

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A7006**

# ESTADO DE LA ERUPCIÓN DEL VOLCÁN SABANCAYA, PERIODO NOVIEMBRE 2019 A ENERO-2020

Región Arequipa  
Provincia Caylloma



ENERO  
2020

**INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO**  
**DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO**



**ESTADO DE LA ERUPCIÓN DEL VOLCÁN SABANCAYA**  
**PERIODO NOVIEMBRE-2019 A ENERO-2020**

**Observatorio Vulcanológico del INGEMMET**  
**OVI**

**Enero 2020**

## Equipo de Trabajo

*MSc. Rigoberto Aguilar Contreras*  
*MSc. Edu Taipei Maquerhua*  
*Dra. Yanet Antayhua Vera*  
*Ing. Mayra Ortega Gonzales*  
*Lic. Fredy Apaza Choquehuayta*  
*Ing. Rosa Anccasi Figueroa*  
*Ing. Luis Cruz Mamani*  
*Mag. Pablo Masias Alvarez*  
*Ing. David Valdivia Humerez*  
*Ing. Beto Ccallata Pacsi*  
*Ing. Rafael Miranda Cruz*  
*Ing. Domingo Ramos Palomino*  
*MSc. Nelida Manrique Llerena*

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	4
<b>2. PROCESO ERUPTIVO 2016-2020</b> .....	5
<b>3. MONITOREO MULTIDISCIPLINARIO</b> .....	5
<b>3.1. Monitoreo químico de gases</b> .....	6
<b>3.2. Monitoreo de deformación volcánica</b> .....	8
<b>3.3. Monitoreo sismo-volcánico</b> .....	10
<b>3.4. Monitoreo con sensores remotos</b> .....	14
<b>3.5. Discusión de resultados</b> .....	0
<b>4. EVOLUCIÓN DEL DOMO DE LAVA</b> .....	2
<b>5. OCURRENCIA DE FLUJOS PIROCLASTICOS</b> .....	8
<b>6. POSIBLES ESCENARIOS FUTUROS</b> .....	11
<b>7. CONCLUSIONES</b> .....	14

## 1. INTRODUCCIÓN

El volcán Sabancaya, ubicado en la Provincia de Caylloma, a 75 km al NO de la ciudad de Arequipa, es el volcán más joven y el segundo más activo del Perú. La historia eruptiva de este volcán indica que ha presentado diferentes episodios con erupciones efusivas con emisión de flujos de lava, erupciones explosivas baja y moderadas y erupciones con emplazamiento de domos de lava. Estos episodios no han superado un Índice de Explosividad Volcánica IEV 2 (Gerbe y Thouret, 2004).

El 06 de noviembre del 2016, el Sabancaya inició un proceso eruptivo que continúa hasta la actualidad. Este nuevo proceso eruptivo, es de tipo vulcaniano, caracterizado por presentar pequeñas a moderadas explosiones con altitudes de hasta 5.5 km sobre el cráter y emisiones de gases, ceniza y ocasionalmente proyectiles balísticos. Desde febrero del 2017, se ha observado el emplazamiento de un domo de lava que crece en el interior del cráter del volcán. En el 2019 se observaron cambios importantes en la morfología del domo, y ligeramente en la dinámica eruptiva del volcán.

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), dentro de sus funciones realiza trabajos para identificar, caracterizar, evaluar y diagnosticar aquellas zonas, urbanas o rurales, que podrían verse adversamente afectadas por peligros geológicos, entre ellos los peligros volcánicos. Estudios, concebidos principalmente como herramientas de apoyo en la planificación territorial y la gestión del riesgo (planes de emergencia), son publicados en boletines y en reportes técnicos. Esta labor es desarrollada, principalmente, por la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, el cual, tiene ámbito nacional y está refrendado por la Ley 29664, Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD).

En tal sentido, el INGEMMET, a través de su Observatorio Vulcanológico (OVI), realiza el seguimiento de la actividad del Sabancaya mediante una red de sensores instalados en el volcán, cuya información es transmitida en tiempo real al OVI. Además, se realizan mediciones periódicas a través de campañas de campo. Este monitoreo tiene como objetivo principal determinar la naturaleza y probabilidad de ocurrencia y evolución de los procesos eruptivos. En ese sentido, este informe muestra el estado actual del proceso y los cambios ocurridos en la morfología del domo de lava del volcán Sabancaya.

## 2. PROCESO ERUPTIVO 2016-2020

A lo largo de este proceso eruptivo, noviembre-2016 a enero-2020, se ha registrado variaciones significativas en los parámetros de medición empleados para el monitoreo del Sabancaya, estos cambios, están asociados a alteraciones importantes en la dinámica eruptiva, entre ellos: (1) el incremento de gas magmático SO<sub>2</sub>, desde 1,000 toneladas/día hasta 12,000 toneladas/día, considerados como flujos grandes a muy grandes (> 12,000 toneladas/día); (2) periodos de inflación constante debido a intrusión profunda de magma, detectados por las técnicas de GPS e InSAR, (3) periodos de presencia de sismos asociados a la dinámica de fluidos y gases al interior de los conductos volcánicos (largo periodo), seguido por sismos relacionados con el fracturamiento de roca dentro de la estructura volcánica (volcano - tectónicos); y (4) presencia de explosiones leves y moderadas que generaron columnas eruptivas de gases y ceniza de hasta 3 km de altura en promedio.

En general, el proceso eruptivo actual se caracteriza por presentar explosiones moderadas con emisiones de gases, ceniza y proyectiles balísticos. Las imágenes satelitales Planet Scope, permitieron identificar el emplazamiento de un domo en el cráter del volcán, desde febrero del 2017. Entre septiembre y octubre del 2019, trabajos de campo, sobrevuelos de dron e imágenes captadas con cámaras infrarrojo, permitieron corroborar el crecimiento del domo de lava en el interior del cráter, lo cual permitió reportar información oportuna.

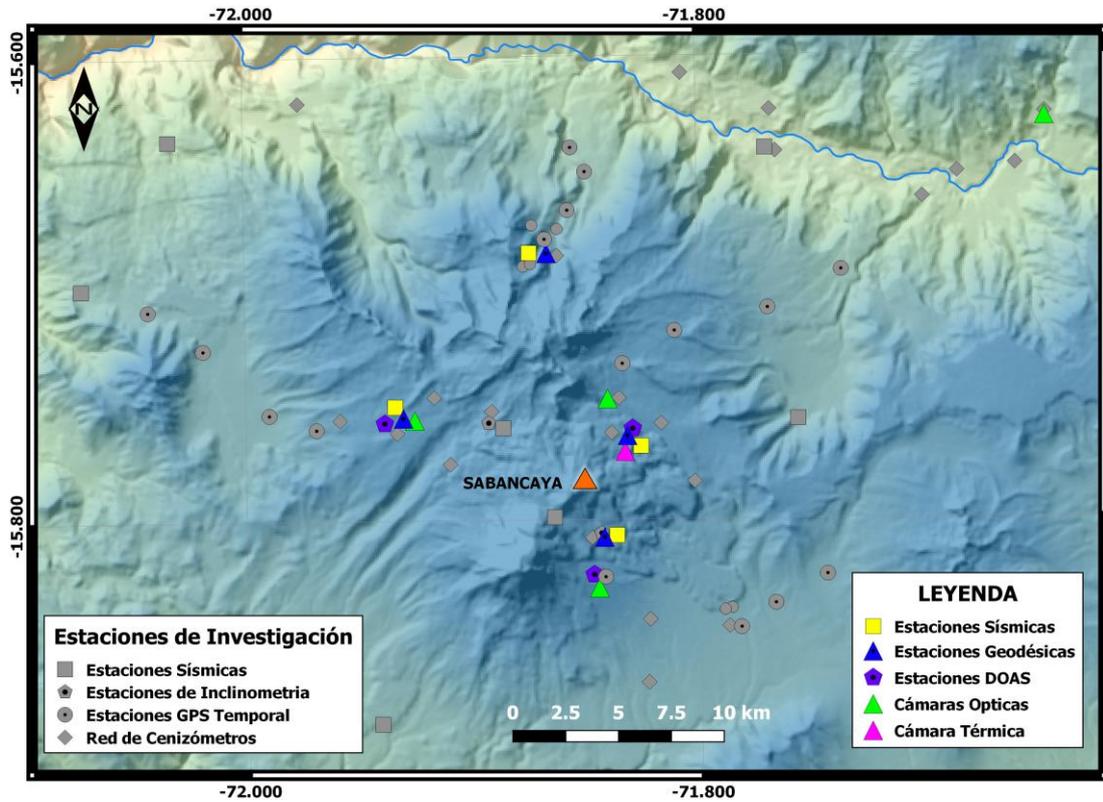
Desde noviembre del 2019, la ocurrencia de la sismicidad de tipo híbrido se hizo más continua, este proceso indicaba un aporte continuo y/o ascenso de magma. Los flujos de SO<sub>2</sub> superaron las 10,000 toneladas/día para luego iniciar un proceso de desgasificación continua. En cuanto a la deformación, la tasa de inflación del edificio volcánico se incrementó de 1 a 2 cm/año. Además, el monitoreo de sensores remotos mediante el análisis de imágenes satelitales (Planet Scope), el registro de imágenes capturadas por cámaras ópticas e infrarrojas, y el análisis de imágenes obtenidas mediante sobrevuelos con drones, permitieron seguir el crecimiento y cambios de la geomorfología del domo de lava ubicado en el cráter activo del volcán.

Desde fines de noviembre del 2019 hasta enero del 2020, la dinámica eruptiva ha cambiado ligeramente, con un proceso de destrucción parcial del domo de lava y el emplazamiento de pequeños flujos piroclásticos (corrientes de densidad piroclásticas).

## 3. MONITOREO MULTIDISCIPLINARIO

El OVI cuenta con una amplia red de monitoreo y tiene instalados equipos de última generación en el volcán Sabancaya (Figura 3.1). La información recolectada mediante esta red es transmitida en tiempo real hacia las instalaciones del OVI, en la ciudad de Arequipa. Las estaciones son multiparamétricas, con sensores de gases volcánicos (DOAS), sísmicos, receptores GNSS CORS, inclinómetros, cámaras ópticas, cámaras térmicas, cenizómetros, sensores de infrasonido y otros equipos de medición directa.

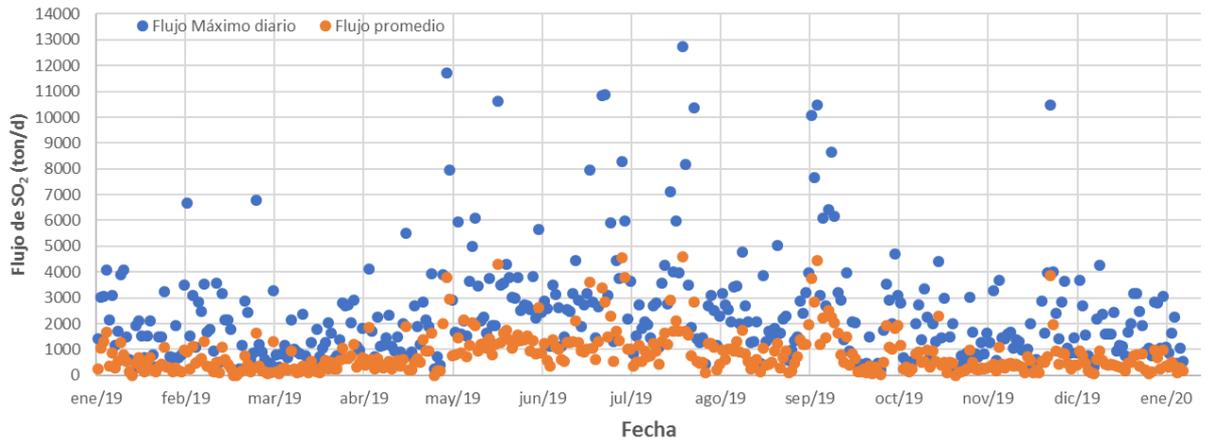
Toda la información generada es analizada diariamente, y sirve para la elaboración de los reportes y comunicados que son transmitidos a las autoridades locales, regionales y nacionales.



**Figura 3.1.** Red de monitoreo multidisciplinario del volcán Sabancaya operados por el OVI.

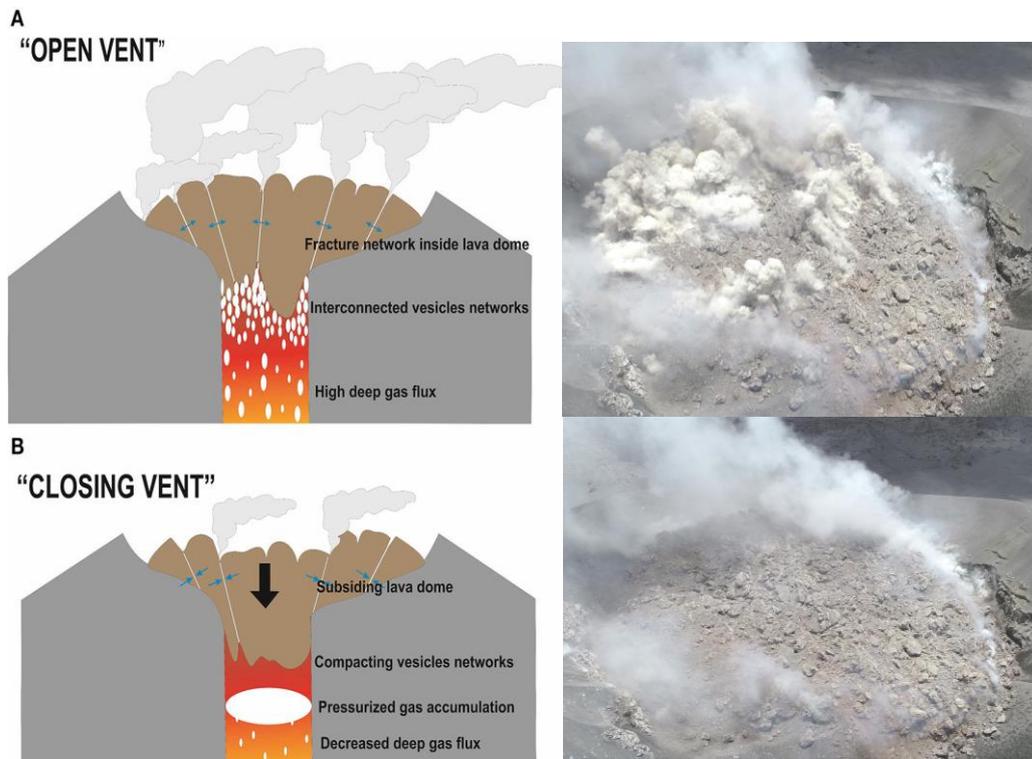
### 3.1. Monitoreo químico de gases

La red de medición del flujo del gas volcánico SO<sub>2</sub> en el volcán Sabancaya cuenta con tres Escáner-DOAS desplegados alrededor del edificio volcánico. Los sensores han permitido registrar valores mayores a 12,000 toneladas/día (considerados “muy grandes”) entre los meses de mayo y septiembre del 2019. El máximo valor obtenido fue de 12,814 t/día registrado el día 27 de julio del 2019. Estos valores “muy grandes”, están asociados al ascenso de magma hacia la superficie. En la Figura 3.2, se muestra el registro diario del flujo de SO<sub>2</sub>, así como el promedio de todas las lecturas diarias.



