

Informe Técnico N° A6735

LOS INICIOS DE LA ACTIVIDAD ERUPTIVA 2016 DEL VOLCÁN SABANCAYA

Región Arequipa



POR:

DOMINGO RAMOS
PABLO MASIAS
FREDY APAZA
IVONNE LAZARTE
EDU TAIPE
RAFAEL MIRANDA
MAYRA ORTEGA
ROSA ANCCASI
BETO CCALLATA
JAVIER CALDERÓN
MARCO RIVERA

DICIEMBRE
2016

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Ubicación.....	2
1.2	Objetivos.....	3
2.	ASPECTOS GENERALES.....	3
2.1	Tectónica local	3
3.	ERUPCIONES ANTERIORES	4
3.1	Actividad eruptiva de 1750	4
3.2	Actividad eruptiva de 1784	4
3.3	Actividad eruptiva de 1986-1997	4
4.	EL MONITOREO INSTRUMENTAL	5
5.	LA ACTIVIDAD ERUPTIVA 2016.....	6
5.1	Procesos volcánicos pre-eruptivos.....	6
5.2	El inicio del proceso eruptivo 2016.....	9
5.2.1	Monitoreo Sísmico	9
5.2.2	Monitoreo Geoquímico	10
5.2.3	Monitoreo Geodésico	12
5.2.4	Monitoreo Visual.....	15
5.2.5	Monitoreo remoto de zonas de alta temperatura	22
5.2.6	Monitoreo de las caídas de cenizas	22
	CONCLUSIONES.....	26
	RECOMENDACIONES	28
	REFERENCIAS	29

1. INTRODUCCIÓN

El volcán Sabancaya, junto al volcán Ubinas, son los dos volcanes más activos del Perú. La última erupción del Sabancaya se produjo entre los años 1986 y 1998, durante el cual ocurrieron numerosas explosiones y emisiones de gases y ceniza, intercalados con periodos de aparente tranquilidad volcánica. Después de 15 años de calma, en febrero de 2013, el Sabancaya presentó una crisis sísmica y fumarólica. Paralelamente, se registraron sismos en áreas cercanas al volcán y en la zona del valle del Colca. Estos sismos se produjeron en febrero de 2013, julio del 2013, y agosto del 2016 (Tavera *et al.*, 2013a; Tavera *et al.*, 2013b & Tavera *et al.*, 2016). Durante ese periodo las columnas fumarólicas alcanzaron altitudes próximas a los 2000 m sobre la cima del volcán.

El Observatorio Vulcanológico del INGEMMET (OVI) desde agosto del 2016 informaba sobre estos indicios de reactivación, haciendo notar la proximidad de una erupción volcánica en un futuro cercano. El 05 de diciembre de 2013, se conformó el Comité Científico-Técnico para la Gestión de Riesgos Volcánicos de la Región Arequipa, formado por Ordenanza Regional N° 252, e integrado por: la Oficina Regional de Defensa Nacional y Defensa Civil (ORDNDC), el Observatorio Vulcanológico del Sur del Instituto Geofísico del Perú – IGP, el Observatorio Vulcanológico del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET, el Instituto Geofísico de la Universidad Nacional de San Agustín, IG – UNSA, y el Instituto Nacional de Defensa Civil-Dirección Regional, INDECI SUR. Así, este comité, canalizará toda la información referente a los volcanes de Arequipa.

Recientemente, luego de haberse registrado varios sismos fuertes que azotaron las localidades de Ichupampa y Achoma (14 de agosto de 2016), el OVI reportó la existencia de siete nuevas zonas de emisiones fumarólicas en los flancos NO, N y NE del volcán Sabancaya. Posteriormente, el 27 de agosto de 2016, también se reportó la ocurrencia de una explosión freática en el Sabancaya seguida de emisiones de gases y ceniza que alcanzaron los 1500 m de altura sobre el cráter. El 03 de noviembre, el sistema MIROVA de la Universidad de Torino que monitorea puntos calientes a través de imágenes satelitales de la NASA, detectó por primera vez, una anomalía de 1 MW de energía térmica irradiada, en el flanco norte del Sabancaya.

El 06 de noviembre de 2016, se produjo una explosión seguida de emisiones continuas de gases y ceniza que se elevaron hasta los 3000 m sobre la cima del volcán, dando inicio a un nuevo proceso eruptivo del volcán Sabancaya.

Para atender la crisis eruptiva del volcán Sabancaya, el Observatorio Vulcanológico del INGEMMET (OVI) ha implementado los siguientes trabajos de monitoreo: visual; geodésico con estaciones GPS en tiempo real; de fuentes termales y de la emisión del gas volcánico SO₂; de dispersión de cenizas, conjuntamente con el SENAMHI; acciones de educación y sensibilización en la población frente al riesgo volcánico, así como asesoramiento permanente a las autoridades en la toma de decisiones.

La Jefa de la Oficina Regional de Defensa Nacional y Defensa Civil del Gobierno Regional de Arequipa, Lic. Jacqueline Choque Cuno, a través del Oficio N° 0017-2016- GRA/ORDDC, dirigida al Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), solicita un informe técnico acerca de la actividad eruptiva del volcán Sabancaya iniciada en el presente año. En virtud a dicho oficio, el Director de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, autoriza al Coordinador del OVI a formular un informe técnico detallado basándose en los trabajos de monitoreo y en la evaluación de peligros efectuados sobre el volcán Sabancaya.

1.1. Ubicación

El volcán Sabancaya se encuentra ubicado a 70 km al NO de la ciudad de Arequipa, y 30 km al Suroeste de la localidad de Chivay (figura 1), en la Cordillera Occidental de los Andes del Sur peruano. Política y territorialmente, el Sabancaya está situado en la provincia Caylloma, Departamento Arequipa, en las siguientes coordenadas UTM:

Longitud	193847 Este
Latitud	8252585 Sur
Altitud	5960 msnm

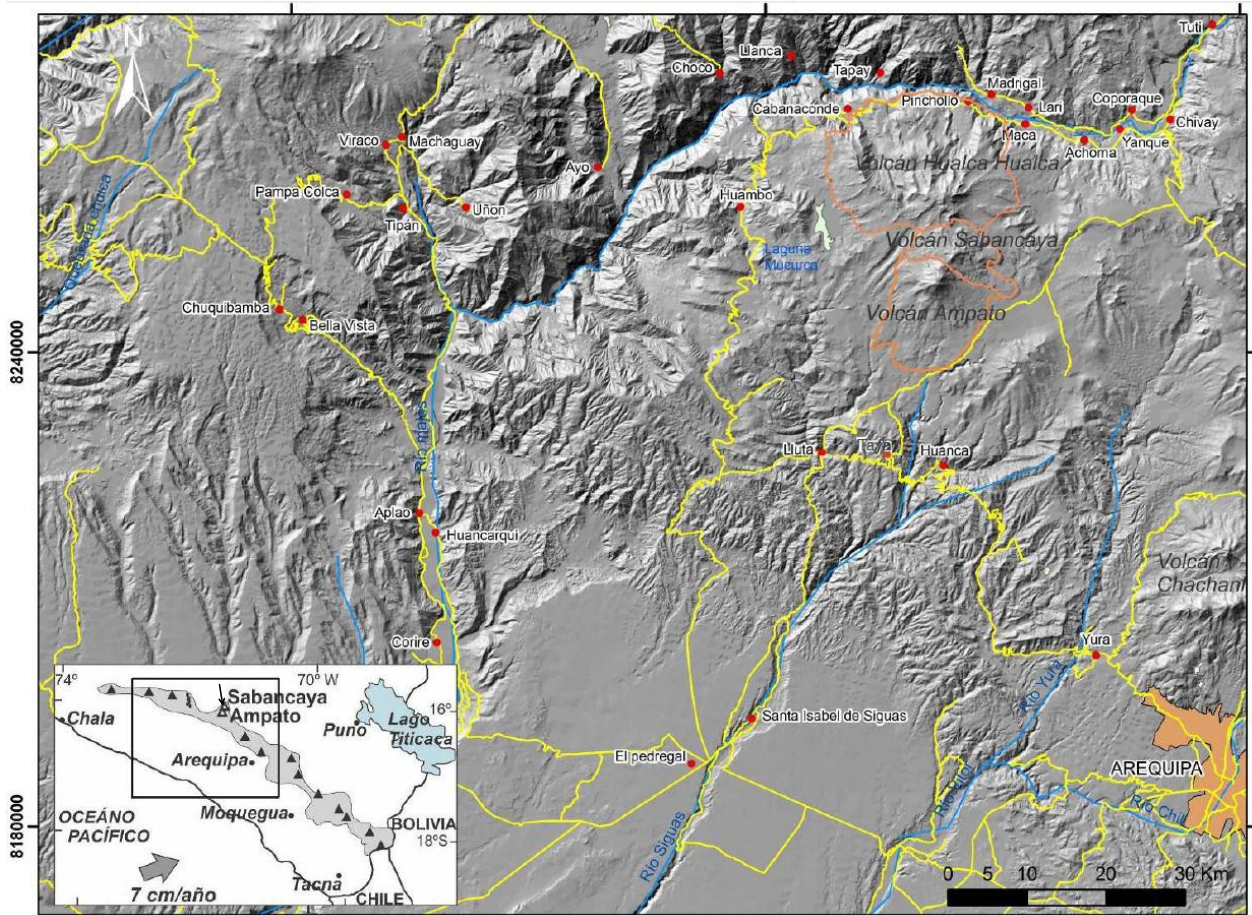


Figura 1. Ubicación del volcán Sabancaya que forma parte del complejo Ampato-Sabancaya, y poblados aledaños (tomado de Rivera et al., 2016).

El volcán Sabancaya es el más joven de los siete volcanes activos del sur del Perú, el cual se ha formado en los últimos 10 mil años. Está conformado principalmente por secuencias de flujos de lava de composición andesítica y dacítica, con limitados depósitos piroclásticos (Mariño, 2012; Rivera et al., 2016; Samaniego et al., 2016).

La cumbre del volcán Sabancaya está a 5980 msnm y el edificio volcánico cubre un área de 65 a 70 km². Está conformado por dos estrato-conos alineados en dirección SO-NE (figura 1); el más antiguo se halla en el extremo suroeste, en cuya cima se emplaza un domo-colada, mientras que el cono más reciente se halla al extremo noreste. El cráter activo se encuentra en la cima del estrato-cono NE.

1.2. Objetivos

Este presente trabajo tiene como objetivo informar sobre las características del inicio del proceso eruptivo del volcán Sabancaya iniciada el 6 de noviembre de 2016, así como, informar el comportamiento actual del volcán y los efectos ocasionados por la caída de ceniza en el medio ambiente y los poblados aledaños a dicho volcán.

2. ASPECTOS GENERALES

Existen numerosos estudios geológicos y geofísicos desarrollados sobre el complejo volcánico Ampato-Sabancaya.

2.1 Tectónica local

En áreas aledañas al volcán Sabancaya existen numerosas fallas geológicas que aún registran actividad o movimiento, entre ellas las fallas Huanca e Ichupampa, ubicadas al sur y norte de dicho volcán, respectivamente. Las fallas Trigal, Solarpampa y Solarpampa I, localizadas al Noroeste del volcán Sabancaya, y que tienen una orientación Este-Oeste. La falla Sepina, de dirección NE-SO, la cual se ubica en el sector de la Pampa Sepina, al Este del volcán Sabancaya. Esta falla aparentemente se inicia en el volcán Sabancaya, cruza el cañón del Colca y atraviesa los pueblos de Achoma, Yanque, Ichupampa y Coporaque.

