



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú - IGP



IGP

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ



Cráter del volcán Sabancaya (mayo de 2019) Imagen de Google Earth

INFORME TÉCNICO

Evaluación geofísica del comportamiento dinámico actual del volcán Sabancaya, periodo enero-octubre de 2019

Fecha: Octubre de 2019

2019



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



Instituto Geofísico del Perú

Presidente Ejecutivo: Hernando Tavera

Director Científico: Danny Scipión

Autores:

José Del Carpio y Marco Rivera

Nino Puma, John Cruz, José Torres, Katherine Vargas, Ivonne Lazarte, Roger Machacca, Jorge Concha

Este informe ha sido producido por el Instituto Geofísico del Perú

Calle Badajoz n.º 169, Mayorazgo, Ate

Teléfono: 51-1-3172300



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



“Ciencia para protegernos, ciencia para avanzar”



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



Contenido

1.- INTRODUCCIÓN.....	1
1. CAPÍTULO I	4
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.2. UBICACIÓN.....	4
1.3. ACCESIBILIDAD.....	4
1.4. RED DE MONITOREO VOLCÁNICO EN EL VOLCÁN SABANCAYA	5
1.5. ACTIVIDAD HISTÓRICA Y RECIENTE DEL VOLCÁN SABANCAYA	6
2. CAPÍTULO II	9
2.1. MONITOREO SÍSMICO	9
2.1.1. ENJAMBRES SÍSMICOS ASOCIADOS A INTRUSIONES MAGMÁTICAS	10
2.2. MONITOREO GEODÉSICO	11
2.3. MONITOREO VISUAL.....	12
2.4. MONITOREO CON SENSORES REMOTOS	13
2.4.1. IMÁGENES SATELITALES	13
2.4.2. FOTOGRAMETRÍA	17
2.4.3. IMÁGENES RADAR (DINSAR).....	17
3. CAPÍTULO III	19
3.1. PELIGROS VOLCÁNICOS.....	19
3.1.1. PELIGROS POR CAÍDAS DE PIROCLÁSTOS	19
3.1.2. PELIGROS POR LAHARES (FLUJOS DE LODO)	19
3.1.3. PELIGROS POR FLUJOS DE LAVA	20
3.1.4. PELIGROS POR FLUJOS PIROCLÁSTICOS	20
3.1.5. PELIGROS POR AVALANCHAS DE ESCOMBROS	21
3.2. ESCENARIOS ERUPTIVOS FUTUROS	22
3.2.1. PRIMER ESCENARIO: ERUPCIÓN VULCANIANA (IEV 1-2)	22
3.2.2. SEGUNDO ESCENARIO: ERUPCIÓN EFUSIVA.....	23
3.2.3. TERCER ESCENARIO: CRECIMIENTO DE DOMO Y COLAPSO DE DOMO	23



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



3.3.	BOLETINES VULCANOLÓGICOS	24
4.	CONCLUSIONES	26
5.	RECOMENDACIONES.....	28
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	29

1.- INTRODUCCIÓN

El volcán Sabancaya es el segundo volcán más activo del sur peruano, edificado al menos durante los últimos 8 mil años. Este volcán hace parte del complejo volcánico Ampato-Sabancaya (Samaniego et al., 2016). La última erupción del volcán Sabancaya ocurrió entre los años 1990 y 1998 (Gerbe y Thouret, 2004), la cual tuvo un Índice de Explosividad Volcánica (IEV) igual a 2 y 3, en una escala que va del 0 al 8. Luego de casi 15 años de calma, en febrero de 2013, el volcán Sabancaya empezó a registrar un incremento de las emisiones de gases. Paralelamente, la actividad sísmica también aumentó en áreas cercanas al volcán y en el Valle del Colca (Caylloma). Los sismos más importantes ocurrieron en febrero de 2013 (Tavera et al., 2013a), julio del 2013 (Tavera et al., 2013b) y el 14 de agosto de 2016. Este último tuvo una magnitud 5.3 ML y fue seguido de muchas réplicas (Tavera et al., 2016). Si bien estos sismos tuvieron su origen en la actividad de fallas activas locales preexistentes, es probable que tengan un componente volcánico, ya que estos sismos se estuvieron produciendo dentro de un ambiente volcánico.

En agosto de 2015, se reportó la presencia de emisiones fumarólicas en la parte superior del domo suroeste del volcán Sabancaya, actividad que hasta la actualidad viene siendo registrada. Desde abril de 2016, se detectaron siete nuevas zonas con emisiones fumarólicas localizadas al pie del flanco norte, a una distancia promedio de 600 m del cráter. Posteriormente, el día 27 de agosto a las 06:51 h, el Sabancaya registró una leve explosión con una energía sísmica liberada de aproximadamente 78 Megajoules (MJ) que fue seguida de emisiones densas de gases y ceniza que alcanzaron alturas de hasta 1000 m sobre la cima. El 6 de noviembre de 2016, a las 20:40 h, ocurrió una explosión en el volcán Sabancaya, luego de la cual se registraron emisiones continuas de ceniza con columnas eruptivas que tuvieron alturas entre 1000 m y 3000 m sobre la cima del volcán. Este evento marca el comienzo de una nueva fase eruptiva del volcán Sabancaya.

A lo largo de estos tres años de actividad, el volcán Sabancaya ha presentado niveles de actividad moderada; es decir, el registro constante de explosiones volcánicas,

con la consecuente emisión de cenizas dispersadas en todas las direcciones cardinales del volcán.

Cabe mencionar que, en un radio de 30 km alrededor del volcán Sabancaya, habitan alrededor de 30 mil personas en los distritos de Chivay, Coporaque, Ichupampa, Achoma, Lari, Madrigal, Maca, Cabanaconde, Tapay, Huanca, Lluta y Huambo, quienes vienen siendo afectadas por las cenizas emitidas por dicho volcán.

El Instituto Geofísico del Perú (IGP), a través del Centro Vulcanológico Nacional (CENVUL), realiza el monitoreo permanente del volcán Sabancaya, a través de redes geofísicas, geodésicas, geoquímicas y visuales instaladas en áreas aledañas al volcán. Los datos de campo son recepcionados en la sede Arequipa. La información técnico-científica generada es emitida de manera oportuna a través de alertas, reportes, boletines e informes vulcanológicos a las autoridades de los diversos niveles de gobierno para la toma de decisiones.

En el presente informe técnico se detalla la evolución del actual proceso eruptivo del volcán Sabancaya, resaltando la información acerca de la actividad sísmica, geodésica, geoquímica de gases y de sensores remotos del actual proceso eruptivo. Asimismo, detalla el crecimiento de un domo visualizado en el cráter del volcán y los escenarios eruptivos futuros del Sabancaya.

Este informe tiene como objetivo servir como un documento de base para la elaboración del Plan de Contingencia frente a la erupción del volcán Sabancaya, el cual viene siendo coordinado por las autoridades del Gobierno Regional de Arequipa y municipalidades distritales de la provincia de Caylloma.



Fig. 1.- Volcanes activos y potencialmente activos del sur peruano que vienen siendo monitoreados por el IGP a través del CENVUL.

CAPÍTULO I

CONTEXTO GENERAL

1.1. OBJETIVO GENERAL

El presente informe tiene como objetivo mostrar el tipo de comportamiento dinámico actual del volcán Sabancaya, específicamente aquel registrado en el periodo del 1 de enero hasta el 28 de octubre de 2019. La información utilizada corresponde a aquella generada por el IGP a través del CENVUL.

1.2. UBICACIÓN

El volcán Sabancaya (15.79°S, 71.86°O; con una altitud de 5960 m s.n.m.), se ubica en la región Arequipa, provincia de Caylloma, distritos de Maca y Lluta (Figura 2), a 76 km al noroeste de la ciudad de Arequipa y 32 km al suroeste de Chivay.

En un radio de 30 km desde el cráter del Sabancaya, habitan alrededor de 30 mil personas distribuidas entre los distritos de Chivay, Coporaque, Ichupampa, Achoma, Lari, Madrigal, Maca, Cabanaconde, Tapay, Huanca, Lluta y Huambo.

1.3. ACCESIBILIDAD

Para acceder a la zona del volcán Sabancaya se debe tomar, desde la ciudad de Arequipa, la ruta PE-34E hasta interceptar la ruta departamental AR-109 con dirección a la ciudad de Chivay. Desde allí es posible alcanzar el flanco noroeste del complejo volcánico Ampato-Sabancaya por una ruta vecinal que cruza el C.P. de Achoma. La segunda ruta de acceso corresponde a la AR-579 que nos acerca al edificio volcánico por el flanco este, en la zona de Cajamarca (Figura 2). La mayor parte de la vía es asfaltada, mientras que los últimos tramos antes de llegar al volcán Sabancaya corresponden a una trocha carrozable.