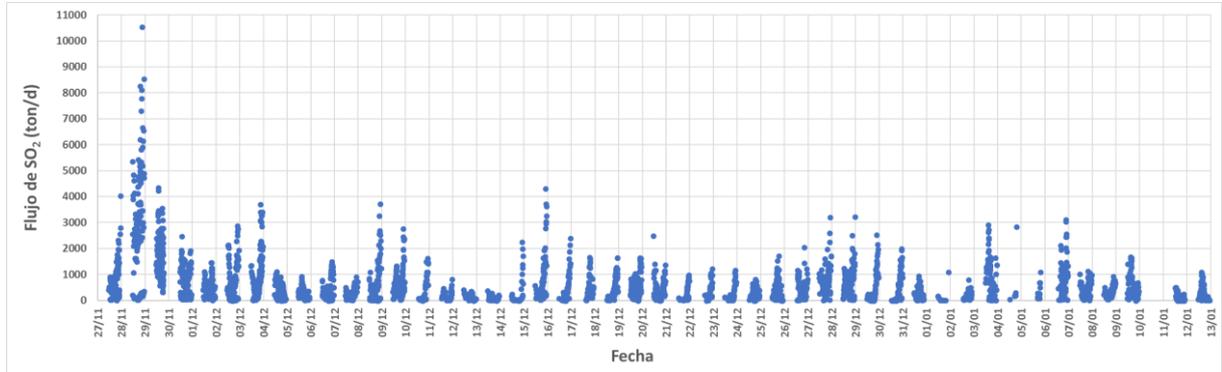
**Figura 3.2.** Variación del flujo del gas magmático  $SO_2$  registrado por el escáner DOAS (Periodo: 01 de enero de 2019 al 13 de enero de 2020).

El periodo de crecimiento del domo de lava (mayo – octubre de 2019) en el volcán Sabancaya, sugiere un proceso eruptivo de un sistema parcialmente cerrado, con una desgasificación pasiva, la cual se incrementa con aportes continuos de gas magmático, que, debido a la presencia del domo, se incrementa la cantidad de emisión de gases hacia la superficie, de manera más intermitente y violenta a través de explosiones. Se infiere este proceso, en base al modelo conceptual propuesto por Campion (2018), a partir de las observaciones realizadas en el volcán Popocatepetl-México (figura 3.3).



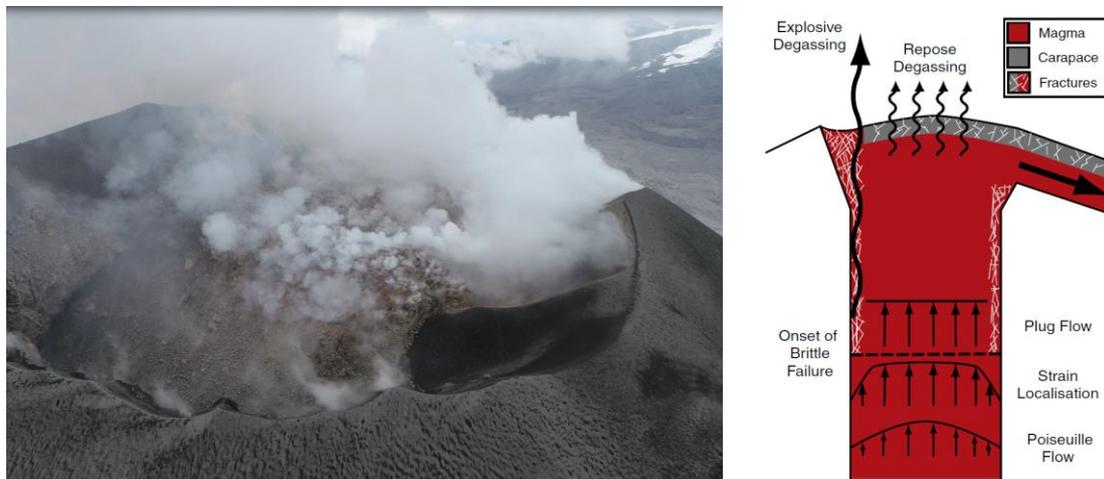
**Figura 3.3.** Izquierda. Modelo conceptual de desgasificación pasiva (Campion, 2018). Derecha. Imágenes de desgasificación continua a través del domo de lava del Sabancaya.

Durante los últimos días de noviembre del 2019, se han registrado flujos de SO<sub>2</sub> que superaron las 10,000 toneladas/día (Figura 3.4), indicando un cambio en el proceso de desgasificación, que se asemeja a un sistema semi abierto.



**Figura 3.4.** Mediciones del flujo del gas magmático SO<sub>2</sub> registrado por el escáner DOAS (Periodo: 27 de noviembre de 2019 al 13 de enero de 2020).

Según Holland et al., (2011) un mecanismo de desgasificación podría suceder con un conducto semi-abierto lateral y un domo que recubre la mayor parte del cráter, generando una acelerada liberación de gas a la atmósfera. A partir de diciembre del 2019, el Sabancaya, se comporta como un sistema parcialmente abierto con desgasificación continua generando explosiones moderadas.



**Figura 3.5.** Izquierda Fotografía de la desgasificación a través del domo de lava por un conducto lateral y fisuras. Derecha Modelo conceptual de desgasificación (Holland, 2011).

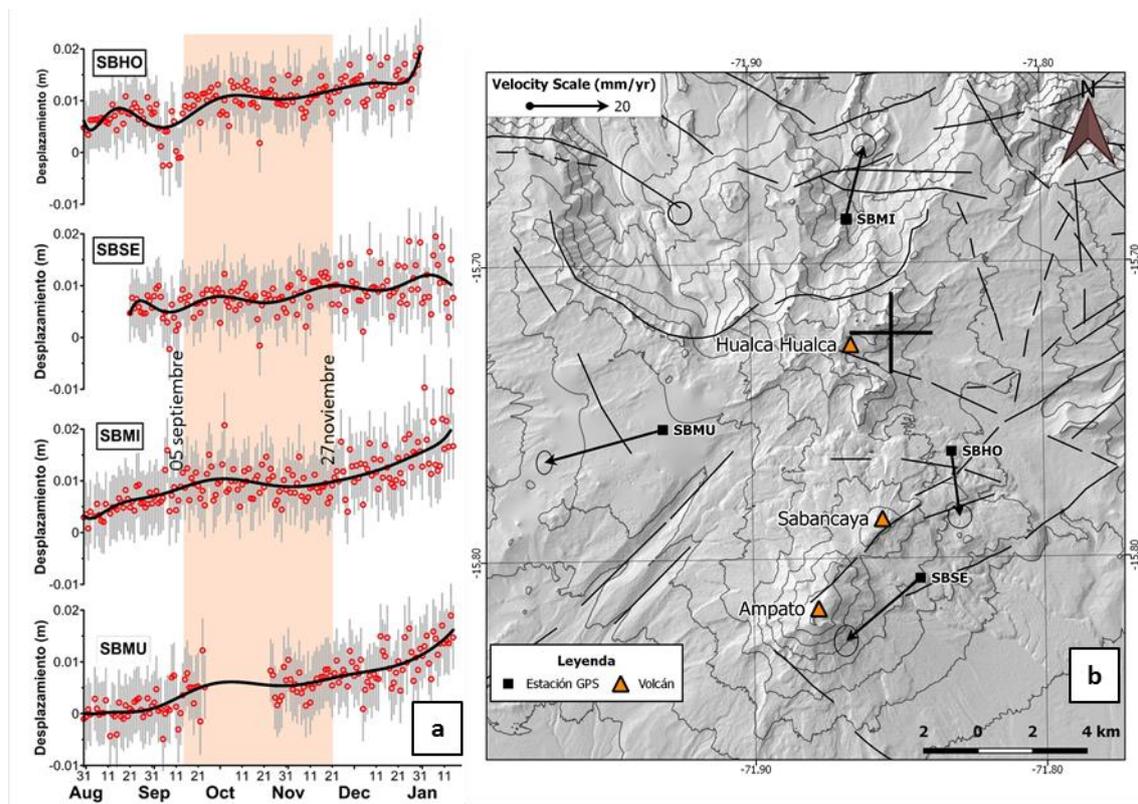
### 3.2. Monitoreo de deformación volcánica

La red de receptores GNSS CORS del volcán Sabancaya, implementada desde el 2014, ha registrado un proceso de inflación de 3 a 4 cm/año hasta el 05 de setiembre de 2019. Asimismo, mediante modelamiento inverso, se ha calculado que la deformación registrada en

el Sabancaya se asocia a una cámara magmática ubicada entre 12 y 15 km por debajo del volcán Hualca Hualca.

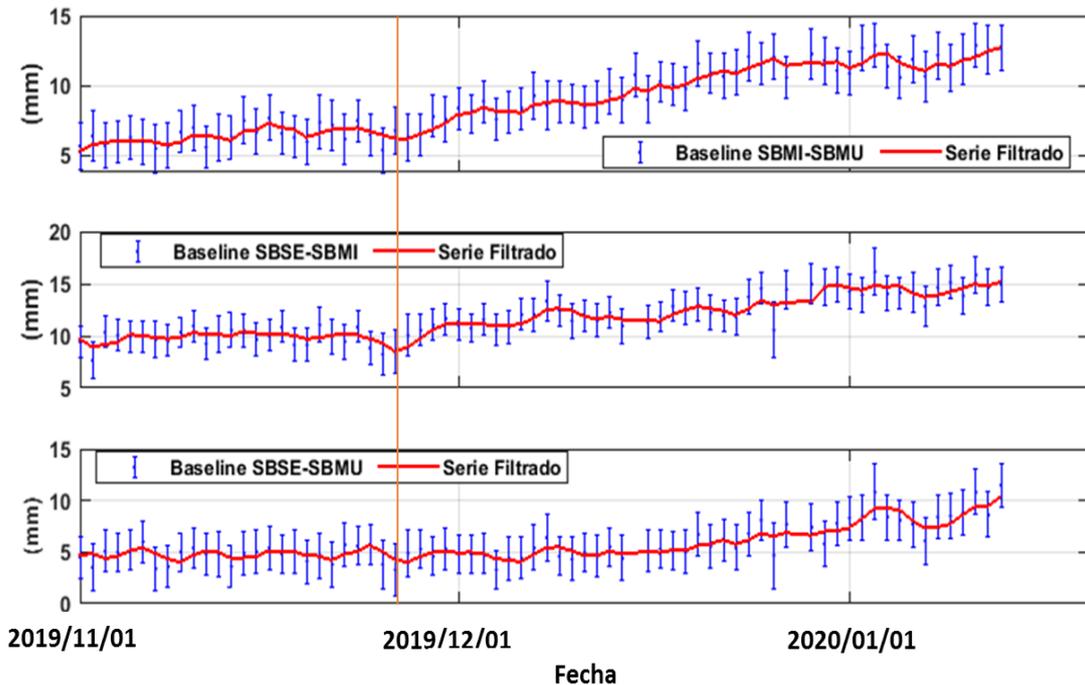
Durante el 2019, se ha identificado diferentes episodios de aumento en la tasa de deformación que se correlacionan con el régimen sísmico de intrusión y migración magmática. A partir del 05 de septiembre, la tasa de inflación relacionada a la intrusión profunda en la cámara magmática, disminuyó hasta 1 cm/año, esto se registró hasta el 27 de noviembre. posterior a esta fecha, se ha identificado que la tasa de inflación incrementó paulatinamente hasta 3.6 cm/año (Figura 3.6).

Se ha modelado la fuente de deformación utilizando el software dModels (Battaglia et al., 2013), aplicando los modelos de McTigue (1987) y Yang et al. (1988). La inversión de las velocidades medias anuales calculadas entre el 27 de noviembre y el 10 de enero por los GPS (Figura 3.6a), muestran que la fuente de deformación continua siendo la misma, con una tasa de intrusión anual promedio de  $\sim 25 \text{ Mm}^3/\text{año}$  (Figura 3.6b).



**Figura 3.6.** A la izquierda, a) Series temporales de posición vertical de las cuatro estaciones GPS del volcán Sabancaya. A la derecha, b) los vectores de desplazamiento horizontal y la fuente modelada (cruz de color negro).

El incremento en la deformación a partir del 27 de noviembre, también se ha identificado en las líneas base entre las estaciones SBSE, SBMI y SBMU obteniendo valores promedio de extensión de 4 cm/año (Figura 3.7).



**Figura 3.7.** Series temporales de la línea base de longitud entre las estaciones GPS SBSE y SBMI del volcán Sabancaya.

