



XVIII Congreso Peruano de Geología

EVOLUCIÓN DE LA ACTIVIDAD SISMO-VOLCÁNICA EN LA ZONA DEL VOLCÁN SABANCAYA (2013-2016)

Nino Puma ¹, José L Torres ¹, Orlando Macedo ¹, Riky Centeno ¹, José Del Carpio ¹, John Cruz ¹

¹ Observatorio Vulcanológico del Sur, Instituto Geofísico del Perú OVS-IGP, Urb. La Marina B-19 Cayma, Arequipa, Perú (npuma@igp.gob.pe)

1. Resumen

La sismicidad en la zona del volcán Sabancaya ha registrado un incremento notorio y sostenido, desde inicio de la intranquilidad en febrero de 2013. Según White (2011) la intrusión magmática genera transmisión de presión de fluidos, lo cual provoca la generación de eventos Volcano-Tectónicos lejos del cono volcánico, seguidamente eventos de largo periodo hasta la aparición eventual de eventos Híbridos y Tornillos. Durante el estudio se ha analizado la evolución de los eventos Sismo-Volcánicos, habiéndose registrado a la fecha dos explosiones confinadas (agosto de 2014). Este incremento ha sido también registrado en otros parámetros como: densidad de SO₂ y altura de las fumarolas.

Se ha observado que los eventos Volcano-Tectónicos fueron migrando desde 22 km en febrero de 2013 hasta menos de 6 km en el 2015 e inicios del 2016. En esos mismos años aparecieron en mayor número los eventos de largo Periodo, Tremores, Híbridos y Tornillos. Finalmente en febrero y marzo de 2016, los eventos Sismo-Volcánicos fueron disminuyendo.

La evolución de la actividad Sismo-Volcánica viene siguiendo los patrones indicados por White (2011) y si la intrusión magmática se diera con rapidez y en proporciones importantes, se podría llegar a un nuevo proceso eruptivo.

2. Introducción

El volcán Sabancaya (15°47' S; 71°72'W; 5967 msnm), ubicado a 80 km en dirección NNO de la ciudad de

Arequipa, es un estratovolcán de composición andesítica de edad Holocénica reciente. La última erupción del volcán Sabancaya ocurrió entre 1990-1998, alcanzando un Índice de Explosividad Volcánica IEV=3. Luego de 15 años de tranquilidad, a partir del 22 de febrero de 2013, el volcán ha mostrado un incremento notorio de sismicidad y de emisiones fumarólicas. Atendiendo a esta nueva situación, inmediatamente el Observatorio Vulcanológico del Sur del Instituto Geofísico del Perú (OVS-IGP) instaló una red sísmica para monitorear la actividad del volcán.

Figura 01.

En este estudio se analizaron y clasificaron 103237 eventos sismo-volcánicos que corresponden a sismos Volcano-Tectónicos (VT), de Largo Periodo (LP), Híbridos (HIB), Tremores (TREM) y Tornillos (TOR).

Por otro lado, usando el programa HYPOELLIPSE (Lahr, J. 1999), se calculó los parámetros hipocentrales de los sismos, y luego se ploteo 1108 eventos VT, los cuales se distribuyeron al NO, N, NE y E de cráter.

3. Evolución de la sismicidad volcánica del Sabancaya 2013-2016

Del total de 103237 eventos registrados entre febrero de 2013 y marzo de 2016, 60859 (59%) son eventos VT, 34761 (33.7%) son eventos LP, 3899 (3.8%) son eventos HIB. Además, se registraron 3830 (3.6%) TREM y TOR; finalmente, se registraron 2 explosiones freáticas confinadas.

Figura 02.

La evolución de la sismicidad durante este periodo ha venido acompañada del incremento en la altura y la emisión de fumarolas (06 de agosto de 2014, altura de 3000 metros sobre el cráter) y densidad de SO₂ (Global Sulfur Dioxide Monitoring-NASA). Asimismo, se ha registrado un incremento progresivo y sostenido de la densidad de SO₂ durante todo el periodo (Figura 5D), similar a la tendencia experimentada por los eventos sismo-volcánicos registrados.