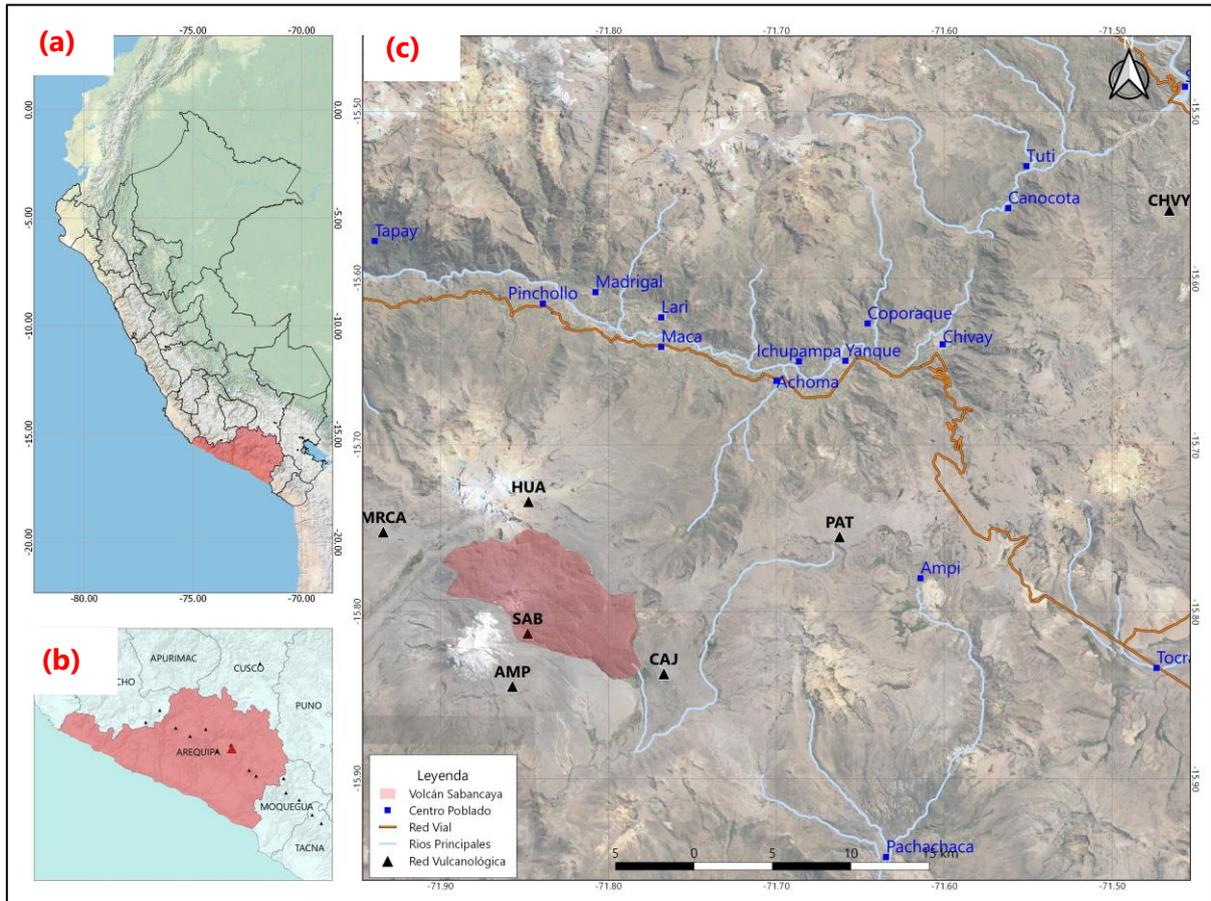


Figura 2. (a) Ubicación de la región Arequipa sobre SRTM, (b) mapa político de la región Arequipa. El volcán Sabancaya está ubicado en la provincia de Caylloma, (c) Mapa de ubicación del volcán Sabancaya, principales centros poblados y vías de acceso.

1.4. RED DE MONITOREO VOLCÁNICO EN EL VOLCÁN SABANCAYA

La red de monitoreo implementada por el IGP en el volcán Sabancaya está conformada por un conjunto de estaciones geofísicas que operan de manera permanente, cuyos datos son transmitidos al CENVUL vía telemétrica y en tiempo real. La red de monitoreo consta de 7 estaciones sísmicas, 1 GPS y 2 cámaras de vigilancia (Figura 3).

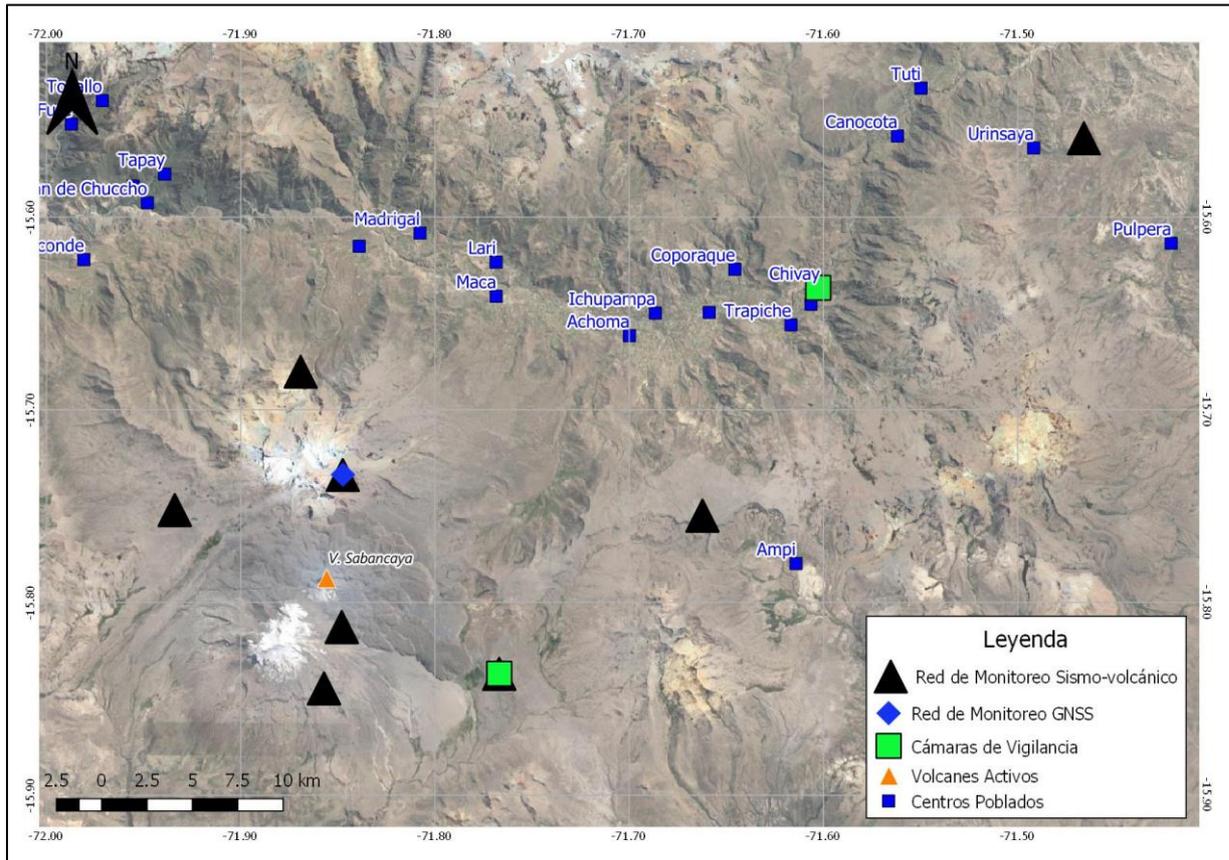


Figura 3.- Red de monitoreo volcánico instalada por el IGP en el volcán Sabancaya, la cual transmite información en tiempo real al CENVUL en Arequipa.

1.5. ACTIVIDAD HISTÓRICA Y RECIENTE DEL VOLCÁN SABANCAYA

Según archivos históricos, el volcán Sabancaya ha registrado erupciones en los años 1750, 1784 y 1988-1998, los cuales son detallados a continuación:

La actividad eruptiva del año 1750 corresponde a una leve actividad fumarólica mencionada por el cura Ventura Travada y Cordoba de la parroquia de las comarcas de Salamanca (valle del río Marán) y Poci en Arequipa. Según el catálogo «Volcanoes of the world» (Siebert et al., 2011), se habría tratado de una erupción explosiva leve.

La actividad eruptiva del año 1784 corresponde a una erupción explosiva leve ocurrida el 11 de julio de 1784, relatada por Zamácola y Jáuregui (1804). Esta ocurrió posterior al gran terremoto registrado el 13 de mayo de ese mismo año, el cual destruyó la ciudad de Arequipa. En este relato, Zamácola y Jáuregui (1804), mencionan: «Día 11 a las 9 y 56 minutos se sintió un temblor de tierra, con bastante remezón, pero no causó ningún daño. Se tuvo noticia de que el pueblo de Lari, jurisdicción de Caylloma, hay un

cerro o volcán llamado Ambato, el que, a efectos de estos terremotos, el volcán humea y bosteza fuego» (Barriga, 1951).

Actividad eruptiva de 1988–1998: respecto a esta actividad, durante el mes de noviembre de 1986, se reportó un importante incremento de la actividad fumarólica en el volcán Sabancaya, así como la apertura del cráter del volcán (Thouret et al., 1994). Entre mayo de 1990 y diciembre de 1994, la actividad del Sabancaya fue de tipo vulcaniana, que tuvo un Índice de Explosividad Volcánica igual a 2. Esta actividad consistió en la ocurrencia de explosiones separadas por periodos de 15 a 60 minutos, luego de las cuales se formaban columnas eruptivas de 0.5 a 3 km de altura en promedio (Thouret et al., 1994). Durante las explosiones, se expulsaron proyectiles balísticos y ceniza (Guillande et al., 1992; Thouret et al., 1994). El periodo de mayor actividad se registró entre el 28 de mayo y 5 de junio de 1990. En este periodo, las columnas eruptivas alcanzaron entre 3 y 5 km de altura sobre el cráter y los proyectiles balísticos eyectados alcanzaron hasta 1 km de altura sobre el cráter. Se reportó la caída de cenizas en un área de entre 20 y 30 km al este del volcán, cubriendo alrededor de 250 km² (Thouret et al., 1994). El material juvenil eyectado tuvo composición andesítica a dacítica y se estima que alcanzó un volumen de 25 millones de m³.