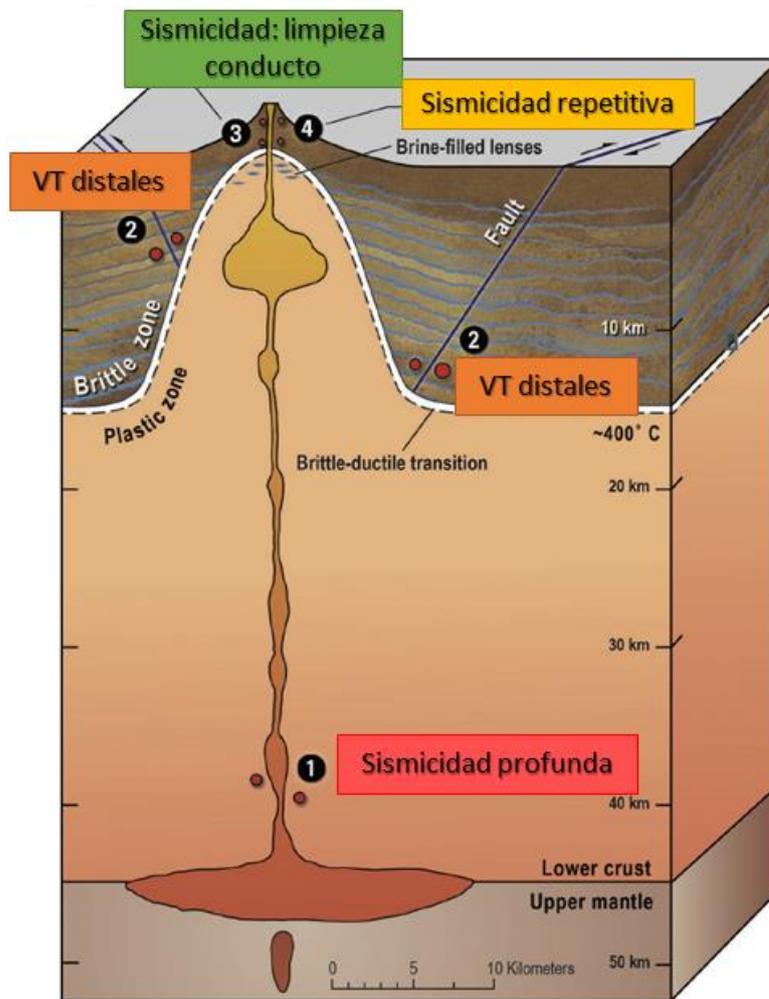
### 3.3. Monitoreo sismo-volcánico

Desde el 27 noviembre de 2019 al 10 enero del 2020, se observó un cambio en el comportamiento de la sismicidad del volcán Sabancaya; en este periodo, se aprecia un descenso en el número y energía de las explosiones. De igual manera, disminuyó la energía de la sismicidad asociada al movimiento de fluidos (LP's), y en cuanto a los eventos de ruptura, en este periodo no se registraron importantes etapas de intrusión magmática como las registradas en mayo, agosto o setiembre del 2019. Sin embargo, a pesar de haber un descenso en estos tipos de actividad, se registró un incremento importante en los sismos relacionados con la dinámica de fluidos, básicamente sismos híbridos y actividad tremórica (ascenso y la emisión de estos hacia la superficie respectivamente).

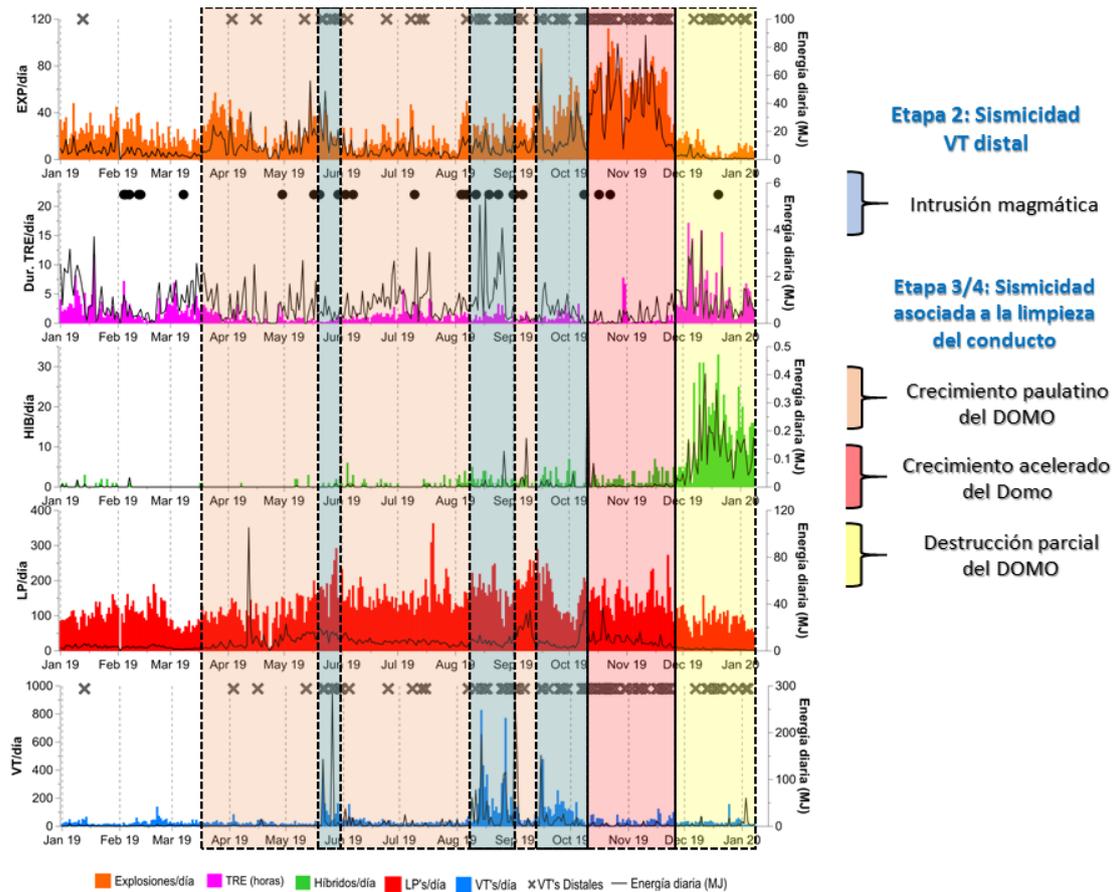
Estos cambios en el comportamiento de la actividad sismo – volcánica del Sabancaya y el análisis de su forma de onda, además del contenido espectral, han permitido identificar patrones para el reconocimiento de fase del proceso eruptivo del volcán.

White & McCausland (2019), proponen un modelo conceptual de 04 etapas de progresión de la sismicidad y cómo se relacionan con el proceso antes y durante una erupción de un determinado volcán; dicho modelo fue propuesto especialmente para estratovolcanes que no han erupcionado por más de 20 años, como es el caso del Sabancaya, que después de 16 años aproximadamente entró en erupción el 06 de noviembre del 2016.

El modelo conceptual (McCausland et al., 2017), establece 04 etapas: 1) Sismicidad profunda, 2) Sismicidad distal (volcano -tectónicos VT), 3) Sismicidad asociada a la creación y limpieza del conducto y 4) Sismicidad repetitiva (Figura 3.8). Con base a esta información y la correlación con los resultados de las demás disciplinas de monitoreo, ha sido posible identificar la etapa en la cual se encontraría el periodo eruptivo del volcán Sabancaya; en tal sentido, al observar el predominio de sismicidad de baja frecuencia (híbridos, actividad tremórica, eventos acoplados, largo periodo) asociada a la dinámica de fluidos (movimiento/ascenso de magma y emisiones constantes de ceniza y gases), correlacionado con el cambio en sus parámetros espectrales (frecuencia, amplitud, energía sísmica) sugiere una etapa de destrucción parcial del domo de lava (Etapa 3/ Etapa 4) , lo cual, estaría reflejada en la importante actividad tremórica que sigue a las explosiones y a la ocurrencia de flujos piroclásticos que contribuyen en la destrucción parcial del domo de lava.

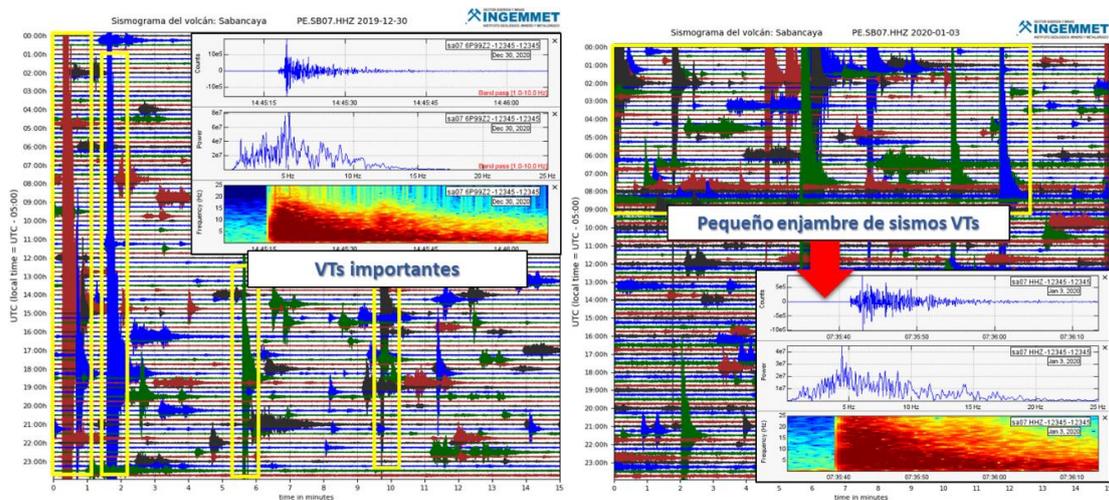


**Figura 3.8.** Modelo geológico basado en procesos de sismicidad pre - eruptiva en volcanes inactivos que muestra cuatro etapas generales y tipos de sismicidad observados antes y durante las erupciones volcánicas (modificada de McCausland & White, 2019).



**Figura 3.9.** Identificación de las etapas de la sismicidad en el volcán Sabancaya (Según el modelo conceptual propuesto por White & McCausland, 2019).

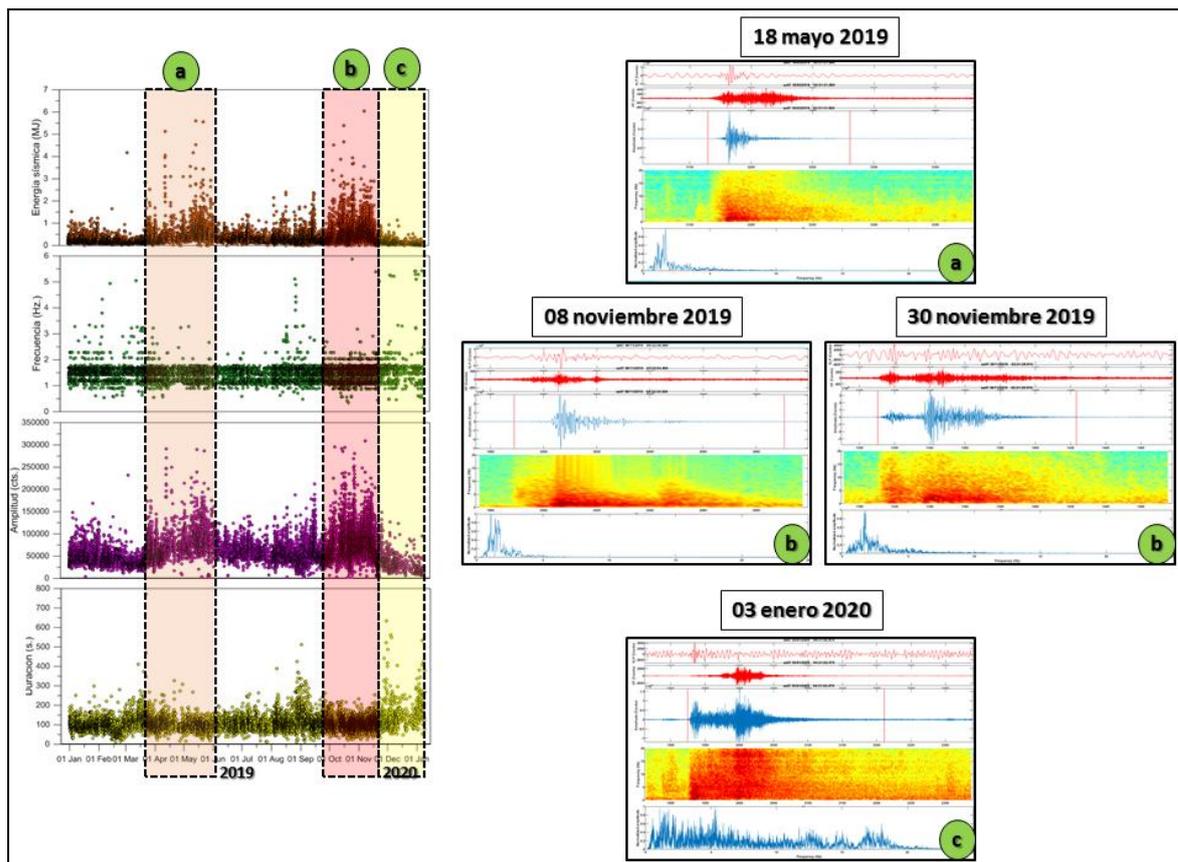
Durante noviembre del 2019 y enero del 2020 se localizaron 280 sismos VT, cabe mencionar que no se observaron enjambres sísmicos importantes. Sin embargo, los días 25 y 30 de diciembre del 2019 así como el 03 enero del 2020, el volcán Sabancaya mostró actividad VT resaltante a modo de pequeños enjambres o eventos de considerable magnitud (Figura 3.10).



**Figura 3.10.** Helicorder de la estación SAB07 del día 30 de diciembre del 2019 y 03 de enero del 2020, donde se muestra la ocurrencia VTs importantes y un pequeño enjambre sísmico respectivamente. Así mismo, se muestra las formas de onda, espectro de frecuencias y espectrogramas de los VTs.