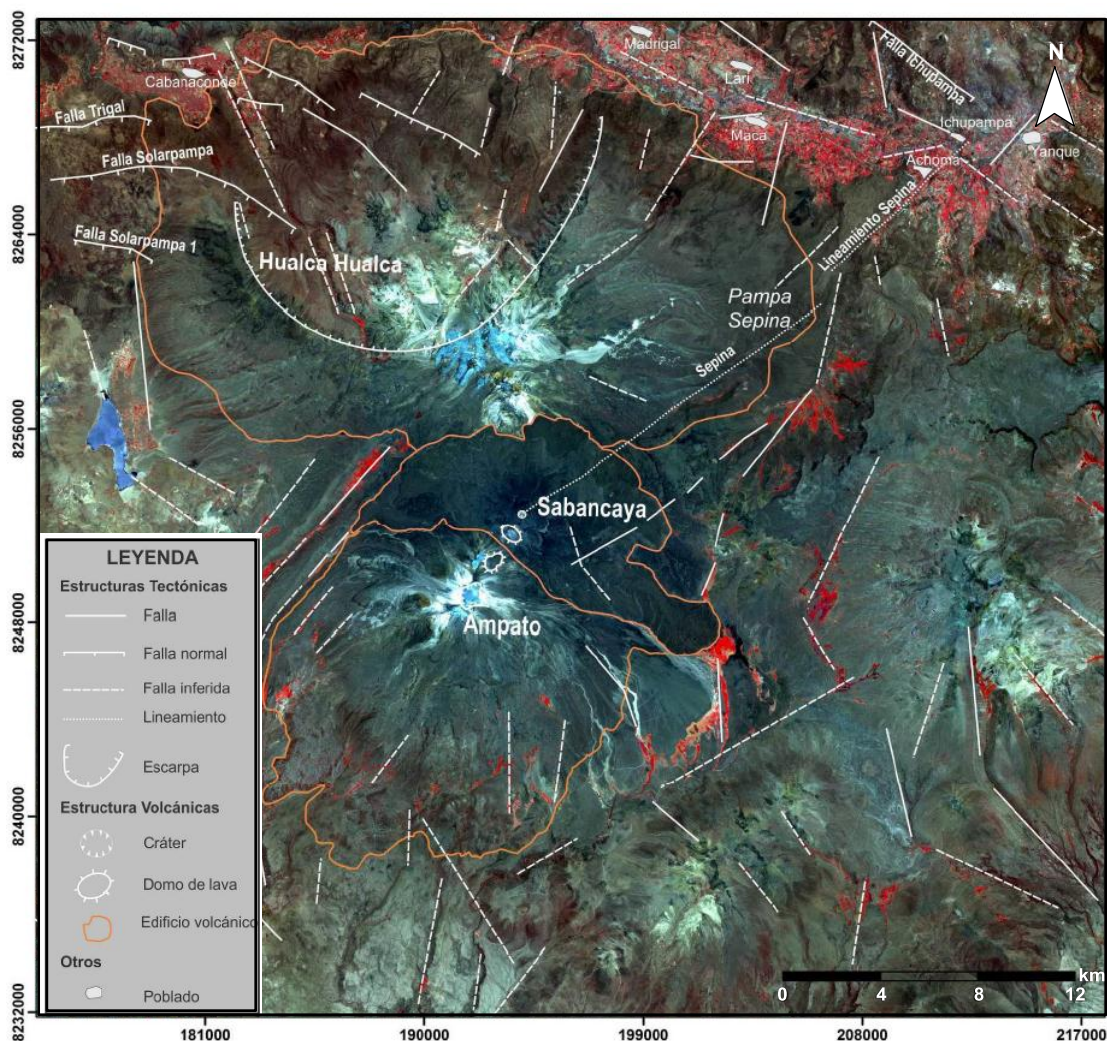


Figura 2. Complejo volcánico Ampato-Sabancaya donde se distinguen fracturas y fallas geológicas (modificado de Antayhua, 2002).

También se ha diferenciado algunas fracturas y fallas de extensión local (figura 2), tales como: una fractura de rumbo N 30° O en el borde sur del cráter del volcán Sabancaya, una escarpa o cicatriz de derrumbe en el flanco Este del volcán Ampato, fracturas concéntricas localizadas al extremo oeste del cono de la cumbre norte del Sabancaya, que corta depósitos de cenizas, y la falla Sepina que corta lavas del Este del Sabancaya y que se prolonga hasta el cañón del río Colca.

3. ERUPCIONES ANTERIORES

El volcán Sabancaya ha registrado erupciones en los años 1750, 1784 y 1988-1998 (Giesecke, 1989; Gerbe y Thouret, 2004; Huamán, 1995; Siebert *et al.*, 2011), cuyas características son descritas a continuación.

3.1 Actividad eruptiva de 1750

Corresponde a una leve actividad fumarólica mencionada por primera vez en 1750 por el cura Ventura Travada y Córdoba de la parroquia de las comarcas de Salamanca (valle del río Marán) y Pochi en Arequipa. Quien relata en la obra *«El suelo de Arequipa convertido en cielo...»* allí el volcán esta perennemente ardiendo de día y de noche y que no hay noticia de haber hecho estrago alguno el tiempo de la cristiandad aunque tampoco le faltan señas de haber erupcionado sus crudezas en inmemorables tiempos». Según el catálogo *«Volcanoes of the world»* (Siebert *et al.*, 2011) se habría tratado de una erupción explosiva leve.

3.2 Actividad eruptiva de 1784

Existe un relato histórico de Zamácola y Jáuregui (1804) sobre una erupción ocurrida el 11 de julio de 1784, 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). Ninguna de estas descripciones permitió entonces discernir a cuál de los tres volcanes se referían, aunque en la actualidad se asume que se trataría del volcán Sabancaya (Rodríguez y Huamán, 1992). También, según el catálogo *«Volcanoes of the world»* (Siebert *et al.*, 2011), se habría tratado de una erupción explosiva leve.

3.3 Actividad eruptiva de 1986-1997

En noviembre de 1986, la ocurrencia de un sismo fuerte marcó el inicio de la erupción del volcán Sabancaya, primero, con una fase explosiva moderada de tipo vulcaniana. Esta fase se caracterizó por la intensa emisión de gases y ceniza, en forma de columnas de 3 a 5 km de altura (Rodríguez y Uribe, 1994). Este hecho alertó a los pobladores de Chivay, Cabanaconde y Huanca. Luego, la actividad volcánica disminuyó gradualmente hasta el 7 de agosto de 1987, fecha durante el cual se registraron fuertes explosiones, siendo el poblado Huacachigero, el más afectado, por la presencia de gases sulfurosos. Seguidamente, la actividad fumarólica se mantuvo constante (1988-1989), hasta que el 9 de mayo de 1990, se incrementó la actividad sísmica y el nivel de ruido. Este comportamiento se fue incrementando hasta que el día 5 de junio de 1990, fecha en la cual se formó una columna de gases y ceniza que alcanzó los 5 km de altura por encima del cráter. Los materiales emitidos se dispersaron en un área de 10 km aproximadamente. Los habitantes del sector de Sallalli,

localizado muy próximo al volcán, fueron evacuados debido a que fueron afectados por la intensa caída de ceniza (Thouret *et al.*, 1993, Thouret *et al.*, 1995, Thouret *et al.*, 2002).

4. EL MONITOREO INSTRUMENTAL

Desde el año 2006 el INGEMMET, viene realizando el monitoreo periódico del volcán Sabancaya, fecha en que se implementa una base de datos con muestreos temporales de aguas, gases, mediciones de deformación mediante equipos GPS y EDM. Además, se realizó una campaña sísmica temporal con participación del INGEMMET, IGP e IRD, entre mayo de 2008 a abril de 2010, lo cual permitió conocer que la sismicidad estuvo centrada entre los sectores N y NE del Sabancaya, hasta aproximadamente 9 km de profundidad (Ramos & Antayhua, 2010; Antayhua *et al.*, 2013).

En febrero del 2013, se re-inició el monitoreo instrumental en tiempo real del volcán Sabancaya. Actualmente, la red de monitoreo, cuya información es transmitida en tiempo real, desde el volcán Sabancaya hacia Arequipa cuenta con los siguientes equipos:

- 05 estaciones sísmicas (02 INGEMMET).
- 04 estaciones GPS
- 03 escáneres de gases SO₂ DOAS
- 03 cámaras de video vigilancia
- 01 cámara de vigilancia térmica

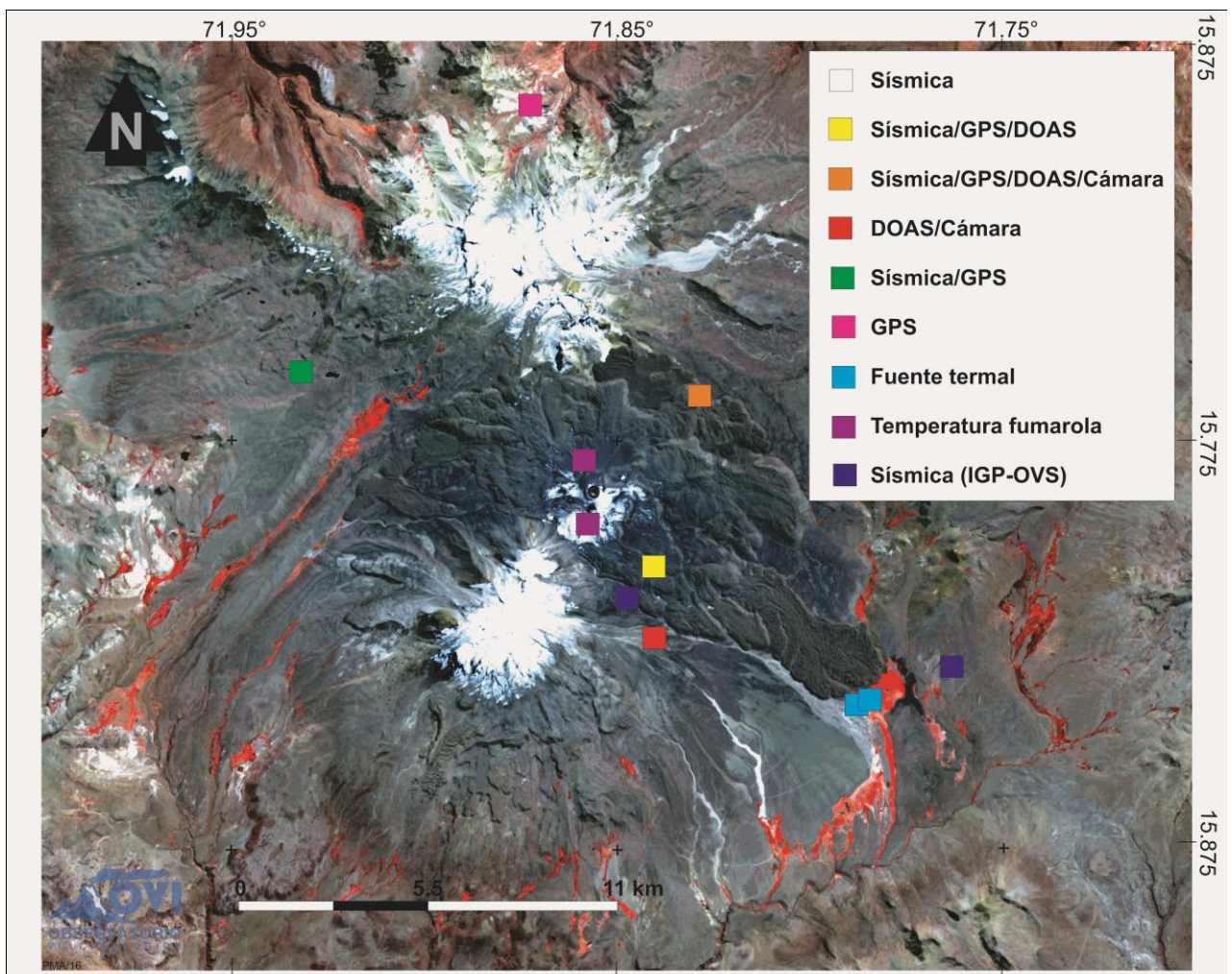


Figura 3. Red de monitoreo instrumental instalado en el volcán Sabancaya.

En la actualidad, la red de monitoreo del volcán Sabancaya, está complementada con estaciones temporales de campo, cuya recolección de datos requiere de visitas periódicas, y posterior análisis e interpretación de datos en gabinete. Por otro lado, se realiza el seguimiento de las imágenes satelitales administradas por los programas MIROVA (Italia) y OMI (USA), que proveen de información general del volcán.

5. LA ACTIVIDAD ERUPTIVA 2016

Según nuestros datos, al parecer la actividad eruptiva actual del Sabancaya tuvo sus inicios en febrero de 2013 como será descrito a continuación.

5.1 Procesos volcánicos pre-eruptivos

Los primeros indicios del presente proceso eruptivo se remontan hacia febrero de 2013, fecha en la cual se originaron cuatro sismos importantes, cuyos epicentros fueron localizados al Este-Sureste del cráter del volcán Sabancaya. Estos sismos ocurridos los días 22 y 23 de febrero de 2016 tuvieron magnitudes entre 4.5 y 5.2 ML (tabla 1; Tavera *et al.*, 2013). Esta sismicidad fue precedida de una importante actividad fumarólica en el Sabancaya, cuyas columnas alcanzaron altitudes de hasta 1000 m sobre la cima del volcán.

	Sismos	Tiempo	Latitud	Longitud	Prof.	Magnitud	
		hh:mm	(grados)	(grados)	(km)	ML	Mw
1	22-02-2013	20:15	-15.8397	-71.8128	5	4.6	4.7
2	22-02-2013	21:01	-15.8669	-71.8119	8	5.2	5.2
3	22-02-2013	21:50	-15.8951	-71.8046	7	5.0	4.9
4	23-02-2013	20:08	-15.8399	-71.7993	5	4.5	4.6

Tabla 1. Parámetros hipocentrales para los sismos del 22 y 23 de febrero de 2013. ML corresponde a la magnitud local (Richter) y Mw a la magnitud momento (Tavera et al., 2013).