Por otro lado, los reportes del *Global Vulcanism Network bulletin* (GVN, por sus siglas en inglés), dan cuenta de la ocurrencia de columnas eruptivas de hasta 7 km de altura sobre el cráter los días 5 y 7 de junio de 1990 (GVN, 1990). También, el 7 de junio los medios de comunicación reportaron presencia de una pluma volcánica en Arequipa y Puno, así como caída de ceniza a más de 20 km de distancia. Según este reporte, la ceniza provocó destrucción de pastos y contaminación de ríos, especialmente el río Siguas, ubicado a más de 40 km al sur del volcán Sabancaya. En el mismo reporte, el GVP informa la acumulación de caída de ceniza de hasta 1 cm de espesor en un radio de 20 km alrededor del volcán.

Después de 5 meses del periodo de mayor actividad eruptiva registrado entre mayo y junio de 1990, se generaron lahares (flujos de lodo) que discurrieron por varias quebradas aledañas al volcán Sabancaya. Según un reporte del GNV (1991), durante un sobrevuelo realizado el 10 de noviembre de 1991, se observó ceniza depositada en el



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



volcán Hualca Hualca, el cual provocó el derretimiento de la nieve y glaciares que se encontraban en su cima con la consiguiente generación de varios lahares. Este mismo reporte da cuenta de lahares en el flanco norte del volcán Hualca Hualca que fueron a dar al río Colca entre noviembre y diciembre de 1990. Actualmente, estos depósitos de lahares se logran visualizar en la quebrada Pinchollo, en el flanco norte del volcán Hualca Hualca, aproximadamente a 14 km al norte del cráter del Sabancaya.

CAPÍTULO II

EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ERUPTIVA DEL VOLCÁN SABANCAYA

El Sabancaya, desde el reinicio de su actividad eruptiva ocurrida en noviembre de 2016 a la fecha, ha venido registrando explosiones volcánicas que variaron en número y energía. Durante los 3 primeros meses de la erupción, se registraron hasta 110 eventos explosivos por día. Posteriormente, el número de explosiones fue disminuyendo, pero con un sostenido incremento de la energía. Desde febrero de 2018 hasta marzo de 2019, se ha observado que tanto el número y la energía de las explosiones se ha mantenido constante, con un promedio de 20 explosiones por día que generaron energías sísmicas del orden de 20 MegaJoules (MJ). Desde abril de 2019 hasta la actualidad, se han venido registrando enjambres sísmicos (agrupación de sismos) que estarían asociadas a nuevas intrusiones o arribos de magma hacia la superficie. Paralelamente a ello, se observó un incremento en el número y la energía de las explosiones volcánicas, las cuales alcanzaron un promedio de hasta 48 explosiones diarias, con un promedio de energía de 63 MJ (Figura 4).

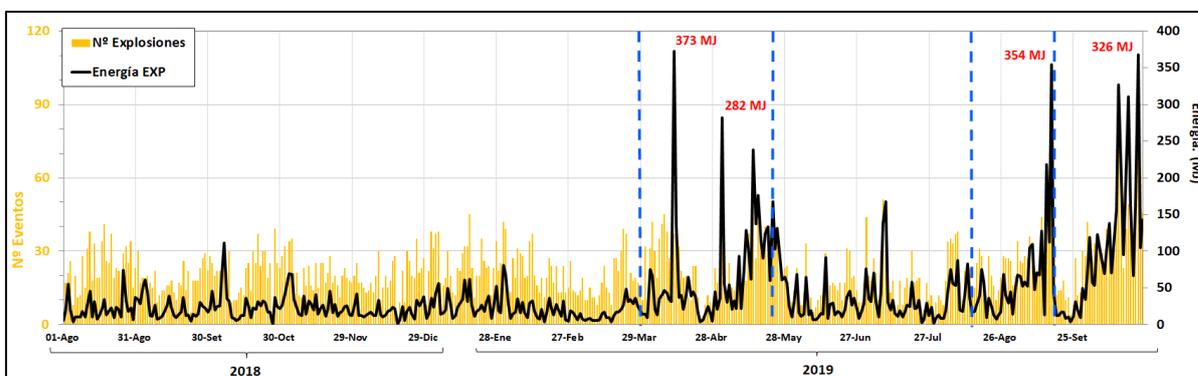


Figura 4.- Gráfico que muestra el número (barras de color amarillo) y la energía (línea negra) de las explosiones registradas en el actual proceso eruptivo del volcán Sabancaya (periodo de agosto 2018 a octubre de 2019).

2.1. MONITOREO SÍSMICO

Es preciso mencionar que la red inicial de monitoreo sísmico del volcán Sabancaya, instalada en febrero de 2013, ha sido repotenciada desde el año 2016 con la instalación

adicional de 4 modernos sensores sísmicos que permiten mejorar el análisis de la actividad sismovolcánica del Sabancaya.

2.1.1. Enjambres sísmicos asociados a intrusiones magmáticas

Tal como se muestra en la figura 5, la actividad sísmica registrada en el volcán Sabancaya en el año 2018 fue baja. Sin embargo, desde abril de 2019 vienen registrándose hasta 4 enjambres sísmicos conformados por un número de hasta 5542 sismos de tipo fractura (VT) que han generado magnitudes menores a M4.1. Cabe mencionar que un enjambre sísmico se define como el grupo de sismos de similares magnitudes registrado en un breve periodo de tiempo y en la misma ubicación.

La actividad sísmica de tipo enjambre, además de las señales sísmicas de tipo Híbrido (ligadas al ascenso de magma) y al incremento de los valores de las anomalías térmicas registradas a través del sistema MIROVA, corroboran el hecho de que se han generado nuevas intrusiones de magma con el consecuente incremento de la actividad eruptiva, principalmente ocurrida desde el mes de agosto de 2019.

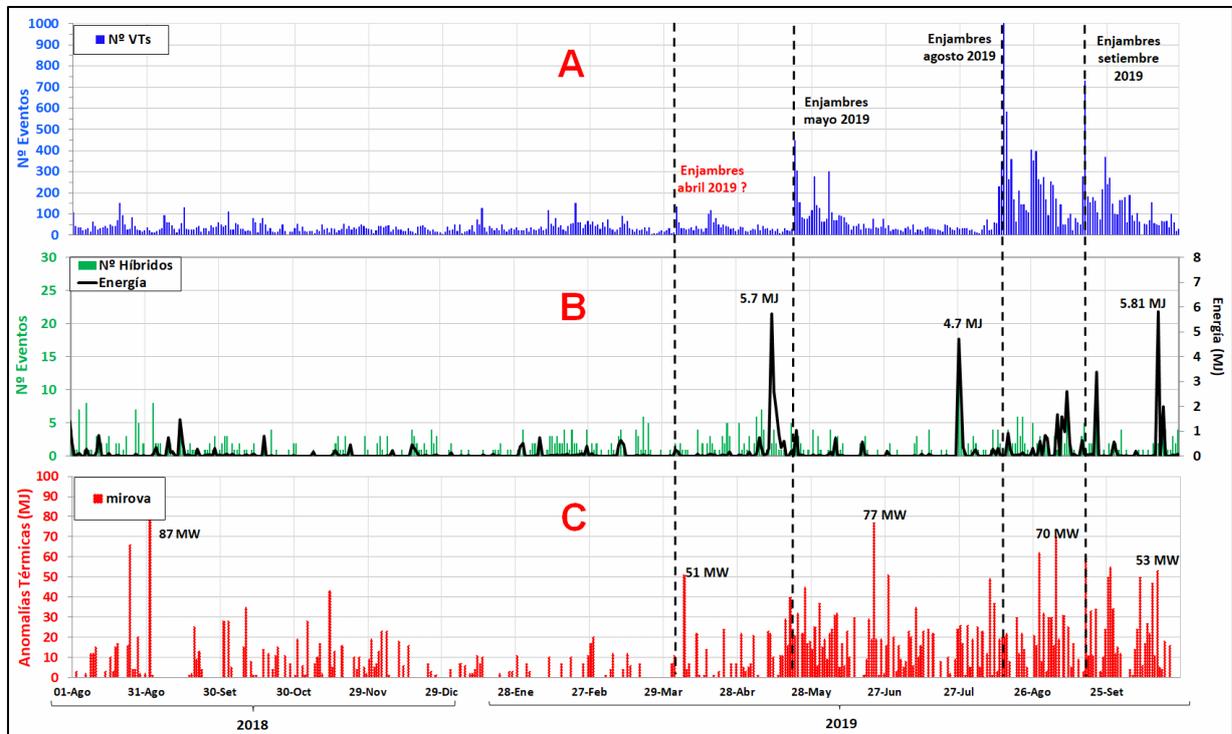


Figura 5.- Gráfico que muestra el número de sismos (barras de color azul-verde) y energía sísmica (línea negra). A) enjambres sísmicos de eventos de tipo fractura (VT); B) señales de tipo Híbrido relacionadas al ascenso de magma y; C) valores de las anomalías térmicas (MIROVA) que muestran

un incremento desde mayo de 2019. Las líneas negras discontinuas representan los enjambres sísmicos asociados a intrusiones de magmas

2.2. Monitoreo Geodésico

La estación geodésica GNSS ubicada en el sector norte del volcán Sabancaya e instalada el 15 de diciembre de 2018, evidencia un ligero desplazamiento de 4 mm hacia el este (tendencia positiva) y de 1 mm hacia el sur (tendencia negativa). Lo más relevante es el desplazamiento de aproximadamente 2.8 cm en la componente vertical registrada desde su instalación hasta la actualidad. Estos valores indicarían una inflación del sector norte del volcán Sabancaya, posiblemente ligada a nuevas intrusiones de magma, lo cual ha sido evidenciado también por la actividad sísmica de tipo enjambre.

