

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A6969

# ERUPCIÓN DEL VOLCÁN SABANCAYA 2016-2019: EMPLAZAMIENTO DE DOMO DE LAVA EN EL CRÁTER

Región Arequipa  
Provincia Caylloma



OCTUBRE

2019

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

**INFORME ESPECIAL**  
**ERUPCIÓN DEL VOLCÁN SABANCAYA 2016-2019:**  
**EMPLAZAMIENTO DE DOMO DE LAVA EN EL CRÁTER**



**Observatorio Vulcanológico del INGEMMET – OVI**

**Octubre 2019**

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>3</b>
<b>2. PROCESO ERUPTIVO 2016-2019</b> .....	<b>4</b>
<b>3. MONITOREO MULTIDISCIPLINARIO</b> .....	<b>4</b>
<b>3.1. MONITOREO QUÍMICO DE GASES</b> .....	<b>5</b>
<b>3.2. MONITOREO DE DEFORMACIÓN VOLCÁNICA</b> .....	<b>7</b>
<b>3.3. MONITOREO SISMO-VOLCÁNICO</b> .....	<b>9</b>
<b>3.4 MONITOREO VISUAL Y DISPERSIÓN DE CENIZA</b> .....	<b>10</b>
<b>3.5 MONITOREO TÉRMICO SATELITAL</b> .....	<b>13</b>
<b>3.6. EVOLUCIÓN DEL CRÁTER Y/O DEL DOMO</b> .....	<b>14</b>
<b>3.7. ANÁLISIS DE PRODUCTOS EMITIDOS: CENIZA</b> .....	<b>21</b>
<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	<b>28</b>
<b>7. RECOMENDACIONES</b> .....	<b>30</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

El volcán Sabancaya, ubicado a 75 km al NO de la ciudad de Arequipa, después del volcán Ubinas (Moquegua), es considerado el segundo volcán más activo del Perú. El 06 de noviembre del 2016 empezó un proceso eruptivo que continúa hasta la actualidad. La erupción es de tipo vulcaniana, caracterizada por explosiones moderadas que alcanzaron hasta los 5.5 km sobre el cráter, emisiones de gases, ceniza y ocasionalmente proyectiles balísticos.

Estudios geológicos efectuados por el INGEMMET, publicados los años 2012 y 2016, evidencian que el Sabancaya es uno de los estratovolcanes más jóvenes de nuestro país ya que empezó a formarse en los últimos 10 mil años. El volcán Sabancaya ha presentado tres tipos de erupciones:

- a) Erupciones efusivas que han emplazado flujos de lava de composición andesítica y dacítica (60.4-67.1 wt. % SiO<sub>2</sub>). Dataciones radiométricas efectuadas recientemente muestran que algunas lavas corresponden a erupciones ocurridas hace  $6.30 \pm 0.31$  ka. (Samaniego et al., 2016).
- b) Erupciones explosivas de baja a moderada magnitud (Índice de Explosividad Volcánica IEV 1-2). Según datos históricos las últimas erupciones de este tipo ocurrieron los años 1750, 1784 y 1987-1998.
- c) Erupciones que emplazaron domos de composición andesítica (62 wt. % SiO<sub>2</sub>) y que hoy forman un edificio ubicado a 0.5 km al suroeste del cráter actual.

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) es el servicio geológico de nuestro país. Según el Reglamento de Organizaciones y Funciones del INGEMMET (Decreto Supremo Nro. 035-2007-EM), en el ámbito de competencia y funciones, tiene como misión *“Identificar, estudiar y monitorear los peligros asociados a movimientos en masa, actividad volcánica, aluviones, tsunamis y otros”*. En el INGEMMET, la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico es el órgano de línea que realiza investigaciones, programas y proyectos Geoambientales, Geotécnicos, y de Evaluación y Monitoreo de Peligros Geológicos en todo el territorio nacional, brindando asistencia técnica a gobiernos locales y regionales en materia de peligros geológicos, con el objetivo de reducir el riesgo de desastres en nuestro país. Es así que, el INGEMMET a través su Observatorio Vulcanológico (OVI), creado por Resolución de Presidencia Nro. 037-2013-INGEMMET/PCD, viene efectuando estudios geológicos y vulcanológicos, elabora los mapas de peligros volcánicos y desarrolla actividades de estudio y vigilancia permanente de los volcanes activos en el Perú. Resultado de ello está emitiendo reportes diarios sobre la evolución del proceso eruptivo y su impacto.

El monitoreo instrumental, es permanente y en tiempo real, de carácter interdisciplinario, y cuyo fin es determinar la naturaleza y probabilidad de ocurrencia y evolución de los procesos eruptivos. En tal sentido se prepara el presente informe especial que tiene como objetivo mostrar las características del proceso y el emplazamiento de un domo de lava, lo que indica un ligero cambio en el régimen eruptivo del volcán Sabancaya.

## 2. PROCESO ERUPTIVO 2016-2019

Luego de casi 15 años de calma, en febrero de 2013, el Observatorio Vulcanológico del INGEMMET (OVI), identificó un incremento en las emisiones de gases del volcán Sabancaya, y paralelamente, la actividad sísmica también aumentó en áreas cercanas al volcán y en el valle del Colca. En agosto del 2015 y agosto 2016 reportamos la presencia de nuevas emisiones fumarólicas en el domo suroeste y flanco norte respectivamente. El 27 de agosto 2016, se registró una leve explosión, posiblemente freática, con una energía sísmica liberada de aproximadamente 72 Megajoules (MJ), que fue seguida de emisiones densas de gases y pequeña cantidad de ceniza que alcanzaron alturas de hasta 1000 m sobre la cima. Finalmente, el día 06 de noviembre de 2016 (20:40 h) ocurrió una explosión, la cual fue seguida de emisiones continuas de ceniza, con columnas eruptivas que tuvieron alturas entre 1000 y 3000 m sobre el cráter. Este evento marcó el comienzo de una nueva fase eruptiva del volcán Sabancaya.

Desde noviembre 2016 hasta octubre 2019, la erupción del volcán Sabancaya ha sido de tipo explosivo (vulcaniano), de características moderadas, con un IEV 2. Esta erupción se caracteriza por la ocurrencia de explosiones discretas, luego del cual se producen emisiones de ceniza y ocasionalmente proyectiles balísticos. Durante las explosiones se forman columnas eruptivas de gases y ceniza que alcanzan entre 800 y 5500 m.s.c. (metros sobre el cráter). Posteriormente la ceniza es dispersada por el viento y viene afectando principalmente un radio de 30 km. El mayor impacto de las caídas de ceniza viene ocurriendo en los pueblos del valle del Colca, situados al norte del volcán; así como en Lluta y Huanca, localizados al sur del volcán.

En las últimas semanas, el volcán Sabancaya continúa con un nivel de actividad moderada, con emisiones de gases y cenizas con alturas que no superan los 2800 m.s.c., y se presentan en promedio entre 60 a 70 emisiones por día.

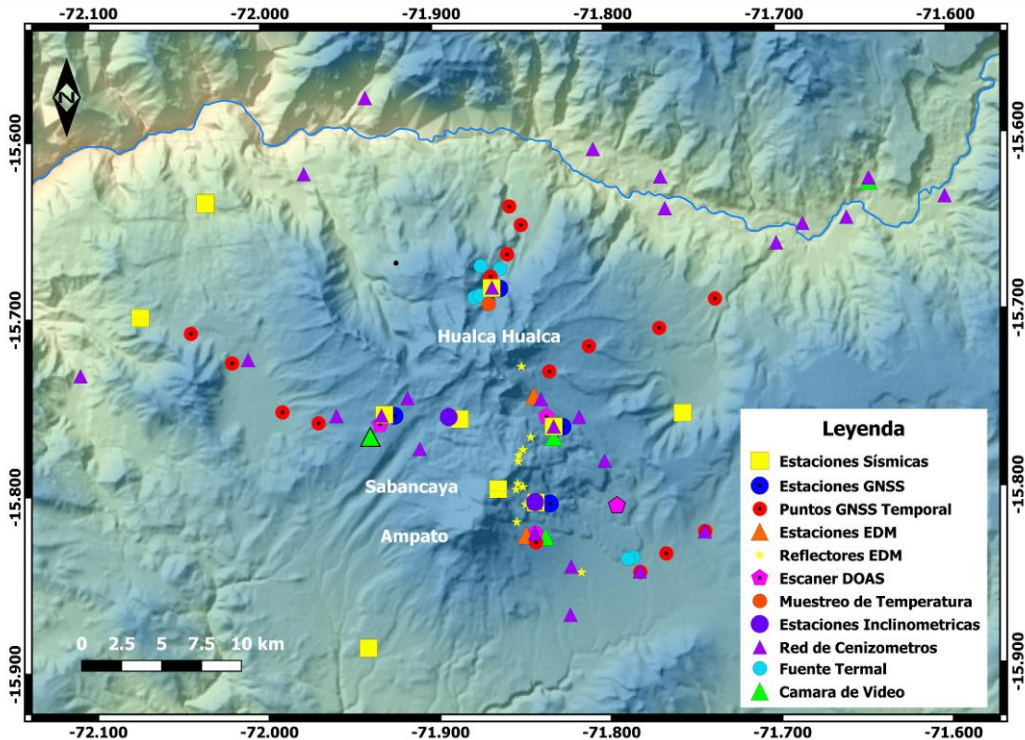
## 3. MONITOREO MULTIDISCIPLINARIO

El Observatorio Vulcanológico del INGEMMET, tiene instalados equipos de última generación en el volcán Sabancaya (Fig. 1) y su información es transmitida en tiempo real hacia las instalaciones del observatorio 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.

Complementariamente, existen importantes datos proporcionados por sistemas de monitoreo satelital, entre los que destacan: (1) el Sistema MIROVA, de la Universidad de Torino-Italia, que provee el valor diario de la temperatura en el cráter del Sabancaya; (2) el Global Sulfur Dioxide Monitoring de la NASA, que proporciona información diaria de la densidad del gas magmático SO<sub>2</sub> (dióxido de azufre) en inmediaciones del volcán; (3) Imágenes Planet Scope con 3 m de resolución; (4) Imágenes Sentinel II; e (4) imágenes Landsat 8 – Banda 10 proporcionadas por el Servicio Geológico Colombiano (SGC). Con todas

estas herramientas y personal altamente capacitado, el OVI es el centro de estudio y monitoreo volcánico mejor equipado del Perú.

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.