Posteriormente, en julio de 2013 ocurre un sismo de magnitud 5.7 ML, cuyo epicentro estuvo localizado a 9 km al NE de la localidad de Huambo, justo sobre la falla Solarpampa (Tavera *et al.*, 2013a); este y sus réplicas podrían estar asociadas al proceso de reactivación del volcán Sabancaya. De igual forma, en esta oportunidad las plumas fumarólicas nuevamente se incrementaron en volumen y altitud, pues se elevaron hasta alcanzar los 2000 m sobre la cima del volcán.

De acuerdo al modelo eruptivo de Randy White (USGS), ambas crisis sísmicas (febrero de 2013 y julio de 2013) corresponderían a una actividad sísmica tipo VT-distal, ligada a una reactivación del volcán Sabancaya.

Desde marzo del 2013 hasta aproximadamente junio del 2016, el volcán Sabancaya ha presentado una actividad sísmica con periodos moderados. Durante este periodo la sismicidad estuvo principalmente dominada por sismos tipo volcano-tectónicos (asociados al fracturamiento de material rocoso). También se registraron algunos periodos de incrementos de sismicidad debido a la ocurrencia de sismos volcano-tectónicos distales, pero posteriormente regreso a sus niveles normales de sismicidad, registrándose entre 150 VT/día (en promedio). También se registró la ocurrencia de sismos tipo largo periodo-LP (asociados a movimiento de fluidos volcánicos) en una tasa de ocurrencia menor de 50 LP/día (en promedio), y finalmente se registraron sismos de tipo tremor de muy poca duración

(episodios de hasta 10 minutos) y de muy baja energía, los cuales, en algunas ocasiones se asociaron a las emisiones de vapor de agua en el volcán.

Por otro lado, respecto a los tipos de emisiones gaseosas. Entre los años 2014 y junio de 2016, el Sabancaya presentó columnas fumarólicas de hasta 2200 m de altura sobre la cima del volcán, consistentes principalmente de vapor de agua, aunque en ocasiones se observaron gases de color azulino, ligados a un mayor contenido de gases volcánicos (figura 4). La dirección predominante de estas emisiones fue hacia el suroeste, noroeste y eventualmente hacia el oeste.

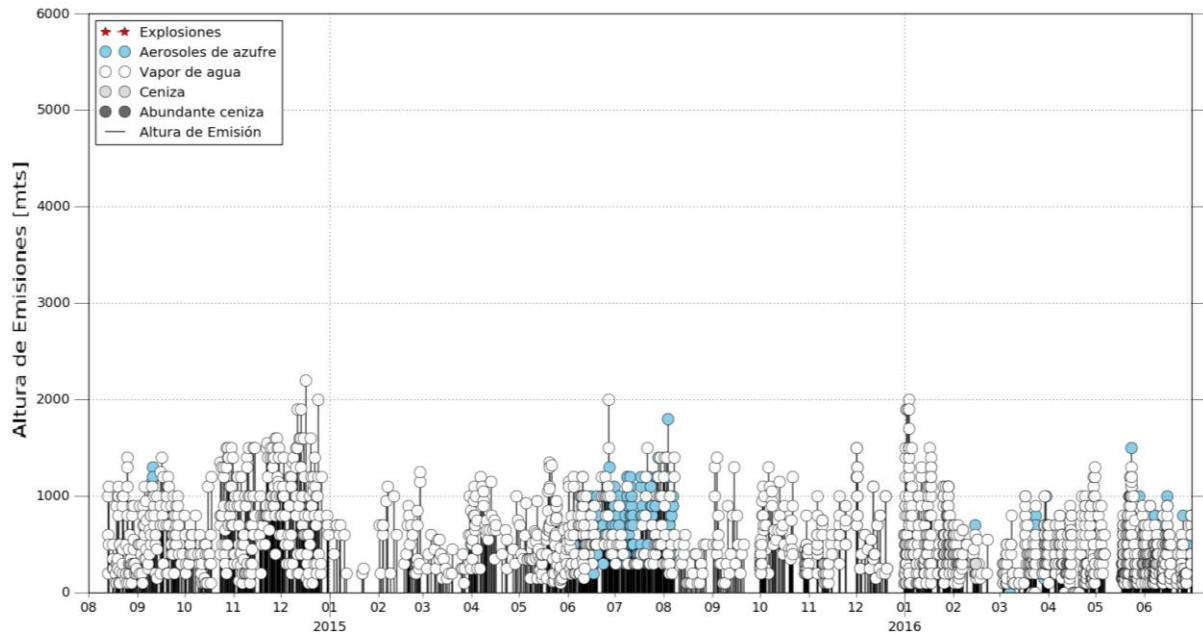


Figura 4. Evolución de las emisiones fumarólicas en el volcán Sabancaya, periodo Agosto de 2015 a Junio de 2016.

Entre los años 2013 y 2015 se han realizado algunas mediciones del flujo del gas volcánico SO_2 con la ayuda de un móvil DOAS, con la cual se midieron valores de hasta 2600 Ton/d. Este último valor fue registrado el día 28 de mayo de 2015. Posteriormente, desde el mes de marzo de 2016 viene operando un equipo escáner DOAS en tiempo real, con el cual se obtuvieron valores de hasta 2800 Ton/d en el mes de mayo (figura 5). Estos valores reflejaban el ascenso de magma hacia la superficie.

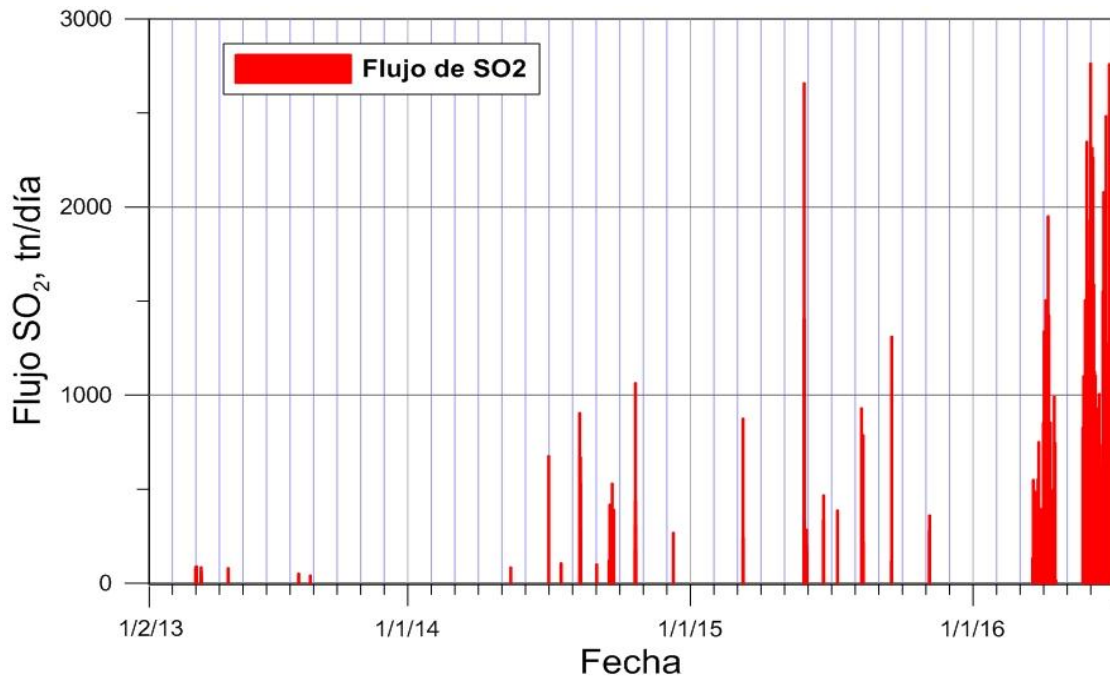


Figura 5. Registro de medición del gas dióxido de azufre (SO₂) en la pluma volcánica del Sabancaya, medido con el móvil DOAS desde el año 2013 a junio de 2016.

Asimismo, se viene realizando el monitoreo continuo de una fuente termal que aflora a 5 km al pie del flanco Este del volcán Sabancaya (fuente termal SA3), ubicada en el sector de Sallalli, el cual mostró una tasa de incremento de 0.03°C por mes para los años 2014 y 2015 (figura 6).

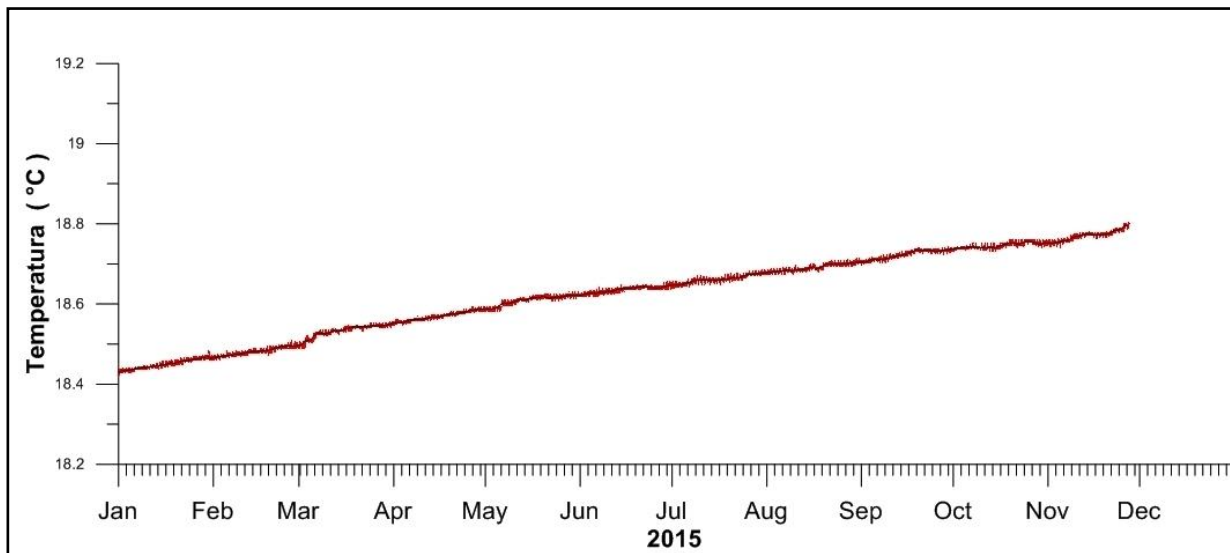


Figura 6. Grafica de la temperatura registrada en la fuente termal "SA3", entre enero y noviembre del 2015.

Sin embargo, aparentemente, estos indicios aún serían poco relevantes, pues no se estaría generando suficiente presión en el interior del volcán ligado al ascenso de magma, que pudiera manifestarse en un cambio o deformación en la superficie del volcán. Así lo muestran los datos de medición de equipos GPS en el mapa de vectores de la figura 7 y la tabla 2.