En el siguiente gráfico (Fig. 6) se muestra una comparación de la deformación registrada por el sistema GNSS con el registro de la actividad sísmica de tipo enjambre desde abril de 2019 hasta la actualidad. En ese periodo, se observa una tendencia positiva en los valores de deformación. Este incremento se acentúa con la ocurrencia de los enjambres sísmicos registrados en mayo (M4.1), agosto (M3.5) y el último en septiembre de 2019 (M3.7), tal como se aprecia en la figura 6.

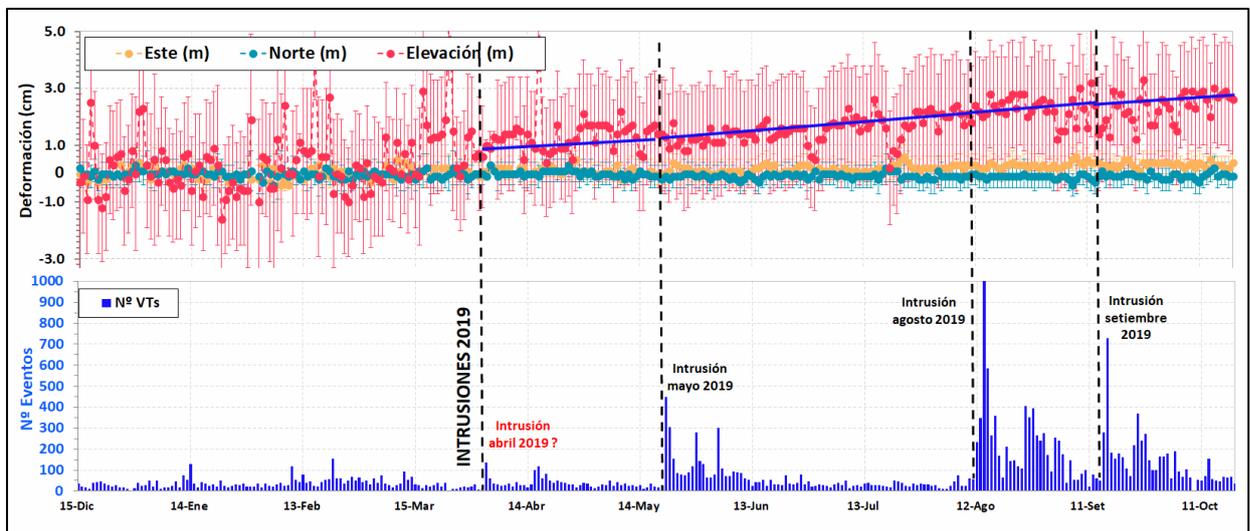


Figura 6.- Muestra la serie de tiempo GNSS correlacionado con los sismos de tipo enjambre (VT) que estarían relacionados a nuevas intrusiones magmáticas.

2.3. Monitoreo Visual

La actividad eruptiva actual viene siendo registrada con la ayuda de dos cámaras de vigilancia instaladas en los sectores noreste (Chivay) y este (Cajamarca) del volcán Sabancaya.

Desde el 27 de agosto al 6 de noviembre de 2016, el Sabancaya estuvo emitiendo gases que ascendieron hasta los 1800 m de altura sobre la cima. Posteriormente, el día 6 de noviembre a las 20:40 h ocurrió una explosión en el volcán Sabancaya, luego de la cual se registraron emisiones continuas de ceniza con columnas eruptivas que alcanzaron alturas de 1000 y 3000 m sobre la cima del volcán. Este último evento marca el comienzo de una nueva fase eruptiva del volcán Sabancaya.

Durante el actual proceso eruptivo, entre los años 2017 y 2018, las explosiones generaron columnas de gases y cenizas que ascendieron a alturas de hasta 5500 m sobre la cima del volcán. La columna eruptiva de mayor altura se registró el 5 de julio de 2017 (5500 m). Las columnas de cenizas han viajado entre 20 km y 50 km de distancia del volcán, siendo dispersadas preferentemente en dirección noreste, este y sureste y, esporádicamente, en dirección norte, cubriendo el valle del río Colca donde se localizan poblados como Maca, Chivay, Callalli, entre otros.

Durante el año 2019, las explosiones presentadas por el volcán Sabancaya generaron columnas de gases y cenizas que ascendieron a alturas de hasta 4000 m sobre la cima del volcán. La columna eruptiva de mayor altura se registró el 6 de agosto (4000 m). Las cenizas dispersadas por los vientos viajaron en direcciones sur, suroeste y sureste, recorriendo distancias de hasta 30 km.

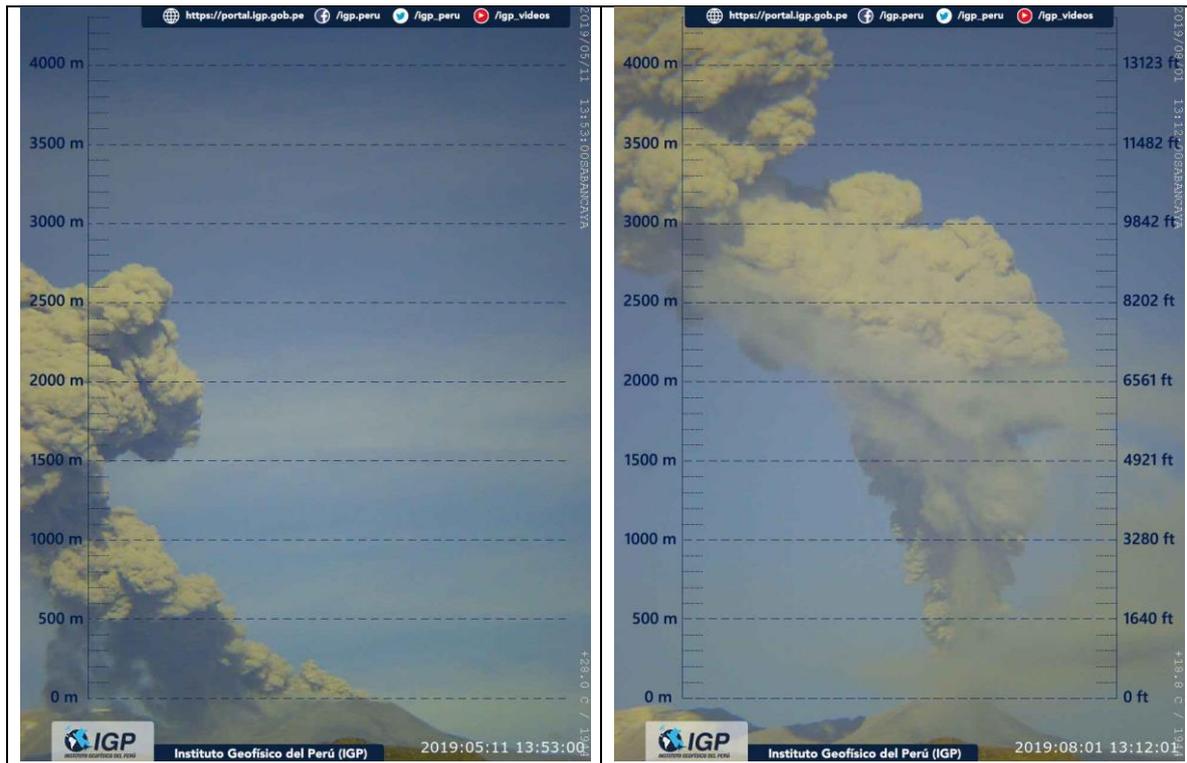


Figura 7.- Vista de explosiones representativas registradas en el volcán Sabancaya ocurridas el 11 de junio (3000 m de altura) y 1 de agosto de 2019 (4000 m de altura).

2.4. Monitoreo con Sensores Remotos

2.4.1. Imágenes Satelitales

El Laboratorio Planet Inc, cuenta con imágenes satelitales del volcán Sabancaya desde el año 2015. Durante este año, se reportó un incremento de las emisiones de gases y vapor de agua en el volcán Sabancaya, las mismas que se dispersaron a más de 20 km de distancia del volcán.

Desde febrero de 2017, se observaron los primeros indicios de la formación de un domo de lava en la zona noroeste del fondo del cráter del volcán Sabancaya, el cual está cubierto por bloques y ceniza (Figura 8).



Figura 8. Imagen satelital Planet Scope del 5 de febrero de 2017 que evidencia la formación de un pequeño domo de lava en el cráter del volcán Sabancaya.

Desde octubre de 2019, se logra distinguir claramente el crecimiento significativo del domo (cuerpo de lava) emplazado en el cráter del volcán Sabancaya. Este domo venía presentando, desde febrero de 2017, un crecimiento lento y constante.

Las imágenes satelitales Planet obtenidas del 11 al 21 de octubre muestran un cambio en el área del cuerpo de lava, la cual llega a duplicar la extensión del domo con respecto a las observaciones efectuadas en agosto último (Figura 9).