Las señales de explosiones en este último periodo (noviembre del 2019 – enero 2020), han mostrado cambios tanto en su forma de onda como en sus parámetros espectrales. Inicialmente, las explosiones eran eventos discretos con predominio en las bajas frecuencias (hasta 2 Hz) y el tremor volcánico que le seguía era de muy baja energía (> 1 MJ) y corta duración (menor a 1 minuto); luego, entre octubre y noviembre, las explosiones incrementaron en energía (6 MJ) y se presentaron sin actividad tremórica y además se registraron eventos acoplados, siendo la primera señal una explosión contenida (al interior del conducto, ~3km) y la segunda señal una explosión correlacionada en superficie; finalmente, de diciembre a la fecha, las explosiones mostraron nuevamente un cambio en su forma de onda y parámetros espectrales (explosión de poca energía, menor a 1 MJ), seguidas de importante actividad tremórica de alta frecuencia y larga duración, asociada a mayor contenido de ceniza en las emisiones (Figura 3.11).

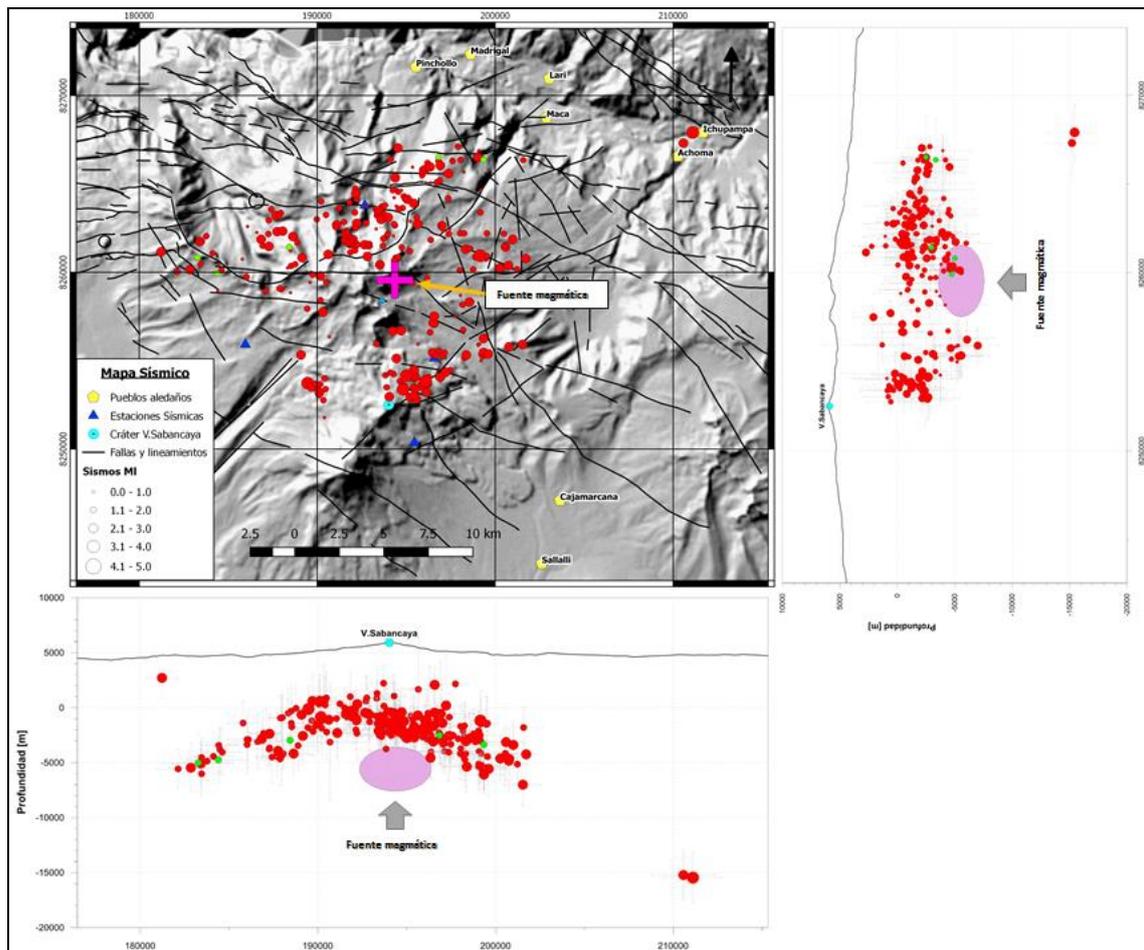
Estos cambios en las formas de onda y parámetros espectrales de las explosiones, estarían relacionados a cambios en la geometría y profundidad de su fuente de generación, volviéndose más superficiales (dentro de los 3 primeros km por debajo del cráter) y además estarían asociados: a) periodos de crecimiento paulatino del domo, b) aceleramiento en el crecimiento del domo y c) destrucción parcial del domo.



**Figura 3.11.** Registros sísmicos, contenidos espectrales y espectrogramas de los tipos de explosiones registrados en el volcán Sabancaya durante el año 2019 y 2020. Los registros sísmicos corresponden a la estación sísmica telemétrica SAB07, componente vertical.

La Figura 3.12, muestra la distribución espacial y en profundidad de 280 sismos volcano - tectónicos (VT) que se registraron entre noviembre del 2019 y enero del presente año. En

general, estas señales se localizaron al Noreste, Norte, Noroeste y Oeste del cráter del volcán, hasta 7 km de profundidad, con excepción de los sismos localizados por Achoma e Ichupampa cuyas profundidades fueron mayores de 16 Km. Las magnitudes calculadas estuvieron entre 0.2 y 3.8 MI. Esta actividad sísmica ha sido asociada al fracturamiento de roca por intrusión magmática y por actividad tectónica local. Sin embargo, este periodo corresponde a una menor intrusión magmática en comparación a los meses de mayo, agosto, septiembre y octubre del 2019, en donde alcanzaron como máximo 800 eventos VT por día (14 agosto de 2019). Asimismo, se puede observar que la distribución de los sismos en profundidad guarda muy buena correlación con la fuente estimada con el modelamiento de datos GPS, entre 12 y 15 km por debajo del volcán Hualca Hualca.

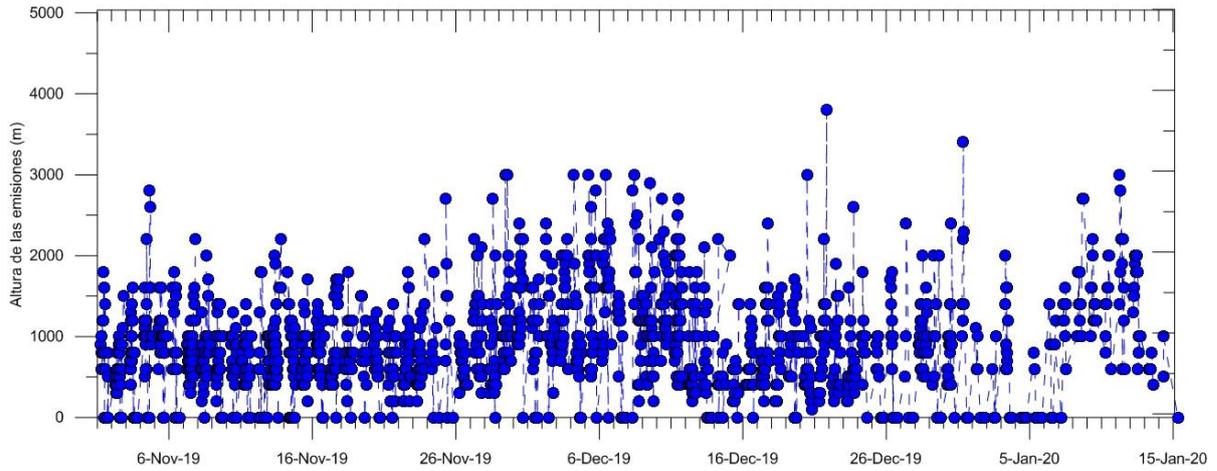


**Figura 3.12.** Distribución y correlación de 280 sismos volcánico – tectónicos (VT) localizados en los alrededores del volcán Sabancaya con la fuente magmática estimada con modelamiento GPS. Parte inferior: Perfil con orientación W – E; Margen derecha: Perfil con orientación N-S.

### 3.4. Monitoreo con sensores remotos

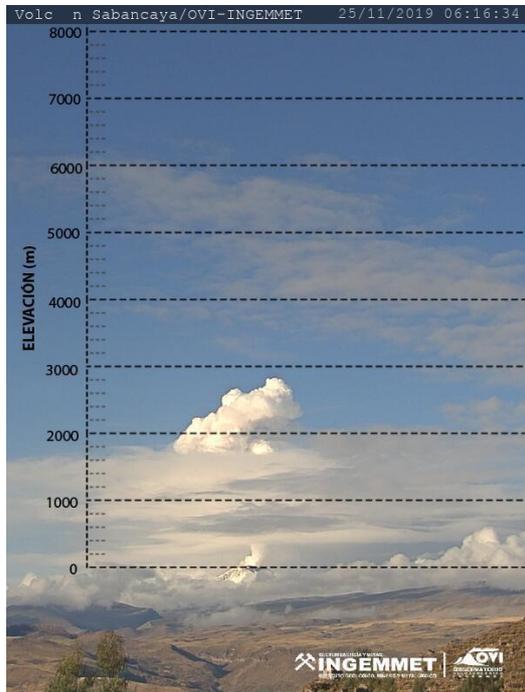
Actualmente, el INGEMMET cuenta con 05 cámaras para el monitoreo del volcán Sabancaya. 04 cámaras ópticas (SHUA, SMUC, SAMP y SCOP) y 01 cámara con sensor infrarrojo (SIRH), para el monitoreo nocturno.

La Figura 3.13 presenta el histograma de la altura de las columnas eruptivas del volcán Sabancaya, para el periodo noviembre-2019 a enero-2020. En general, la visibilidad de las emisiones estuvo restringida a algunas horas del día debido a la nubosidad propia del periodo de lluvias en la zona, y que son más intensas durante las tardes.

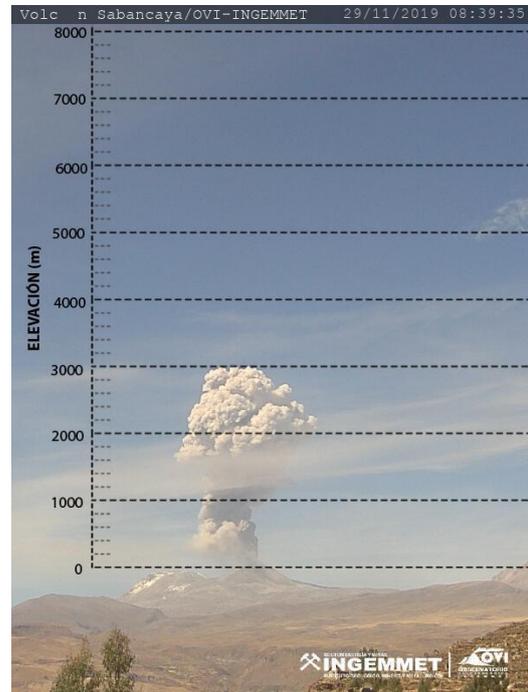


**Figura 3.13.** Altura de las emisiones fumarólicas del volcán Sabancaya (nov-2019 a ene-2020).

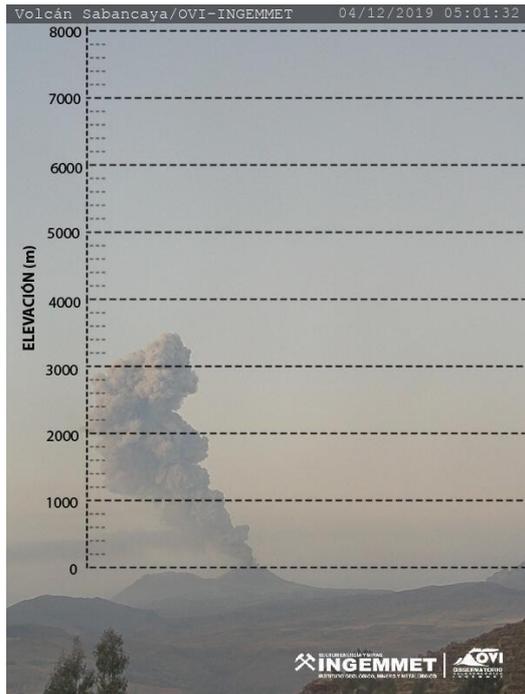
Las Figuras 3.14 a 3.19, muestran imágenes de las explosiones más representativas capturadas durante el periodo de noviembre de 2019 a enero del 2020.



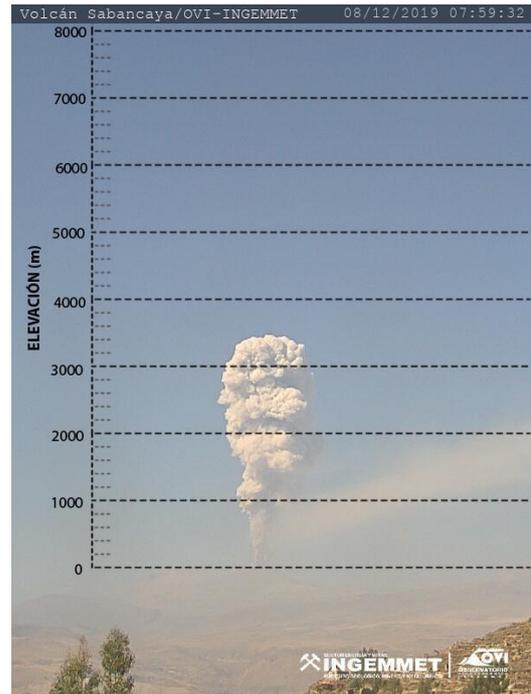
**Figura 3.14.** Explosión del día 25/11/2019, a las 06:16 Hrs., altura de la columna: 2700 msc, dispersión hacia el SO.