Una característica notable es que los eventos ocurridos al inicio de la intranquilidad (22-23 febrero de 2013, Mag. 4.6 ML, 5.2 ML, 5.0 ML y 4.5 ML) así como aquellos del 16-17 de julio del mismo año (Mag. 4.9 ML, 4.2 ML y 5.7 ML), han ocurrido en enjambre. White (2011) ha mostrado que la ocurrencia de sismicidad en “enjambre” en ambientes volcánicos es un frecuente precursor de actividad eruptiva. Según el modelo de White (2011), al inicio de la intranquilidad volcánica ocurre sismicidad de fractura (VT) que se sitúa lejos del cráter del volcán, pudiendo llegar hasta los 30 km de distancia, además del incremento de LP, TREM, emisiones fumarólicas y aparición de HIB y TOR.

A continuación se presenta las características de la sismicidad observada:

A. Migración de los eventos Volcano-Tectónico Distales (VTd) a Proximales (VTp)

Los VT localizados han ido migrando hacia la zona del cráter a lo largo de todo este periodo; se traza una circunferencia con radio de 6 km desde el cráter del volcán (Figura 03A), lo cual ayuda al monitoreo de los VT que se están aproximando hacia el volcán, denominados VTp. Los VT que se encuentran fuera de este límite serán llamados VTd. En la Figura 03A y B se ha ploteado sismos mayores a 2.0 ML.

Sismicidad VT en el 2013 (Círculos rojos). La mayoría de los epicentros de los VTs se localizaron a 19 km al NO del cráter del volcán y cercanos al pueblo de Cabanaconde. En esta zona, la sismicidad se presentó principalmente en julio de 2013 (enjambre del 16-17 julio de 2013) con deformación importante (Jay, J, 2015). Otros hipocentros, aunque en menor número, se localizaron al NE a 10 km del cráter. Durante este año se registraron y localizaron 88 VTp, con magnitud máxima de 4.2 ML (11/08/2013). El mayor número de eventos se registró durante los meses de agosto a octubre. Sismicidad VT en el 2014 (Círculos verdes). Dichos epicentros se agruparon al NNE, a 12 km (sur de Maca-Pinchollo) y a 14 km al E del cráter. Se registraron y localizaron 75 VTp, alcanzando una magnitud máxima de 3.0 ML. Dichos eventos ocurrieron entre los meses de agosto-noviembre. Se observa un incremento días antes de la primera explosión (09 de agosto). Sismicidad VT en el 2015 e incremento de VTd (Círculos azules). Los epicentros de los VTs se localizaron principalmente en un grupo numeroso, a 12 km al NNE del cráter. Dicho agrupamiento sísmico se extendió por el sur hasta las cercanías del cráter del volcán, principalmente durante el mes de diciembre (mayor número de VTp registrados en lo que va de la

intranquilidad). Otro pequeño grupo de epicentros de VTs se ubicaron a 19 km al NO del cráter del volcán. La magnitud máxima calculada fue de 4.5 ML, registrada el 29 de enero de 2016. Sismicidad VT de enero a marzo de 2016 y disminución de los VTd (círculos amarillos). Durante el primer trimestre de este año, los epicentros se distribuyeron principalmente a 13 km al NE del cráter, poniendo en manifiesto una posible falla orientada en dirección NO – SE. El mayor número de sismos VTp se registró en enero y durante las dos primeras semanas de febrero, con un evento de magnitud máxima de 4.0 ML.

Figura 03.A y B

B. Incremento de los eventos LPs

Los LP han ido incrementándose sostenidamente entre el 2013-2015, alcanzando promedios de 9.5 LP/día el 2013; 40.9 LP/día el 2014 (pico de 260 LPs el 04 de agosto, cinco días antes de la primera explosión). Después de las 2 explosiones (09 y 26 de agosto de 2014), los eventos LP disminuyeron hasta diciembre de 2014. Para el 2015, se registró un incremento importante y sostenido, alcanzando un promedio de 66 LP/día, máximo promedio registrado desde el inicio de la intranquilidad. El primer trimestre de 2016 muestra una disminución notoria del promedio de LP (16.1 LP/día).