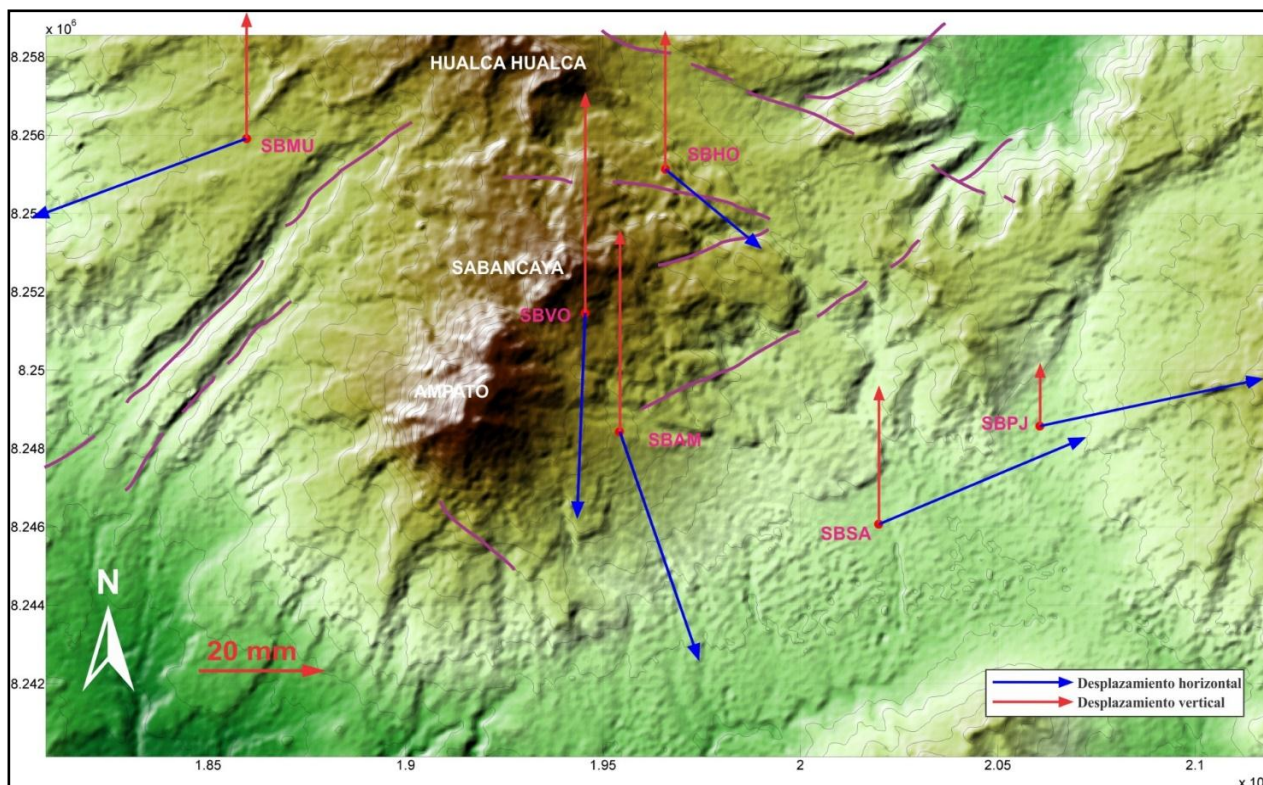


Figura 7. Vectores de desplazamiento de las estaciones de monitoreo registrado entre los meses de enero a diciembre de 2015.

TIPO DE MONITOREO	ESTACIONES DE MONITOREO	VECTORES DE DESPLAZAMIENTO			
		HORIZONTAL (mm)	DIRECCION DE DESPLAZAMIENTO	VERTICAL (mm)	TENDENCIA
PERMANENTE	SBMU	20.00	SUROESTE	28.8	POSITIVA
	SBHO	22.00	SURESTE	15.6	POSITIVA
TIEMPO REAL	SBSE	35.00	SUR	26.0	POSITIVA
TEMPORAL	SBAM	32.00	SURESTE	30.7	POSITIVA
	SBSA	22.00	NORESTE	28.2	POSITIVA
	SBPJ	10.00	NORESTE	28.6	POSITIVA

Tabla 2. Valores calculados de los vectores de desplazamiento para el volcán Sabancaya.

5.2 El inicio del proceso eruptivo 2016

5.2.1 Monitoreo Sísmico

Entre julio y noviembre del presente año la actividad del volcán Sabancaya se ha mantenido en un nivel moderado, con tendencia a incrementar. Según los datos obtenidos (figura 8) con la estación sísmica que opera al pie del flanco Este del volcán Sabancaya, ha sido posible diferenciar diferentes periodos de actividad:

- **Julio – 26 de agosto.** Este periodo estuvo dominado principalmente por la ocurrencia de sismos de tipo volcano-tectónicos (VT), los cuales, se asocian al fracturamiento de material rocoso dentro del edificio volcánico, registrándose en un promedio de 150 a 200 sismos por día, a excepción del día 14 de agosto, durante el cual la actividad sísmica de vio afectada y/o incrementada sustancialmente por la ocurrencia de los sismos de Ichupampa de magnitud de 5.3 ML. Además, entre los meses de julio y agosto de 2016

- se registraron sismos de baja frecuencia o largo periodo, episodios de actividad tremórica y la ocurrencia esporádica de sismos tipo híbridos (figura 8).
- **1° explosión ocurrida el 27 de agosto:** la cual liberó una energía sísmica de 1.01 Mega Joules (MJ). Dicha explosión se caracterizó por presentar una onda sísmica de muy baja frecuencia, y en superficie se observó la emisión de gases con cierto contenido de ceniza fina (figura 8).
 - **Setiembre – 02 de noviembre:** este periodo se caracterizó principalmente por la ocurrencia de sismos de tipo híbrido, los cuales, se asociaron al ascenso de magma hacia a superficie. El sismo principal de tipo híbrido se registró el día 02 de noviembre con una energía de 13 MJ, considerado como el desencadenante de las primeras explosiones continuas que presentaría luego el Sabancaya (figura 8).
 - **06 al 28 de noviembre:** durante este periodo se han registrado al menos 838 señales asociadas a explosiones, las cuales, en su mayoría se han observado en superficie con la emisión considerable de cenizas y gases (figura 8). Desde el 06 al 12 de noviembre se pudo observar que dichas explosiones presentaron mayor energía y recurrencia, a diferencia de las últimas explosiones, que hoy en día se vienen registrando en el volcán Sabancaya. En estos últimos días se ha observado que los sismos vienen disminuyendo en número y energía.

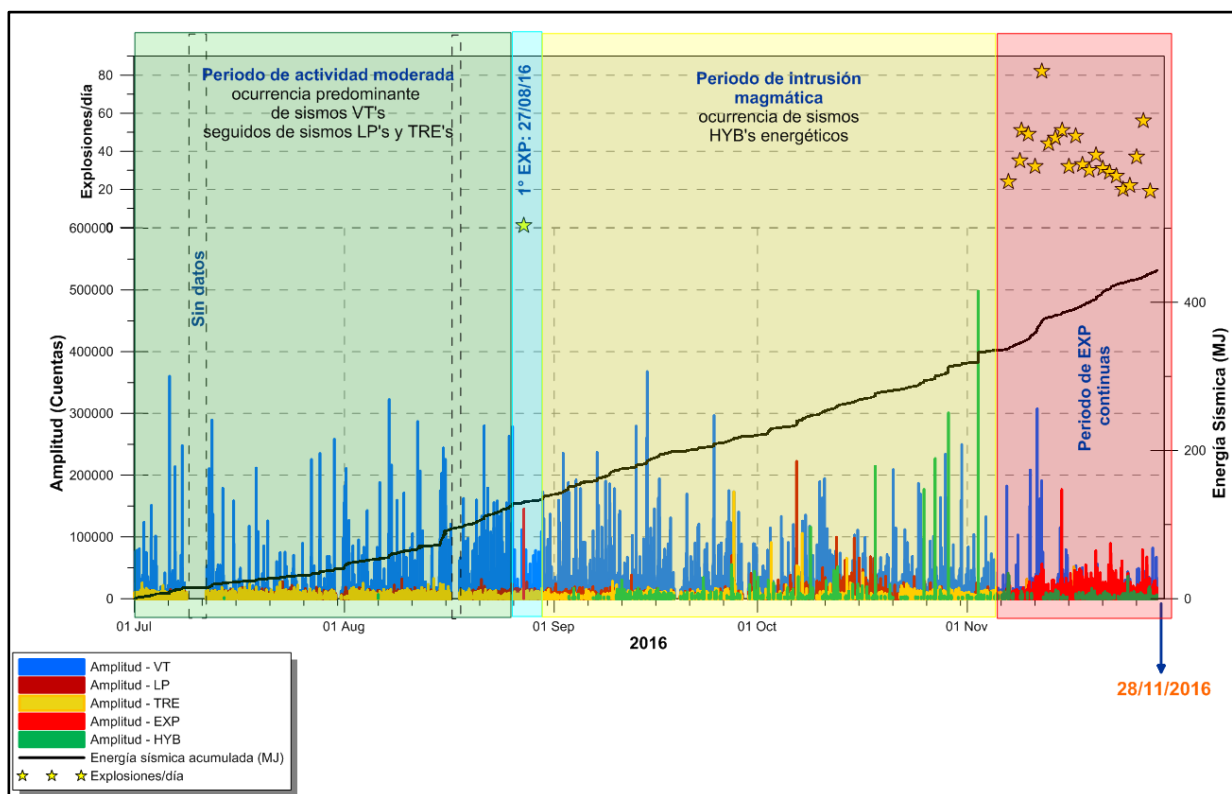


Figura 8. Actividad sísmica del volcán Sabancaya. Periodo julio – noviembre de 2016.

5.2.2 Monitoreo Geoquímico

La figura 9 muestra que los valores del flujo del gas volcánico SO₂ al menos desde el mes de julio hasta fines de octubre de 2016 fueron variables, estos oscilaron entre 600 y 7100 Ton/día. Cabe mencionar que en este periodo de tiempo, el día 22 de octubre se registró el máximo valor de 7000 Ton/d. A partir del 06 de noviembre, fecha de inicio de la actividad eruptiva actual, estos valores continúan presentando variaciones importantes que oscilan alrededor de los 1200 a 7000 Ton/día. Aquí, llama la atención la lectura del día 20 de noviembre con más de 7000 Ton/día de SO₂, lo cual sugiere que todavía viene ocurriendo un ascenso de magma hacia la superficie.

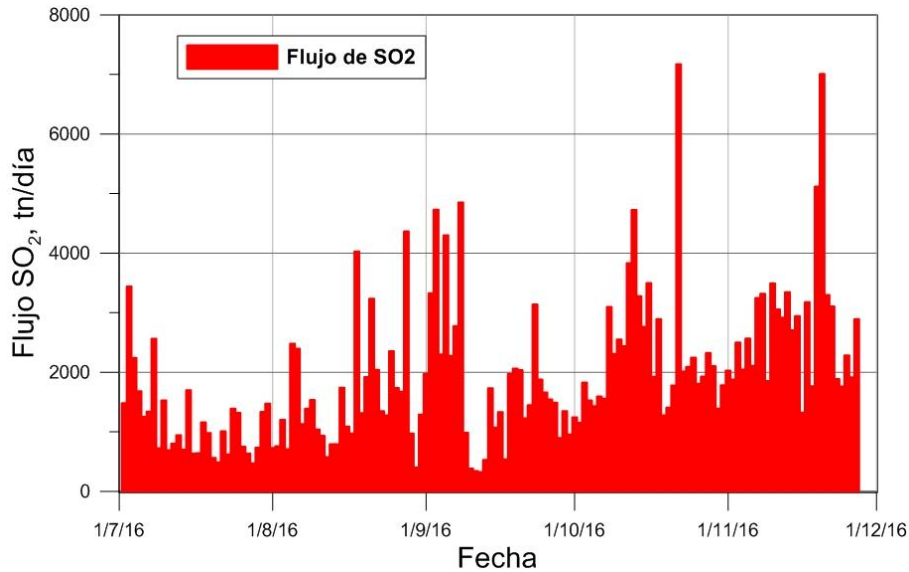


Figura 9. Mediciones del gas volcánico SO_2 , realizadas con dos escáneres DOAS instalados en el volcán Sabancaya (julio-noviembre 2016).

Por otro lado, el Instrumento de Monitoreo del Ozono (OMI), es uno de los 04 sensores (HILS, MLS, OMI y TES) que operan actualmente a bordo del satélite AURA (aire) de la NASA (<http://aura.gsfc.nasa.gov/scinst/omi.html>). OMI es un espectrómetro de campo de imágenes de gran visión nadir, dando cobertura global diaria. El sensor OMI puede distinguir entre tipos de aerosoles, como el humo, el polvo y sulfatos, y la presión y cobertura causada por la nubosidad. Su resolución espacial nominal de 13 x 24 km puede ser ampliada a 13 x 13 km para la detección y seguimiento de fuentes de contaminación a escala urbana. En ambientes volcánicos, caso de la actividad volcánica, OMI es capaz de detectar ceniza volcánica y el gas volcánico SO_2 para la seguridad de los vuelos aéreos.

En el monitoreo del volcán Sabancaya también se utilizaron los datos proporcionados por OMI para observar el incremento del gas volcánico SO_2 en el volcán Sabancaya. Es así que antes del inicio del proceso eruptivo, específicamente en los meses de julio y octubre del 2016 las concentraciones de SO_2 eran bajas, tal como se muestra en la figura 10. Pero estos valores incrementaron durante y después del inicio del actual proceso eruptivo (figura 11).