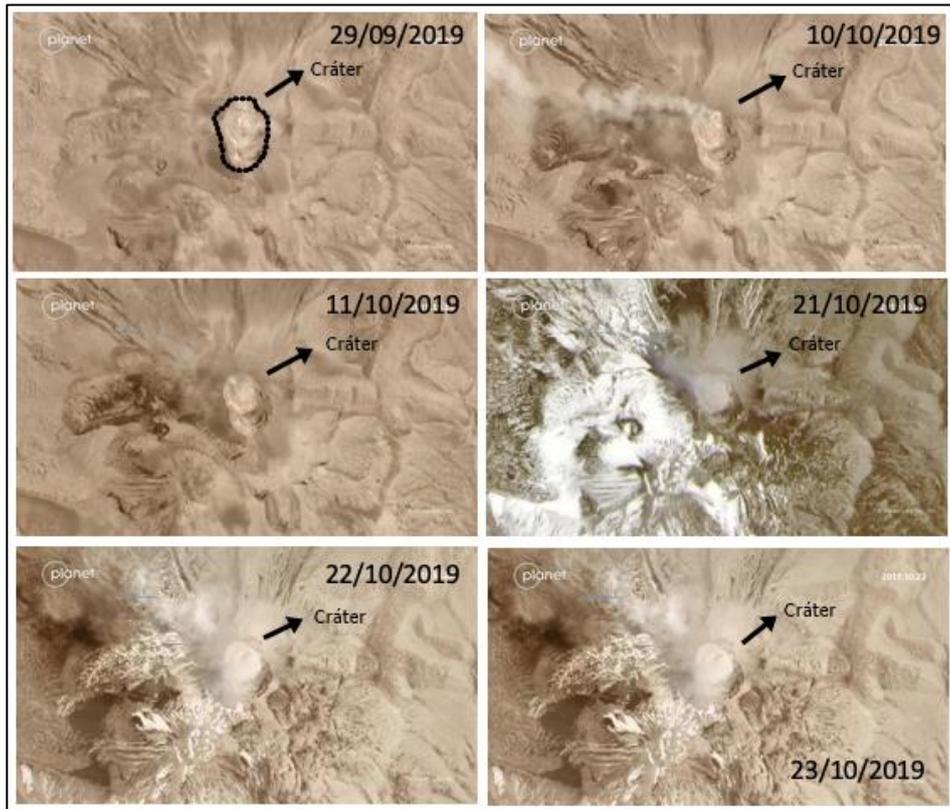


Figura 9.- Secuencia de imágenes satelitales PlanetView del cráter activo del volcán Sabancaya para el año 2019 en la cual se observa que el domo emplazado en el cráter continúa en crecimiento.

De igual manera, mediante la serie de imágenes Sentinel-2, en combinación con las bandas infrarrojas B12(SWR2), B11(SWR1) y B8(NIR) presentadas en la figura 10, se observa la presencia de anomalías térmicas en el cráter del volcán Sabancaya y cómo estas vienen evolucionando en cuanto a su morfología en el mes de octubre. Cabe mencionar que dichas anomalías corresponden al domo de lava emplazado en el fondo del cráter del volcán Sabancaya.

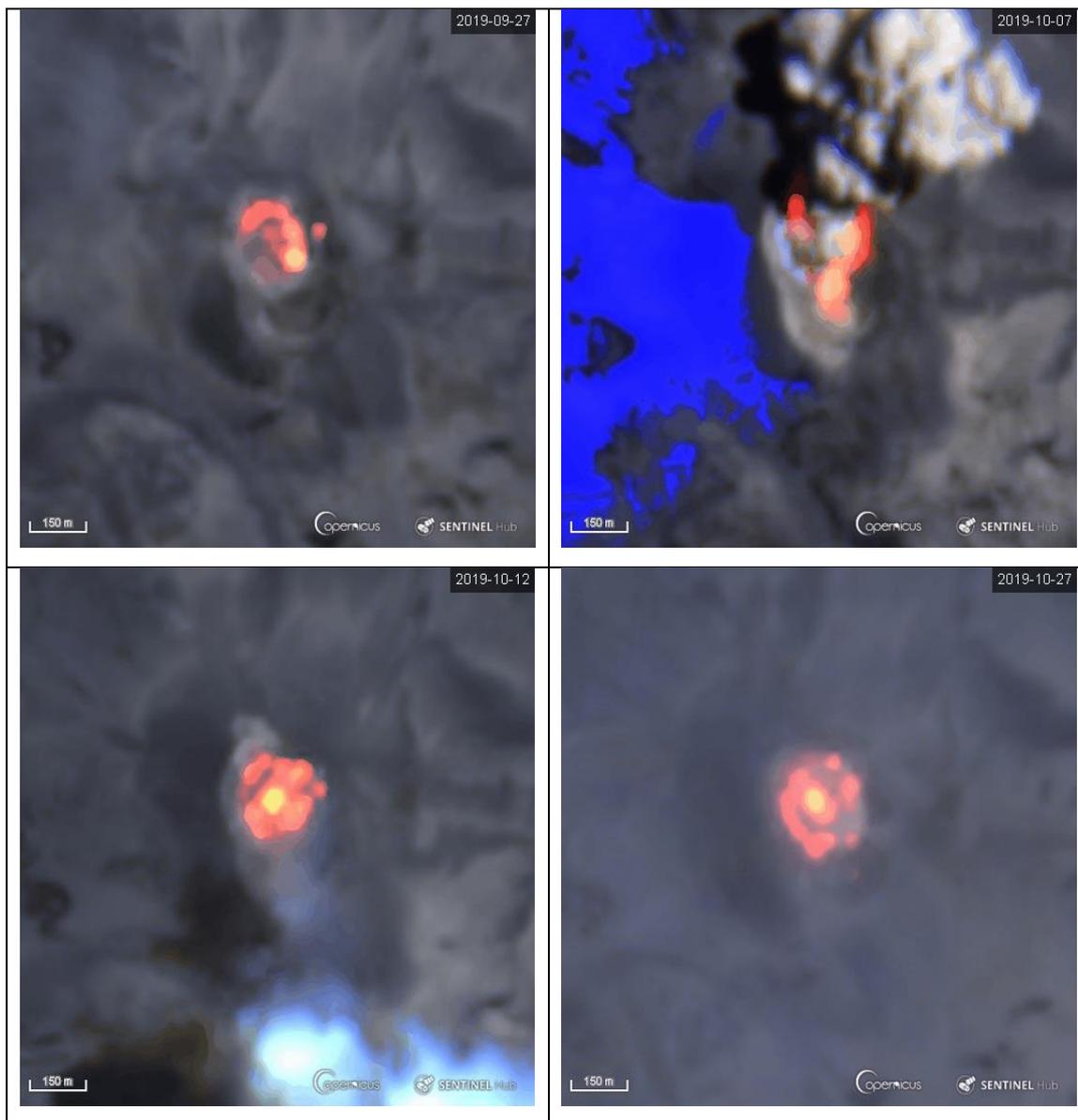


Figura 10.-. Serie de imágenes satelitales Sentinel-2 observadas desde el 29 de septiembre al 27 de octubre de 2019 en el volcán Sabancaya. En dichas imágenes se observan anomalías térmicas producidas por el domo de lava visible en el cráter del volcán Sabancaya.

2.4.2. Morfología del domo de lava visualizada a través de técnicas de Fotogrametría

El 17 de septiembre de 2018, el IGP realizó un sobrevuelo con dron en el volcán Sabancaya. El procesamiento dio como resultado la obtención de un modelo digital de elevación de 40 cm de resolución (figura 11). En dicho modelo, se observa la altura referencial de la base del domo localizado a 5850 m s.n.m., mientras que la altura máxima del borde del cráter es de 5940 m s.n.m. Observando la imagen, se concluye que, a la fecha, el domo ha crecido en aproximadamente 90 m de altura con relación a lo observado en septiembre de 2018.

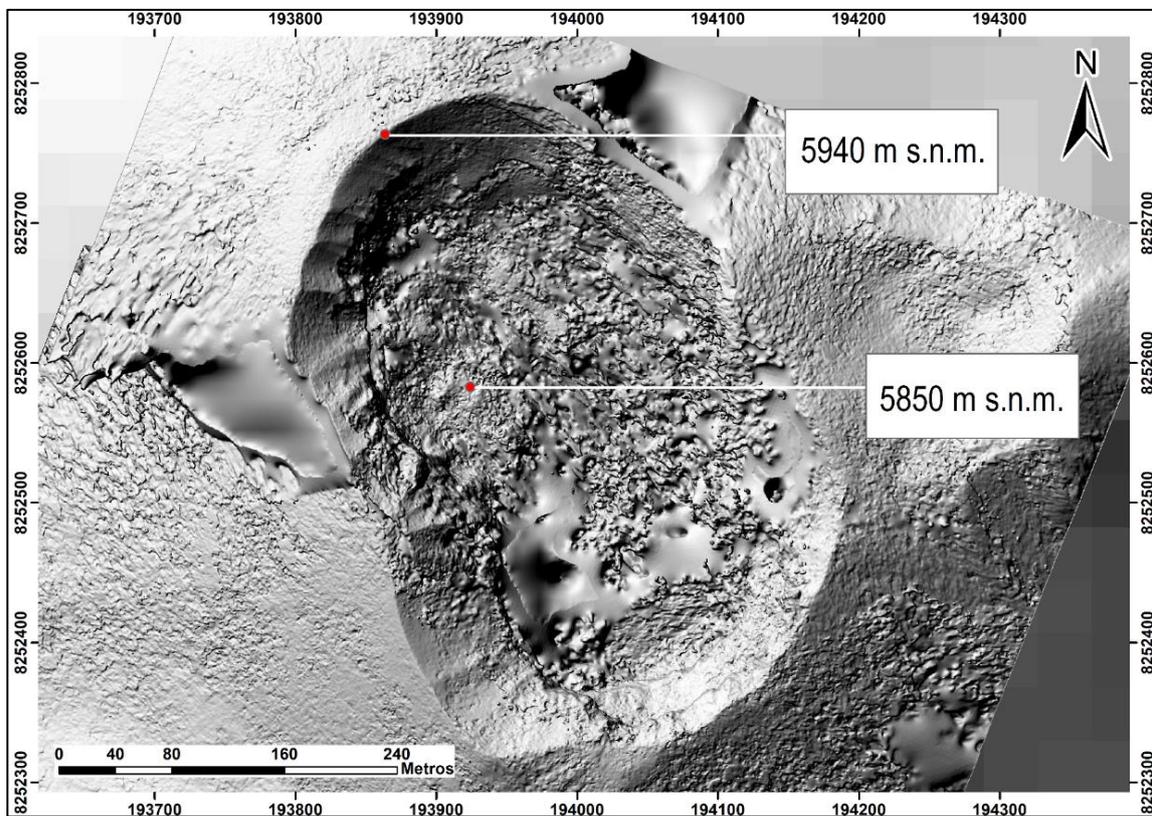


Figura 11.- Modelo digital de elevación (DEM) de alta resolución obtenido a partir del levantamiento aeofotogramétrico, realizado el 17 de septiembre de 2018.