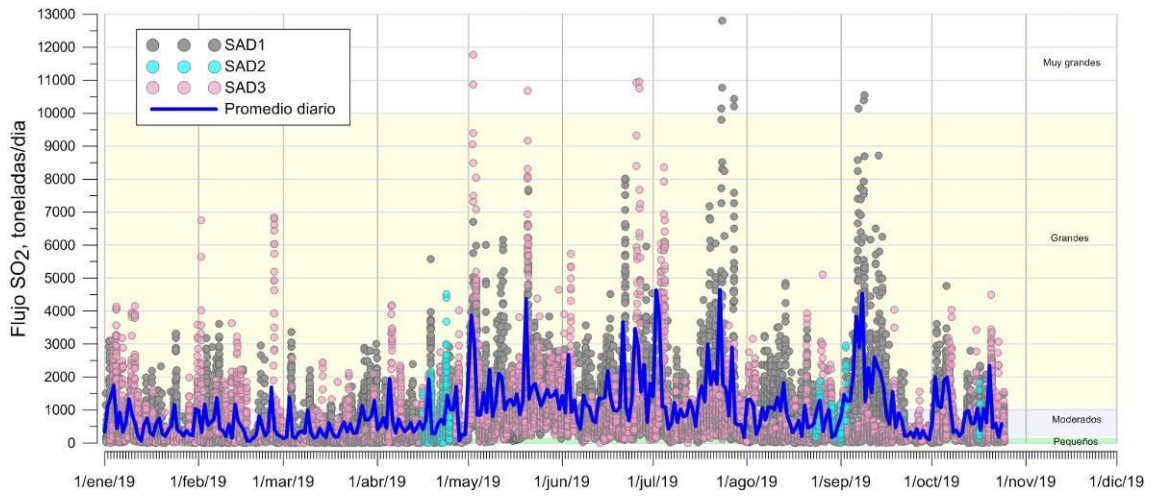


**Figura 1.** Red de monitoreo multidisciplinario del volcán Sabancaya operados por el OVI.

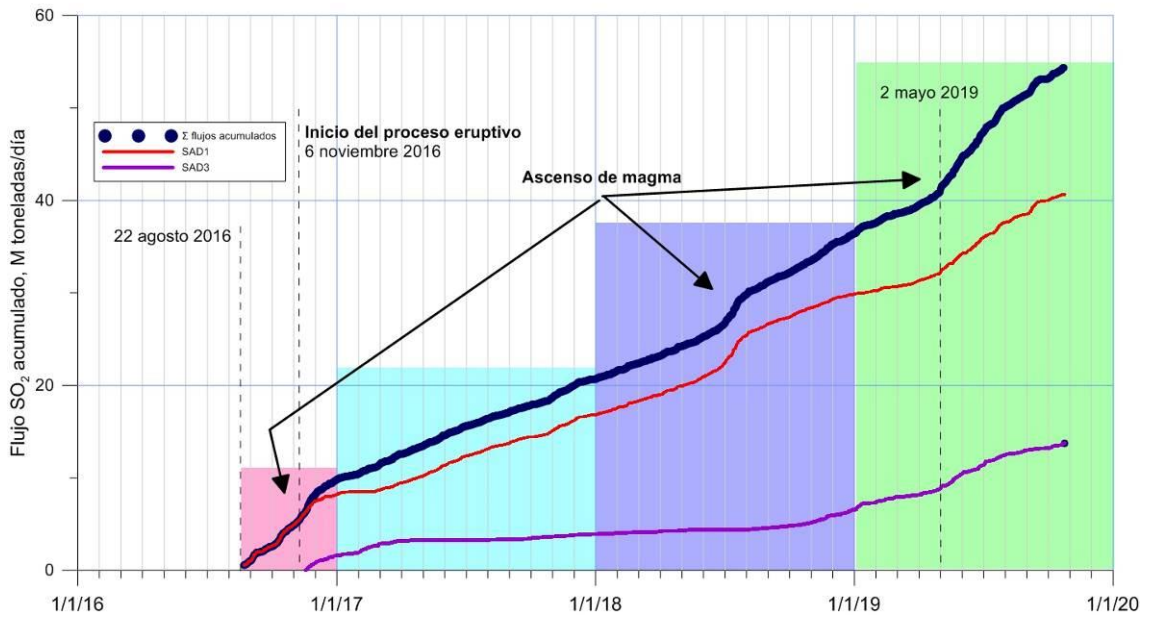
### 3.1. MONITOREO QUÍMICO DE GASES

El flujo del gas volcánico  $\text{SO}_2$  es medido mediante tres Escáner-DOAS desplegados alrededor del edificio volcánico. Los sensores han permitido registrar valores “muy grandes” (mayores a 10000 Toneladas/día), entre los meses de mayo y septiembre (Fig. 2). Con un valor máximo de 12814 T/día registrado el día 27 de julio del 2019, asociado al ascenso de magma (Fig. 3).

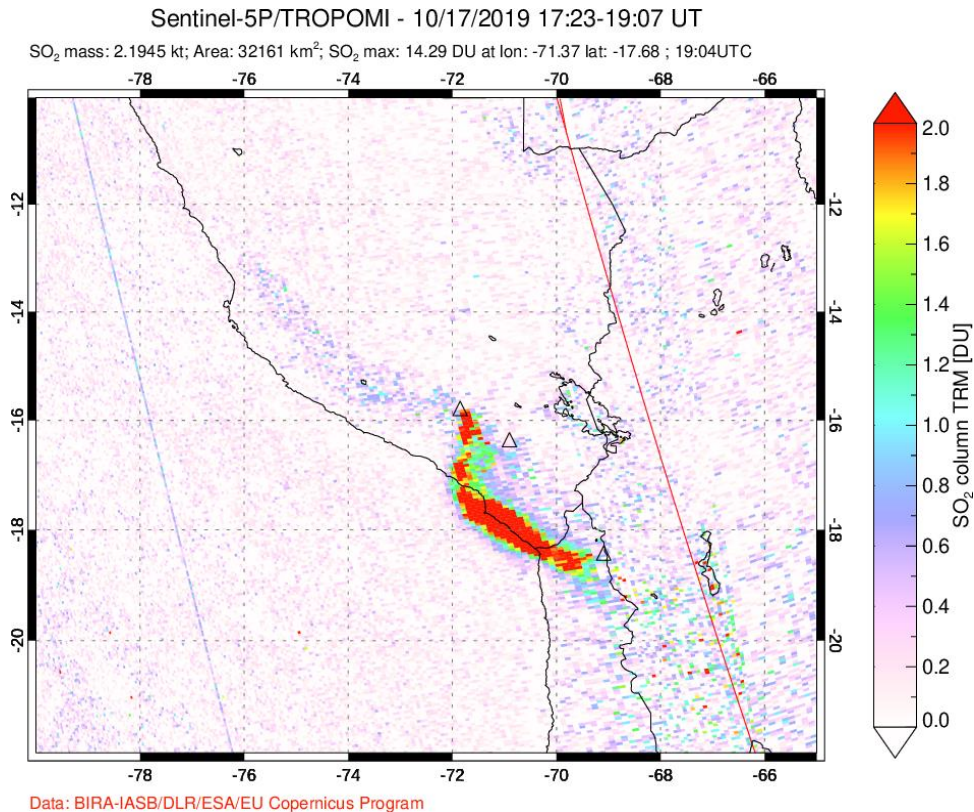
Los datos de las imágenes TROPOMI procesadas, han mostrado flujos importantes de  $\text{SO}_2$ , como se puede observar en la figura 4. Entre enero y octubre de 2019, los valores son considerables, a partir de abril ha superado las 6000 toneladas de  $\text{SO}_2$ /día, lo que nos indica una gran desgasificación proveniente de magma en ascenso a la superficie.



**Figura 2.** Variación del flujo del gas magmático  $SO_2$  registrado por el escáner DOAS (Periodo: 1 de enero y el 25 de octubre de 2019).



**Figura 3.** Monitoreo químico del gas magmático  $SO_2$  flujos acumulados (Periodo: 2016 -2019), donde se puede identificar periodos de ascenso de magma.



**Figura 4.** Imagen satelital TROPOMI, emisión de SO<sub>2</sub> del 17 de octubre de 2019.

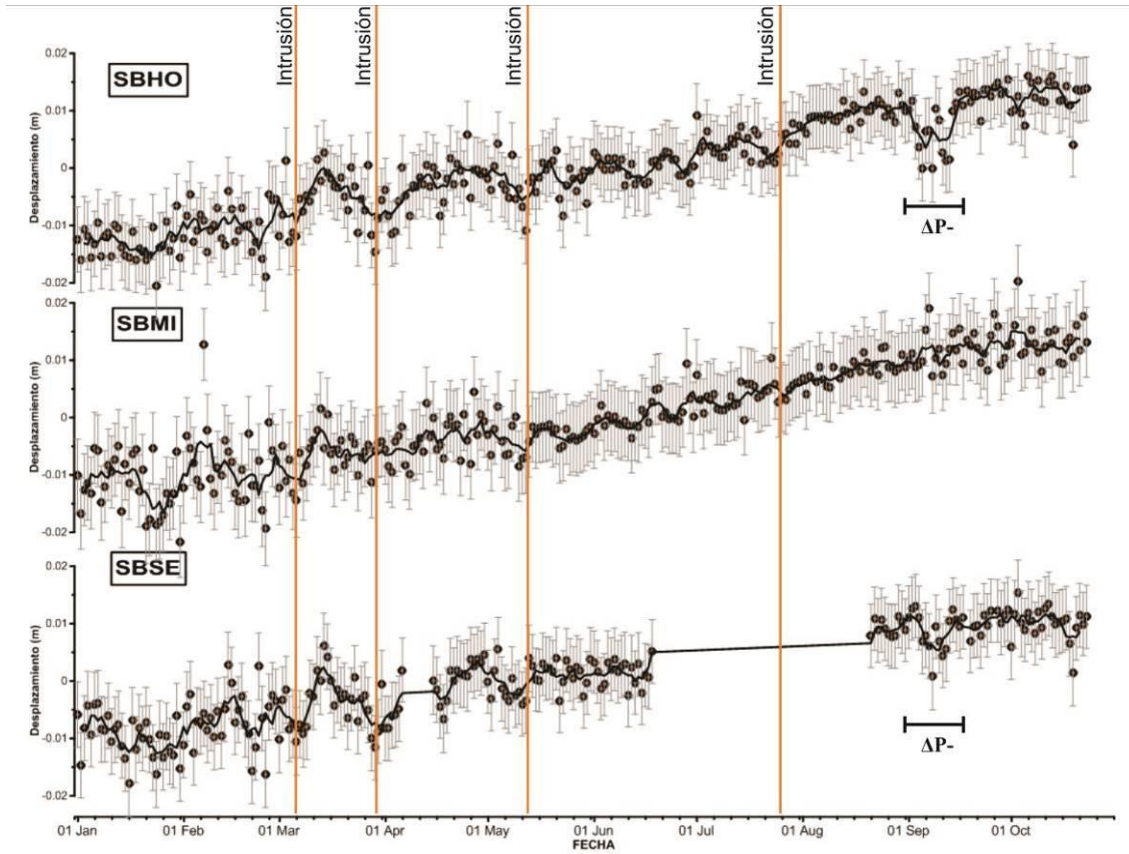
### 3.2. MONITOREO DE DEFORMACIÓN VOLCÁNICA

La red geodésica implementada con receptores GNSS CORS, desplegados alrededor del volcán Sabancaya, han evidenciado un proceso de inflación que inició el año 2014. Esta inflación es continua, con un promedio de  $34.3 \pm 1.4$  mm/año (Fig. 5), la cual, según modelos de deformación computacionales, estaría siendo generado por el incremento de volumen de una fuente profunda (cámara magmática principal) con forma esférica de 1.5 km de radio, ubicada al norte del volcán Sabancaya y por debajo del volcán Hualca Hualca, a una profundidad entre 5 a 8 km por debajo del nivel del mar. El modelamiento calcula también, una tasa de incremento de volumen aproximado de 26 Mm<sup>3</sup>/año (millones de metros cúbicos por año; Fig. 6).

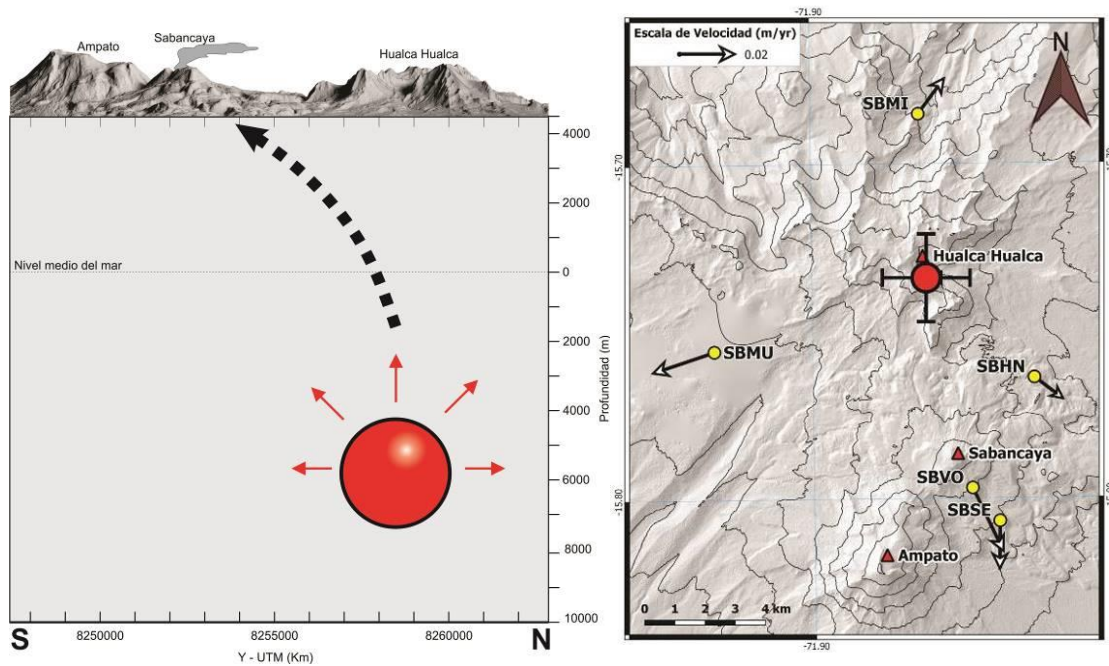
Durante el 2019, dentro de este proceso de inflación continua, se pudieron identificar cuatro periodos con variaciones en la deformación, registrados los días 05 de marzo, 28 de marzo, 11 de mayo y el 24 de agosto (Fig. 5). Estos cambios están asociados a aumentos en la tasa de presurización que ejerce el magma por debajo del volcán, asociados a posibles pulsos de intrusión de un mayor volumen magmático. Posterior a los tres primeros procesos identificados entre marzo y junio, se evidencia un proceso de intrusión constante que aparentemente termina después del primero de setiembre.

Estos cambios (<5 mm) también se evidencian en los resultados del cálculo de las líneas base más próximas al volcán, siendo la línea base entre las estaciones SBSE y SBHO la que presenta variaciones muy evidentes (Fig. 7). Los procesos evidenciados podrían sugerir el rápido crecimiento del domo en la superficie del volcán Sabancaya.