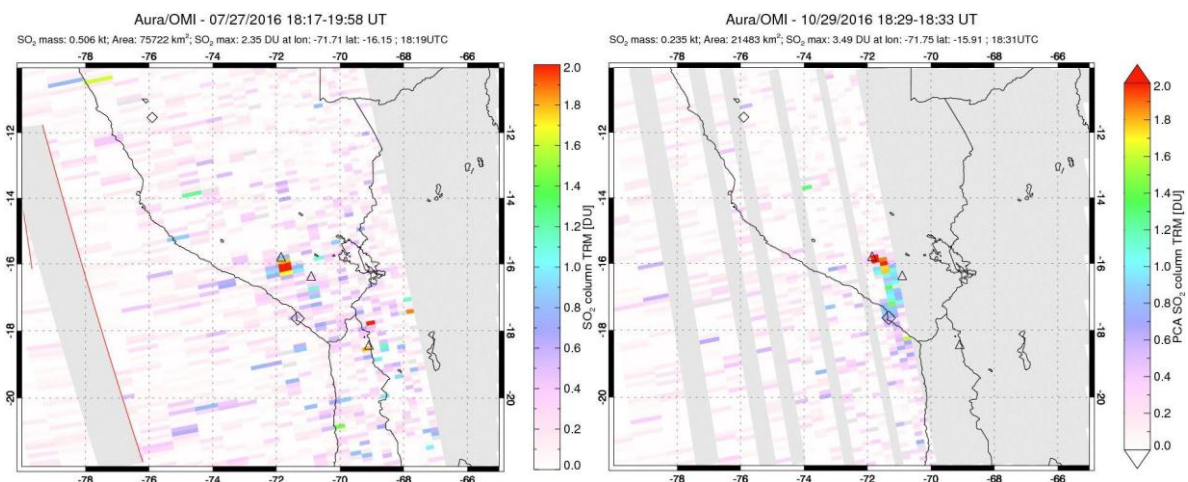


Figura 10. Imágenes OMI de los días 27/07/2016 y 29/10/2016 (antes del proceso eruptivo) que muestran la desgasificación del gas magmático SO_2 en el volcán Sabancaya.

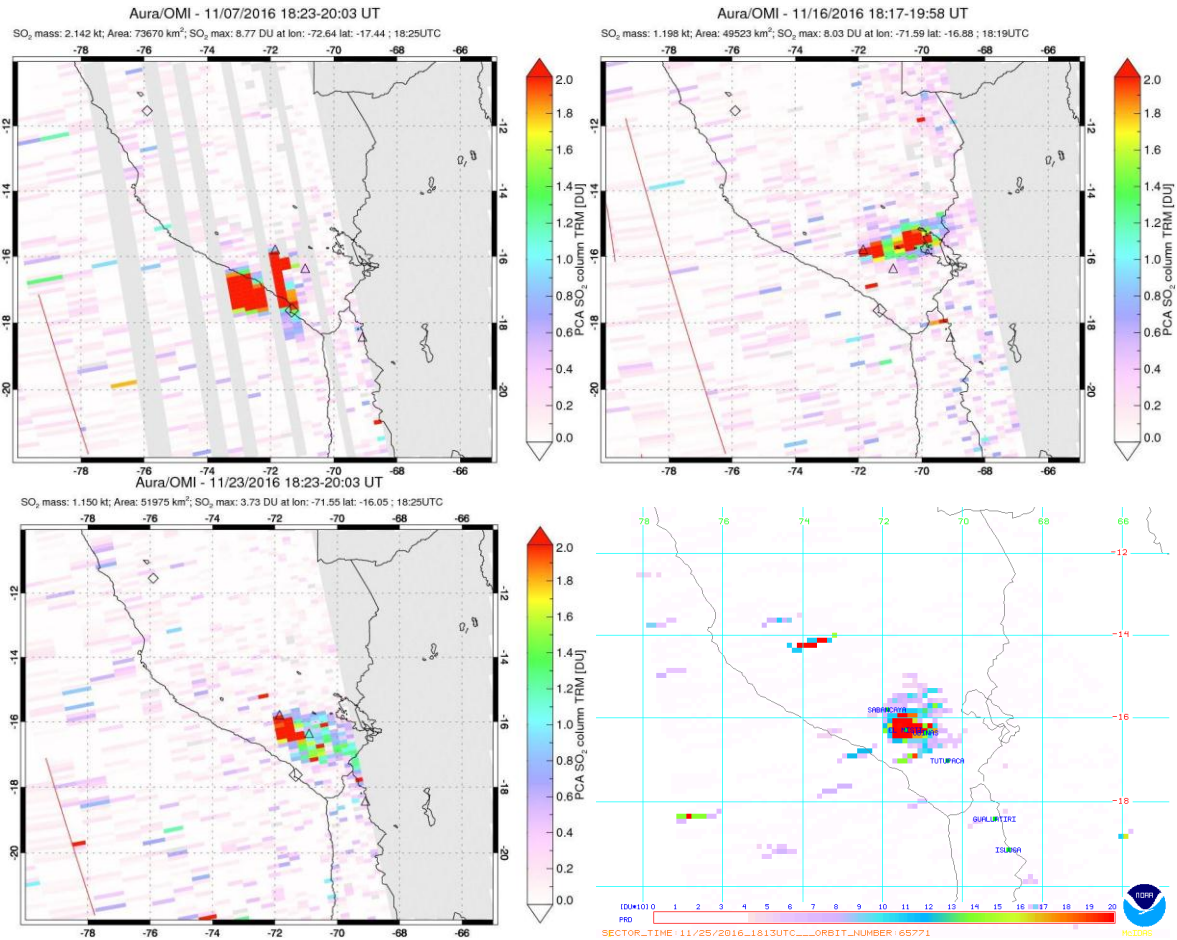


Figura 11. Imágenes OMI de los días 07/11/2016, 16/11/2016, 23/11/2016 y 25/11/2016 que muestran la desgasificación del gas volcánico SO₂ en el volcán Sabancaya. Estas imágenes corresponden a los primeros días y semanas de haber iniciado el proceso eruptivo.

5.2.3 Monitoreo Geodésico

Los vectores de desplazamiento medidos con equipos GPS de registro permanente (figura 12; flechas en color rojo), muestran una tendencia general de desplazamiento hacia el SE, Sur y SO del volcán Sabancaya. Esta deformación se habría iniciado a principios del mes de octubre de 2016, según se observa en las series temporales de la figura 13, lo que correspondería a una inflación de la superficie del volcán. Esta deformación ha sido registrada con las estaciones SBSE (flanco sureste), SBHO (flanco noreste) y SBMU (flanco noroeste). Sin embargo, esta deformación no es apreciable en el análisis de imágenes de radar realizado con el método InSar (figura 14).

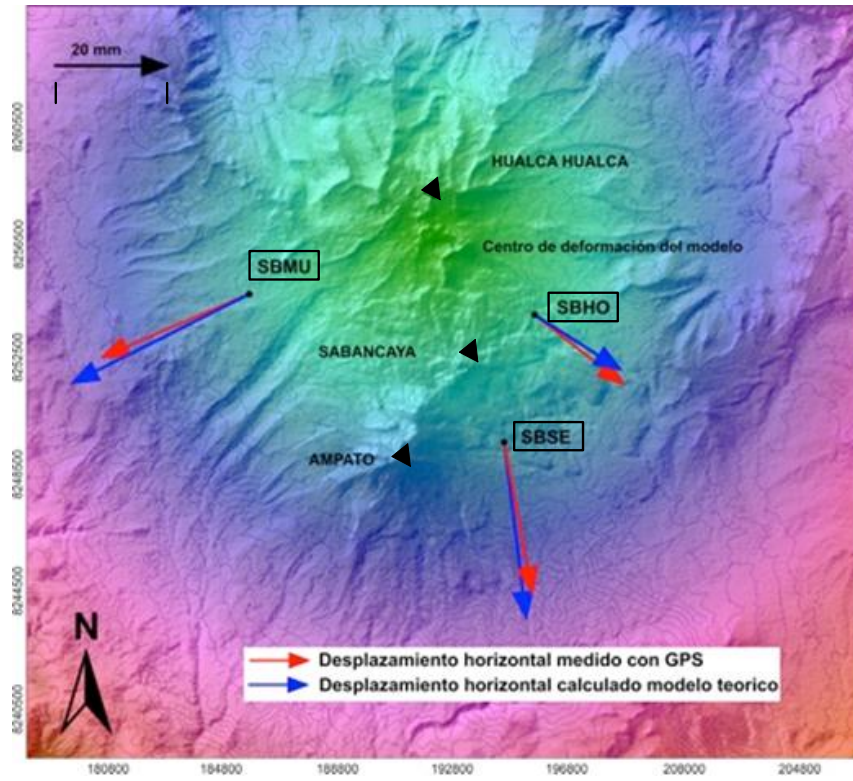


Figura 12. Mapa de distribución de vectores de desplazamiento horizontal del volcán Sabancaya.

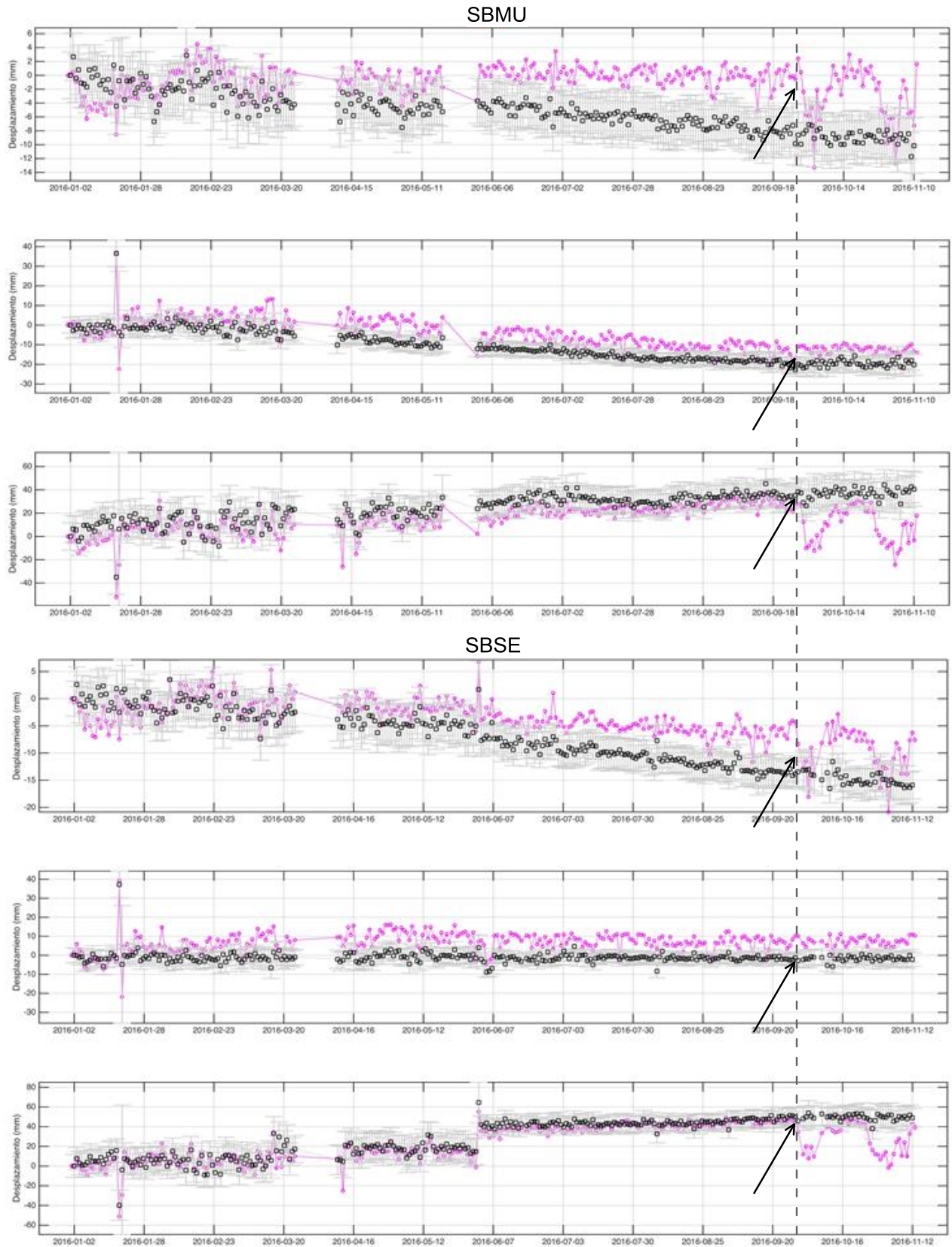


Figura 13. Series temporales de deformación del Sabancaya. Periodo: enero a noviembre del 2016.

