter, con profundidades cercanas a los 8 km (Fig. 1). Asimismo, durante este periodo se observó un ligero incremento en el número y la energía de los sismos de tipo Largo Periodo (LP) y sismos tipo Híbridos.

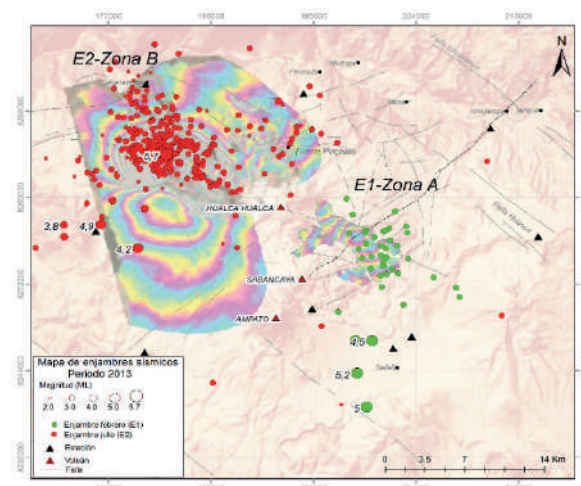


Figura 01.- Mapa de enjambres sísmicos registrados en febrero (E1-Zona A) y julio (E2-Zona B) de 2013, los cuales se correlacionan con la deformación del terreno.

En este I periodo pre-eruptivo, es probable que habrían ocurrido las primeras intrusiones de magma que habrían ocasionado la reactivación de fallas locales y posterior ocurrencia de sismicidad en forma de enjambres. Estos enjambres sísmicos, presentaron concordancia con la defor-

mación del terreno, observados mediante interferogramas de los periodos 14/01/2013-12/05/2013 y 12/05/2013-17/07/2013, obtenidos con la técnica InSAR (Jay et al., 2013). Posterior al enjambre de febrero 2013, la temperatura del cráter fue incrementándose levemente de 13° C a 31° C (24/03/2013), calculado mediante imágenes termales ASTER (Macedo et al., 2013) y, asimismo, en la zona del cráter se observó emisiones de fumarolas azulinas posiblemente asociado a gases magmáticos (Macedo et al., 2013; Jay et al., 2015).

Etapa pre-eruptiva (II periodo: enero 2014 – septiembre 2016)

Posterior a los enjambres observados en el I periodo, se registraron 3 explosiones confinadas (posibles explosiones freáticas), ocurridas el 9 de agosto 2014, 26 de agosto 2014, 11 de noviembre 2014, que generaron energías de 9083 Mega Joule (MJ), 1151MJ y 431MJ, respectivamente. En los meses siguientes, se registró un mayor número de enjambres, los cuales migraban con dirección hacia el volcán Sabancaya. Inicialmente estos estuvieron localizados a 16 km al noreste del cráter, y posteriormente en los meses de agosto 2015 y diciembre 2016 los enjambres se desarrollaron sobre el Sabancaya (Fig. 2). Entre enero y agosto de 2015, se registraron cinco enjambres (E3, E4, E5, E6 y E7), todos localizados en dirección NE del volcán, aunque a diferentes distancias con respecto al cráter. El enjambre E3 se observó en enero y estuvo localizado a 16 km; E4 se generó a 13 km y estuvo activo durante febrero. En junio, se registró el enjambre E5, ubicado a 10 km; y finalmente, E6 y E7 ocurrieron entre agosto y diciembre en un radio menor a 7 km del volcán. En relación a los sismos de tipo LP e Híbridos, estos se detectaron principalmente durante el periodo de activación de los 5 enjambres. En promedio, se registraron 1883 LP/mes y 129 HIB/mes. Asimismo, en 2016, se registraron dos agrupamientos de sismicidad VT de características mainshock-aftershock (T1 y T2). En febrero, se registró las agrupaciones T1 y en agosto, T2, localizados a 16 km y 25 km en dirección NE del cráter, respectivamente. La ocurrencia de sismos T1 y T2 se debería a la reactivación de fallas preexistentes que generaron sismos de magnitud 5.4 ML, el 20 de febrero y de 5.3 ML, el 15 de agosto de 2016. Los mecanismos focales calculados indican fallamiento de tipo normal con transcurrencia, y son concordantes con el sistema falla Ichupampa.