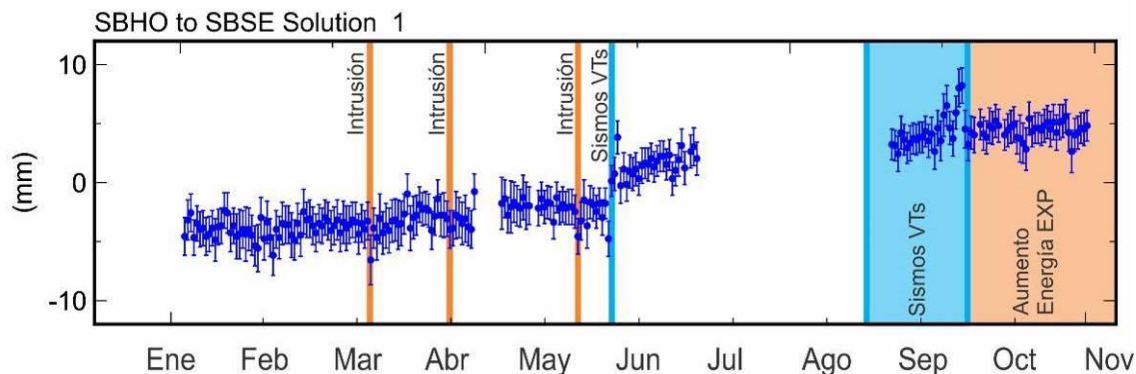




**Figura 5.** Series temporales de la componente vertical de las estaciones SBHO, SBMI y SBSE que indican deformación de edificio volcánico del Sabancaya.



**Figura 6.** Ubicación de la fuente de deformación modelada para el volcán Sabancaya.

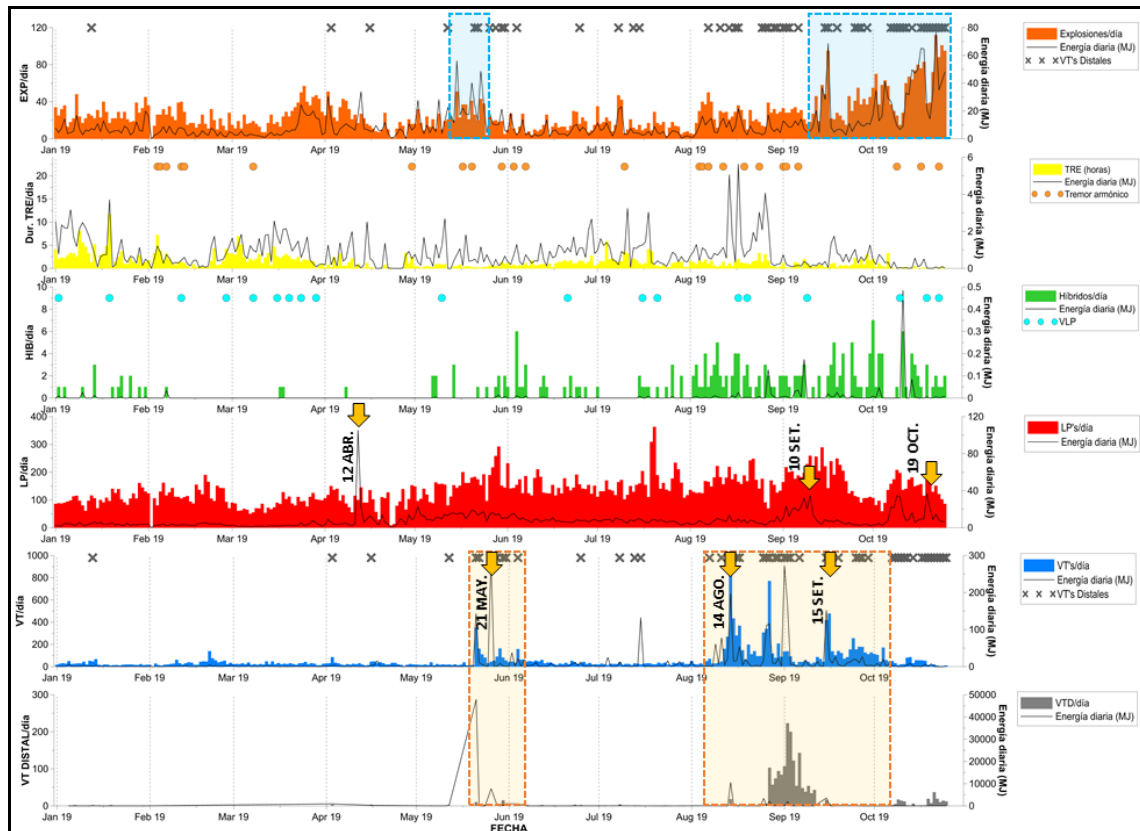


**Figura 7.** Serie temporal de línea base que atraviesa el edificio del volcán (SBHO y SBSE) para el año 2019, donde se observa variaciones milimétricas en la forma del volcán, las cuales estarían relacionadas a la intrusión de magma.

### 3.3. MONITOREO SISMO-VOLCÁNICO

En lo que va del año 2019 se ha observado cambios en la actividad sísmica (Fig. 8), los cuales, se describen a continuación:

- El 12 de abril, se registró un pico máximo en la energía sísmica de LP's (sismos de periodo largo) de 105 MJ, lo cual se correlacionó con una importante migración de magma y fluidos volcánicos. Esto coincide con el segundo periodo de intrusión detectado por los receptores GNSS.
- Posteriormente, desde el 15 de mayo se incrementó la actividad explosiva, liberando 56 MJ de energía sísmica; además, durante este mismo periodo la tasa de ocurrencia y energía correspondiente a los sismos VT's (volcano-tectónicos) también aumentó, indicando presurización en el sistema debido a una importante intrusión magmática.
- Entre agosto y setiembre, se registró una alta sismicidad de tipo VT, en ocasiones a modo de enjambres como los ocurridos el 14 de agosto, con 850 sismos, y el 15 de setiembre con 280 sismos, los cuales, se ubicaron a 6 km al NE del cráter del volcán Sabancaya; entre 3 y 8 km de profundidad. Esta sismicidad estuvo sugiriendo la continua intrusión de magma, a su vez, se pudo observar incrementos en la energía sísmica de los LP's indicando migración y/o ascenso de magma reflejado en el incremento considerable tanto en número y energía de explosiones por día.
- Finalmente, los cambios en la actividad explosiva que se viene registrando hasta la fecha, sugieren un aceleramiento en el crecimiento de un domo, que, a su vez, estaría generando acumulación de presión en el interior del edificio volcánico, lo cual, podría terminar en la generación de explosiones de moderada magnitud.



**Figura 8.** Sismicidad del volcán Sabancaya durante el 2019.

### 3.4 MONITOREO VISUAL Y DISPERSIÓN DE CENIZA

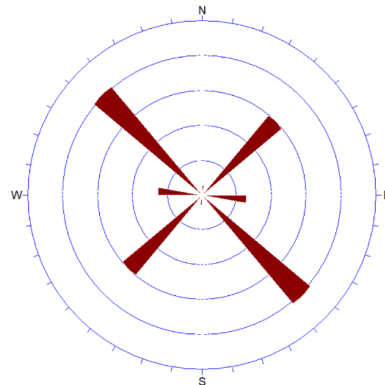
El proceso eruptivo del Sabancaya se inicia el 06 de noviembre del 2016, fecha en la cual se registraron las primeras explosiones. Entre los meses de noviembre y diciembre las emisiones de ceniza del volcán Sabancaya eran recurrentes alcanzando alturas de hasta 4500 m.s.c. Durante el 2017 (Fig.11) las columnas en promedio han alcanzado alturas entre 2000 y 2500 m.s.c. Sin embargo, en los meses de enero, abril y julio las columnas han alcanzado 4200, 4800 y 5500 m.s.c respectivamente. En el 2018 (Fig.12) se han registrado columnas eruptivas que han alcanzado en promedio 1000 m y 1500 m sobre el nivel del cráter, alcanzando alturas máximas de 4500 m.s.c en los meses de febrero y agosto.

Durante el primer trimestre del 2019 (enero - marzo) se observaron emisiones con una altura promedio de 1000 m.s.c alcanzando un máximo de 3700 m.s.c, con dirección de dispersión predominante al SE - SO, las cuales afectaron a los pueblos de Lluta, Huambo y Huanca, y el sector de Mucurca ubicados en un radio de 25 Km con respecto al volcán.

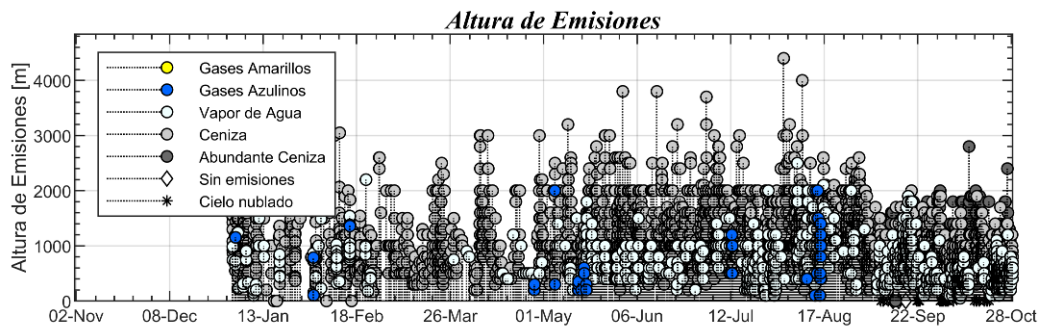
El segundo trimestre del 2019 (abril - junio) se observaron emisiones de 1100 m.s.c en promedio, alcanzando un máximo de 3800 m.s.c, las emisiones de gases y ceniza se mantuvieron constantes y fueron dispersadas por el viento principalmente en dirección SE, llegando hasta 50 km afectando al sector de Sallalli.

Durante el periodo de julio a octubre del 2019 se han registrado columnas que alcanzan en promedio 1500 m.s.c (Fig. 10). Sin embargo, en agosto las columnas han alcanzado hasta 4400 m.s.c (Fig. 13), la dirección de dispersión de las emisiones es predominantemente al NO – SE y

SO - NE como se muestra en el diagrama de rosetas (Fig. 9) alcanzando un radio de dispersión de 30 Km, y afectando los pueblos del valle del Colca y Huambo.



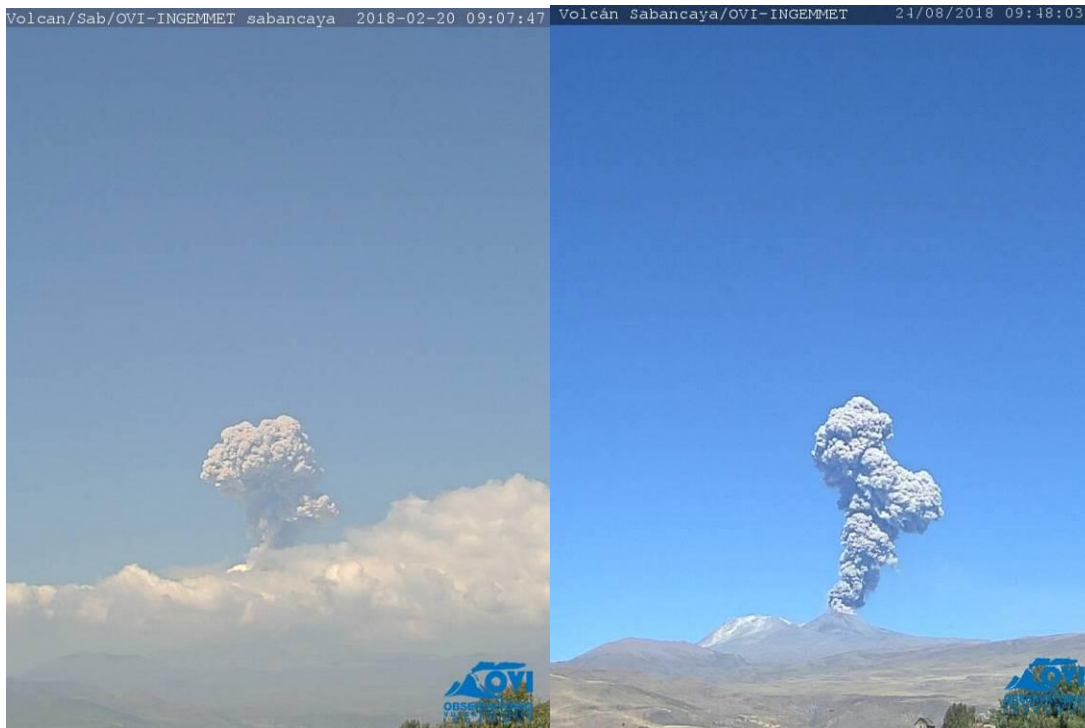
**Figura 9.** Diagramas de rosetas de viento de las emisiones de ceniza y gases del volcán Sabancaya.



**Figura 10.** Alturas de columnas eruptivas del periodo del 2019 del volcán Sabancaya



**Figura 11.** Vista de columnas eruptivas de 4800 y 5500 m correspondientes a los meses de abril y julio del 2017



**Figura 12.** Vista de columnas eruptivas de 4500 m correspondientes a los meses de febrero y agosto del 2018



**Figura 13.** Cámaras de vigilancia registraron columnas importantes de 2600 m y 4400 m sobre el nivel de la cima el 20 de mayo y 1 de agosto respectivamente.