Figura 04 A

C. Aparición de los eventos HIB, TREM y TOR

Los eventos HIB exhibieron un notable incremento en 2014, mostrando un importante enjambre entre el 06 de junio y 14 de julio, alcanzando un pico de 145 HIB el 21 de junio. También se observó un nuevo incremento importante entre el 02 y 08 de agosto de 2014, destacando un pico de 255 HIB el 02 de agosto. Del mismo modo, los TRE se incrementaron notablemente 3 semanas antes de las 2 explosiones. Dos picos, de 34 TREM y 52 TREM, fueron registrados los días 22 de julio y 02 de agosto de 2014; posteriormente, estos disminuyeron hasta el 15 de junio de 2015, fecha a partir de la cual se observa un incremento sostenido hasta marzo de 2016.

Los eventos TOR comenzaron a ser registrados a partir del 10 de agosto de 2014, después de la primera explosión, observándose un pico de 09 TOR el 21 de septiembre de 2014. Estos eventos finalmente fueron decayendo en número hasta fines de septiembre de 2015, para posteriormente desaparecer.

Figura 04 A y B

D) Registro de las Explosiones freáticas confinadas

Después del incremento de los eventos LP, TREM y aparición de los TOR, además de la migración de los VT hacia el cráter del volcán, se registraron 2 explosiones freáticas confinadas: la primera ocurrió el 09 de agosto de 2014 a las 09:29 horas UTC, con energía de 9083

Megajoules (MJ) y una duración de 50 segundos; la segunda explosión se registró dos semanas más tarde, el 26 de agosto de 2014, a la 01:39 horas UTC, liberando una energía de 1151 MJ y con una duración de 82 segundos. Finalmente, en noviembre del mismo año, se registró una explosión freática de menor energía (431 MJ; 170 seg. de duración, ocurrida el 11 de noviembre de 2014).

Figura 05

4. Discusión de los resultados

Desde el inicio de la intranquilidad, la actividad del volcán Sabancaya muestra un predominio de los eventos VT (59%); asimismo, se distinguió que los eventos registrados al inicio de la intranquilidad en 2013 fueron de tipo "Swarm" o enjambre (22-23 de febrero y el 16 -17 de julio) y no de mainshock -aftershock. Según White y McCausland (2016), los VTs son el primer precursor de erupciones en volcanes en estado inactivo durante décadas o más años, y preceden a erupciones de diferentes proporciones (VEI 0 hasta VEI 6). Además, dichos eventos ocurren en zonas distales y rara vez por debajo del volcán. Los eventos VTs registrados durante este periodo han ido migrando desde 22 km (VTd) del cráter hasta eventos menores a 6 km (VTp) del mismo, como se muestra en la Figura 03B. Por otro lado, en 2014 se registraron 02 explosiones, precedidas por el incremento de eventos HIB, TREM, LPs y aumento sostenido en la altura y densidad de las emisiones fumarólicas. Para entender la evolución de la actividad sismo-volcánica del Sabancaya, se ha tomado en cuenta el modelo de White (2011) y Fournier (1999), los cuales indican que la presión de fluidos generados por intrusiones magmáticas generan eventos sismo-volcánicos en etapas y con ubicaciones de la sismicidad dominante durante la evolución hacia un nuevo proceso eruptivo; además, es indispensable tener en cuenta el importante tectonismo que afecta permanentemente a esta parte de los Andes, donde los esfuerzos extensivos NE-SO son predominantes (Sévrier M. and Soler P., 1991). Por otro lado, durante todo este periodo (febrero de 2013-marzo de 2016) de la ley de Gutenberg-Richter (1944) se determinó el valor de "b" de 1.6, valor típico en ambientes volcánicos (McNutt, 2005). Si bien es cierto la actividad de los VTp ha disminuido los últimos meses (febrero - marzo de 2016), la actividad aún persiste en las inmediaciones del volcán y se continúa observando visible actividad fumarólica, frecuentemente las 24 horas del día. A la fecha, todavía se registra una cantidad considerable de TREM y eventos HIB asociados a ascenso de fluidos, pero no son de gran energía. Todos estos parámetros presentes, pero sin un aumento acelerado de una intrusión magmática importante, indicarían un probable estancamiento y posible disminución de la actividad volcánica.

