



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



EVALUACIÓN GEOFÍSICA DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DEL VOLCÁN SABANCAYA – AREQUIPA

(Diciembre, 2020 – Marzo, 2021)

Informe Técnico N°005-2021/IGP CIENCIAS DE LA TIERRA SÓLIDA



Lima – Perú
Abril, 2021

Instituto Geofísico del Perú

Presidente Ejecutivo: Hernando Tavera

Director Científico: Edmundo Norabuena

Informe Técnico

Evaluación geofísica del comportamiento dinámico del volcán Sabancaya - Arequipa
(Diciembre, 2020 – Marzo, 2021)

Autores:

Nino Celestino Puma Sacsí
José Del Carpio Calienes
Marco Rivera Porras
Katherine Andrea Vargas Alva
Roger Machaca Puma
Ivonne Alejandra Lazarte Zerpa

Este informe ha sido producido por el Instituto Geofísico del Perú
Calle Badajoz 169 Mayorazgo
Teléfono: 51-1-3172300

**EVALUACIÓN GEOFÍSICA DEL COMPORTAMIENTO
DINÁMICO DEL VOLCÁN SABANCAYA - AREQUIPA
(DICIEMBRE, 2020 – MARZO, 2021)**

Lima – Perú
Abril, 2021

RESUMEN

El presente informe muestra el análisis del comportamiento dinámico del volcán Sabancaya durante el periodo diciembre de 2020 a marzo de 2021, caracterizado por la ocurrencia de explosiones moderadas con la consecuente emisión de cenizas dispersadas en dirección de los distritos de Achoma, Maca, Lari, Madrigal, Ichupampa, Yanque, Chivay, Coporaque, Tuti, Huambo y Huanca.

Se ha observado cambios en el comportamiento dinámico del volcán Sabancaya durante el desarrollo de dos fases: **Fase 1** (diciembre, 2020 – enero, 2021), con la ocurrencia promedio de 39 explosiones por día y la destrucción del segundo domo de lava emplazado en noviembre de 2020 en su cráter. **Fase 2** (febrero, 2021 – marzo, 2021), con el incremento en la actividad sísmica y la ocurrencia de 84 explosiones por día, generando columnas de gases y cenizas de hasta 3.5 km de altura sobre la cima del volcán. Así como, la presencia de una zona de ventos u orificios al noreste del cráter que emitirían pequeños flujos de lava, acumulando material volcánico y al mismo tiempo destruyéndose por las constantes explosiones.

De acuerdo con la información generada a partir del análisis de los datos obtenidos de la red de monitoreo volcánico implementado por el IGP, el principal peligro volcánico es generado por la dispersión de cenizas en un radio mayor a 30 km en dirección de los distritos ubicados en el valle del Colca. Asimismo, el escenario eruptivo que tiene mayor probabilidad de ocurrir o seguir ocurriendo, son erupciones explosivas de tipo vulcanianas (IEV 2) con columnas de gases y cenizas que pueden superar los 3 km de altura

INDICE

RESUMEN

1.- INTRODUCCIÓN

2.- CARACTERÍSTICAS DE LA ACTIVIDAD VOLCÁNICA

2.1.- Monitoreo sísmico

2.1.1.- Análisis de señales sísmicas

2.1.2.- Análisis de familias sísmicas

2.2.- Monitoreo visual y satelital

2.2.1.- Características de las emisiones de ceniza

2.2.2.- Monitoreo de anomalías térmicas

2.3.- Monitoreo de anomalías en la morfología del volcán

3.- INTERPRETACIÓN GEOFÍSICA

4.- ESCENARIOS ERUPTIVOS FUTUROS

4.1.- Primer escenario

4.2.- Segundo escenario

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

1.- INTRODUCCIÓN

El volcán Sabancaya, ubicado a 18 km al sur del valle del Colca (Caylloma, Arequipa), continúa desarrollando, desde el mes de noviembre de 2016, su proceso eruptivo poniendo en riesgo a las 20 mil personas que habitan en los distritos de Chivay, Coporaque, Ichupampa, Achoma, Lari, Madrigal, Maca, Cabanaconde, Tapay, Huanca, Lluta y Huambo.