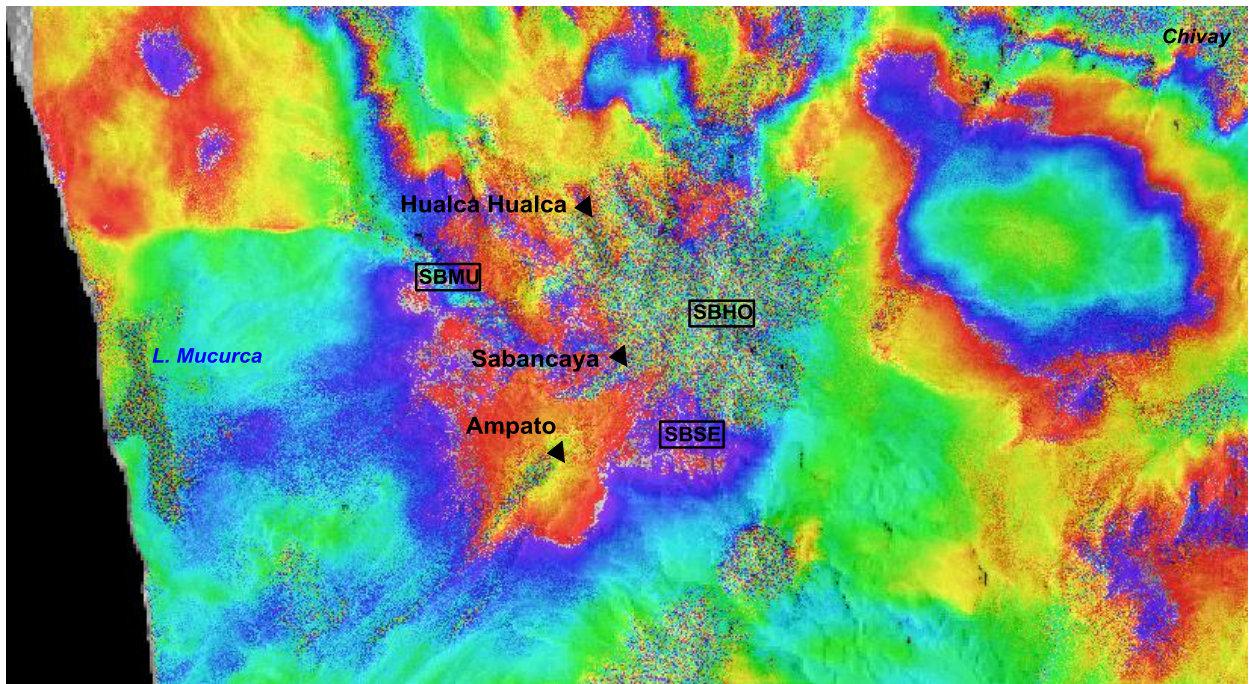


Figura 14. Mapa de deformación obtenida por el método InSar, para el periodo del 18 de febrero al 28 de octubre del 2016.

5.2.4 Monitoreo Visual

En la figura 15 se observa que las columnas fumarólicas del Sabancaya, registradas entre los meses de diciembre de 2015 a setiembre de 2016, se mantuvieron entre 1000 y 2000 m sobre la cima del volcán. Estas columnas eruptivas se incrementaron durante los meses de octubre y noviembre de 2016 llegando a menudo hasta los 2000 m sobre la cima del volcán. También se observa una mayor ocurrencia de columnas fumarólicas con presencia de gases azules, lo que se interpreta como mayor presencia del gas volcánico SO₂. Finalmente, a partir del 06 de noviembre de 2016, se aprecian columnas de gases y cenizas densas de color gris, generadas luego de las continuas explosiones volcánicas que viene presentando el volcán Sabancaya (figuras 15 y 17).

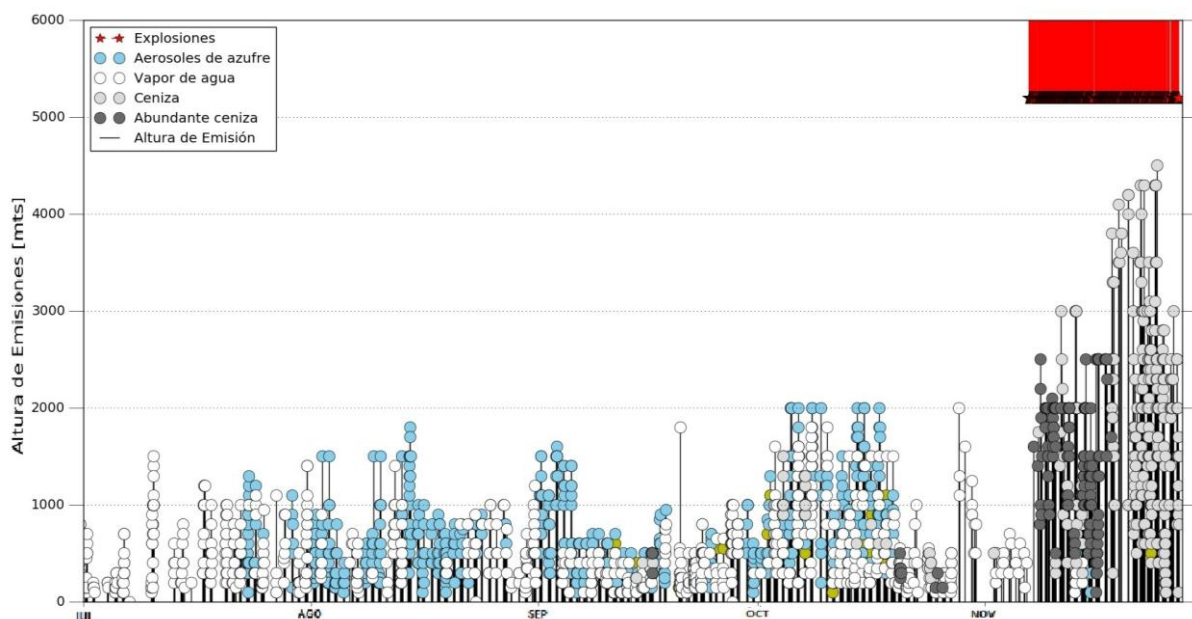


Figura 15. Altura de las emisiones fumarólicas del volcán Sabancaya registradas entre los meses de julio y noviembre de 2016.

Es necesario mencionar, que las columnas fumarólicas vienen siendo emitidas desde dos lugares en el interior del cráter del Sabancaya. Una, ubicada en el sector sur, de donde emanan columnas de color blanquecino, y otro en el sector norte, desde donde emanan columnas de gases y cenizas de color gris claro.

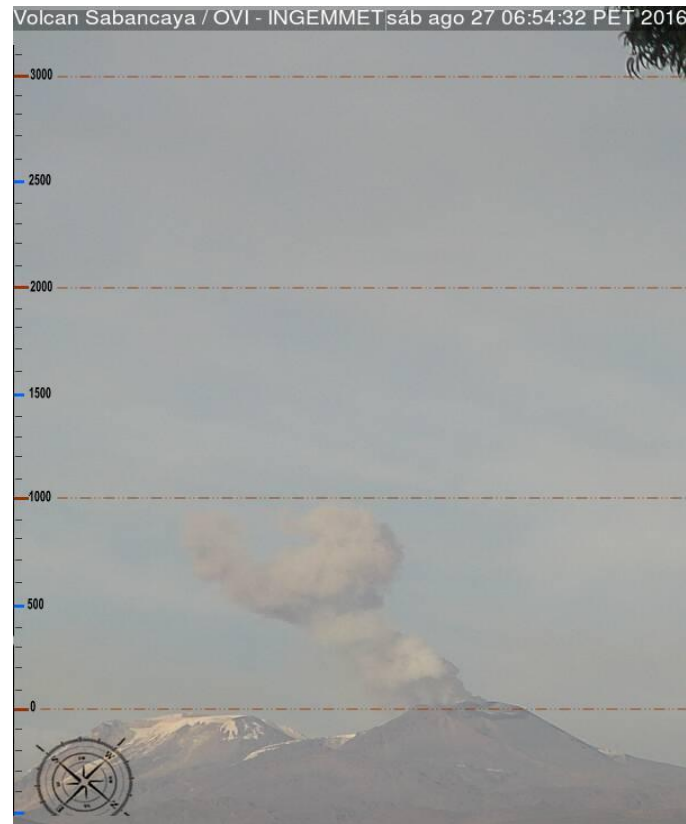


Figura 16. Columna de gases grises con algo de ceniza generada luego de la explosión registrada el 27 de agosto de 2016 en el volcán Sabancaya.



Figura 17. Columna de gases y ceniza producida luego de una explosión del volcán Sabancaya, el día 09 de noviembre del 2016.



Figura 18. Vista del sector SE del Sabancaya desde donde se observa una columna de gases y ceniza producida luego de una explosión registrado el día 09 de noviembre del 2016.



Figura 19. Columna de ceniza y gases de aproximadamente 3000 m de altura formada después de la explosión del 13 de noviembre de 2016 (09:12 hrs).

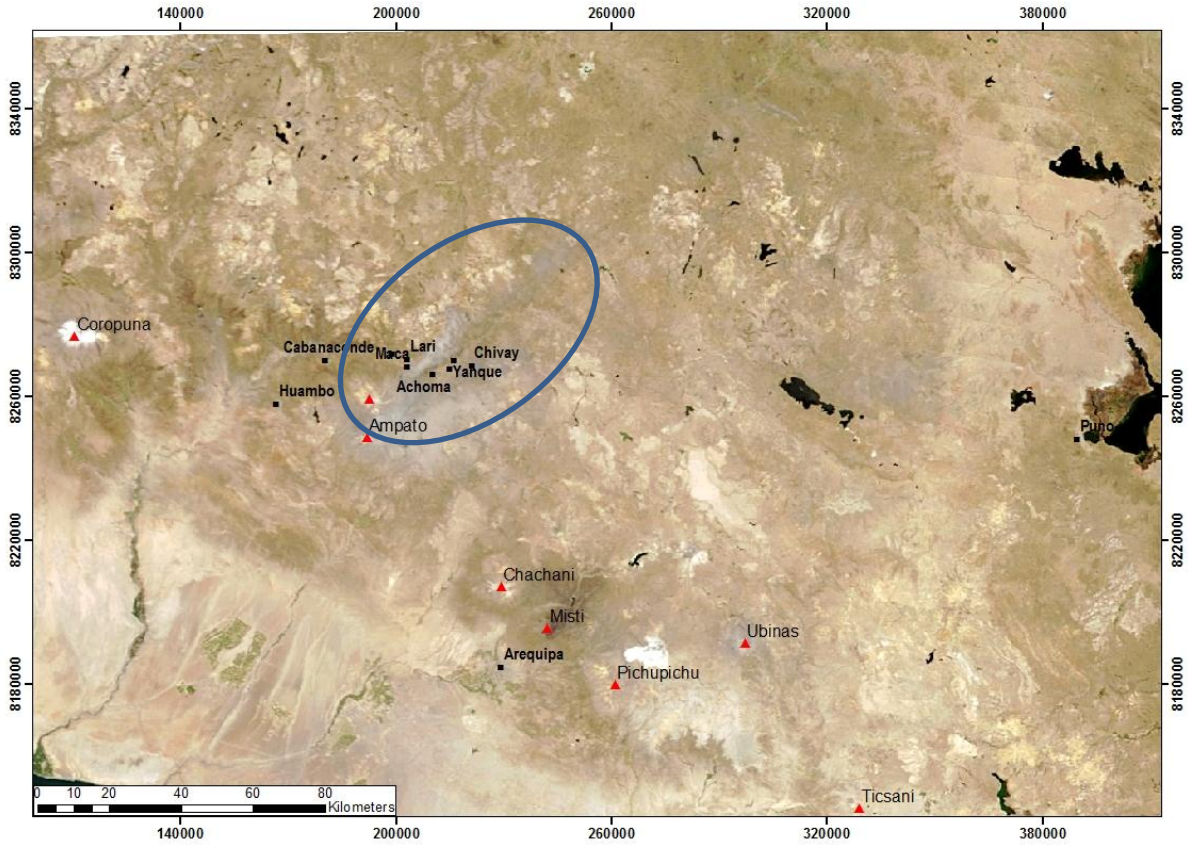


Figura 20. Imagen de satélite MODIS que muestra el desplazamiento de la pluma volcánica, ocurrida después de la explosión del 13 de noviembre del 2016. La pluma se desplazó en dirección Noreste en una distancia mayor de 40 km del volcán.



Figura 21. Columna eruptiva de ceniza y gases formada después de la explosión del 16 de noviembre de 2016 (04:45h). La columna eruptiva de ceniza y gases alcanzó una altura de 2500 m.