2.4.3. Imágenes Radar (dInSAR)

El procesamiento y análisis de imágenes de radar de apertura sintética de tipo Sentinel 1 de la Agencia Europea Espacial evidencia una importante deformación en el sector noroeste del volcán Sabancaya. En correlación con los datos GNSS, esta deformación correspondería a una ligera inflación de la zona.

En la Figura 12, se muestra el interferograma generado al comparar las imágenes de radar del 30 de abril de 2015 y del 12 de octubre de 2019, las cuales fueron captadas en la órbita ascendente del satélite. La concentración de franjas en el sector noroeste del volcán Sabancaya indica una ligera deformación. La variación de colores de rojo a azul representa un acercamiento del terreno al satélite, lo cual es interpretado como una inflación o levantamiento de este sector. Este levantamiento ha sido cuantificado en aproximadamente 15 cm en estos cuatro años.

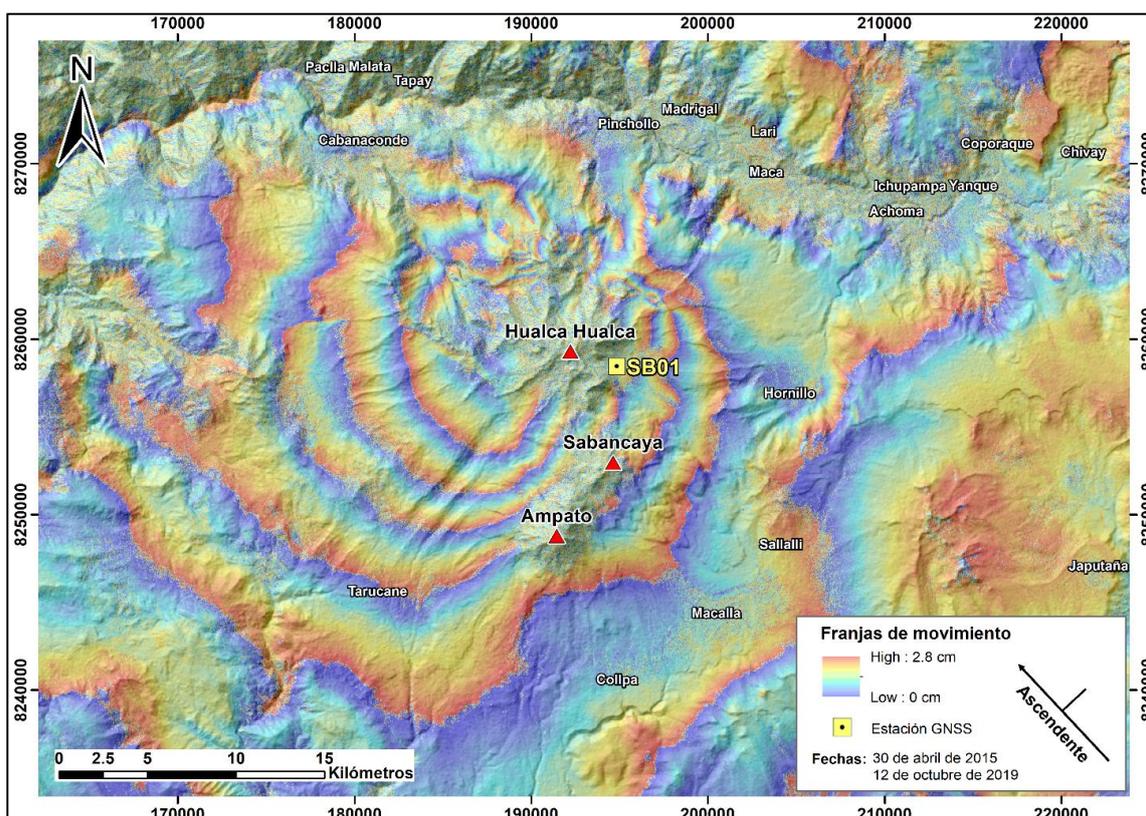


Figura 12.- Interferograma generado a partir de imágenes de radar Sentinel-1B de los días 30 de abril de 2015 y 12 de octubre de 2019.

CAPÍTULO III

PELIGROS VOLCÁNICOS Y ESCENARIOS ERUPTIVOS EN EL VOLCÁN SABANCAYA

En el volcán Sabancaya, se han identificado peligros generados por caída de piroclastos (cenizas), flujos de lava, lahares (flujos de lodo), flujos piroclásticos y avalanchas de escombros, los cuales se detallan a continuación:

3.1. Peligros Volcánicos

3.1.1. Peligros por caídas de piroclastos

Las erupciones explosivas emiten fragmentos de roca o piroclastos (ceniza, escoria, pómez) que son expulsados de manera violenta hacia la atmósfera y forman una columna eruptiva densa que, a veces, puede alcanzar varias decenas de kilómetros de altura. En el caso del Sabancaya, este volcán viene emitiendo cenizas desde noviembre de 2016 de manera casi permanente. Las cenizas corresponden a partículas finas (<2 mm) de magma pulverizado, las cuales pueden causar serios problemas en la salud de los habitantes del Valle del Colca en caso incrementa la actividad. Asimismo, las cenizas pueden contaminar las fuentes de agua, los pastos que sirven de alimento para el ganado camélido; así también, pueden afectar cultivos, interrumpir el tráfico aéreo, entre otros. Si la actividad eruptiva actual del Sabancaya incrementara, las cenizas pueden provocar el colapso de techos de las viviendas por el peso acumulado.

3.1.2. Peligros por lahares (flujos de lodo)

Los lahares (flujos de lodo) son mezclas de fragmentos de rocas volcánicas de tamaños diversos movilizados por el agua y que fluyen rápidamente (20-60 km/h). Se generan en periodos de erupción o de tranquilidad volcánica. El agua puede provenir de fuertes lluvias, fusión de hielo o nieve que yace en la cima del volcán, etc. Los lahares viajan a lo largo de quebradas o ríos y, eventualmente, pueden desbordarse tal como ocurrió con los lahares que destruyeron la ciudad de Armero en Colombia luego de la erupción del volcán Nevado del Ruiz en noviembre de 1985. El área afectada depende del volumen de agua y de materiales sueltos disponibles (arena, bloques) en el trayecto

del lahar, así como de la pendiente y topografía de los valles o quebradas. Los lahares destruyen todo a su paso y pueden alcanzar grandes distancias (>100 km) e incluso generar inundaciones cerca al cauce de los ríos.

El Sabancaya presenta este tipo de peligro, ya que anteriormente, en periodos de lluvia, se han generado lahares. Actualmente, hay ceniza acumulada en las laderas del volcán emitida o lo largo de su actual proceso eruptivo. Ante la ocurrencia de lluvias excepcionales, el agua y la ceniza pueden mezclarse y generar lahares que pueden discurrir por las quebradas y valles. El volumen y distancia a recorrer por el lahar está determinado en función del volumen de material suelto, volumen de agua de lluvia, la sinuosidad del cauce y la pendiente del volcán.

Pueden descender lahares por las quebradas que drenan del volcán Sabancaya (quebradas Mollebaya, Colihuiri, Sallalli y Sahuancaya-Pujro Huayj) e incluso por quebradas que drenan por los volcanes Ampato y Hualca Hualca. Los lahares causarían graves daños en terrenos de cultivo, carreteras, puentes, sobre todo si descienden por las quebradas que drenan del volcán Hualca Hualca, entre ellas quebrada Mollebaya-Río Sepina (Achoma), río de Hualca Hualca, quebrada Japo, quebrada Huayuray, entre otras.

3.1.3. Peligros por flujos de lava

Los flujos de lava son corrientes de roca fundida que son expulsadas por el cráter o fracturas en los flancos del volcán. Pueden desplazarse de manera lenta por las quebradas y valles y alcanzar varios kilómetros de distancia, desplazándose raramente a más de 8 km del centro de emisión (Francis, 1993). En el Sabancaya, las lavas son viscosas. En caso de ser emitidas en el actual proceso eruptivo, estas podrían recorrer más de 5 km de distancia. Flujos de lava generados por el volcán Sabancaya pueden cubrir todo a su paso; sin embargo, no representan un peligro alto para las personas debido a su baja velocidad de algunos metros por día, lo que permitiría realizar la evacuación de estancias localizadas en áreas cercanas al volcán.