El volcán Sabancaya durante los últimos cuatro años de actividad eruptiva (2016 - 2020), ha mostrado importantes variaciones en su comportamiento dinámico con la ocurrencia de un variado número de explosiones, que durante algunos periodos llegó hasta 110 por día. De acuerdo al registro continuo de estas explosiones, se ha podido establecer niveles de actividad explosiva que caracterizan todo su proceso eruptivo (Figura 1).

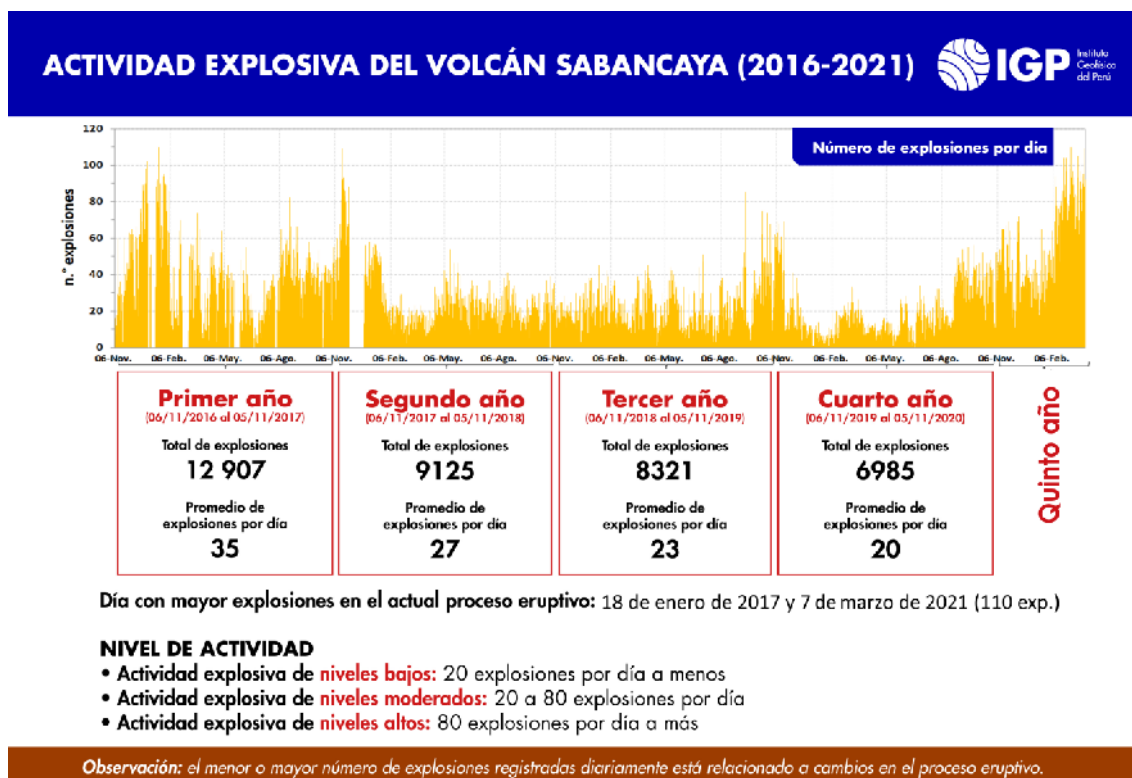


Figura 1.- Infografía que muestra los niveles de actividad explosiva ocurridos en la actual erupción del volcán Sabancaya.