5. Conclusiones

Se identificaron 103237 eventos: 59 % VT, 33.7 % LP, 3.8 % HIB y 3.6 % eventos TREM y TOR.

Los VTs registrados y localizados se distribuyeron en la zona NO, N, NE y E del volcán. Los epicentros de los eventos fueron migrando desde 22 km del cráter en 2013, pasando de 14 km - 12 km del cráter en 2014 hasta una distancia menor a 6 km en 2015 y 2016. El mayor número de VTs que migraron hacia el cráter se registró en 2015 e inicios del 2016, y posteriormente disminuyeron; aunque su número continúa siendo alto con relación al registrado en 2013 y 2014.

Se registraron 2 explosiones freáticas confinadas: la primera registrada el día 09 de agosto de 2014 a las 09:29 horas UTC, con una energía de 9083 MJ; la segunda explosión se registró el 26 de agosto a la 01:39 horas UTC, con una energía de 1151 MJ.

La sismicidad del volcán Sabancaya viene siguiendo los patrones indicados por White (2011). Pero sin un aumento acelerado de una intrusión magmática importante, la sismicidad del volcán Sabancaya probablemente se estancaría y disminuiría notablemente. Sin embargo, se continúan registrando eventos LPs e HIB; además, el registro de los TREM continúa siendo alto.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Geofísico del Perú y al Observatorio Vulcanológico del Sur, en la figura de su director, el Dr. Orlando Macedo Sánchez, por el apoyo brindado durante el desarrollo del presente estudio.

Referencias

- Fournier, R., (1999). Hydrothermal processes related to movement of fluid from plastic into Brittle rock in the Magmatic Epithermal environment. *Bulletin Society of Economic Geologists*, p. 105-1208.
- Gutenberg, B., and Richter, C. F. (1944). Frequency of earthquakes in California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 34(4), 185-188.
- Jay J. (2015). Deformation and seismicity near Sabancaya Volcano, southern Peru, from 2002-2015. *Geophysical Research Letters*, Accepted on March 2015, DOI: 10.1002/2015GL063589, p. 5-10.
- Lahr, J. (1999). Hypoellipse user guide. U.S. Geological Survey open-file report 99-23, on-line edition.
- McNutt, S. R. (2005), Volcanic seismology, *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 33(1), 461-491, doi:10.1146/annurev.earth.33.092203.122459.
- Sévrier M. and Soler P. (1991).- Tectonics and magmatism in the Peruvian Andes from Late Oligocene time to the Present. *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper*, 265, 259-278.
- White, R. & Mccausland, W. (2016). Volcano-tectonic earthquakes: A new tool for estimating intrusive volumes and forecasting eruptions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2015.10.020, P. 139-155.
- White, R. 2011. Monitoring volcanoes and forecasting eruptions. Volcano observatory best practices workshop: eruptions forecasting, 11-15 September 2011, Erice, Italy.

Ilustraciones

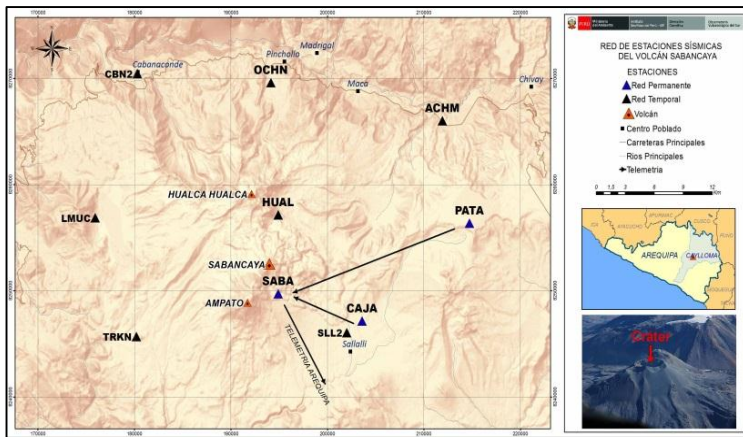


Figura 01: Ubicación de las estaciones sísmicas para el monitoreo del volcán Sabancaya. Las flechas que unen las estaciones PATA, SABA y CAJA, así como la flecha que se dirige hacia el SE, indican la dirección de las señales que son enviadas hasta el OVS vía telemetría (Red Sísmica del Sabancaya).