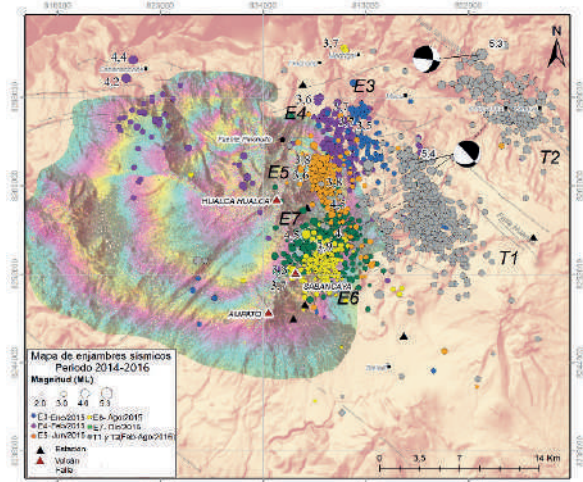


Figura 2.- Mapa de enjambres de sismos VT. Se observa la migración sísmica en dirección hacia el volcán Sabancaya de SE a S (círculos de colores). En color gris, la sismicidad VT, tipo mainshock-aftershock, con su mecanismo focal de tipo normal. Se observa una concordancia de enjambres con la deformación, calculada con la técnica InSAR.

Durante el II periodo, las intrusiones magmáticas habrían generado perturbación del sistema hidrotermal originando, como consecuencia, explosiones freáticas y una mayor ocurrencia de enjambres de sismos de tipo VT. Es preciso mencionar que dos meses antes al registro de las dos primeras explosiones, la actividad sísmica de tipo LP e Híbrido presentaron valores elevados (1295 LP/mes y 662 híbridos/mes). La fuente que se le atribuye a este tipo de sismicidad sería el ascenso de magma (Híbrido) y movimiento de fluidos magmáticos (LP).

En este periodo, en la zona del volcán Sabancaya ya se observaba una deformación positiva del terreno (inflación), el cual fue calculada con imágenes de radar del periodo 2/12/2015 a 21/12/2017 (Delgado et al., 2018). Asimismo, en abril de 2016 el IGP mediante inspección de campo habría observado nuevas zonas de fractura en el cono volcánico con emisiones fumarólicas, en un radio menor a 1 km, la mayoría de ellas ubicadas en los flancos NO, N, NE y SO.

Etapa eruptiva (III periodo: noviembre 2016 – febrero 2018)

Entre septiembre y octubre de 2018, el incremento de sismos de tipo LP y Híbrido asociados a movimiento de fluidos magmáticos se hizo muy notable, presentando promedios de 350 HIB/mes y

998 LP/mes. La energía generada por estos sismos (LP y HIB) fueron superior a los registrados en la Etapa I; con valores de hasta 200 MJ (2 y 6 de noviembre de 2016). En estas condiciones, el 7 de noviembre de 2016 (01:40 UTC) ocurre la primera explosión magmática del actual proceso eruptivo. Este evento generó una energía de 2.2MJ y es considerado como el comienzo de la fase explosiva, con la expulsión de grandes volúmenes de ceniza. Entre diciembre de 2016 y febrero de 2018, se ha registrado intensa actividad explosiva, observándose un pico máximo de 110 explosiones (18 de enero) (Fig. 03). Desde el inicio del proceso eruptivo, el promedio de explosiones ha disminuido de 67 a 25 explosiones por día. Asimismo, desde febrero de 2018 a marzo de 2019, el número de explosiones disminuyó de 50 EXP/día a 21 EXP/día.

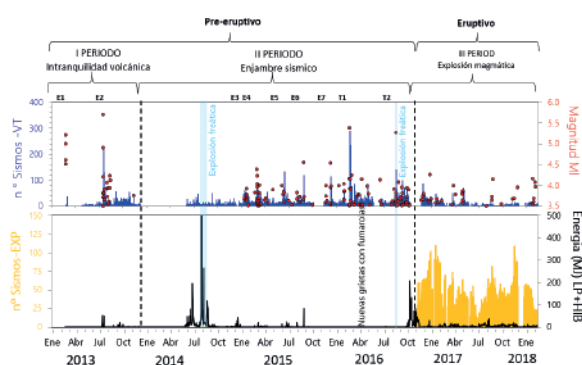


Figura 3.- Estadística mensual de sismos de tipo VT y Explosiones, del periodo febrero 2013 a enero 2018. Las barras azules representan sismos VT y las barras amarillas sismos asociados a Explosiones (EXP). La línea negra es la energía acumulada (LP + HIB). Los círculos rojos representan la magnitud de los sismos.