Entre los años 2019 y 2020, la detección y registro de enjambres de sismos de tipo Volcano-Tectónico, así como los incrementos de eventos híbridos asociados al ascenso de magma y explosiones, pusieron en evidencia el emplazamiento de dos domos de lava en la superficie del cráter del volcán Sabancaya, el primero entre octubre y noviembre de 2019 (Del Carpio et al., 2019) y el segundo en noviembre de 2020 (Puma et al., 2020).

En lo que va del año 2021, el Sabancaya ha presentado dos importantes variaciones o fases en cuanto a su actividad explosiva. En la primera, ocurrieron con promedio de 39 explosiones diarias (diciembre 2020 a enero 2021) y en la segunda, 84 explosiones por día (febrero a marzo 2021). Como es habitual, las explosiones fueron acompañadas por constantes emisiones de gases y cenizas dispersadas en un radio mayor de 30 km de distancia respecto al cráter del volcán.

El Instituto Geofísico del Perú (IGP), a través del Centro Vulcanológico Nacional (CENVUL), realiza el monitoreo permanente del comportamiento dinámico del volcán Sabancaya, usando una densa red geofísica instalada en zonas aledañas al volcán (Figura 2). Este monitoreo se ve reforzado por el uso de datos obtenidos de sistemas satelitales como TROPOMI (permite analizar la concentración del gas volcánico SO₂), MIROVA (detección de anomalías térmicas), Sentinel-1 (evaluación de deformación volcánica a través del método InSAR) y otros. Asimismo, se emplean imágenes satelitales PlanetScope para visualizar el volcán y la fenomenología que presenta. La correlación de toda esta información, es parte de las alertas, reportes, boletines e informes vulcanológicos que el IGP envía a las autoridades, de los diversos niveles de gobierno, para la toma de decisiones y atención de posibles emergencia

El presente informe técnico detalla las características del comportamiento dinámico del volcán Sabancaya para el periodo diciembre de 2020 a marzo de 2021, haciendo uso de la información generada en el

CENVUL. Asimismo, se detallan los tipos de peligros a los que está expuesta la población del valle del Colca durante el actual proceso eruptivo y los escenarios futuros a presentar el volcán Sabancaya.