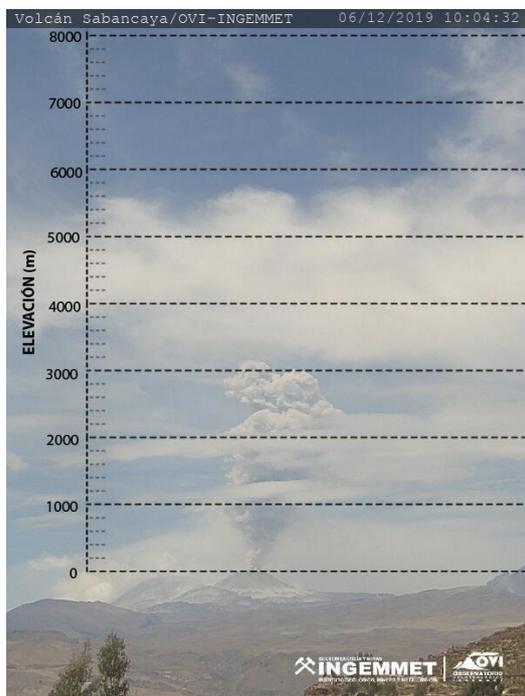
**Figura 3.15.** Explosión del día 29/11/2019, a las 08:39 Hrs., altura de la columna: 3000 msc, dispersión hacia el NNE



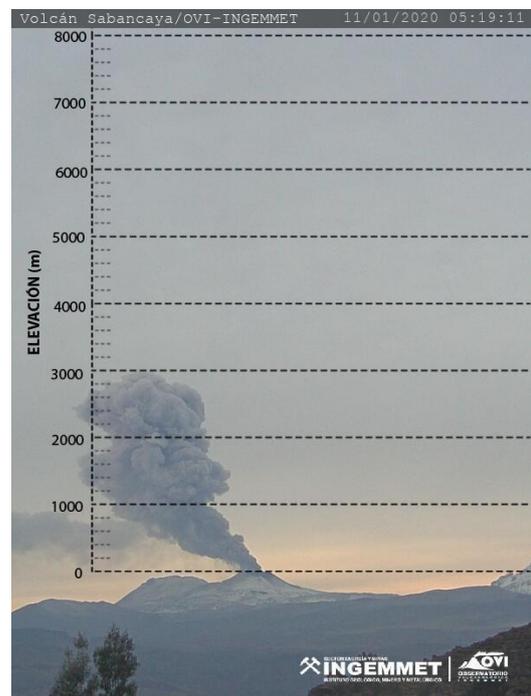
**Figura 3.16.** Explosión del día 04/12/2019, a las 05:01 Hrs., altura de la columna: 3000 msc, dispersión hacia el SE.



**Figura 3.17.** Explosión del día 08/12/2019, a las 07:59 Hrs., altura de la columna: 3000 msc, dispersión hacia el NE.

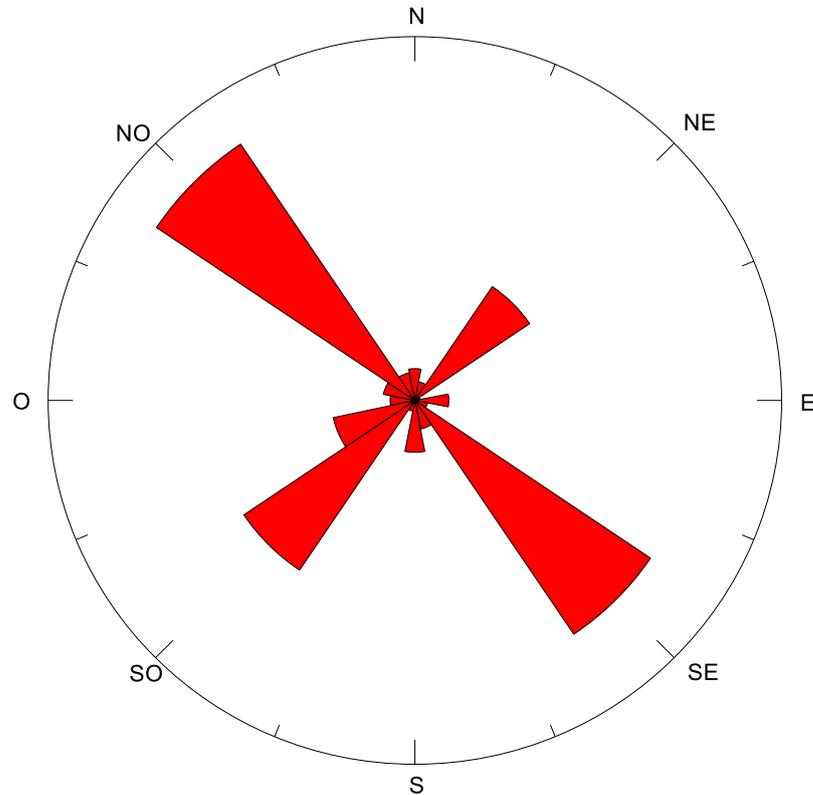


**Figura 3.18.** Explosión del día 06/12/2019, a las 10:01 Hrs., altura de la columna: 3000 msc, dispersión hacia el O.



**Figura 3.19.** Explosión del día 11/01/2020, a las 05:19 Hrs., altura de la columna: 3000 msc, dispersión hacia el S.

De noviembre-2019 a enero-2020, la ceniza y gases emitidos por el volcán Sabancaya se dispersó hacia el NO y SE principalmente; también hubo dispersión hacia los sectores SO y NE, pero en menor medida (Figura 3.20). En consecuencia, los pueblos afectados por la caída de ceniza fueron: Lari, Madrigal, Maca, Achoma, Coporaque, Yanque y Chivay, Huambo, Cabanaconde, Lluta y Huanca y los sectores de Tarucane y Sallalli.



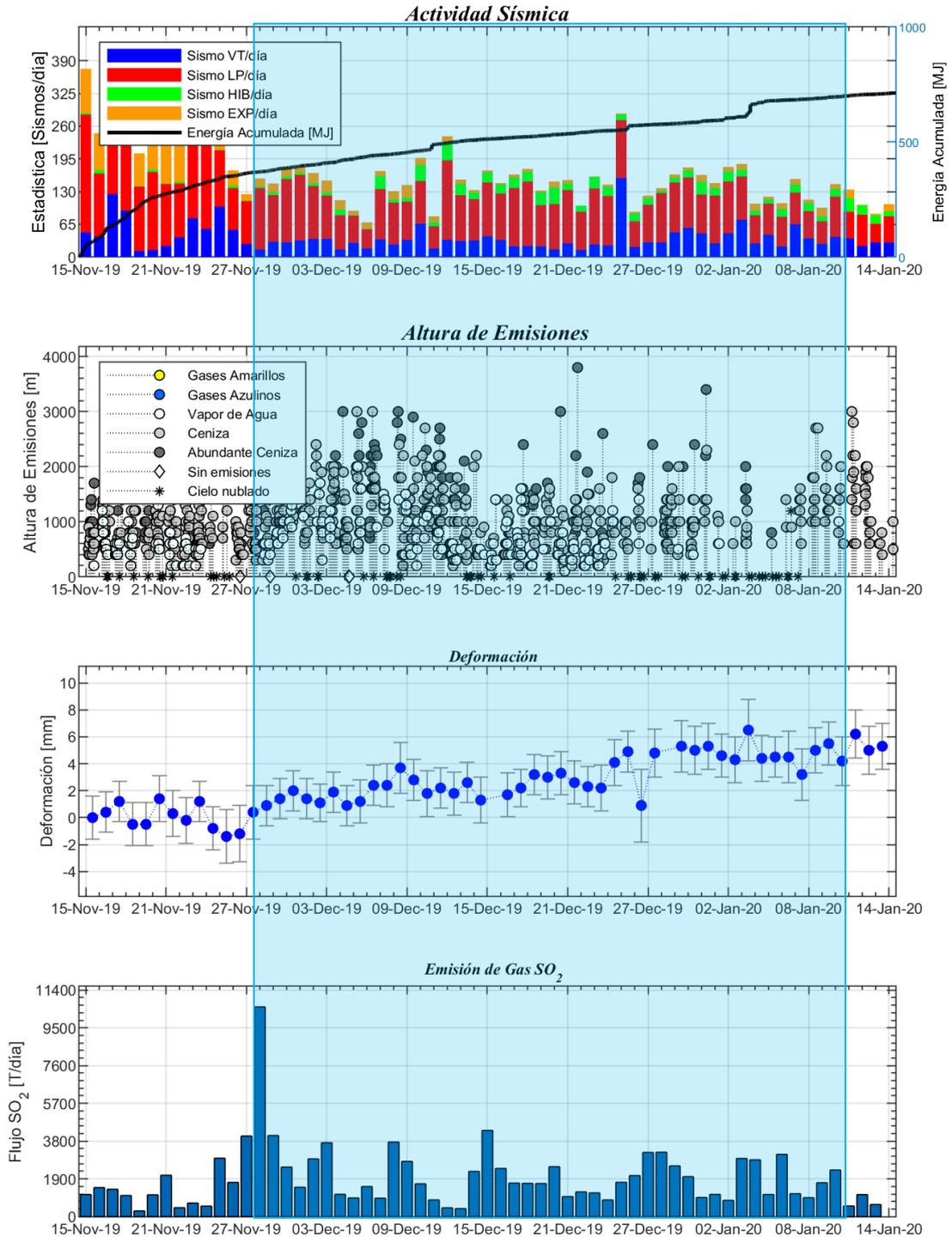
**Figura 3.20.** Direcciones predominantes de las emisiones de ceniza durante el 2019 y enero 2020.

### 3.5. Discusión de resultados

Desde fines de noviembre del 2019 se observaron cambios en la deformación del edificio volcánico y flujos de  $\text{SO}_2$  (Figura 3.21), que señalaban el inicio de un nuevo escenario en la erupción del Sabancaya. Seguidamente, cambios en la sismicidad tales como la presencia de sismos tipo tremor, ocurrencia de violentas explosiones volcánicas y el incremento sustancial de la emisión de ceniza, desencadenaron en la destrucción parcial del domo de lava el día 05 de diciembre. El día 11 de diciembre se registran los primeros flujos piroclásticos que aceleran la destrucción del domo. Los días 27 y 31 de diciembre se presentaron explosiones que contribuyeron en la destrucción parcial del domo.

Según los parámetros antes vistos, se ha identificado el cambio de dinámica de erupción en el volcán Sabancaya a partir del 27 de noviembre; la tasa de inflación aumenta a 2-3 cm/año, indicando el inicio una nueva intrusión, el flujo de  $\text{SO}_2$  alcanza las 10,000 t/día el 28 de noviembre, la tasa de ocurrencia de los sismos tipo híbridos se incrementa hasta un máximo de 30 eventos por día en este último periodo, por otro lado, la energía y cantidad de explosiones disminuye drásticamente. El intervalo de tiempo de los eventos acoplados registrados en este periodo, estarían indicando que las explosiones se estarían generando a profundidades someras entre 1 – 3 km, lo cual, explicaría el incremento en la altura de las emisiones con respecto al periodo anterior (alturas de hasta 3 km apróx).

Según los resultados anteriormente descritos, el comportamiento del volcán Sabancaya permanece en una erupción con IEV1-2, relacionada con periodos de intrusión magmática, importante crecimiento y destrucción parcial de un domo de lava ubicado en el cráter activo, cuya dinámica interna genera una actividad explosiva con periodos de incremento y descenso de emanación de ceniza, en ocasiones, emisión de proyectiles balísticos alrededor del cráter y con probabilidad de flujos piroclásticos de pequeño volumen..

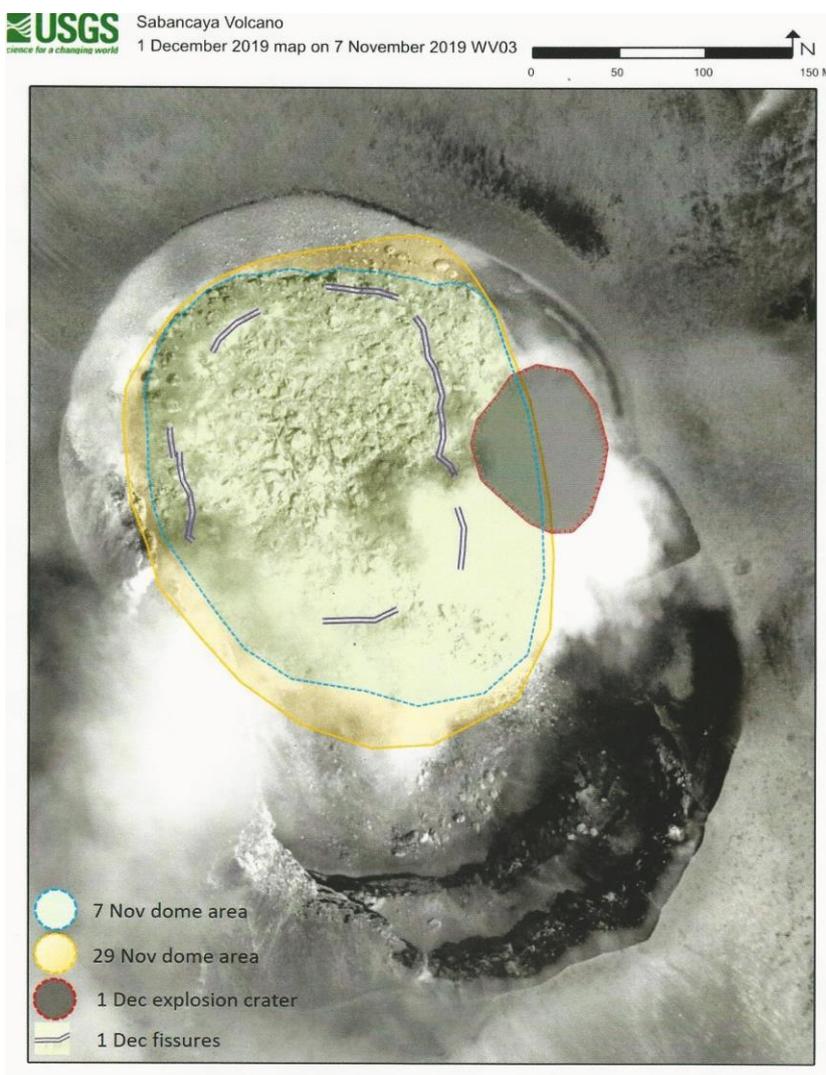


**Figura 3.21.** Evolución temporal de la actividad explosiva en base a los parámetros de monitoreo: Sismo-volcánico, sensores remotos (altura de emisiones), flujos de SO<sub>2</sub> y deformación volcánica.