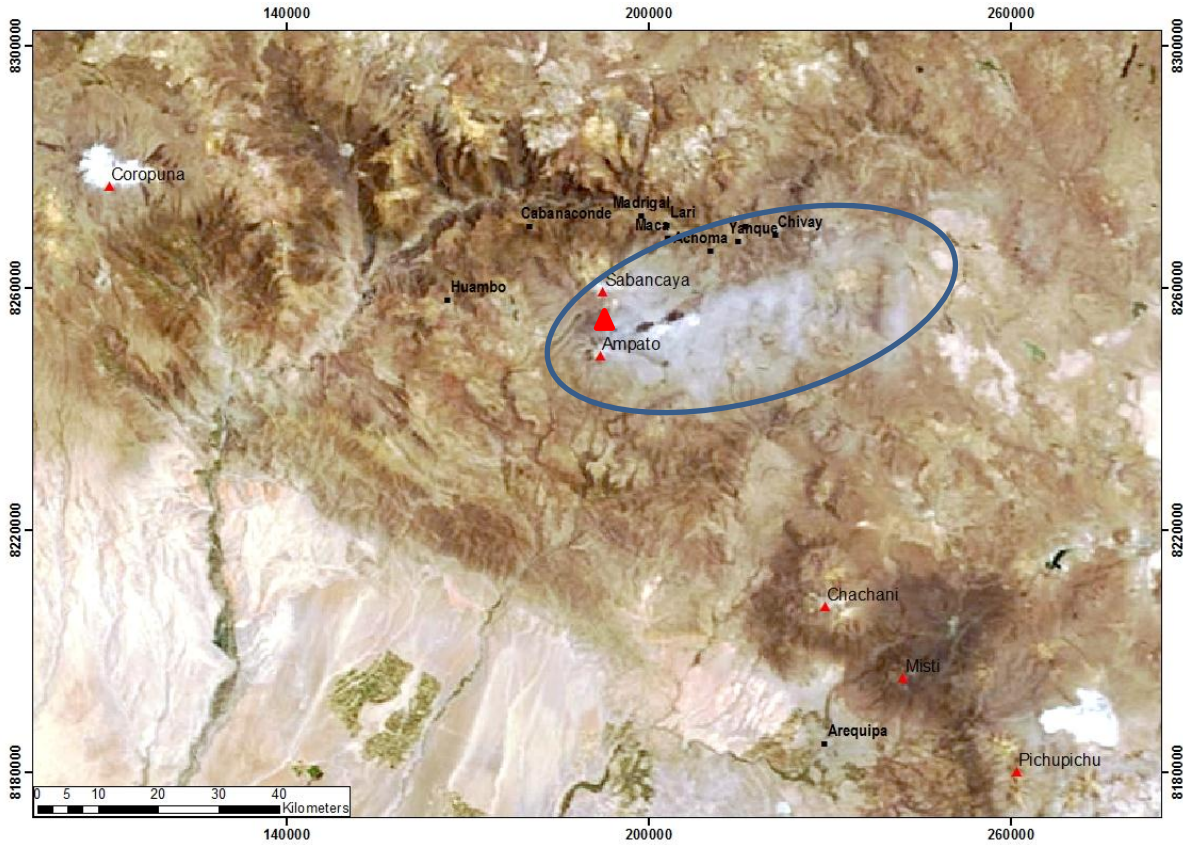


Figura 22. Imagen MODIS que muestra el desplazamiento de la pluma volcánica ocurrida después de la explosión del 16 de noviembre del 2016. La pluma se desplazó en dirección Noroeste y alcanzó una distancia de 40 km.



Figura 23. Columna de ceniza y gases formada después de la explosión del 24 de noviembre de 2016 (06:29h). La columna eruptiva de ceniza y gases alcanzó una altura de 4300 m.

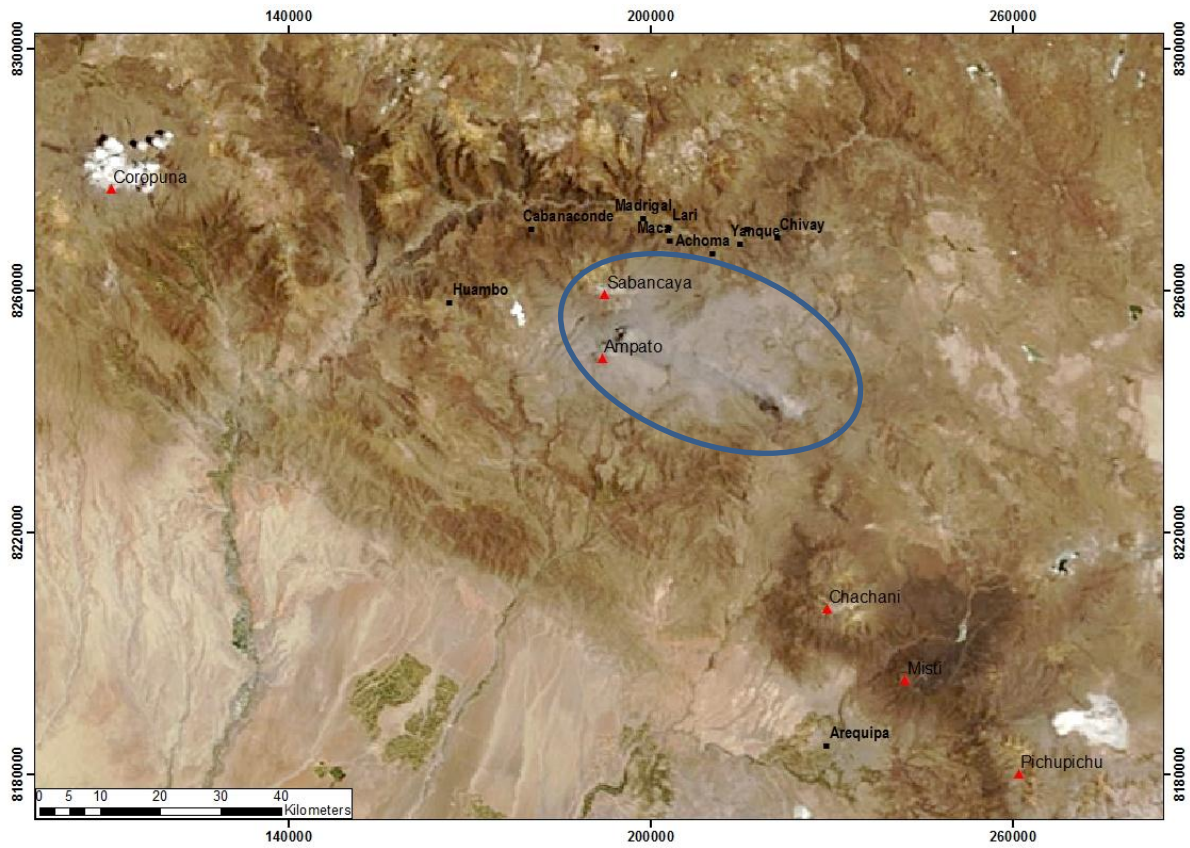


Figura 24. Imagen de satélite MODIS que muestra el desplazamiento de la pluma volcánica después de la explosión ocurrida el 25 de noviembre del 2016. La pluma se desplazó en dirección Noroeste y alcanzó una distancia de 40 km.

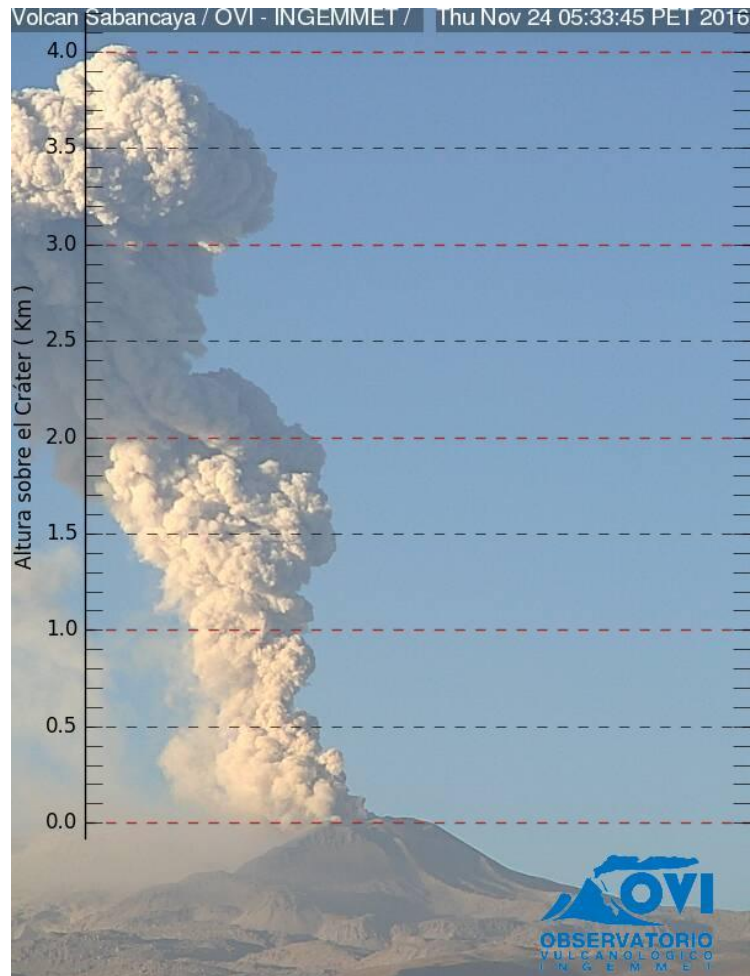


Figura 25. Columna eruptiva de ceniza y gases formada después de la explosión del 24 de noviembre de 2016 (05:33h). La columna eruptiva de ceniza y gases alcanzó una altura de más de 4000 m.



Figura 26. Columna eruptiva de ceniza y gases de 2800 m de altura formada después de la explosión del 25 de noviembre de 2016 (05:43h).

5.2.5 Monitoreo remoto de zonas de alta temperatura

Uno de los métodos de monitoreo remoto empleado por el OVI es el seguimiento de zonas de alta temperatura en el volcán a través imágenes satelitales mediante el sistema MIROVA, administrado por la Universidad de Torino (Italia). El sistema MIROVA, que publica diariamente la energía irradiada del volcán Sabancaya, ha puesto en evidencia un cambio significativo desde el día 03 de noviembre de 2016. Sobre una base comparativa inferior de 1 MW de energía irradiada, la última lectura es de 7 MW (22 de noviembre de 2016).

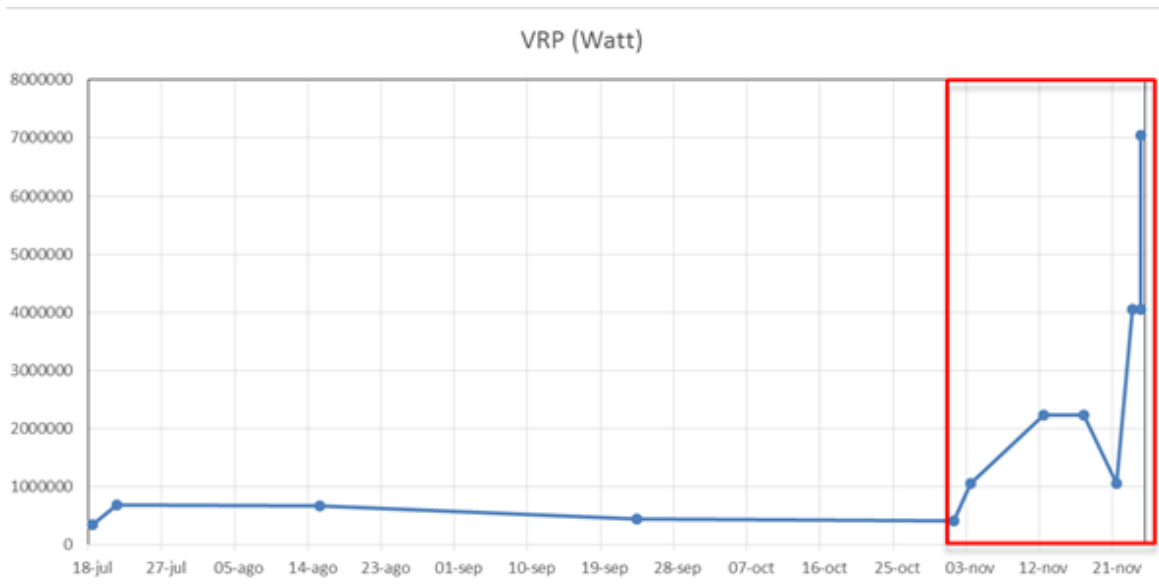


Figura 27. Mediciones de energía irradiada, efectuada por el sistema MIROVA, sobre imágenes satelitales de la NASA.

La presencia de estas anomalías sugiere la presencia de un cuerpo caliente en el extremo norte del volcán Sabancaya.