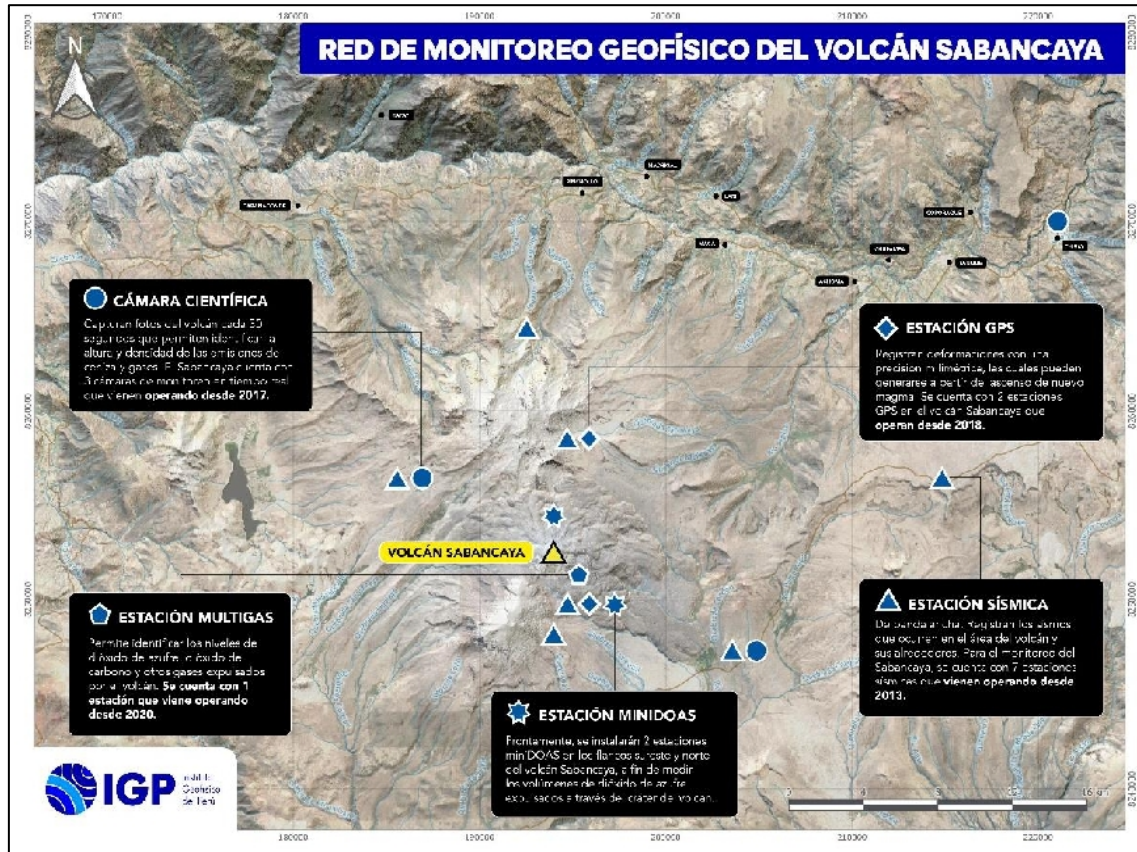


Figura 2.- Red de monitoreo volcánico instalada por el IGP en el volcán Sabancaya.

2.- CARACTERÍSTICAS DE LA ACTIVIDAD VOLCÁNICA

El volcán Sabancaya viene presentando un comportamiento dinámico muy activo con la ocurrencia diaria de explosiones y la consecuente emisión de ceniza que en ocasiones alcanzan alturas de hasta 3.5 km sobre la cima del volcán; además, ha venido experimentando la continua construcción y destrucción de domos de lava, el último de ellos emplazado en noviembre de 2020 (Puma et al., 2020), actualmente destruido.

A continuación, se detalla el nivel de actividad que ha presentado el volcán Sabancaya durante el periodo de diciembre de 2020 a marzo de 2021, en base al monitoreo geofísico (sísmico, geodésico, visual y sistemas satelitales) que se realiza en el CENVUL.

2.1.- Monitoreo sísmico

2.1.1.- Análisis de señales sísmicas

El análisis de la información sísmica ha permitido identificar el desarrollo de 2 fases de actividad eruptiva del volcán Sabancaya y sus características son (Figura 3).

Fase 1: desarrollada entre diciembre de 2020 y enero de 2021, en la cual se registró la ocurrencia de 39 explosiones diarias con una energía máxima de 46 MJ (Mega Joule). El mayor número de explosiones fue de 71 eventos ocurridos el 11 de diciembre de 2020 (Figura 3A). Asimismo, los eventos sísmicos de tipo Largo Periodo (LP) asociados al movimiento de fluidos volcánicos, ocurrieron con un promedio de 96 eventos por día, con valores de energía por debajo de 14 MJ (Figura 3B). Las señales sísmicas de tipo híbrido asociados con el ascenso de magma, alcanzaron un promedio de 3 eventos por día (Figura 3C) y la

ocurrencia de sismos Volcano-Tectónico, asociados a la ruptura de rocas al interior del volcán, han ocurrido con un promedio diario de 27 eventos (Figura 3D).