#### 4. EVOLUCIÓN DEL DOMO DE LAVA

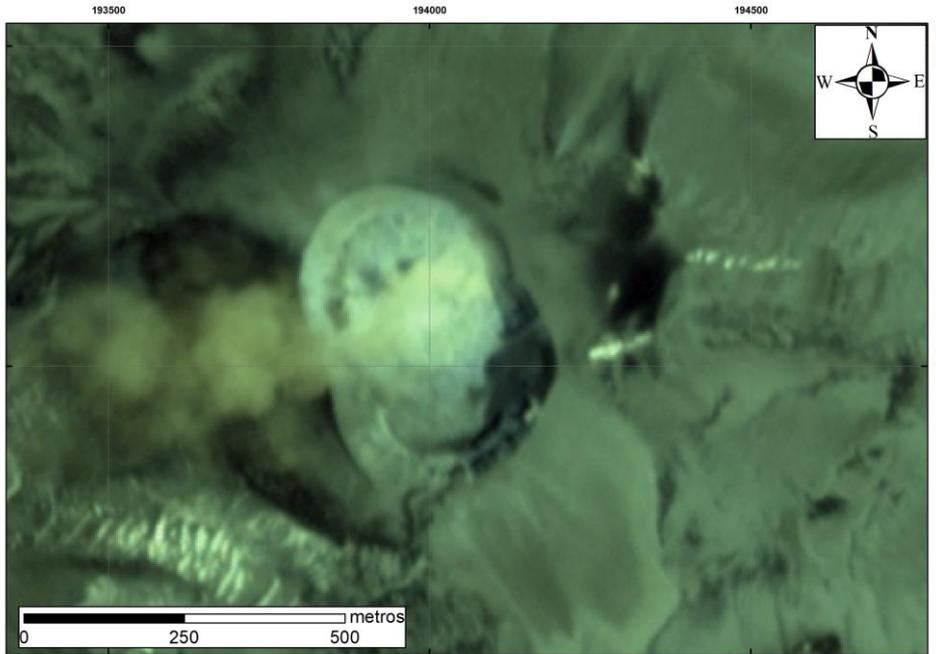
Según los datos obtenidos por imágenes satelitales y registro fotográfico de cámaras ópticas se ha establecido que el domo de lava se estuvo emplazando desde el 2017. En el mes de octubre-2019, se reportó que la estructura del domo sobrepasó la altura del cráter, siendo divisado desde los flancos norte y noreste.

La Figura 4.1 muestra el análisis de imágenes satelitales de los días 07 de noviembre, 29 de noviembre y 01 de diciembre del 2019, donde se puede apreciar un crecimiento del domo hacia el sur y un punto de emisión en el sector este; se puede apreciar también, la presencia de fracturas radiales alrededor del domo.



**Figura 4.1.** Imagen proporcionada por la USGS 2019, se detalla la evolución del domo en el cráter del Sabancaya hasta el 01 de diciembre, con una imagen base tomada el 07 de noviembre; se observa que a partir del 23 de noviembre ha disminuido el crecimiento del domo, el 29 de noviembre se observa un crecimiento con un área aproximada de 57 000 m<sup>2</sup>, el 01 de diciembre se ha podido encontrar un cráter de explosión en el lado este del domo y que el crecimiento del domo ha disminuido en altura pero continúa creciendo hacia el sur, se observan también fracturas radiales alrededor del domo.

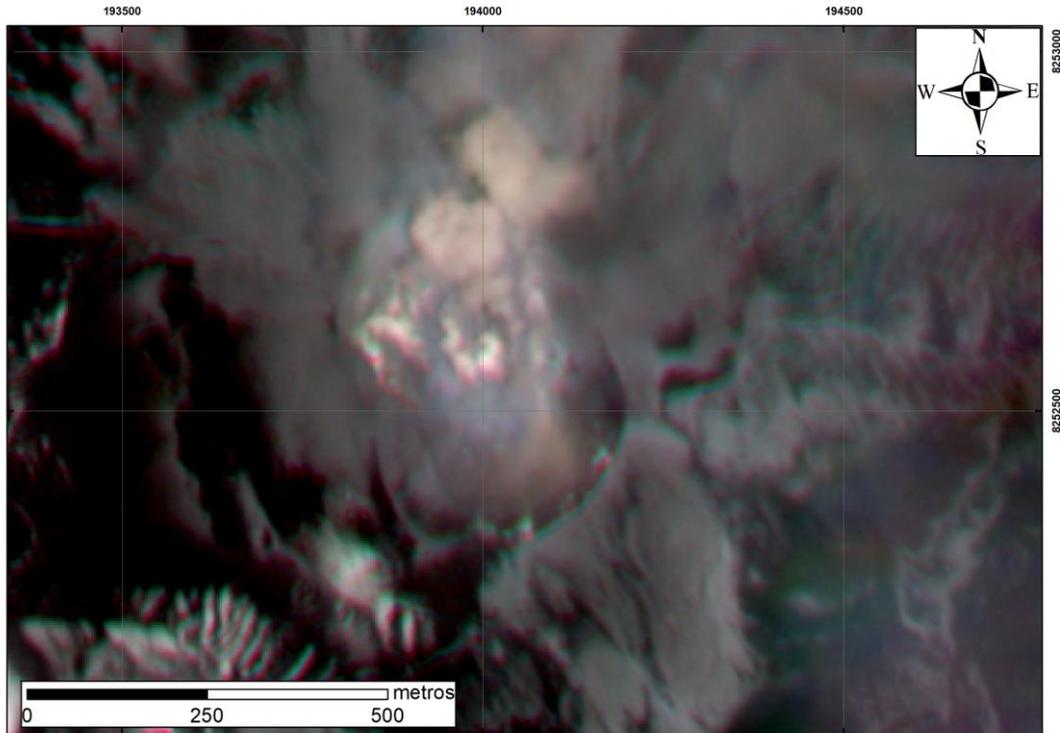
Las Figuras 4.2 a 4.7 muestran imágenes Planet Scope de los días 02 y 28 de noviembre, 12 de diciembre, 20 de diciembre del 2019 y 07 de enero del 2020, y la imagen dron del 19 de noviembre del 2019, donde se aprecian los cambios físicos del domo de lava del volcán Sabancaya, asimismo, el Cuadro 4.1 señala los resultados de los cálculos de las dimensiones de los diámetros del domo volcánico correspondientes a las imágenes Planet Scope.



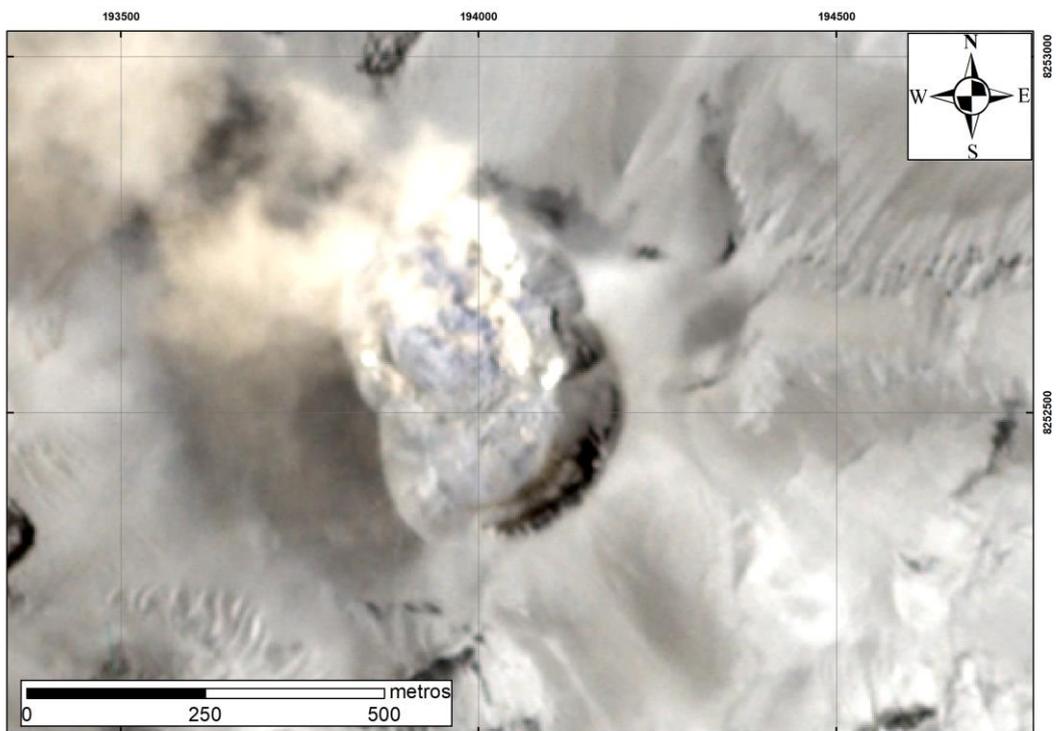
**Figura 4.2.** Imagen Planet Scope del 02 de noviembre del 2019, se observa que las emisiones salen por diferentes puntos. Este tiene diámetros de 310 y 234 m y un área aproximada de 57 000 m<sup>2</sup>



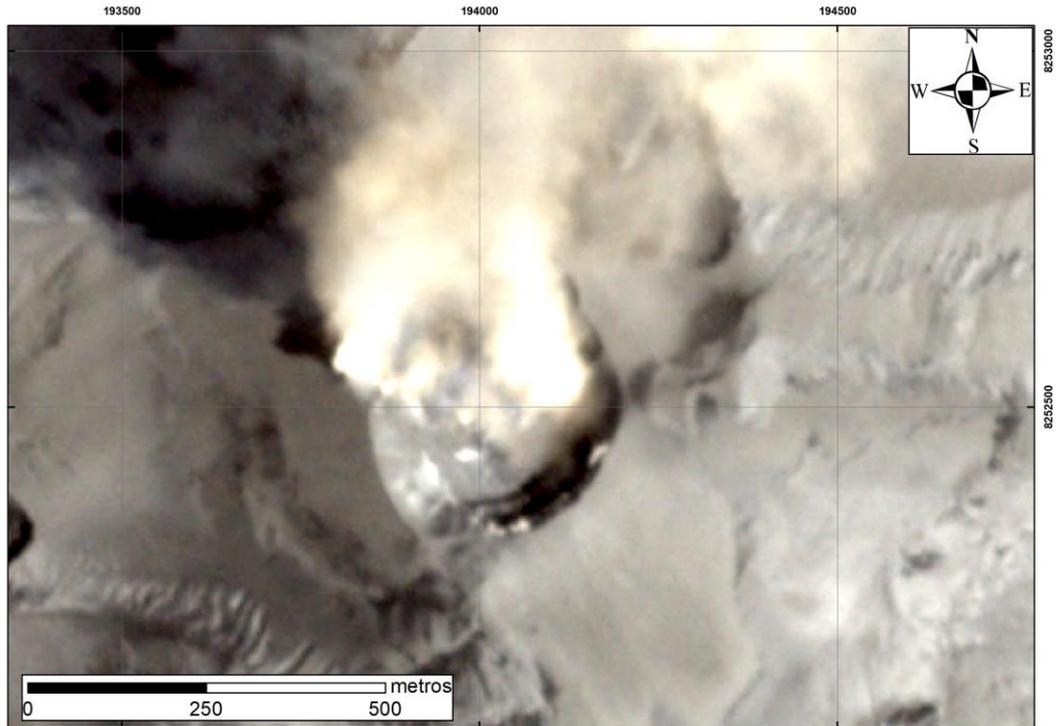
**Figura 4.3.** Imagen Drone del 19 de noviembre del 2019, se observa que el domo va desplazándose hacia el lado sur del cráter.



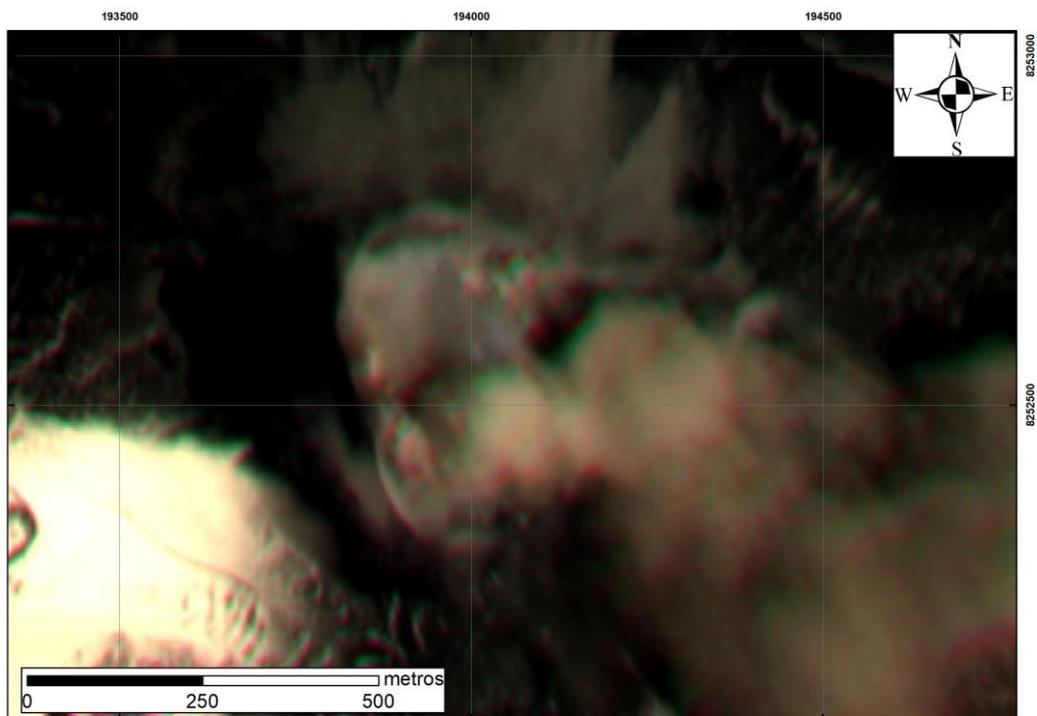
**Figura 4.4.** Imagen Planet Scope del 28 de noviembre del 2019, este presenta un diámetro 320 y 235 m y un área de 59 000 m<sup>2</sup>



**Figura 4.5.** Imagen Planet Scope del 12 de diciembre del 2019, se observa como el domo va relleno la parte sur del cráter del volcán Sabancaya presentando diámetros de 367 y 234 m, con un área aproximada de 67 000 m<sup>2</sup>.