### 3.5 MONITOREO TÉRMICO SATELITAL

Las imágenes del sistema satelital MIROVA de la Universidad de Torino (Italia) y Sentinel II proporcionan información de anomalías térmicas en el cráter, de manera que, cuando un volumen de magma se encuentra cercano a la superficie la radiación aumenta.

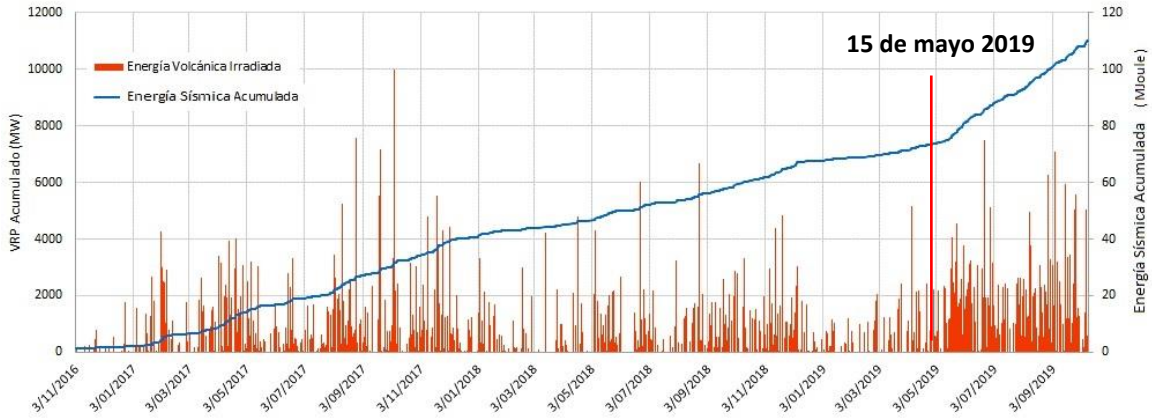
Desde el inicio del proceso eruptivo, se ha detectado una irradiación volcánica muy clara (Fig. 14 y 15), esta ha tenido periodos de mayor y menor radiación, los cuales están influenciados por el incremento de la actividad explosiva y las épocas de lluvias, en donde la nubosidad enmascara la radiación térmica. Sin embargo, estos valores de radiación se han mantenido en promedio con la misma frecuencia y rangos de magnitud, hasta el 2019, en donde hay un claro incremento en la radiación térmica (Fig. 16), en esta figura la línea muestra que el 15 de mayo, la tasa de incremento de radiación es claramente mayor. Así mismo, imágenes Landsat muestran incremento de temperatura en el año 2017 y 2019 (Fig. 17). Los resultados obtenidos están vinculados a la extrusión de un domo en el sector NO del cráter.



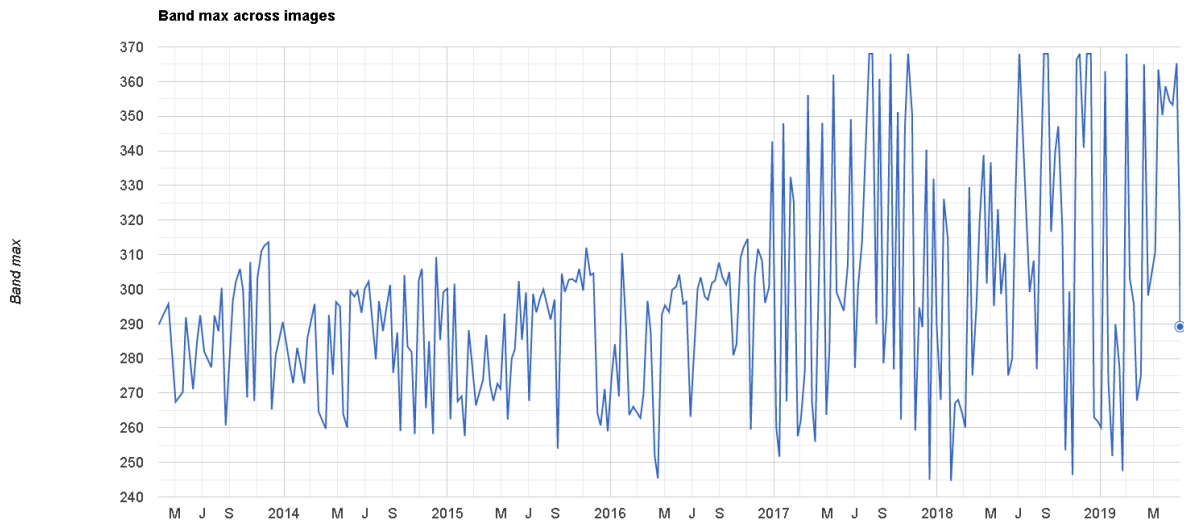
**Figura 14.** Vista de las anomalías térmicas registradas en el sector NO del volcán Sabancaya con imágenes MIROVA.



**Figura 15.** Vista de las anomalías térmicas registradas en el sector NO del volcán Sabancaya con imágenes SENTINEL II. (Fuente: C. Laverde – Servicio Geológico Colombiano).



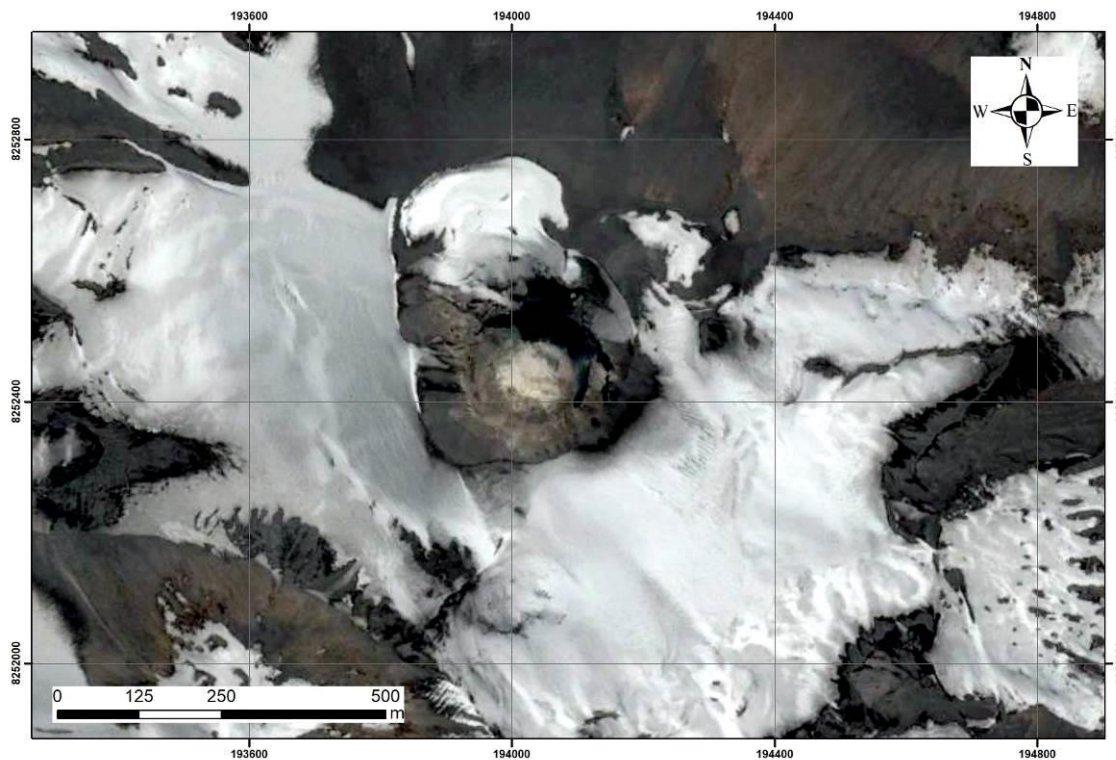
**Figura 16.** Evolución de las anomalías térmicas detectadas en el volcán Sabancaya durante el periodo de noviembre de 2016 a setiembre de 2019.



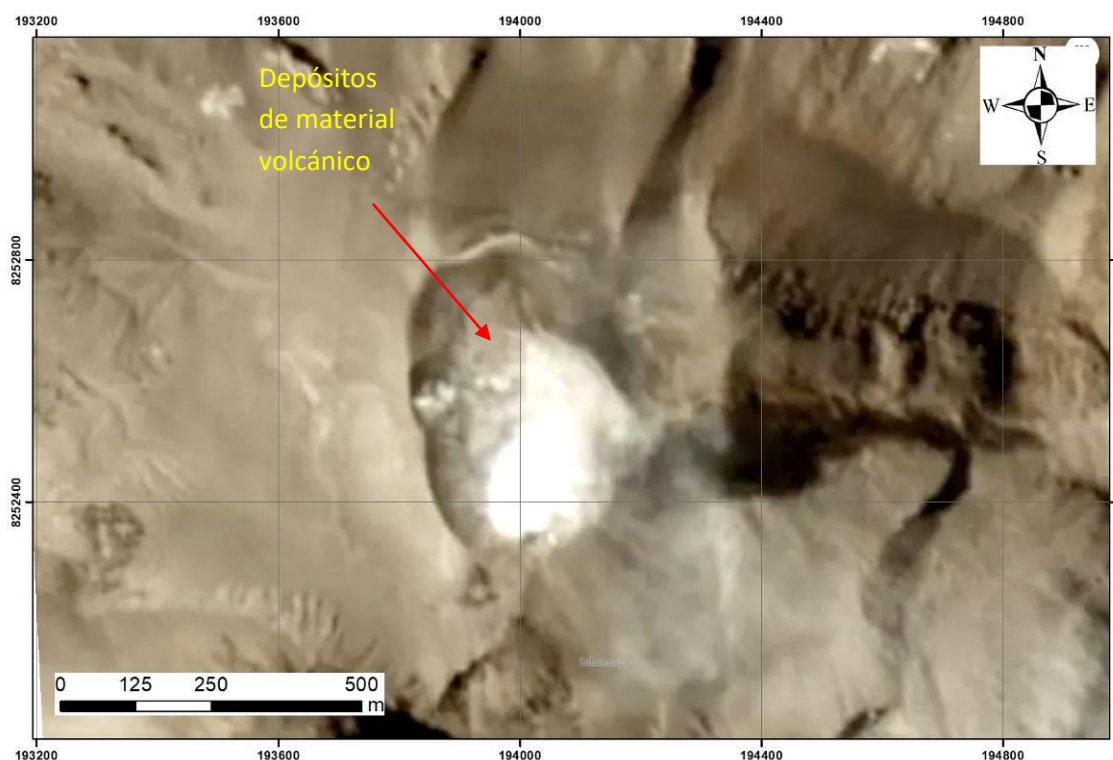
**Figura 17.** Evolución de las temperaturas registradas en el cráter del volcán Sabancaya con imágenes Landsat8 – Banda 10 durante el periodo 2014 a junio de 2019 (Fuente C. Laverde – SGC).

### 3.6. EVOLUCIÓN DEL CRÁTER Y/O DEL DOMO

Desde el inicio del proceso eruptivo, el 06 de noviembre del 2016, se ha venido registrando cambios en la morfología del cráter, a principios de las 2017 imágenes satelitales Planet Scope mostraron la formación de un domo, el cual se viene observando en constante crecimiento. Las figuras 18 a 29, muestran la evolución de la morfología del cráter con imágenes satelitales:

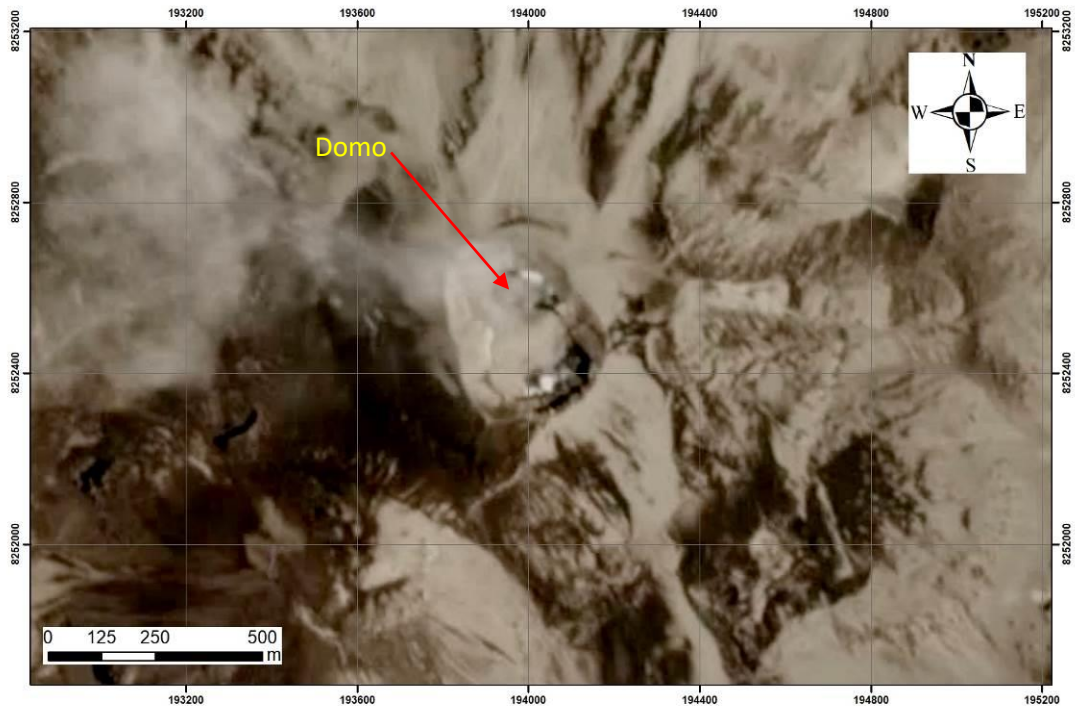


**Figura 18.** Imagen satelital Landsat del 23 de marzo del 2016, se observa un cráter único del volcán Sabancaya en el sector SE, con diámetro de 210 metros aproximadamente.