3.1.4. Peligros por flujos piroclásticos

Los flujos piroclásticos son mezclas calientes (300 °C a 800 °C) de ceniza, fragmentos de roca y gases (Nakada, 2000). Estos flujos descienden por los flancos del volcán al ras de la superficie y a grandes velocidades, comprendidas entre 100 y 300 m/s (Hoblitt et al., 1995). Estos flujos se desplazarían por las laderas del volcán para luego encauzarse por el fondo de las quebradas o valles. Estos flujos destruyen y calcinan todo lo que encuentran a su paso.

Trabajos de vigilancia realizados en el volcán Sabancaya muestran el crecimiento de un domo de lava que, en las siguientes semanas o meses, podría generar flujos piroclásticos de bajo a moderado volumen (menos de 0.0001 km³) los cuales recorrerían hasta 6 u 8 km de distancia del volcán. Dado que dentro de un radio de 8 km del volcán no existen poblados u obras de infraestructura, el riesgo que representa este tipo de peligro es bajo.

3.1.5. Peligros por avalanchas de escombros

Las avalanchas de escombros son deslizamientos súbitos de los flancos de un volcán. Se originan debido a factores de inestabilidad tales como la elevada pendiente del volcán, presencia de fallas, movimientos sísmicos fuertes, explosiones volcánicas violentas, etc. Las avalanchas de escombros se desplazan a gran velocidad. Así por ejemplo, en el caso del monte St. Helens (EE.UU.), se estimaron velocidades del orden de 240 km/h (Glicken, 1996).

Las avalanchas de escombros tienen gran movilidad, sobre todo si son voluminosas (a mayor volumen mayor velocidad y distancia recorrida). Las avalanchas de escombros entierran y destruyen todo lo que encuentran a su paso. Adicionalmente, pueden generar lahares y crecientes a partir del desagüe de agua represada por la avalancha.

Existe poca posibilidad que el flanco occidental o norte del volcán Sabancaya colapse, ya que en esas zonas se han observado fracturas y fallas geológicas. Los productos resultantes pueden viajar hasta aproximadamente 8 kilómetros de distancia, cubriendo parte de los flancos del volcán y algunos bofedales aledaños a este. Dado que

dentro de un radio de 8 km del volcán no existen poblados u obras de infraestructura, el riesgo que representa este tipo de peligro es bajo.

3.2. Escenarios Eruptivos Futuros

A continuación, se presentan probables dinamismos eruptivos futuros; es decir, los tipos de erupciones que podría presentar el volcán Sabancaya con base al comportamiento pasado y al monitoreo de la actividad volcánica actual registrado por el Instituto Geofísico del Perú a través del CENVUL.

3.2.1. Primer escenario: erupción vulcaniana (IEV 1-2)

Actualmente, el volcán Sabancaya viene generando explosiones que consecuentemente emiten ceniza y eventualmente expulsa bloques balísticos que caen en áreas próximas al volcán, típico de una actividad vulcaniana. Las explosiones se dan en intervalos de minutos a horas. Como resultado de estas explosiones, se generan columnas eruptivas de gases y cenizas de menos de 6 km de altura.

La última actividad del volcán Sabancaya, ocurrida entre los años 1988 y 1998, presentó dinamismos de tipo vulcaniano. La ceniza fue dispersada entre 20 km y 30 km al este del volcán. Luego de las explosiones, se expulsaron proyectiles balísticos en un radio de 2 km alrededor del cráter (Guillande et al., 1992; Thouret et al., 1994).

Por otro lado, los depósitos de caída de ceniza identificados por Samaniego et al., (2016) en las calicatas efectuadas al sureste y este del volcán Sabancaya, muestran capas de cenizas ligadas a erupciones leves a moderadas de tipo vulcaniano con IEV 1-2. En la calicata Sallalli II se identificaron seis depósitos de ceniza emplazados en los últimos 4000 años, mientras que en la calicata Colihuiri se tienen quince depósitos de caída de ceniza acumulados en los últimos 3000 años. Por lo antes citado, se concluye que la posibilidad de que el Sabancaya continúe con un dinamismo eruptivo tipo vulcaniano es alto.

También, es frecuente la formación de lahares durante la ocurrencia de este tipo de erupciones, sobre todo si consideramos que en inmediaciones del volcán Sabancaya ocurren lluvias intensas de diciembre a marzo. Esto sucedió en el anterior proceso

eruptivo ocurrido entre los años 1988-1998, donde se generaron lahares en quebradas aledañas al volcán Sabancaya, Ampato y Hualca Hualca, específicamente en noviembre de 1990 y mayo de 1995 (GVN, 1995). Durante este proceso, algunos lahares alcanzaron el río Colca, situado a más de 15 km al norte del cráter del Sabancaya. En dicha ocasión, se trataron de lahares de pequeño volumen, posiblemente de 0.5 a 1 millón de m³.

Los lahares causarían graves daños en terrenos de cultivo, carreteras como la vía Chivay-Huambo, puentes, sobre todo si descienden del volcán Hualca Hualca. Los lahares pueden descender por la quebrada Mollebaya-Río Sepina (Achoma), río de Hualca Hualca y la quebrada Huayuray.

Durante erupciones vulcanianas moderadas (IEV 2), también pueden generarse flujos piroclásticos de poco volumen y limitado alcance. En efecto, los flujos piroclásticos pueden alcanzar al menos 6 km de distancia del cráter sin afectar la vida de los pobladores de la zona.

3.2.2. Segundo escenario: erupción efusiva

Durante los últimos 8000 años, el volcán Sabancaya presentó en varias oportunidades erupciones efusivas que emitieron principalmente flujos de lava. Estos flujos han alcanzado distancias de hasta 7 km de distancia desde la fuente. Actualmente, existe la posibilidad de ocurrencia de una erupción efusiva con emisión de lavas que difícilmente sobrepasarán distancias de 7 km. Además, si ocurriese una erupción efusiva, la lava puede fundir la capa de hielo y nieve que existe en la cumbre del volcán Sabancaya y producir lahares que descenderían por las quebradas que surcan el cono volcánico. Los lahares causarían daños en terrenos de cultivo, carreteras, puentes, sobre todo si descienden por la quebrada Mollebaya-Río Sepina (Achoma), río de Hualca Hualca, quebrada Huayuray y otras.

3.2.3. Tercer escenario: crecimiento de domo y colapso de domo

Un domo es un cuerpo masivo de lava que se forma cuando el magma es demasiado viscoso para fluir, apareciendo en forma de una protuberancia en el cráter o en el flanco de un volcán. Actualmente, es visualizado un domo de lava de 120 m de



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



radio en el cráter del volcán Sabancaya. El crecimiento de domo en el volcán puede generar flujos piroclásticos (flujos incandescentes de bloques y cenizas) que pueden emplazarse principalmente al norte de dicho volcán, alcanzando distancias de hasta 8 km del volcán y afectando terrenos de pastizales y bofedales. Los flujos pueden desplazarse a ras del suelo a velocidades mayores de 50 m/s, llegando a distancias mayores a 6 km de su fuente (Miller, 1989). Desde luego, asociado a este escenario, pueden seguir ocurriendo las explosiones moderadas.

3.3. Boletines Vulcanológicos

Para el periodo del 21 al 27 de octubre, se ha emitido el último boletín vulcanológico sobre la actividad eruptiva del volcán Sabancaya (Figura 13), en el cual, basado en la evaluación de diversos parámetros geofísicos, geodésicos, geoquímicos y por sensores remotos, se recomienda mantener el nivel de alerta volcánica en color naranja.



PERÚ

Ministerio del Ambiente



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Instituto Geofísico del Perú - IGP



"Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"
"Año de la lucha contra la corrupción y la impunidad"

VOLCÁN SABANCAYA

BOLETÍN VULCANOLÓGICO n.º 043-2019

Periodo de análisis: 21 al 27 de octubre de 2019
Arequipa, 28 de octubre de 2019

Nivel de alerta: **NARANJA**

El Instituto Geofísico del Perú (IGP) informa que la actividad eruptiva del volcán Sabancaya se mantiene en niveles moderados; es decir, con el registro de explosiones moderadas continuas y la consecuente emisión de cenizas. En consecuencia, para los días siguientes, **no se esperan cambios significativos.**

El análisis de los registros obtenidos de la red sísmica del volcán Sabancaya para el periodo del 21 al 27 de octubre de 2019 ha permitido identificar la ocurrencia de aproximadamente 2043 sismos de origen volcánico, cuyo mayor porcentaje está asociado al movimiento de fluidos (gases y magma). Durante esta semana, se han observado en promedio 48 explosiones diarias de mediana a baja intensidad.

El monitoreo de la deformación de la estructura volcánica, utilizando datos GNSS (procesados con órbitas rápidas), no presenta anomalías significativas. El monitoreo visual, usando cámaras de vigilancia, ha permitido identificar la ocurrencia de columnas de gases y cenizas de hasta 2.5 km de altura sobre la cima del volcán, las cuales se dispersaron hacia los sectores O, SO y S del Sabancaya. El monitoreo satelital permitió identificar, sobre el volcán, la presencia de 15 anomalías térmicas con valores de entre 5 MW y 24 MW, asociadas a la presencia de un cuerpo de lava (domo) distinguido desde el año 2017 dentro del cráter del volcán. Cabe mencionar que durante los últimos meses el cuerpo de lava viene ascendiendo muy lentamente, rellenando la zona norte del cráter.