**Figura 4.6.** Imagen Planet Scope del 20 de diciembre del 2019, se observan las emisiones por 2 sectores; noreste y noroeste, no se observa un cambio en el área.



**Figura 4.7:** Imagen de Planet Scope del 07 de enero 2020, actualmente el domo viene rellenando el lado sur del cráter.

**Cuadro 4.1.** Área cubierta por el domo durante el periodo noviembre – diciembre del 2019.  
Áreas calculadas a partir de las imágenes satelitales

Fecha	Diámetro mayor (m)	Diámetro menor (m)	Área (m <sup>2</sup> )
02/11/19	310	234	57
28/11/19	320	235	59
12/12/19	367	235	67

Un análisis detallado de las imágenes tomadas por la cámara SHUA (instalada el 04 de diciembre-2019, a 03 km al NNO del Sabancaya), ha permitido identificar una disminución sustancial del volumen del domo volcánico (Figura 4.8). Y este proceso corresponde a la etapa de destrucción parcial del domo.



**Figura 4.8.** Imágenes correspondientes a los días 05 y 06 de diciembre-2019, Se observa un seccionamiento del domo.

La Figura 4.9, describe la secuencia de la destrucción parcial del domo de lava del Sabancaya. Se puede observar claramente los segmentos de domo que se han ido destruyendo entre diciembre 2019 a enero 2020 tomando en cuenta que el día 05 de diciembre tenía un segmento visible del 100 %, para el día 06 de diciembre se destruyó 50 %, para el día 31 de diciembre el 60% y para el 13 de enero el 65%.

FECHA	Fotografía del domo de lava	Área total visible
05-12-19		
06-12-19		
27-12-19		
31-12-19		

Figura 4.9. Análisis cualitativo de la destrucción del domo de lava visible, a partir de imágenes captadas con la cámara SHUA.

En la Figura 4.10 muestra una descripción cualitativa de la deformación del domo del volcán Sabancaya, a partir de las imágenes captadas por la cámara de vigilancia SHUA. Claramente se observa que, entre diciembre del 2019 a enero-2020, el domo ha perdido gran parte de su volumen en el sector este, y, por el contrario, se ha centrado en el sector oeste.



**Figura 4.10.** Descripción cualitativa de la deformación del domo volcánico desde diciembre-2019 a enero-2020.

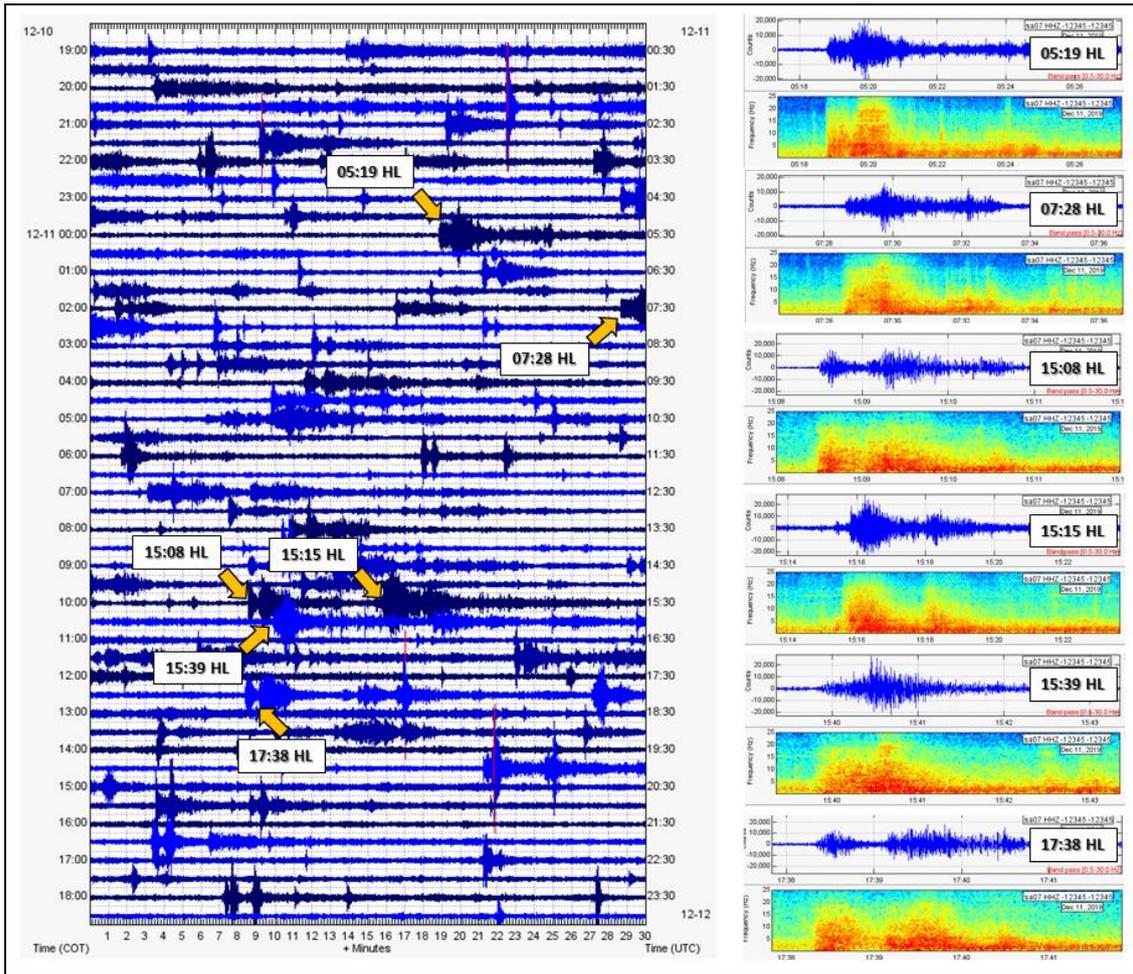
## 5. OCURRENCIA DE FLUJOS PIROCLASTICOS

Los flujos piroclásticos o corrientes de densidad piroclástica, son flujos calientes compuestos por gases y material sólido (ceniza, balísticos y bombas), se forman por el colapso de las columnas eruptivas y colapso de domo. Los flujos piroclásticos pueden superar los 100 km/h y alcanzar temperaturas entre 350 y 800° C, tienden a encauzarse en las quebradas y valles, pero en algunas ocasiones pueden sobrepasar a zonas elevadas.

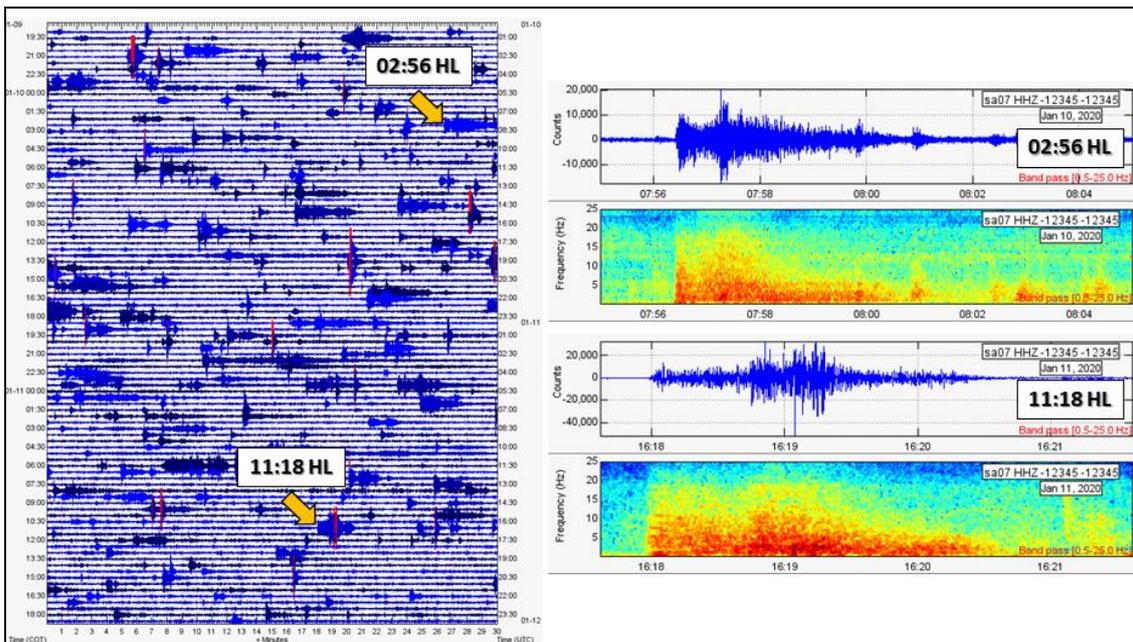
El 11 de diciembre, en el volcán Sabancaya, se registró la ocurrencia de 06 explosiones energéticas que liberaron importante contenido de ceniza y las cuales, fueron seguidas por señales de altas frecuencias, de hasta 20 Hz (Figura 5.1), que se correlacionaron con la ocurrencia de pequeños flujos piroclásticos con dirección SE y que alcanzaron distancias aproximadas de hasta 1.5 km del cráter.

Posteriormente, el 10 y 11 de enero del 2020, se volvió a registrar la ocurrencia de 02 explosiones energéticas que de igual manera fueron seguidas por una actividad tremórica de alta frecuencia (15 Hz; Figura 5.2), asociada a la generación de flujos piroclásticos de corto alcance.

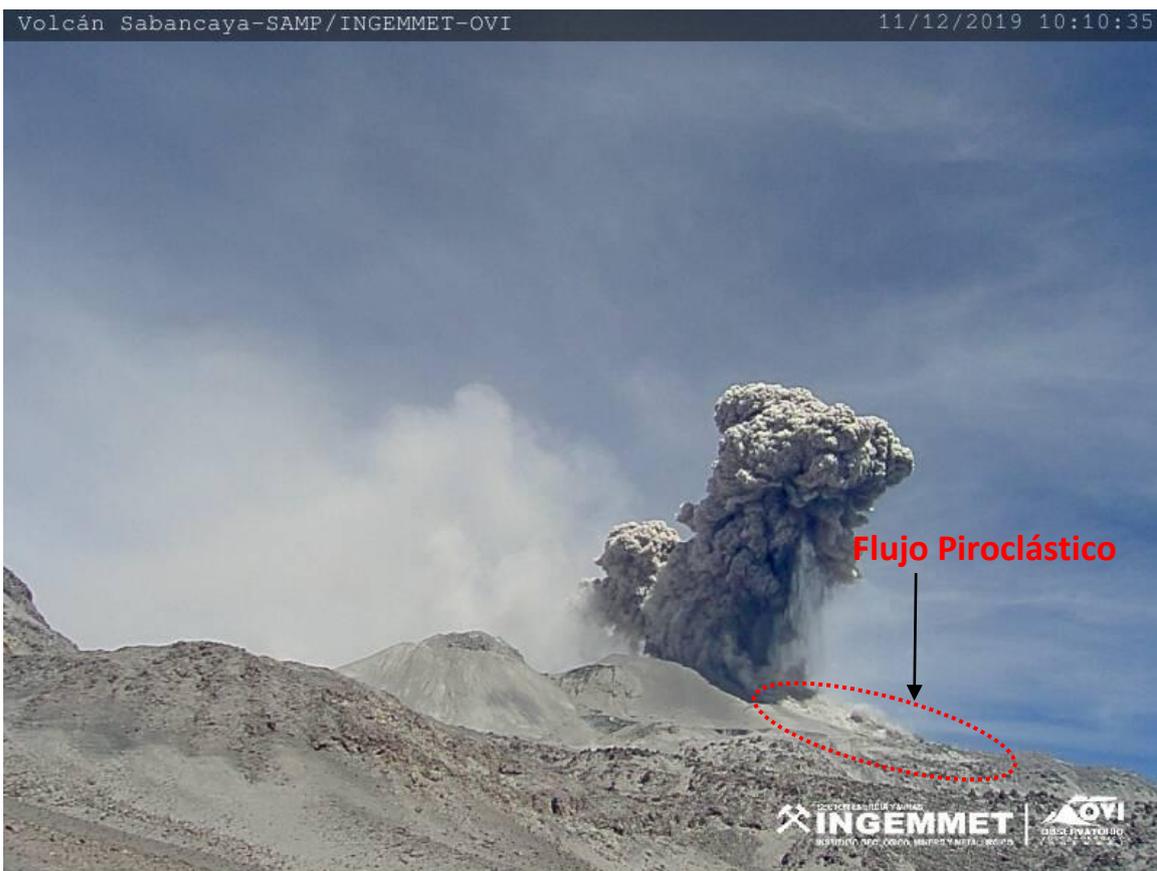
Estos eventos observados en el volcán Sabancaya son considerados pequeños flujos piroclásticos de bloques y ceniza, y ocurren, principalmente durante las explosiones de mayor magnitud. Estos eventos es muy posible que estén contribuyendo a este periodo de destrucción parcial del domo de lava.