CONCLUSIONES Y DISCUSIONES

En el volcán Sabancaya, los enjambres fueron observados durante toda la etapa pre-eruptiva. El desarrollo en el tiempo y en el espacio de estos, ha permitido determinar el origen de su ocurrencia, la misma que estaría asociada a procesos de ruptura en zona de debilidad o fallas (Jay et al., 2015), incitado posiblemente por intrusiones magmáticas que habría generado incluso deformación en la superficie volcánica, las mismas que fueron evidenciadas mediante la técnica de InSAR (MacQueen et al., 2018). En relación a los sismos, Largo Periodo (LP) e Híbridos asociados al paso o movimiento de fluidos (agua, vapor de agua, gases y magma), previo a las explosiones (freáticas o magmáticas) se registraron con mayor número

y energía, lo cual muestran ser señales sísmicas precursoras de erupciones volcánicas. El análisis realizado muestra la existencia de tres periodos de actividad:

I PERÍODO de intranquilidad volcánica: durante el cual se registraron dos enjambres sísmicos: el primero ocurrido en febrero de 2013, en el que se registraron sismos de magnitudes M4.6, 5.2, 5.0, y el segundo en julio de 2013, con sismos de magnitudes: M5.9, 3.8, 4.9, 4.2, ubicados a 9 y 15 km del cráter y con profundidad de menos de 8 km. Ambos enjambres mostraron concordancia con la deformación del terreno observada con el método InSAR.

II PERÍODO con registro de enjambres sísmicos: caracterizado por la ocurrencia de 5 enjambres sísmicos registrados entre enero y diciembre de 2015, y distribuidos en direcciones noreste y noroeste del Sabancaya. En este período se detecta una amplia zona de deformación (inflación), probablemente provocada por el ascenso de magma que habría ocasionado la reactivación de fallas preexistentes.

III PERÍODO de explosión magmática: caracterizado por el registro de explosiones magmáticas del volcán Sabancaya ocurrido desde el 6 de noviembre, precedida por una importante actividad sísmica precursora y cambios en la actividad volcánica relacionados con la ocurrencia de importantes enjambres sísmicos, aumento de las emisiones fumarólicas y deformación superficial. La actividad importante fue observada desde noviembre de 2016 a febrero de 2018, con el registro de 50 explosiones (EXP) por día con un pico máximo de hasta 110 eventos explosivos (18/01/2017).

CONTRIBUCIONES TÉCNICAS Y CIENTÍFICAS

El Sabancaya es considerado el segundo volcán más activo del Perú después del volcán Ubinas (Thouret & Gerbe, 2004). Por lo tanto, identificar y estudiar las señales sísmicas precursoras y/o los cambios en la actividad volcánica contribuirá en el pronóstico de futuras erupciones del volcán Sabancaya.

AGRADECIMIENTOS

Al Observatorio Vulcanológico del Sur (OVS) del Instituto Geofísico del Perú (IGP), por haberme dado la confianza de utilizar los datos sísmicos y desarrollar el presente trabajo.

BIBLIOGRAFIA

Jay, J. A., Delgado, F. J., Torres, J. L., Pritchard, M. E., Macedo, O., & Aguilar, V. (2015). Deformation and seismicity near Sabancaya volcano, southern Peru, from 2002 to 2015. *Geophysical Research Letters*, 42(8), 2780-2788.

Johnson J.B. and Aster R.C. (2005). Relative partitioning of acoustic and seismic energy during strombolian eruptions *JVGR*, 148, 334-354.

Kochtitzky, W. H., Edwards, B. R., Enderlin, E. M., Marino, J., & Marinque, N. (2018). Improved estimates of glacier change rates at Nevado Coropuna Ice Cap, Peru. *Journal of Glaciology*, 64(244), 175-184.