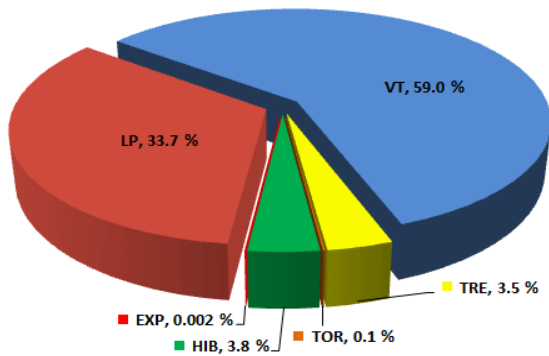


Figura 02: Eventos registrados entre el periodo febrero de 2013- marzo de 2016. Se observa el predominio de los VTs (59 %), seguido de los LPs (33.7 %).

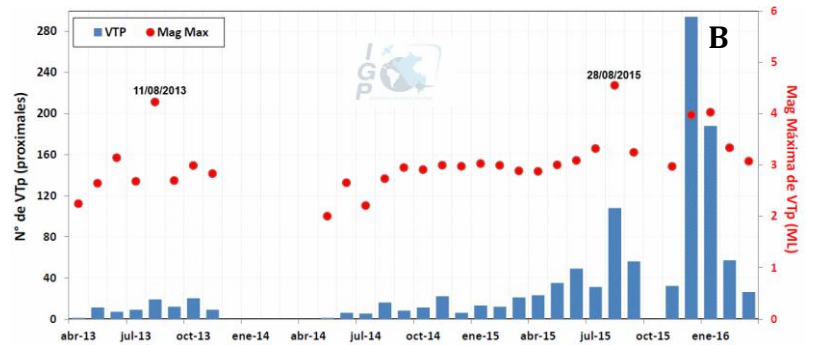
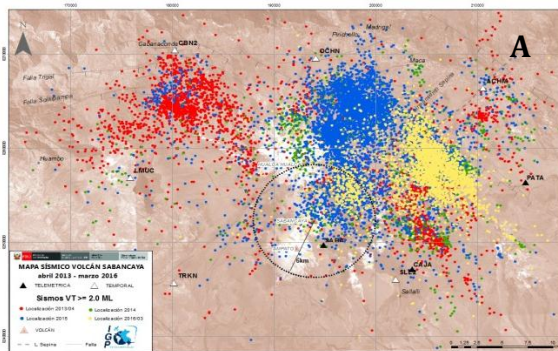


Figura 03. A) Sismos VT localizados y ploteados (febrero de 2013 – marzo de 2016) con magnitudes mayores a 2.0 ML. Circulos rojos VT-2014, circulos verdes VT-2014, circulos azules VT-2015 y circulos amarillos VT 2016. B) Sismicidad mensual VTp vs magnitud, donde se observa el crecimiento progresivo de los VT proximales durante el 2015 y una disminucion en el primer trimestre de 2016. Las figuras A y B muestran la migracion de los VT hacia la zona del volcán (VTp).