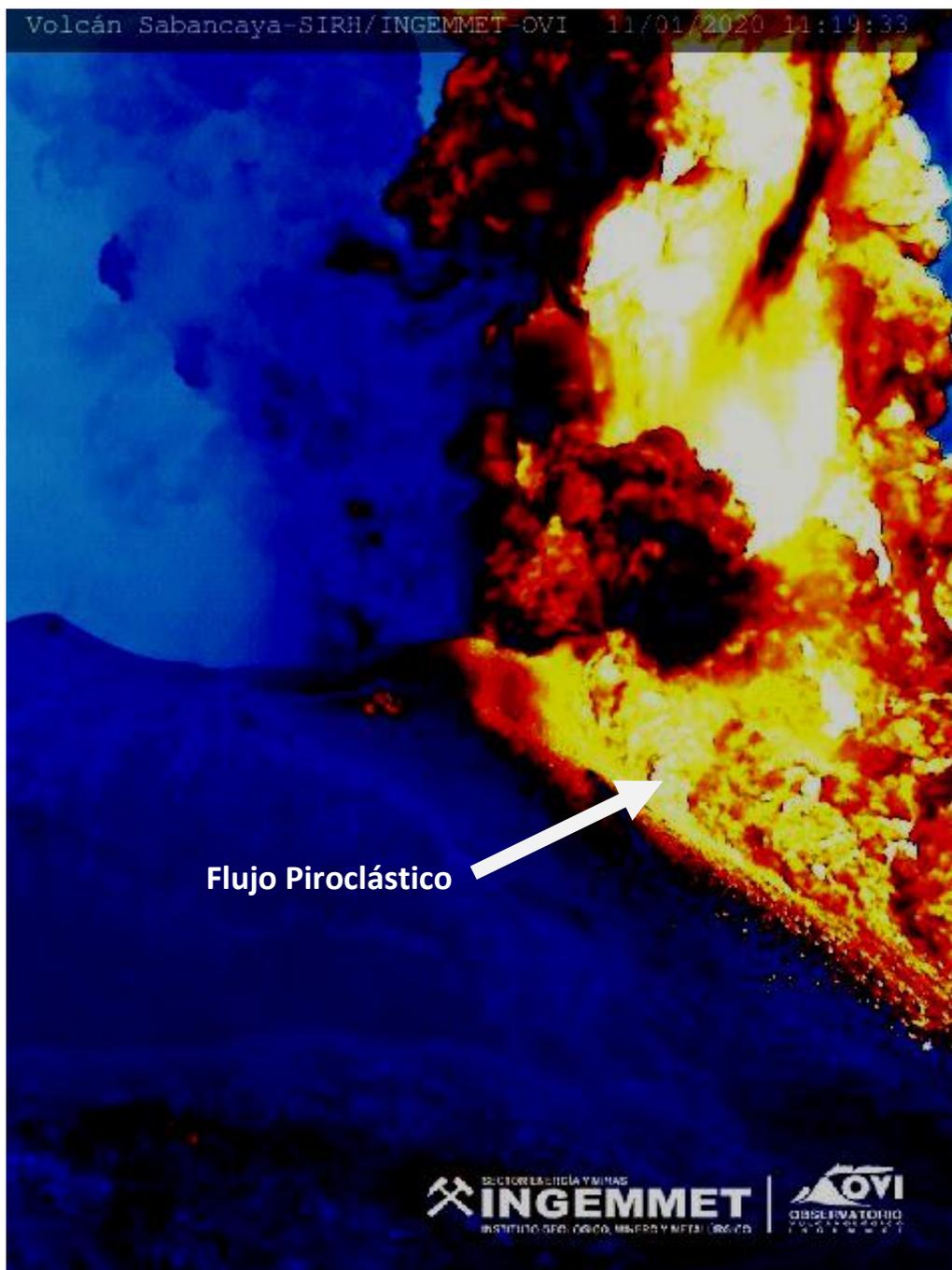
**Figura 5.1.** Señales sísmicas correspondientes a las explosiones y flujos piroclásticos ocurridos el día 11 de diciembre del 2019.



**Figura 5.2.** Señales sísmicas correspondientes a las explosiones y flujos piroclásticos ocurridos los días 10 y 11 de enero del 2020



**Figura 5.3.** Flujo piroclástico observado el 11 de diciembre del 2019 descendiendo por el flanco Este-sureste del volcán Sabancaya.



*Figura 5.4. Flujo piroclástico observado el 11 de enero del 2020, compuesto por material incandescente y gases descendiendo por el flanco norte del volcán Sabancaya*

## 6. POSIBLES ESCENARIOS FUTUROS

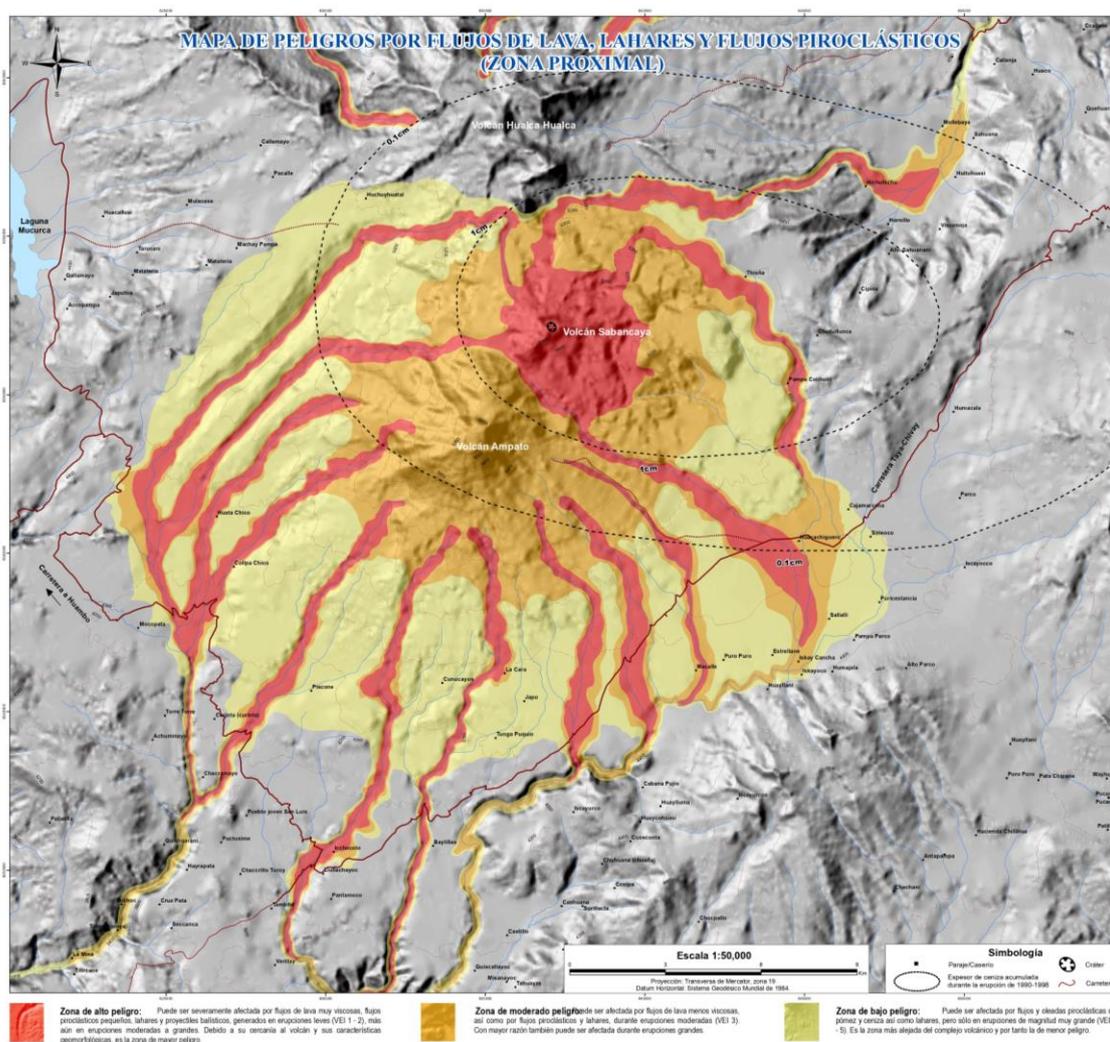
En base al monitoreo multiparamétrico que efectúa el Observatorio Vulcanológico del INGEMMET, se proponen los siguientes posibles escenarios futuros en orden de probabilidad:

**Escenario 1 (más probable):** Actividad explosiva moderada (columna eruptiva < 5 km), con destrucción y reconstrucción parcial del domo, emisiones de gases, ceniza, proyectiles balísticos, flujos piroclásticos de pequeño volumen y corto alcance.

**Escenario 2 (menos probable):** Actividad explosiva grande (columna eruptiva > 5 km), con destrucción del domo, emisiones de gases, ceniza, proyectiles balísticos y generación de flujos piroclásticos de moderado volumen, que pueden alcanzar algunos kilómetros de distancia.

En ambos escenarios, debido a la importante acumulación de ceniza y el inicio del periodo de lluvias, se prevé la ocurrencia de lahares (flujos de lodo – huaycos) de moderado volumen que pueden descender por el volcán Sabancaya, Ampato y Hualca Hualca, afectando las quebradas Mollebaya- río Sepina, el río Hualca Hualca, la quebrada Huayuray (ver mapa de la figura 6.1) e incluso podrían alcanzar el valle del Colca, eventos que serán recurrentes en todas las temporadas de lluvias. Así mismo, los lahares pueden causar graves daños en terrenos de cultivo, carreteras y puentes.

El mapa de peligros elaborado por el OVI (Figuras 6.1 y 6.2) muestran posibles zonas que pueden ser afectadas por flujos piroclásticos y lahares.



**Figura 6.1.** Mapa de peligros múltiples de la zona proximal del volcán Sabancaya.



## 7. CONCLUSIONES

En base al procesamiento y análisis de la información científica multidisciplinaria, se llega a las siguientes conclusiones:

- Este periodo se ha identificado el proceso de destrucción parcial del domo de lava, el cual se inició los primeros días de diciembre del 2019, esto se evidencia por los cambios en los diferentes parámetros de monitoreo, además de los registros fotográficos de la cámara de vigilancia, presentando un 65% de destrucción del segmento visible. Esta destrucción estaría asociada a un efecto combinado de explosiones energética y colapso gravitacional del domo.
- Se registraron 8 flujos piroclásticos de pequeño volumen relacionados con la destrucción parcial del domo, que alcanzaron hasta 1.5 km de distancia desde el cráter del volcán, el 11 de diciembre del 2019 y, el 10 y 11 de enero del 2020.
- Este periodo se caracterizó por presentar emisiones continuas de gases y ceniza intercalado con explosiones seguidas de columnas eruptivas a manera de pulsos con alturas < 4 km, afectando los pueblos: Lari, Madrigal, Maca, Achoma, Coporaque, Yanque y Chivay, Huambo, Cabanaconde, Lluta y Huanca y los sectores de Tarucane y Sallali.
- Según los resultados anteriormente descritos, el comportamiento del volcán Sabancaya permanece en un contexto de una erupción moderada, relacionada con periodos de intrusión magmática, importante crecimiento y destrucción parcial de un domo de lava ubicado en el cráter activo, cuya dinámica interna genera una actividad explosiva con periodos de incremento y descenso de emanación de material particulado (ceniza), en ocasiones proyectiles balísticos alrededor del cráter y con probabilidad de flujos piroclásticos de pequeño volumen.

El Observatorio Vulcanológico del INGEMMET continuará realizando el estudio y monitoreo de la actividad eruptiva del volcán Sabancaya, basado en datos científicos rigurosos, con la finalidad de brindar información confiable a las autoridades y población en general.

## 8. RECOMENDACIONES

- Según la evolución y características que presenta el actual proceso eruptivo del volcán Sabancaya, descritas en el presente informe, se recomienda mantener el nivel de alerta volcánica en color **NARANJA**.
- No acercarse al volcán, en un radio de 12 km alrededor del cráter (en base al mapa de peligros elaborado por el INGEMMET).
- Mantenerse informado sobre la actividad del volcán Sabancaya a través de las alertas, pronósticos y reportes de monitoreo del INGEMMET.
- Se recomienda a las autoridades e instituciones públicas del Ministerio de Salud, Agricultura, etc., realizar una evaluación del impacto de las cenizas en la salud de las personas, en el medio ambiente y en los poblados afectados, principalmente en un radio de 40 km.
- Mejorar los accesos (caminos carrozables y trochas) que permiten desarrollar el trabajo de monitoreo del volcán.
- Se recomienda a las autoridades correspondientes implementar la entrega de accesorios de protección (lentes, mascarillas, guantes, etc.) para mitigar los efectos de los productos volcánicos en las personas expuestas.
- Convocar a los diferentes sectores (Agricultura, ANA, Vivienda y Construcción, Salud, Educación, Transportes y Comunicaciones, Comercio y Turismo, Energía y Minas, CORPAC, Inclusión Social) sobre las actividades inherentes a sus despachos, a fin de conjugar esfuerzos en relación al incremento de la actividad volcánica y sus efectos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Battaglia, M., Cervelli, P. F., Y Y Murray, J. R. (2013b). dMODELS: A MATLAB software package for modeling crustal deformation near active faults and volcanic centers. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 254, 1-4.
- Campion R, Delgado-Granados H., Legrand D., Taquet N., Boulesteix T., Pedraza-Espitía S. and Lecocq T, 2018. Breathing and Coughing: The Extraordinarily High Degassing of Popocatepetl Volcano Investigated With an SO<sub>2</sub> Camera, *Frontier in earth science*
- Cruz, L. (2019). Análisis de deformación del volcán Sabancaya como herramienta útil en el pronóstico de erupciones periodo 2012-2017.
- Holland P., Watson M., Phillips J., Caricchi L., Dalton M., 2011. Degassing processes during lava dome growth: Insights from Santiaguito lava dome, Guatemala, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 153-166
- McTigue, D. F. (1987). Elastic stress and deformation near a finite spherical magma body: resolution of the point source paradox. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 92(B12), 12931-12940.
- McCausland, W.A., Gunawan, H., White, R.A., Indrastuti, N., Patria, C., Suparman, Y., Putra, A., Triastuty, H., Hendrasto, M., 2017. Using a process-based model of pre-eruptive seismic patterns to forecast evolving eruptive styles at Sinabung Volcano, Indonesia. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*
- McCausland, W.A., White, R.A., 2019. Using a process A process – based model of pre – eruption seismicity patterns and its use for eruption forecasting at dormant stratovolcanoes. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*
- Pritchard, M. E. & Simons, M. (2004). An InSAR-based survey of volcanic deformation in the central Andes. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 5(2).
- Yang, X. M., Davis, P. M., Y Dieterich, J. H. (1988). Deformation from inflation of a dipping finite prolate spheroid in an elastic half-space as a model for volcanic stressing. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 93(B5), 4249-4257.