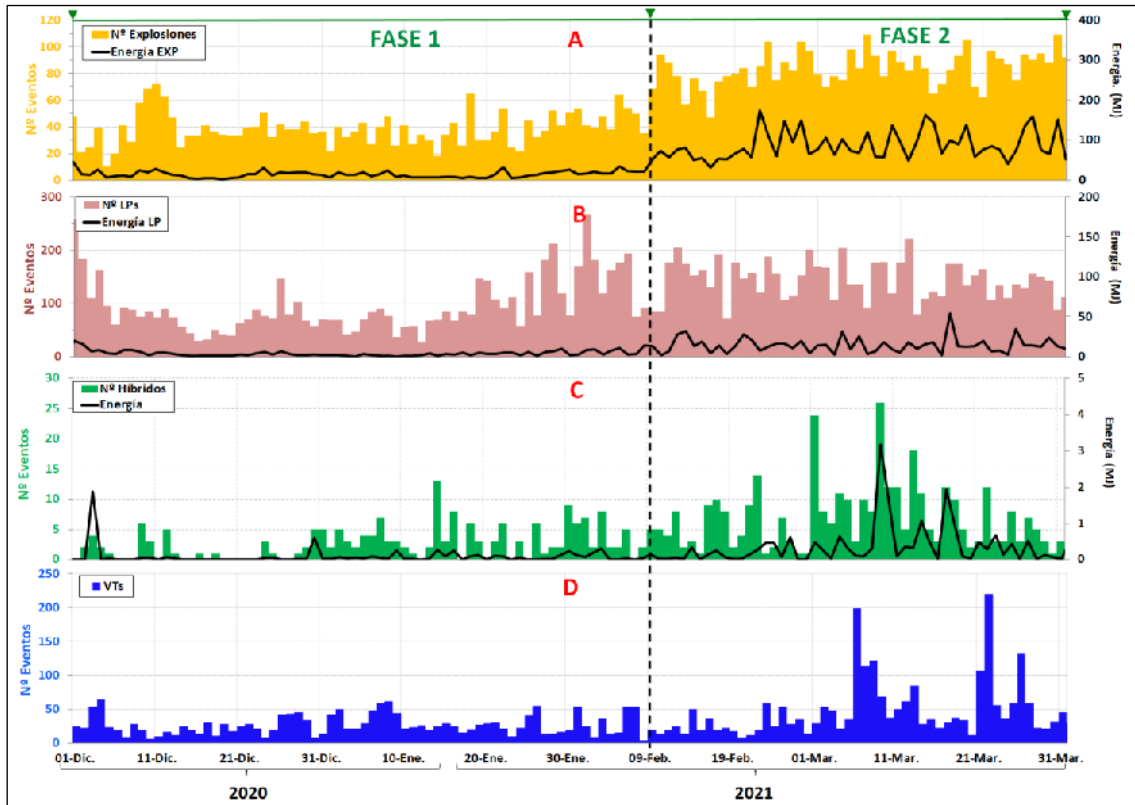


Figura 3.- Número de señales sísmicas (barras de color) y energía sísmica (línea negra) registrados por la red de monitoreo del IGP en el volcán Sabancaya (periodo de diciembre 2020 a marzo 2021). La línea discontinua vertical negra divide las fases 1 y 2.

Fase 2: desarrollada entre febrero y marzo 2021, durante la cual la actividad explosiva se incrementó en un 53% con respecto a la fase anterior: 84 explosiones diarias en promedio y una energía máxima de 175 MJ, registrado el 22 de febrero (Figura 3A). Similar tendencia se ha observado en las señales sísmicas de tipo Largo Periodo (LP) e Híbridos, con el registro promedio de 144 LPs y 7 Híbridos por día, correspondiendo a un incremento, con respecto a la primera fase, de 34% y 50%, respectivamente (Figuras 3B y 3C). Por otro lado, en el mes de marzo, entre los días 6 - 8, 21 - 22 y 26, se ha observado el incremento del número de sismos de tipo Volcano-Tectónico con respecto a la fase anterior, con valores de 199, 220 y 132 eventos por

día, respectivamente (Figura 3D), todos con epicentros localizados entre 22 km y 24 km en dirección oeste y noroeste del volcán.