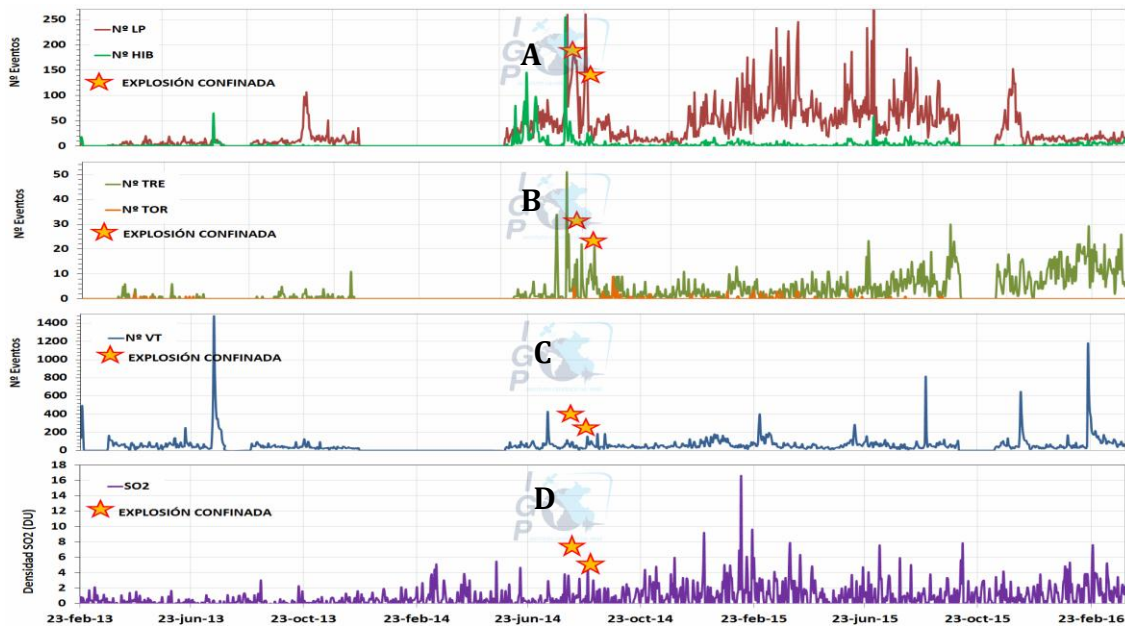


Figura 04. Estadística de los eventos registrados durante el periodo febrero de 2013 - marzo de 2016. La sismicidad (LP, HIB y TREM) se incrementó notoriamente un mes y medio antes de las explosiones. Se observan los VTs registrados (VTp más VTd). Por otro lado, se observa que la densidad de SO₂, durante todo el periodo, muestra un incremento progresivo y sostenido acorde con el registro sismo-volcánico.

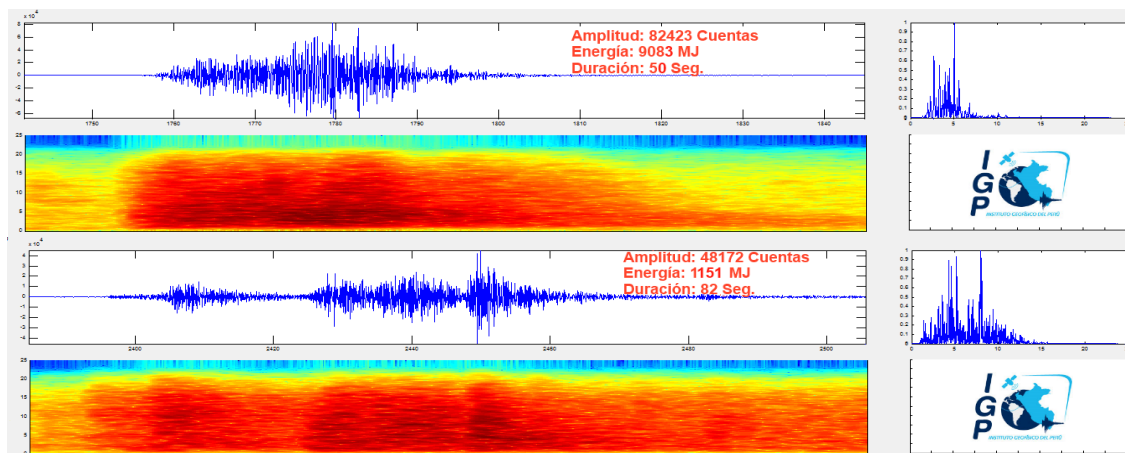


Figura 05. Explosiones freáticas confinadas registradas por la estación SABA, localizada a 3 km al S del cráter. La primera explosión fue registrada el 09 de agosto de 2014; la segunda, el 26 de agosto de 2014.