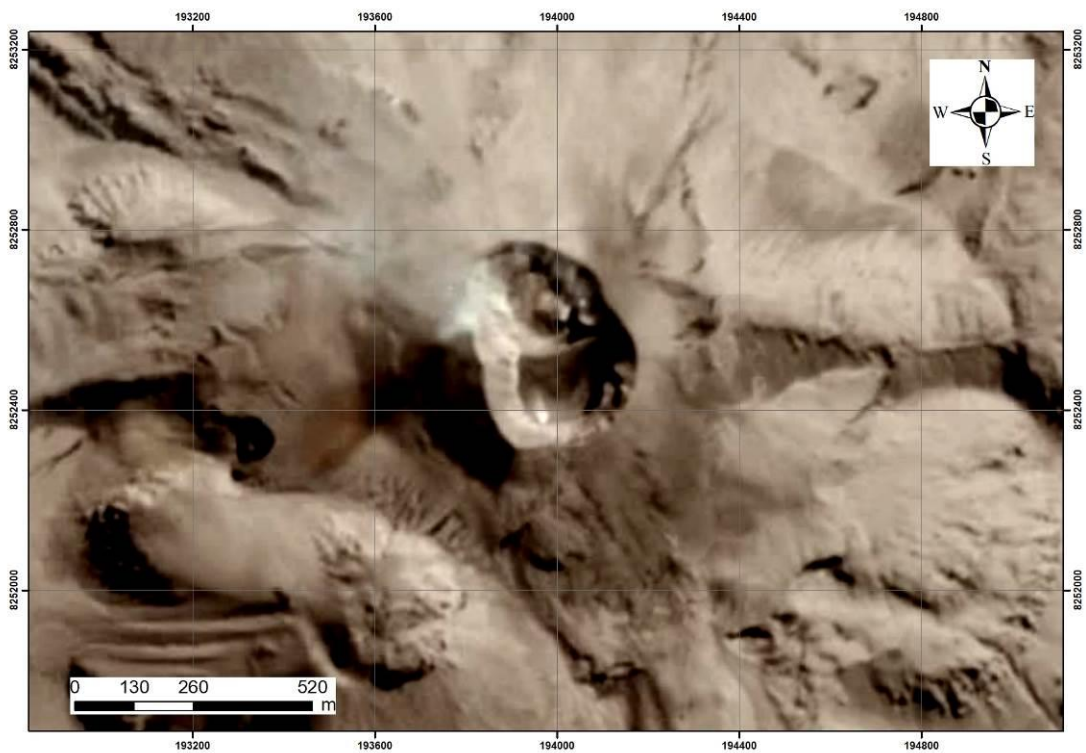


**Figura 19.** Imagen Planet Scope del 3 de noviembre del 2016, aún se puede observar el cráter del volcán al SE, pero en el sector NO se observan la acumulación de material volcánico producto de las emisiones constantes desde el inicio del proceso eruptivo (Fuente C. Laverde – SGC).

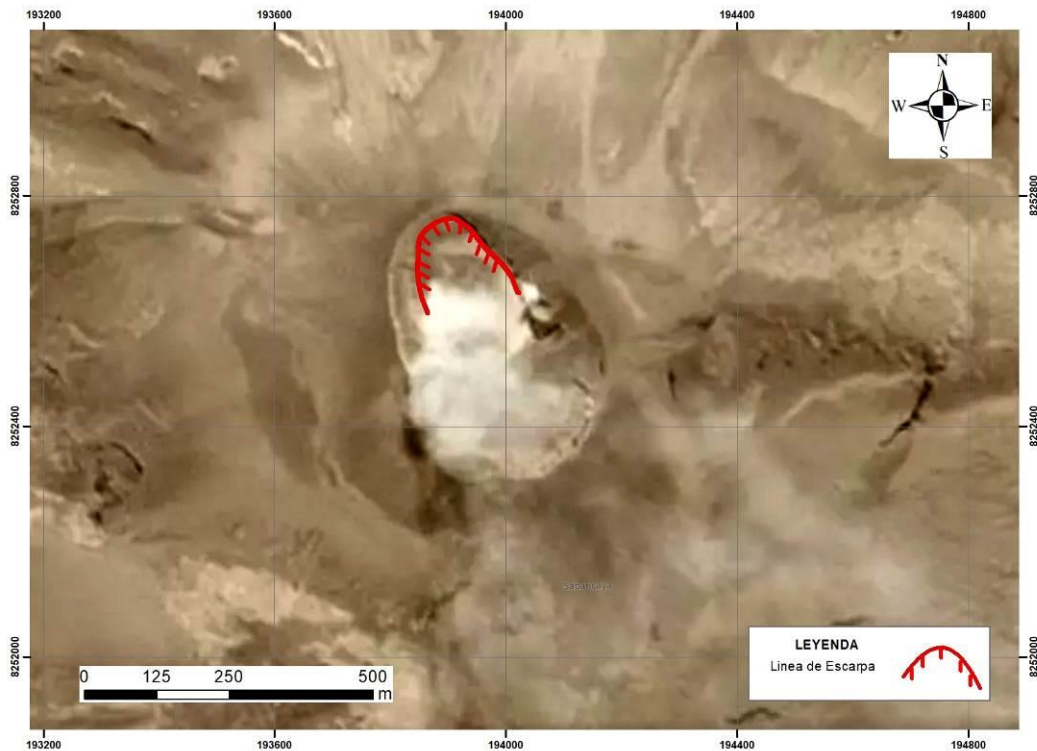




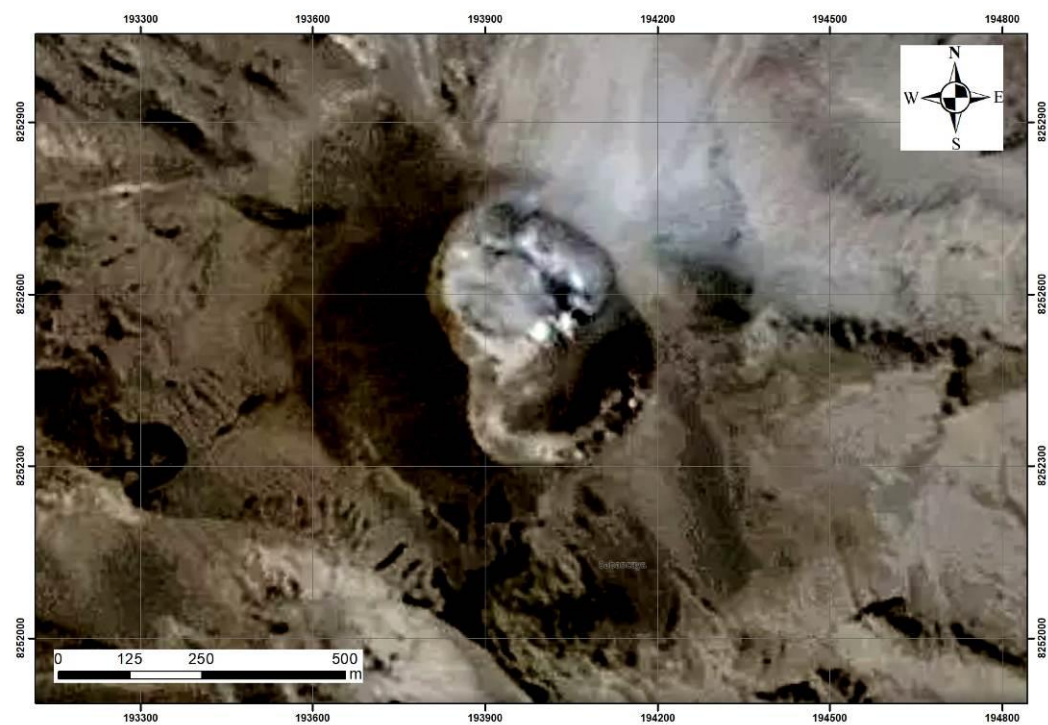
**Figura 20.** Imagen Planet Scope del 5 de febrero del 2017, se observa el crecimiento de un domo en el interior del cráter del volcán el cual muestra un diámetro de 85 m y un área aproximada de 5674 m<sup>2</sup>. Además, se observa que dentro del periodo del 3 de noviembre del 2016 al 5 de febrero del 2017 ocurrió un colapso del cráter quedando obstruido completamente por material expulsado y acumulado en el cráter del volcán (Fuente C. Laverde – SGC).



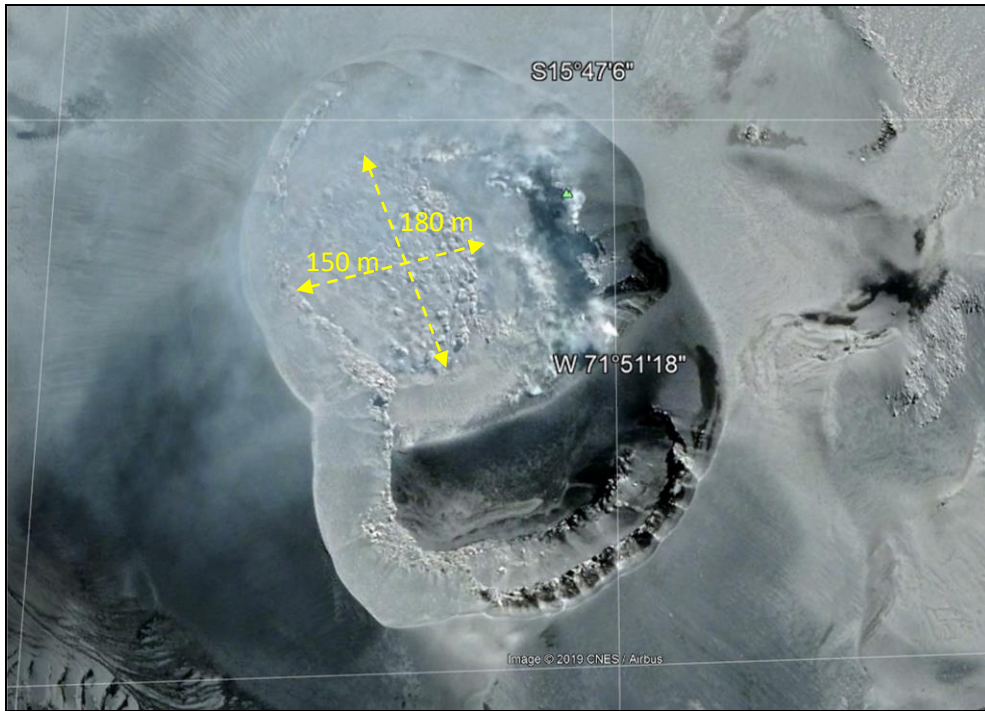
**Figura 21.** Imagen Planet Scope del 16 de junio del 2017, se observa el crecimiento del domo el cual muestra un diámetro mayor de 147 m y un diámetro menor de 131 m, con un área de 15124 m<sup>2</sup> (Fuente C. Laverde – SGC).