RECOMENDACIONES

- **Mantener el nivel de alerta volcánica en color naranja.**
- No acercarse a un radio menor de 12 km del cráter. Todo ascenso al volcán es de muy alto riesgo.
- En caso de caída de ceniza, cubrirse la nariz y boca con paños húmedos o mascarillas. Mantener cerradas las puertas y ventanas de las viviendas.
- Implementar acciones de prevención y mitigación ante un incremento de la actividad volcánica.
- Mantenerse informado en todo momento sobre la actividad volcánica del Sabancaya mediante los reportes emitidos por el IGP: (<http://www.igp.gob.pe/servicios/centro-vulcanologico-nacional/>).

PERSPECTIVAS

- No se prevé, en la siguiente semana, cambios significativos en el actual proceso eruptivo del volcán Sabancaya.
- De continuar ocurriendo explosiones volcánicas o emisiones de ceniza, estas se dispersarían, el 28 de octubre, hacia los sectores suroeste a este del volcán con vientos que superarían los 50 km/h. Entre el 29 de octubre y el 2 de noviembre, los vientos presentarían condiciones de dispersión hacia los sectores sur y suroeste, con vientos de hasta 45 km/h.

Instituciones cooperantes:



Nota: el próximo boletín se emitirá el 4 de noviembre. De existir cambios repentinos en el comportamiento dinámico del volcán, estos se emitirán oportunamente.

Centro Vulcanológico Nacional (CENVUL)
Instituto Geofísico del Perú
Urb. La Marina B-19, Cayma-Arequipa / +51 54 251373 / portal.igp.gob.pe



Figura 13.- Boletín vulcanológico n.º 043-2019 mediante el cual el IGP recomienda mantener el nivel de alerta volcánica en color naranja.

CONCLUSIONES

- El 6 de noviembre de 2016, el volcán Sabancaya entró en un nuevo proceso eruptivo. Actualmente, presenta una actividad explosiva leve a moderada con columnas de gases y cenizas que eventualmente alcanzan alturas de hasta los 4 km sobre la cima. Durante los últimos meses, la ceniza viene siendo dispersada en dirección sur, sureste y suroeste del volcán. Se ha reportado caída de ceniza fina en áreas ubicadas hasta una distancia de 40 km del cráter.
- Durante el año 2019, se han observado 4 episodios sísmicos ligados a la ocurrencia de enjambres sísmicos registrados en los meses de abril, mayo, agosto y septiembre. En el contexto de la ocurrencia de estos enjambres, se registraron señales sísmicas ligadas al ascenso de magma (sismos tipo Híbridos).
- La energía sísmica de las explosiones volcánicas obtenida gracias a las señales sísmicas se ha visto incrementada a partir del registro de los enjambres sísmicos ocurridos desde abril de 2019.
- Los valores de las anomalías térmicas registradas en el cráter del volcán Sabancaya, a través de imágenes satelitales y el sistema MIROVA, mostraron un incremento en niveles de radiancia (VPR). Dichas anomalías corresponden a la presencia y al crecimiento de un domo de lava en el fondo del cráter del volcán Sabancaya.
- Actualmente, se visualiza un domo de lava de aproximadamente 120 m de radio en el cráter del volcán Sabancaya. El crecimiento del domo en el volcán puede generar flujos piroclásticos (flujos incandescentes de bloques y cenizas) que pueden desplazarse principalmente por el sector norte del volcán, alcanzando distancias de hasta 6 km del volcán afectando terrenos de pastizales y bofedales.
- El monitoreo geodésico indica que existe una ligera inflación o levantamiento del sector norte del volcán Sabancaya. Dicha información es corroborada con la información obtenida con el método InSAR.
- Respecto a la actividad volcánica futura en el volcán Sabancaya, se han identificado tres escenarios eruptivos: a) los escenarios que tienen mayor probabilidad de ocurrir o seguir ocurriendo, corresponden a erupciones vulcanianas (IEV 1-2); b) erupciones efusivas, con el emplazamiento de flujos de lava; c) el crecimiento y colapso de domos con la generación de flujos piroclásticos de poco volumen.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



- Actualmente, viene ocurriendo la caída de ceniza fina en algunos pueblos localizados al suroeste, sur y sureste del volcán Sabancaya, entre ellos Huambo, Huanca, Lluta y Taya.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



RECOMENDACIONES

- Se recomienda mantener el nivel de alerta volcánica en color NARANJA.
- No acercarse a un radio menor de 12 km del cráter. Toda aproximación o ascenso al volcán es de muy alto riesgo.
- Implementar acciones de prevención y mitigación ante un incremento de la actividad volcánica.
- Ante el registro de precipitaciones pluviales, la probabilidad de generación de lahares es latente. En ese escenario, se recomienda a la población alejarse del lecho de ríos y quebradas.
- En caso de caída de cenizas, la población debe evitar el contacto con este material, cubrirse la nariz y boca con paños húmedos o mascarillas, además de mantener cerradas las puertas y ventanas de las viviendas.
- Las instituciones competentes deben realizar una evaluación permanente del impacto de las cenizas en el agua, suelo, cultivo, pastos naturales y animales, especialmente en zonas donde se viene registrando la caída de ceniza.
- Mantenerse informado en todo momento sobre la actividad volcánica del Sabancaya mediante los reportes emitidos por el IGP: (<http://www.igp.gob.pe/servicios/centro-vulcanologico-nacional/>).

BIBLIOGRAFÍA

- Barriga, V. (1951) - Los terremotos en Arequipa, 1582-1868. Arequipa: La Colmena, 426 p.
- Francis, P.W. (1993) – Volcanoes: a planetary perspective. New York: Oxford University Press, 443 p.
- Gerbe M.-C., Thouret J.-C. (2004). Role of magma mixing in the petrogenesis of lavas erupted through the 1990-98 explosive activity of Nevado Sabancaya in south Peru. *Bulletin of Volcanology*, 66, 541-561.
- Global Volcanism Network bulletin (1990) Sabancaya volcano, 15(5):2–4
- Global Volcanism Network bulletin (1990) Sabancaya volcano, 15(6):2
- Global Volcanism Network bulletin (1991) Sabancaya volcano, 16 (5):16–17
- Global Volcanism Network bulletin (1991) Sabancaya volcano, 16(7):5–6
- Global Volcanism Network bulletin (1995) Sabancaya volcano
- Glicken, H. (1996) - Rockslide-debris avalanche of May 18, 1980, Mount St. Helens volcano, Washington. U.S. Geological Survey, Open-File Report 96-677, 90 p.
- Guillaude, R.; Thouret, J.-C.; Huamán, D. & Le Guern, F. (1992) - L'activité éruptive actuelle du volcan Nevado Sabancaya (Sud du Pérou) et l'évaluation des menaces et des risques: géologie, cartographie et imagerie satellitaire, informe inédito. Paris: Ministère de L'Environnement et Centre National d'Etudes Spatiales, 120 p.
- Hoblitt, R.P.; Walder, J.S.; Driedger, C.L.; Scott, K.M.; Pringle, P.T. & Vallance, J.W. (1995) - Volcano Hazards from Mount Rainier, Washington. U.S. Geological Survey, Open-File Report 95-273, 10 p.
- Miller C., (1989) - Potencial Hazards from Future Volcanic Eruptions in California. U.S. Geological Survey Bulletin 1847, United States, 17 p.
- Nakada, S. (2000) - Hazards from pyroclastic flows and surges. En: Sigurdsson, H.; Houghton, B.F.; McNutt, S.R.; Rymer, H. & Stix, J., eds. *Encyclopedia of volcanoes*. San Diego, CA: Academic Press, p. 945-955.
- Samaniego, P., Rivera, M., Mariño, J., Guillou, H., Liorzou, C., Zerathe, S., Delgado, R., Valderrama, P. (2016) - The eruptive chronology of the Ampato-Sabancaya volcanic complex (Southern Peru). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. Vol. 323, p. 110-128.

- Siebert, L.; Simkim, T. & Kimberley, P. (2011) - Volcanoes of the world. 3. ed. Washington, D.C.: Smithsonian Institution, Berkeley, CA: University of California Press, 551 p.
- Tavera, H.; Guardia, P.; Condori, C.; Fernandez, E. & Arredondo, L. (2013a) - Sismos de la región del volcán Sabancaya del 22 y 23 de febrero del 2013, informe inédito. Lima: Instituto Geofísico del Perú, Informe Técnico N° 01-2013.
- Tavera, H.; Martínez, J.; Fernández, E.; Arredondo, L.; Flores, C. & Millones, J. (2013b) - Sismo de Huambo-Cabanaconde (Arequipa) del 17 de julio, 2013 (5,7ML), informe inédito. Lima: Instituto Geofísico del Perú, Informe Técnico N° 02-2013.
- Tavera, H., Guzmán, J., Velarde, L., Cuya, A. (2016) - Sismo de Ichupampa del 14 de agosto del 2016 (5.3 ML), informe inédito. Lima: Instituto Geofísico del Perú, 18 p.
- Thouret, J.-C.; Guillaude, R.; Huamán, D.; Gourgaud, A.; Salas, G. & Chorowicz, J. (1994) - L'activité actuelle du Nevado Sabancaya (Sud Pérou): reconnaissance géologique et satellitaire, évaluation et cartographie des menaces volcaniques. Bulletin Société Géologique de France, 165(1): 49-63.
- Zamácola, J. (1804) - Apuntes para la historia de Arequipa. Año de 1804. Arequipa: Imp. de La Bolsa, 98 p.