5.2.6 Monitoreo de las caídas de cenizas

Durante las diferentes comisiones de servicio que realiza el personal del OVI, se ha podido apreciar diferentes características de la actividad volcánica:

- Las cenizas emitidas por el volcán Sabancaya, son muy finas (figura 27) y se dispersan hacia el sector Este, Noreste, Sureste y Sur. Posteriormente, estas cenizas son removilizadas por el viento y trasladadas hacia los pueblos localizados en el valle del río Colca.
- Desde iniciada la actividad eruptiva, las caídas de cenizas han sido frecuentes, estas viajaron a más de 30 km del volcán principalmente en dirección NE, Este, SE y Sur del volcán, afectando sobre todo las zonas más próximas al volcán, donde existen terrenos de pastizales del ganado camélido (figura. 30), así como fuentes de agua. Además se han registrado caídas de ceniza en los poblados de Achoma, Yanque, Chivay, Canocota, Tuti, Sibayo, Callalli, todos localizados en el valle del Colca, cuyos pobladores ya vienen sintiendo efectos de las cenizas.



Figura 28. Caída de ceniza sobre la pantalla de un celular, en la zona denominada “El mirador de volcanes”, camino a Chivay. Foto tomada el 11 de noviembre del 2016.



Figura 29. Ceniza fina acumulada del volcán Sabancaya de 1 cm de espesor en una vivienda del sector de Sallalli, localizada a 8 km al Este del volcán. Foto tomada el 16 de noviembre del 2016.



Figura 30. Preciso momento donde se puede apreciar como la ceniza va cayendo, y a la vez esta es removida por el viento en el sector de Sallalli, a 10 km al Este del volcán Sabancaya. Foto del día 17 de noviembre de 2016.



Figura 31. Estación de monitoreo de aguas termales, ubicada a 9 km al Sureste del cráter del volcán Sabancaya, donde se aprecia que el pasto está siendo afectado por la caída de ceniza del volcán Sabancaya.



Figura 32. Caída de ceniza sobre la camioneta del INGEMMET, estacionada en la localidad de Chivay, a 30 km al Noreste del volcán Sabancaya. Foto del día 10 de noviembre de 2016.



Figura 33. Poblado de Achoma, localizado a 20 km al Noreste del volcán Sabancaya, lugar en donde se viene produciendo constantemente caídas de ceniza (nube blanca en la foto). Foto del día 10 de noviembre del presente año.

CONCLUSIONES

- Los primeros indicios que hacían suponer la proximidad de una erupción del volcán Sabancaya, se dieron en febrero del 2013, con la ocurrencia de sismos asociados a la reactivación de fallas geológicas localizadas en la zona de Maca, asociada a una actividad fumarólica importante, con altitudes de hasta 2000 m sobre el cráter. Posteriormente, la ocurrencia de nuevos enjambres sísmicos se repitieron en julio de 2013 con la migración de los focos sísmicos hacia las zonas de Huambo-Cabanaconde.
- Desde inicios del presente año las emisiones de fumarolas emitidas por el Sabancaya alcanzaron mayor altura y eran relativamente densas respecto a los años anteriores. Desde abril del 2016, se observaron hasta siete zonas con emisiones fumarólicas en los sectores NO, Norte y NE del Sabancaya, con temperaturas de hasta 85°C.
- El 06 de noviembre de 2016, a las 20 horas, se produjo una explosión en el volcán Sabancaya, iniciando así un nuevo proceso eruptivo.
- Los datos sísmicos obtenidos muestran que entre julio y el 26 de agosto de 2016, ocurrieron principalmente sismos de tipo volcano-tectónicos (VT), los cuales se asocian al fracturamiento de roca dentro del edificio volcánico, registrándose en un promedio de 150 a 200 sismos por día. Además, en ese tiempo se registraron sismos de baja frecuencia o largo periodo, tremor y la ocurrencia esporádica de sismos tipo híbridos, estos últimos asociados al ascenso de magma hacia a superficie. La primera explosión ocurrió el 27 de agosto 2016: la cual liberó una energía sísmica de 1.01 Mega Joules (MJ). Dicha explosión se caracterizó por presentar la emisión de gases con cierto contenido de ceniza fina. Entre setiembre y el 02 de noviembre se registraron sismos de tipo híbrido. El sismo principal se registró el día 02 de noviembre con una energía de 13 MJ, considerado como el desencadenante de las primeras explosiones continuas que presentaría luego el Sabancaya. Entre el 06 al 28 de noviembre se ha registrado al menos 838 señales asociadas a explosiones. Desde el 06 al 12 de noviembre se pudo observar que las explosiones presentaron mayor energía y recurrencia, con respecto a las últimas explosiones que vienen registrándose hoy en día. En efecto, en estos últimos días se ha observado que los sismos vienen disminuyendo en número y energía.
- Se han observado variaciones en las lecturas del monitoreo geodésico, a partir del mes de octubre 2016, lo que indicaría que los flancos sur, sureste, noreste y noroeste del volcán Sabancaya habrían experimentado un leve proceso de “inflación”, antes del proceso eruptivo, corroborado con registros GPS permanente instalados en dichos flancos.
- Los valores del flujo del gas volcánico SO₂ al menos desde el mes de julio hasta fines de octubre de 2016 fueron variables, estos oscilaron entre 600 y 7000 Ton/día. Cabe mencionar que en este periodo de tiempo, el día 22 de octubre se registró el máximo valor de 7000 Ton/d. A partir del 06 de noviembre, fecha de inicio de la actividad eruptiva actual, estos valores continúan presentando variaciones importantes que oscilan alrededor de los 1200 a 7000 Ton/día. El valor de 7000 Ton/día de SO₂ registrado el día 20 de noviembre sugiere que todavía viene ocurriendo un ascenso de magma hacia la superficie.
- Desde iniciada la actividad eruptiva, las caídas de cenizas son frecuentes, estas están viajando a más de 30 km del volcán, principalmente en dirección NE, Este, SE y Sur del volcán, afectando sobre todo las zonas más próximas al volcán, donde existen terrenos

de pastizales del ganado camélido, así como fuentes de agua. Además se han registrado caídas de ceniza en los poblados del valle del Colca, como Achoma, Yanque, Chivay, Canocota, Tuti, Sibayo, Callalli, cuyos pobladores ya vienen sintiendo efectos de las cenizas.

- Según datos obtenidos de la anterior erupción (1986-1997) del volcán Sabancaya, se observa la actividad actual aparentemente presenta las mismas características, en tal sentido, se espera que esta actividad tenga la misma duración de varios meses o años.

RECOMENDACIONES

El Observatorio Vulcanológico del INGEMMET (OVI) recuerda a las autoridades, desarrollar planes de contingencia ante erupciones volcánicas a fin de estar preparados y reducir así los riesgos de desastres.

Se recomienda no acercarse al volcán en un radio de 10 km, debido a la posibilidad de intoxicación y por el riesgo de alcance de algún producto volcánico en eventuales explosiones.

Las siguientes recomendaciones están dirigidas principalmente a las autoridades y la población que vive en áreas aledañas al volcán Sabancaya. Estas están basadas en la historia eruptiva del volcán Sabancaya, los escenarios eruptivos construidos, el mapa de peligros y los datos de monitoreo.

- La ceniza que está emitiendo el volcán Sabancaya, puede provocar enfermedades respiratorias, especialmente en personas que sufren de asma y de afecciones de las vías respiratorias; afectar los ojos y generar conjuntivitis y laceraciones de la córnea, generar efectos en la piel, así como problemas gástricos o gastrointestinales, por ingesta de alimentos contaminados (agua, frutas, entre otros). Por ello recomendamos:
 - a) se distribuyan a la población afectada lentes (gafas) con protección lateral, así como mascarillas para evitar la inhalación de partículas de ceniza;
 - b) que las instituciones competentes realicen una evaluación permanente del impacto de la ceniza en la salud de los pobladores afectados;
 - c) que los centros de salud ubicados en los pueblos en riesgo, sean abastecidos de mayor cantidad de medicamentos y profesionales de la salud especializados en el tema.
- La ceniza que está emitiendo el volcán Sabancaya, también puede generar problemas ambientales, tales como la contaminación de fuentes de agua (manantiales, pozos, acequias, ríos y quebradas); contaminación de pastizales (forrajes), especialmente del ichu y la alfalfa; incremento de accidentes de tránsito por baja visibilidad; muerte de animales por contaminación de pastos y fuentes de agua; destrucción de áreas de cultivo; colapso de techos en las viviendas, especialmente si estas son de teja, calamina, eternit o ichu; generar lluvias ácidas, entre otros. Frente a esto formulamos las siguientes recomendaciones:
 - a) que las instituciones competentes realicen una evaluación permanente del impacto de las cenizas en el agua, suelo, áreas de cultivo, pastos naturales y animales, especialmente en zonas donde se viene registrando importante caída de ceniza;
 - b) la limpieza exterior de ceniza acumulada en los techos de las viviendas, patios y calles;
 - c) absténgase de conducir si la visibilidad está comprometida por la lluvia de ceniza;
 - d) cubrir las fuentes de agua a fin de evitar consumo de agua contaminada por parte de las personas y animales.

El OVI, recuerda que nuestro país en general está ubicado en una zona altamente sísmica y volcánica, y este tipo de fenómenos es común y reitera el compromiso de brindar información certera y oportuna para la mejor toma de decisiones.

Recomendamos también mantenerse informado sobre la evolución de la erupción a través de los reportes que viene emitiendo el Observatorio Vulcanológico del INGEMMET: www.ovi.ingemmet.gob.pe

REFERENCIAS

ANTAYHUA Y., (2002). Análisis de la actividad sísmica en la región del volcán Sabancaya y los sismos de Maca (1991), Sepina (1992) y Cabanaconde (1998). Tesis Ingeniero. Universidad Nacional de San Agustín.

ANTAYHUA, Y.; MASÍAS, P. & RAMOS, D. (2013). Monitoreo de los volcanes Ticsani, Sabancaya y Huaynaputina, INGEMMET. Boletín, Serie C: Geología Ambiental y Riesgo Geológico, 53, 114 p.

BARRIGA, V. (1951). Los terremotos en Arequipa, 1582-1868. Arequipa: La Colmena, 462 p.

GERBE M.-C., THOURET J.-C. (2004). Role of magma mixing in the petrogénesis of lavas erupted through the 1990-98 explosive activity of Nevado Sabancaya in south Peru. Bulletin of Volcanology, 66, 541-561.

GIESECKE, A. (1989). Role of magma mixing in the petrogénesis of lavas erupted during the 1990-98 explosive activity of Nevado Sabancaya, southern Perú. Bulletin of Volcanology, 66(6): 541-561.

HUAMÁN, D. (1995). Métodos y aplicaciones de las imágenes de satélite en la cartografía geológica: el caso del seguimiento y evolución de la amenaza volcánica del Sabancaya (región del Colca, Arequipa, Perú). Tesis Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, 138 p.

MARIÑO, J. (2012). Escenarios eruptivos y mapa de peligros del complejo volcánico Ampato-Sabancaya. Tesis Maestría, Universidad de Nice, Francia, 87 p.

RAMOS, D. & ANTAYHUA, Y. (2010). Sismicidad de la región del volcán Sabancaya, período 2009-2010, informe inédito. Arequipa: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 49 p.

RIVERA, M.; MARIÑO, J.; SAMANIEGO, P.; DELGADO, R. & MANRIQUE, N. (2015). Geología y evaluación de peligros del complejo volcánico Ampato - Sabancaya (Arequipa), INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 61, 122 p., 2 mapas.

RODRIGUEZ, A & HUAMÁN, D. (1992). Actividad de los volcanes Ubinas y Sabancaya, informe inédito. Lima: Instituto Geofísico del Perú, 12 p.

RODRIGUEZ A. & URIBE M. (1994). Participación del Instituto Geofísico del Perú en relación con la reactivación del Volcán Sabancaya, provincia de Caylloma, región de Arequipa. Informe interno IGP Oficina de Arequipa, 28p.

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.; FERNÁNDEZ, 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.; GUZMAN, 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., GOURGAUD A., SALAS G., HUAMAN D., GUILLANDE R. (1993). The 1990-1992 eruptive activity of the Nevado Sabancaya stratovolcano (South Peru). 2th. International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG). Oxford (UK), p. 21-23.

THOURET, J-C., GOURGAUD, A., GUILLANDE, R., Y SALAS, G. (1995A). La actividad eruptiva del volcán nevado Sabancaya (Sur de Perú): geología, sensores remotos, evaluación y mapeo de zonas de riesgo. Resúmenes Extendidos. Seminario Taller: Evaluación de la Litósfera en los Andes Peruanos y sus márgenes. Programa PICG, 188. Lima Perú.

THOURET, J.-C.; GUILLANDE, 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.

THOURET J. C., JUVIGNE E., MARIÑO, J., MOSCOL M., PADOVANI A. L., LOUTSCH I., DAVILA J., LAMADON S., RIVERA M. (2002). Late pleistocene and holocenetephro – stratigraphy and chronology in southern Peru, in Proyecto Arqueológico Condesuyos, 1, p. 215-239.