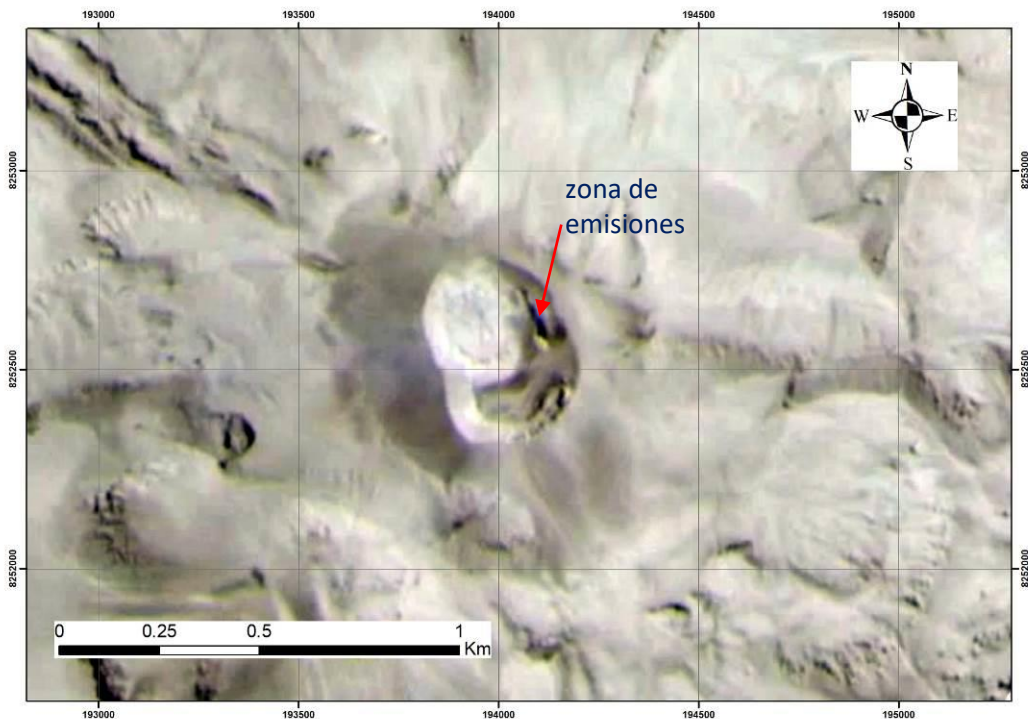
**Figura 22.** Imagen Planet Scope del 14 de agosto del 2017, se observa un colapso al noroeste del cráter observándose una escarpa de deslizamiento que ha cubierto parcialmente el domo (Fuente C. Laverde – SGC).



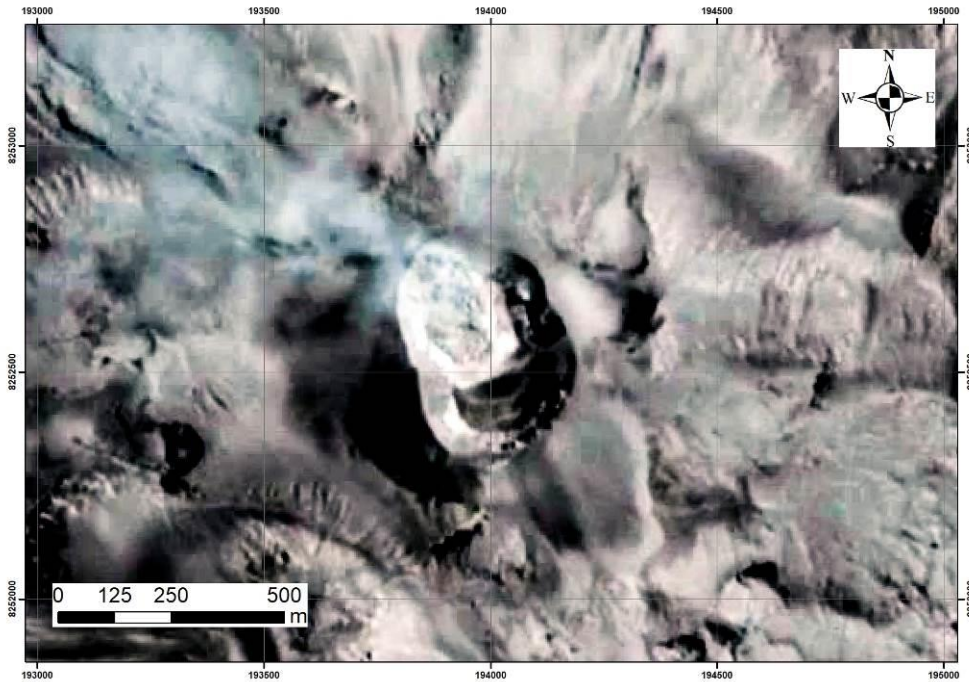
**Figura 23.** Imagen Planet Scope del 6 de setiembre del 2018, se observan emisiones alrededor del domo, el cual en este periodo posee un diámetro mayor de 157 m y un diámetro menor de 146 m, alcanzando un área de 18003 m<sup>2</sup>.



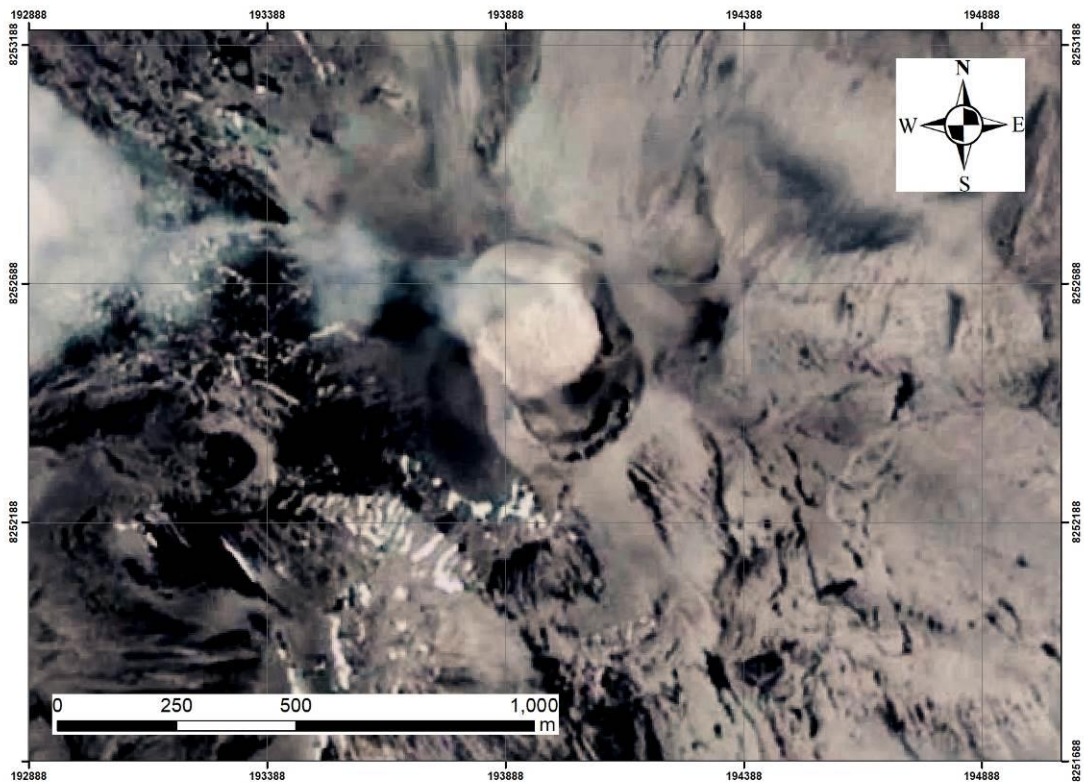
**Figura 24:** Imagen de satélite (Airbus) del cráter del volcán Sabancaya del día 16 de mayo 2019, muestra que el domo se localiza en dirección NO-SE del cráter. El diámetro mayor alcanza 180 m y el menor 150 m, ocupando un área 21206 m<sup>2</sup>.



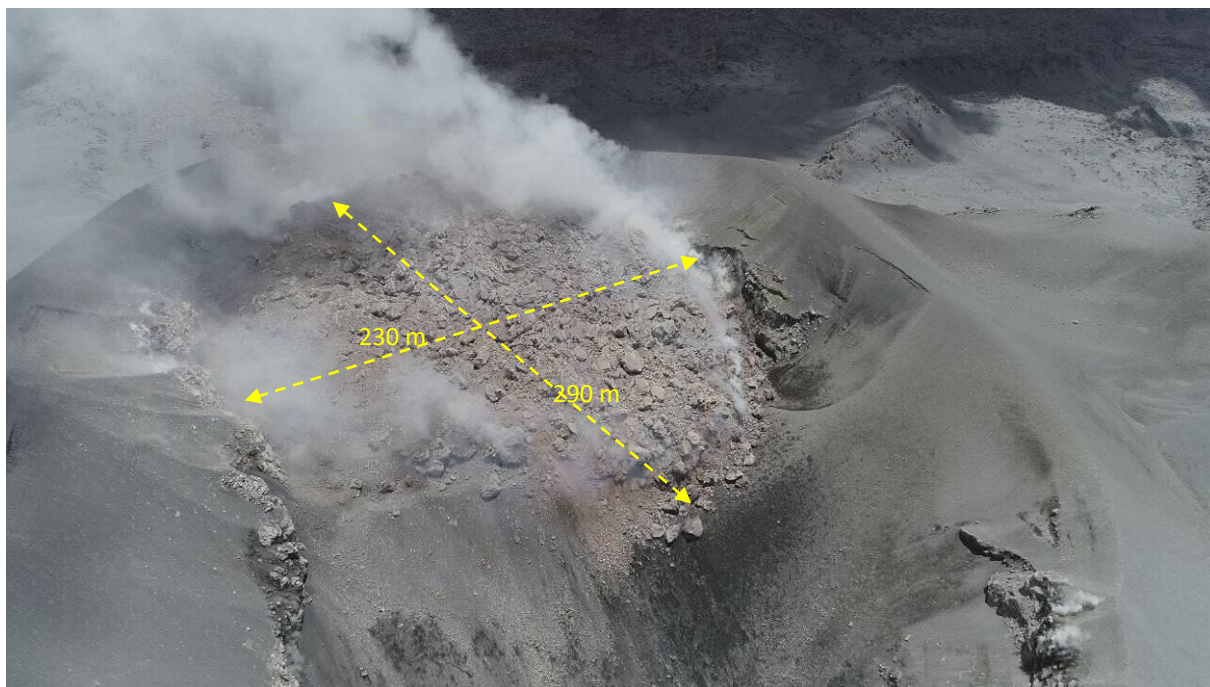
**Figura 25.** Imagen Planet Scope del 30 de agosto del 2019, se observa un domo de mayor dimensión, donde el diámetro mayor alcanza 185 m y el diámetro menor 167 m, ocupando un área de 24265 m<sup>2</sup>.



**Figura 26.** Imagen Planet Scope del 27 de setiembre del 2019, se observa un domo de forma elíptica el cual tiene un diámetro mayor de 227 m y un diámetro menor de 158 m mientras que el área mide aproximadamente 28169 m<sup>2</sup>.



**Figura 27.** Imagen Planet Scope del 23 de octubre del 2019, se ha registrado que el domo ha sobrepasado la altura del cráter siendo observado desde la estación de Hornillos. El domo para esta fecha tiene un diámetro mayor de 270 m y un diámetro menor de 244 m con un área de 51742 m<sup>2</sup>.



**Figura 28.** Fotografías del domo de lava en el cráter del volcán Sabancaya, tomadas por el dron el día 26 de octubre 2019.



**Figura 29.** Finalmente, para el 27 de octubre del 2019, una imagen de Dron del cráter del volcán, en donde se puede ver el domo al nivel del cráter.

El siguiente cuadro muestra el resumen de las variaciones de las dimensiones del domo de acuerdo con las fechas de registro.

Fecha	Diámetro mayor (m)	Diámetro menor (m)	Área (m <sup>2</sup> )
05/02/2017	85	85	5674
16/06/2017	147	131	15124
06/09/2018	157	146	18003
16/05/2019	180	150	21206
30/08/2019	185	167	24265
27/09/2019	227	158	28169
23/10/2019	270	244	51742
26/10/2019	290	230	52386

Tabla Nro.1. Dimensiones del domo durante su evolución del 2017 al 2019.

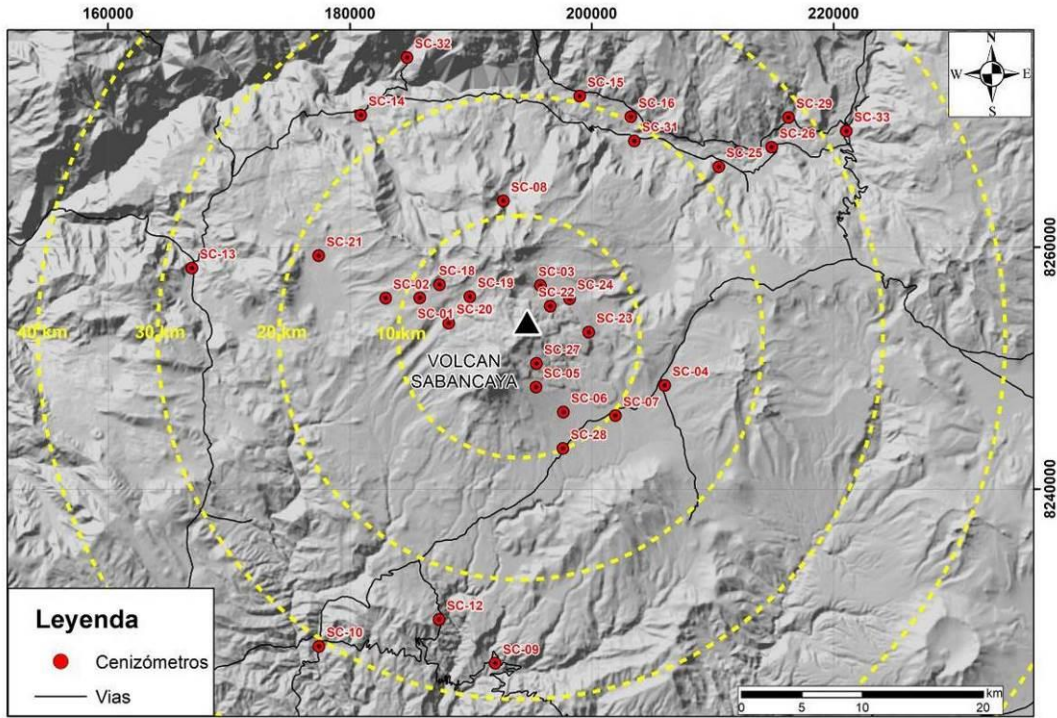
### 3.7. ANÁLISIS DE PRODUCTOS EMITIDOS: CENIZA

Desde el inicio del periodo eruptivo, el OVI implementó el monitoreo de cenizas en el volcán Sabancaya, con la finalidad de estimar la cantidad de cenizas que vienen cayendo en áreas aledañas al volcán, así como realizar análisis geoquímicos con el fin de hacer el seguimiento del proceso eruptivo.