2.1.2.- Análisis de familias sísmicas

Las familias sísmicas o Multiplets son sismos casi idénticos en sus formas de onda y características espectrales (Hamaguchi y Hasegawa, 1975). En ambientes volcánicos, los multiplets son registrados comúnmente durante el ascenso y formación de domos de lava (Rowe et al., 2004; Power y Lalla, 2010), erupciones basálticas (Battaglia et al., 2003; Saccorotti et al., 2007) y también durante periodos no eruptivos (Roman y Powet, 2011; Passarelli et al., 2018).

El análisis de los sismos multiplets se ha vuelto cada vez más importante en la sismología volcánica y se ha desarrollado varios algoritmos para identificarlos como el REDPy (Reapeating Earthquake Detector; Hotovec-Ellis y Jeffries, 2016). Este algoritmo permite identificar eventos, calcular la correlación cruzada de las formas de ondas y guardar las señales como parte de una familia sísmica; de lo contrario, se define como un evento aislado.

El análisis de familias sísmicas en el volcán Sabancaya se realizó con el programa REDPy y señales sísmicas de la estación SABA (componente Z) filtradas en las bandas 1-10 Hz. La ventana promedio de largo plazo se estableció en 8 segundos y de corto plazo en 0.8 segundos. La relación STA/LTA para activar el disparo fue de 3.0 y 2.0; para desactivar el disparador, se utilizó un umbral de coeficiente de correlación (CC) de 0.85. Para el periodo de análisis se identificaron un total de 526 familias sísmicas, tal como se muestra en la Figura 4.