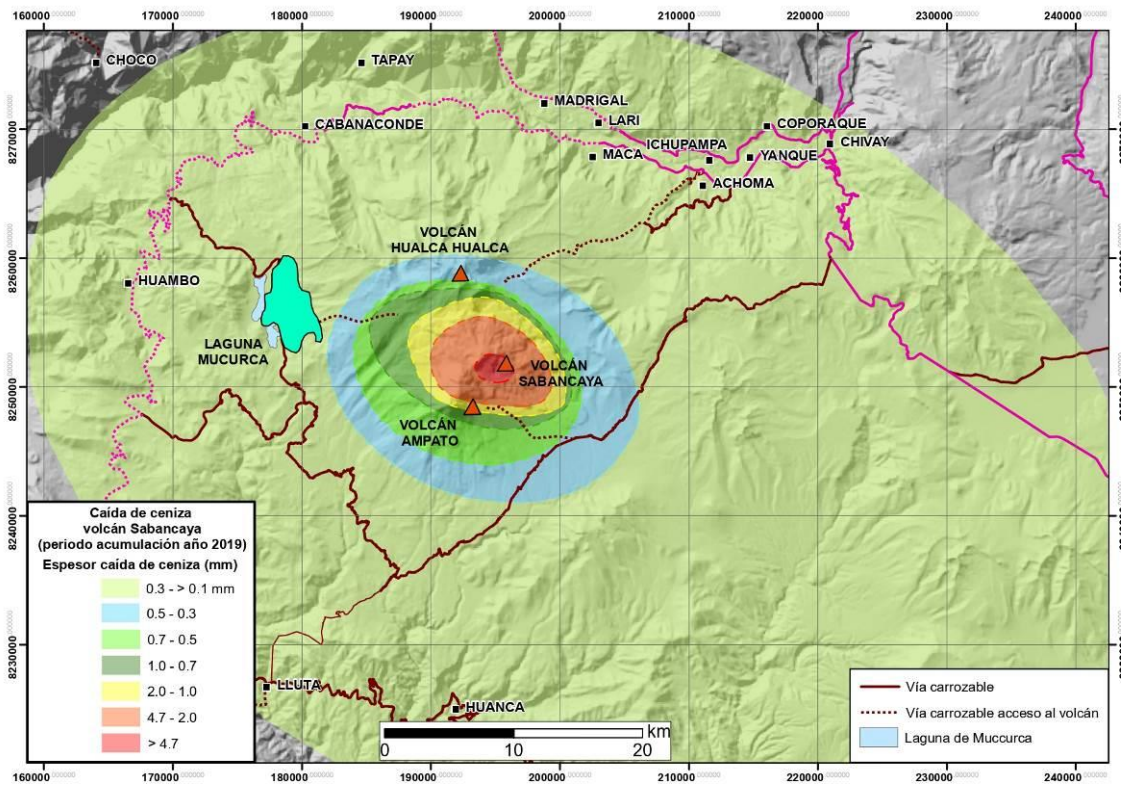
Actualmente, se cuenta con una red de 33 cenizómetros, los cuales son dispositivos que se utilizan para medir espesores, densidad de área y densidad total de cenizas (< 20 mm). Estos cenizómetros se encuentran instalados en zonas aledañas al cráter del volcán, y también en los poblados del valle del Colca; con estos dispositivos podemos medir espesores milimétricos del depósito de ceniza (Fig. 30).

Desde enero hasta agosto del presente año se han realizado medidas de espesores de caída de cenizas en el sector sureste del volcán Sabancaya determinando que entre 2 a 10 km, hay espesores de 4.7 a 0.5 mm, y a 13 km espesores de 0.3 mm. Así mismo, en el sector noroeste del volcán, se determinó que entre 5 y 9 km los espesores son de 2 a 0.5 mm respectivamente, y entre 10 y 18 km los espesores de caída de cenizas son menores a 0.1 mm.

Estos resultados han permitido elaborar un Mapa de Isópacas (mapa que consiste en líneas que unen puntos de igual espesor de un depósito) de la ceniza acumulada desde enero hasta el mes de agosto, el cual, indica que la dirección predominante de la dispersión y caída de ceniza es hacia el sureste (Fig. 31).

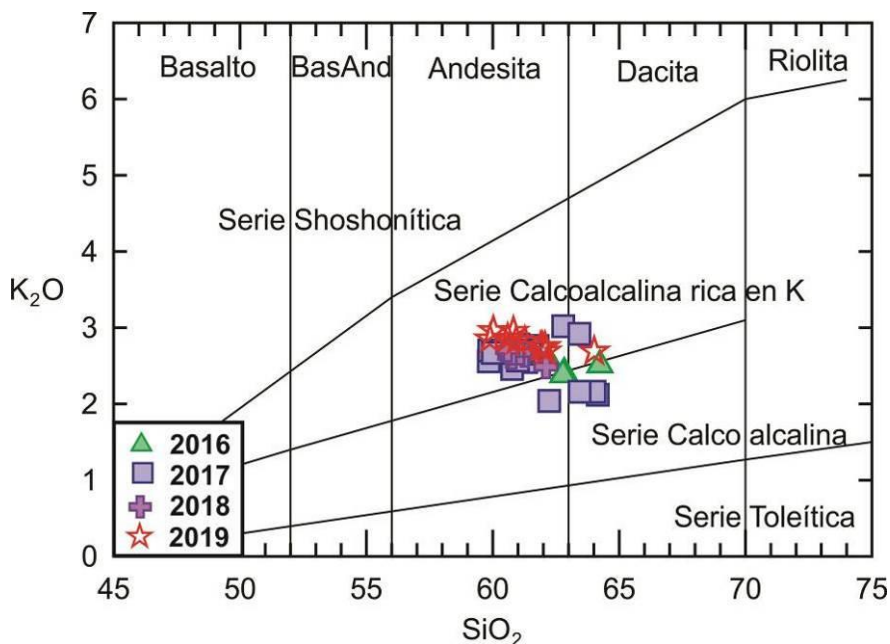


**Figura 30:** Red de 33 cenizómetros del volcán Sabancaya.



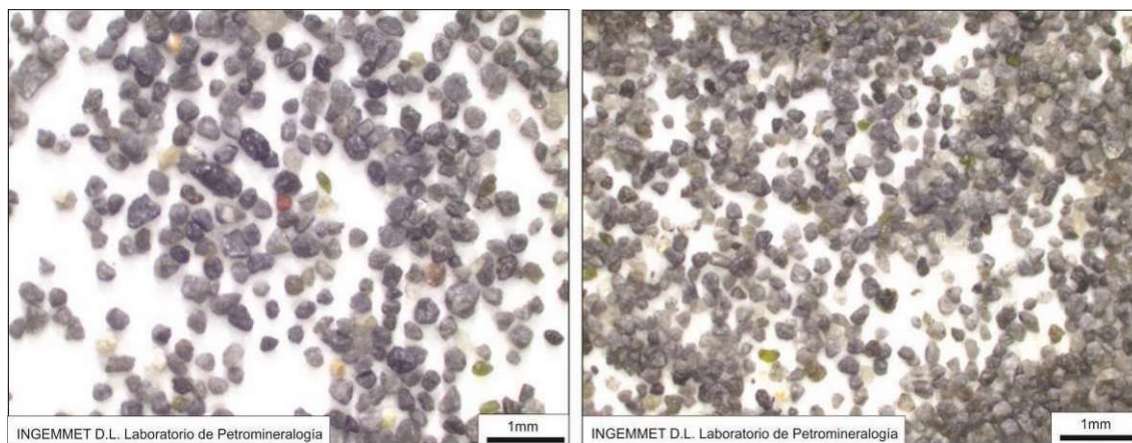
**Figura 31:** Mapa de Isópacas de la caída de ceniza producidas por el volcán Sabancaya durante el 2019; las elipses representan los espesores del depósito de cenizas medidos en los cenizómetros.

En la Figura 32, se puede apreciar la composición química del magma que generalas cenizas emitidas por el volcán Sabancaya durante el año 2019, las cuales, corresponden a una composición andesítica calcoalcalina, rica en K. Durante el proceso eruptivo la composición química ha sido bastante homogénea.



**Figura 32:** Composición química de la ceniza a lo largo del proceso eruptivo de los años 2016, 2017, 2018 y 2019.

La ceniza depositada en el 2019 está constituida por líticas juveniles (fragmentos de magma reciente), vidrio, cristales de plagioclasa, olivino, biotita y líticas hidrotermalizadas y oxidados.



**Figura 33:** Cenizas del volcán Sabancaya observadas con un microscópio. La ceniza está constituida por líticas juveniles, vidrio, cristales de plagioclasa, olivino, biotita y líticas hidrotermalizadas y oxidados.



#### 4. EMPLAZAMIENTO DE DOMO EN CRÁTER DEL VOLCÁN SABANCAYA

La primera imagen de satélite donde se observa aparentemente el emplazamiento de un cuerpo de lava en la base del cráter, data del 05 de febrero del 2017. En dicha fecha el cuerpo de lava poseía cerca de 85 m de diámetro (Fig. 12) y una superficie aproximada de 5674 m<sup>2</sup>. Una imagen satelital del día 16 de junio 2017 muestra claramente un domo de forma elíptica, con un diámetro mayor de 147 m y un diámetro menor de 131 m (Fig.13).

Posteriormente, una imagen de satélite (Airbus) del día 16 de mayo 2019 (Fig. 22), muestra nítidamente un domo de lava en el cráter de forma ligeramente elíptica, con un diámetro mayor de 180 m y un diámetro menor de 150 m, por lo que estimamos que su superficie abarcó un área aproximada de 21206 m<sup>2</sup>.

El día 24 de octubre 2019, una brigada de campo del Ingemmet pudo visualizar por primera vez bloques de lava en la cima del volcán Sabancaya. Por tal razón el día 26 de octubre se realizaron sobrevuelos con Drone sobre el cráter del Sabancaya, lo que permitió corroborar el importante crecimiento del domo. Actualmente el domo de lava ha rellenado gran parte del sector norte del cráter y tiene forma ligeramente elíptica, con un diámetro mayor de 290 m y un diámetro menor de 244 m. Su superficie abarca un área aproximada de 50 000 m<sup>2</sup>.

Durante los años 2011 y 2016 se realizaron medidas de la morfometría del cráter, en el cual se estimó una profundidad aproximada de 200 m.

Se ha realizado un cálculo aproximado del volumen actual del domo. Para ello se le asignó una forma de cono truncado. Para estimar las dimensiones se tomaron como referencia las dimensiones del domo de los días 05 de febrero 2017 (radio r) y 26 de octubre 2019. En este último caso se tomó el promedio del radio mayor y menor (radio R). También se tomó una altura (h) promedio del domo de 180 m, ya que aún no cubre por completo el cráter. Para dichos valores se obtuvo un volumen preliminar de 4.6 Millones m<sup>3</sup> con una tasa de extrusión de 0.05 m<sup>3</sup>/s (se considera un crecimiento constante), lo cual, es considerado como una tasa muy baja de extrusión (crecimiento muy lento del domo). Ahora, lo que podría esperarse con la presencia de este lento crecimiento del domo, es que la actividad del Sabancaya continúe similar a como se ha venido registrando, es decir, explosiones continuas con columnas no tan altas.

Fecha	Diámetro mayor (m)	Diámetro menor (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Crecimiento de superficie
05/02/2017	85	85	5674	
26/10/2019	290	230	52386	823%

Tabla Nro.2. Dimensiones del domo durante febrero 2017 y octubre 2019.