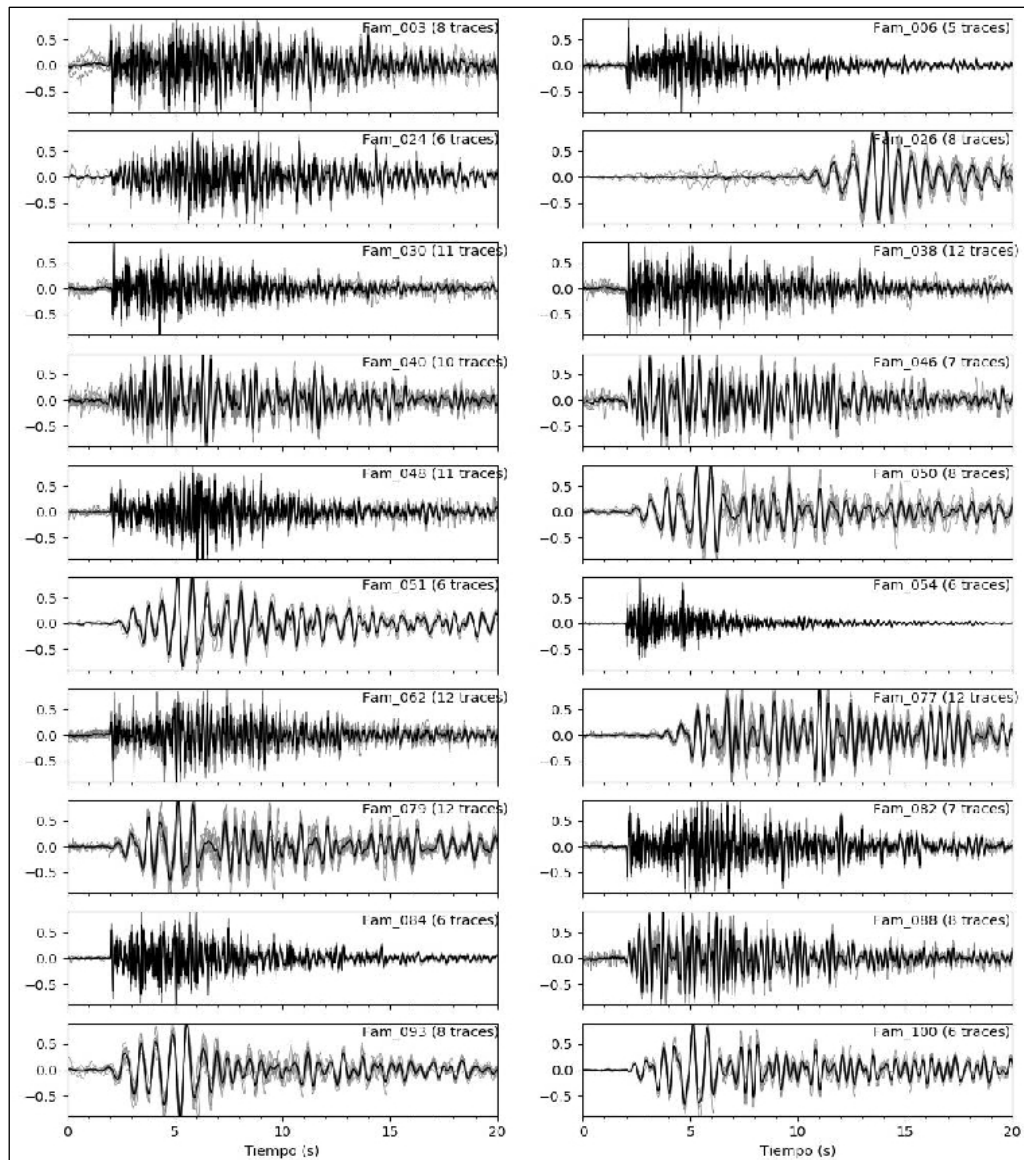


Figura 4.- Ejemplo de las formas de onda de 20 familias sísmicas registradas en el volcán Sabancaya durante el periodo de análisis. La línea gris representa los eventos que conforman cada familia y la línea negra el evento apilado.

En ambientes volcánicos, la inyección de fluidos magmáticos en la corteza comúnmente genera la activación de fallas o fracturas preexistentes próximas a un volcán (Deichmann & Giardini, 2009; Dorbath et al., 2009; White & McCausland, 2016, Juncu et al., 2018). Estos procesos generarían una alta sismicidad de tipo Volcano-Tectónico (HF multiplet) que continuarían en el tiempo hasta la aparición de nuevas familias de bajas frecuencias (LF multiplet). Estas últimas estarían asociadas a la llegada de magma al cráter y la consecuente formación o crecimiento de un nuevo domo en superficie, disminuyendo así la presión interna próximo al volcán y

la ocurrencia de eventos sísmicos de tipo VT de alta frecuencia, tal como sugiere Thelen et al. (2011).