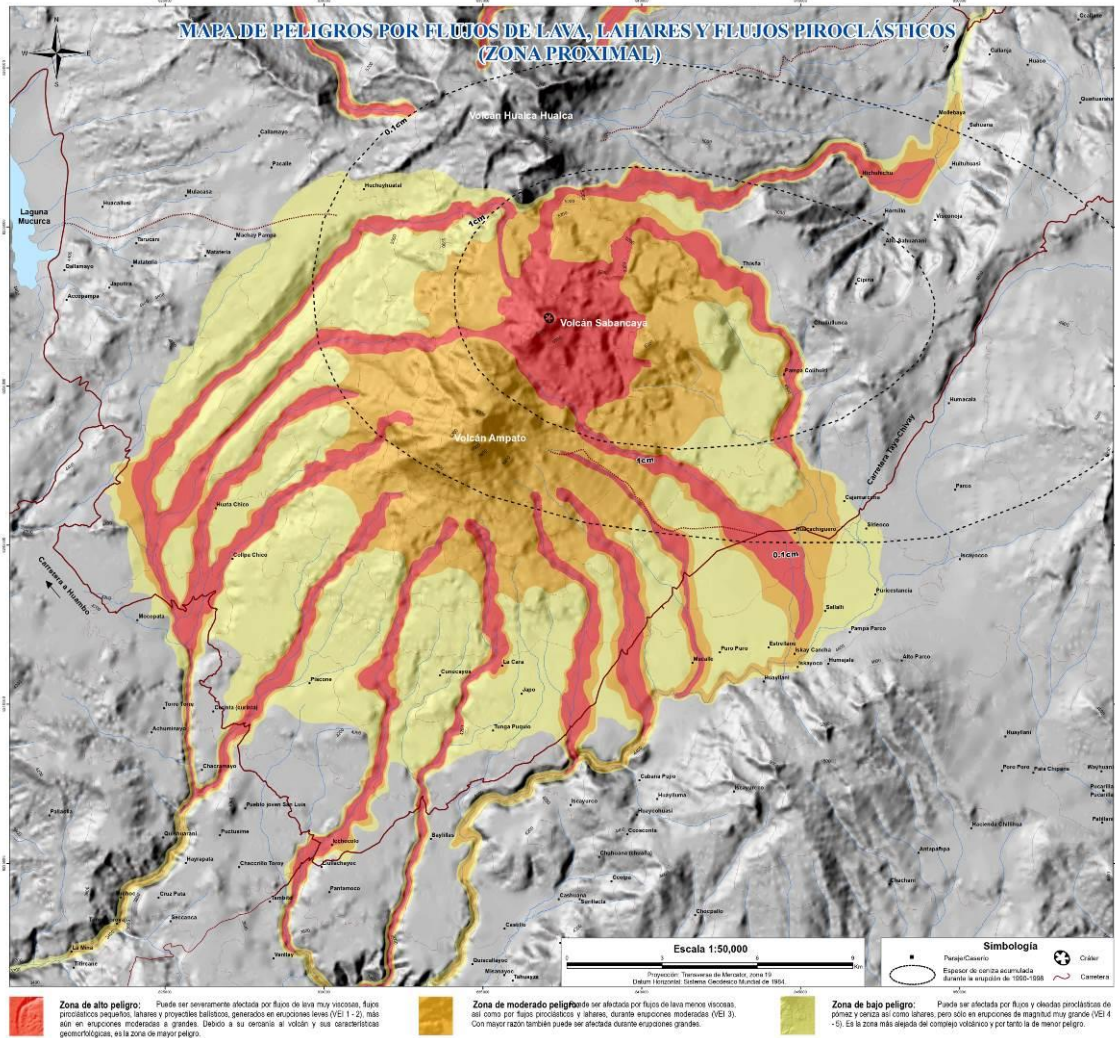
## 5. ESCENARIOS FUTUROS

En base a los estudios geológicos y datos del monitoreo volcánico que efectúa el INGEMMET, se proponen los siguientes escenarios futuros:

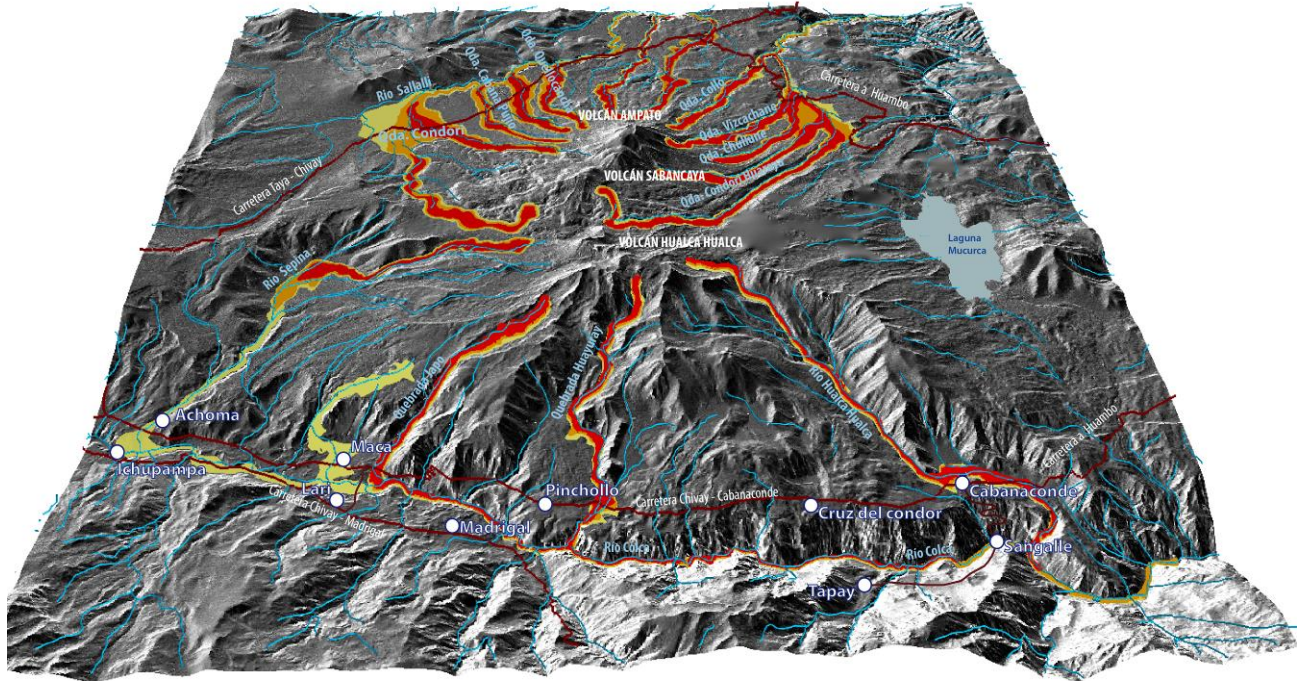
- a) Actividad explosiva moderada (vulcaniana), con emisiones de gases, ceniza y proyectiles balísticos, paralelamente crecimiento del domo de lava hasta rellenar por completo el cráter.
- b) Actividad explosiva mayor, con generación de pequeños a moderados flujos piroclásticos (mezclas muy calientes de gases, bloques y ceniza), que descenderían principalmente por los flancos norte, noreste y sureste, que pueden alcanzar algunos kilómetros de distancia.
- c) Generación de flujos de lava de corto alcance, que descenderían por los flancos norte, noreste y sureste. La probabilidad de que ocurra es menor.

Debido a la importante acumulación de ceniza se prevé emplazamiento de lahares (flujos de lodo – huaycos) en las principales quebradas y ríos aledaños al volcán, algunos de los cuales pueden incluso alcanzar el valle del Colca, especialmente durante la temporada de lluvias, que es entre diciembre y marzo.

El mapa de peligros elaborado por el OVI (Fig. 34 y 35) muestran posibles zonas que pueden ser afectadas por flujos piroclásticos y/o flujos de lava, así como lahares.



**Figura 34.** Mapa de peligros múltiples de la zona proximal del volcán Sabancaya.



*Figura 35. Mapa de peligros por lahares (huaycos) del volcán Sabancaya.*

## 6. CONCLUSIONES

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

- Las mediciones de gases magmáticos SO<sub>2</sub> (Dióxido de azufre) registrados por nuestras estaciones, muestran presencia importante de SO<sub>2</sub>, con tendencia al incremento, variando dentro del rango de FLUJOS GRANDES. Se han registrado valores cercanos de hasta 130000 Toneladas/día (27 de julio y 2 de mayo del 2019).
- Se identifica una deformación constante desde el año 2014, con una velocidad de levantamiento de 34 mm/año, que se traduce en un incremento de volumen de una cámara magmática profunda, del orden de 26 Mm<sup>3</sup>/año, con periodos cortos de incremento en la tasa de deformación a manera de pulsos. Durante el 2019 año se han identificado hasta tres episodios que concuerdan con el régimen sísmico de intrusión y migración de magma.
- La sismicidad ha presentado cambios importantes en su comportamiento, principalmente asociados a la importante intrusión y ascenso de magma, generando explosiones energéticas, las cuales, en esta última etapa (octubre a la fecha) posiblemente sean la causa de un aceleramiento en el crecimiento del domo, que, a su vez, indicaría acumulación de presión al interior del edificio volcánico.
- Las anomalías térmicas, que corresponde a valores moderados clasificados en la escala de mediciones MIROVA, ha detectado un importante cambio en la frecuencia de ocurrencia desde el 15 de mayo del 2019.
- En el primer trimestre del 2019 (enero - marzo) se observaron emisiones con una altura promedio de 1000 m.s.c alcanzando un máximo de 3700 m.s.c, con dirección de dispersión predominante al SE – SO. Entre abril y junio las emisiones alcanzaron en promedio 1100 m.s.c y se registraron algunas columnas de hasta 3800 m.s.c con dirección SE. Durante el periodo de julio a octubre del 2019 se han registrado columnas que alcanzan en promedio 1500 m.s.c. En el mes de agosto algunas columnas superaron los 4000 m.s.c, siendo la dirección de dispersión principalmente hacia el NO – SE y SO – NE.
- Según el análisis de las imágenes satelitales (Planet Scope, LandSat y Sentinel 2) en febrero del 2017 se observó la presencia de un domo en el interior del cráter del volcán Sabancaya con un diámetro de 85 m y área de 5674 m<sup>2</sup>. Posteriormente en el año 2017 y 2018 se observó un crecimiento importante, y para setiembre del 2018 el domo ya tenía un área de 18003 m<sup>2</sup>. Durante el presente año el crecimiento del domo fue mayor alcanzando un área de aproximadamente 50000 m<sup>2</sup>. Con los datos obtenidos por los profesionales del OVI fue posible calcular un volumen de 4.6 millones de m<sup>3</sup> con una tasa de extrusión de 0.05 m<sup>3</sup>/s (metros cúbicos por segundo).
- Se ha logrado medir los espesores de la caída de ceniza, los que alcanzaron, en el sector sureste del volcán Sabancaya, espesores de 4.7 a 0.5 mm entre 2 a 10 km y a 13 km espesores de 0.3 mm. Así mismo, en el sector noroeste del volcán, se determinó que entre 5 y 9 km los espesores son de 2 a 0.5 mm respectivamente, y entre 10 y 18 km espesores de caída de cenizas menores a 0.1 mm.
- Tanto las cenizas como los bloques balísticos continúan siendo de una composición andesítica calcoalcalina, con contenido de SiO<sub>2</sub> que oscilan entre 60 y 65 %. La ceniza está

constituida por líticos juveniles, vidrio, cristales de plagioclasa, olivino, biotita y líticos hidrotermalizados y oxidados.

- Respecto al cuerpo de lava en el cráter del volcán Sabancaya, estos serían los posibles escenarios a futuro: a) que continúe la actividad explosiva moderada (vulcaniana), con emisiones de gases, ceniza y proyectiles balísticos, paralelamente crecimiento del domo de lava hasta rellenar por completo el cráter; b) actividad explosiva más intensa con generación de pequeños a moderados flujos piroclásticos (mezclas muy calientes de gases, bloques y ceniza), que descenderían principalmente por los flancos norte, noreste y sureste, llegando a una distancia máxima de 12 kilómetros; c) generación de flujos de lava de corto alcance, que descenderían por los flancos norte, noreste y sureste.
- Según el mapa de peligros por lahares en las quebradas localizadas hacia el sector norte, noreste y sureste del volcán Sabancaya podrían generarse lahares, e incluso llegar a algunas quebradas que bajan al valle del Colca.
- Las direcciones de dispersión de ceniza han sido principalmente noroeste - sureste y suroeste – noreste, afectado a los pueblos del valle del Colca, los sectores de Sallalli, Mucurca, Hornillos y los pueblos de Huanca, Lluta y Huambo, con un radio de afectación de 50 km. Según el pronóstico de vientos del SENAMHI, la dispersión de ceniza tendría una dirección preferencial al oeste – noroeste los próximos días.
- La erupción que presenta actualmente el volcán Sabancaya es de tipo Vulcaniana con crecimiento de domo de lava, con 70 explosiones por día.

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.

## 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).
- Ejecutar planes de contingencia considerando las observaciones IN SITU y el incremento en la actividad volcánica registrada.
- 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.