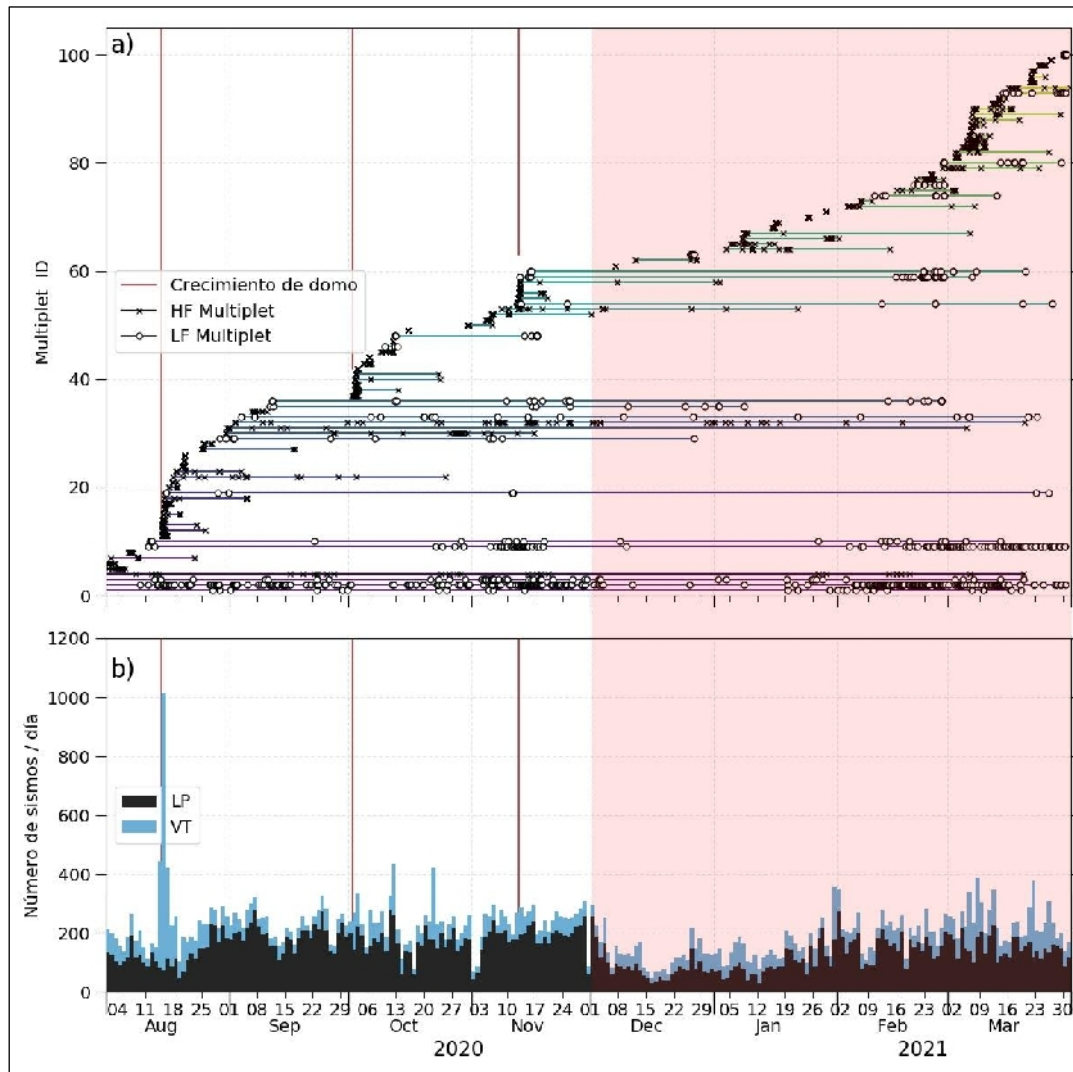


Figura 5.- Ocurrencia de familias sísmicas durante los meses de agosto de 2020 y marzo de 2021. Las líneas rojas verticales identifican la aceleración de la formación de familias sísmicas asociadas al emplazamiento del segundo domo. La sombra en rojo muestra el actual periodo de análisis.

Para efectos de comparación con el actual periodo de análisis, en la Figura 5 se muestra la ocurrencia de familias sísmicas (multiplets) durante el periodo agosto de 2020 a marzo de 2021, llegándose a identificar el desarrollo de 3 episodios ocurridos el 15 de agosto de 2020, 2 de octubre de 2020 y 13 de noviembre de 2020 (Figura 5, líneas rojas). En estos episodios se produjo una rápida formación de familias sísmicas asociadas con el emplazamiento y crecimiento del segundo domo de lava entre los

meses de agosto a noviembre de 2020. Posteriormente, entre los meses de febrero a marzo de 2021, se incrementó la ocurrencia de señales sísmicas de baja frecuencia (LF multiplets) que indicarían el aporte de pequeños volúmenes de magma asociados con el incremento en el número y energía de las explosiones.

Durante el periodo de análisis, no se observa la formación de familias sísmicas con señales de alta frecuencia, lo que sugiere la ausencia de aportes de magma capaces de formar un nuevo domo de lava (Figura 5, área sombreada en rojo). La actividad sísmica ocurrida los días 7, 22 y 26 de marzo de 2021 fue debido a la reactivación de la falla Huambo ubicada a 25 km al noroeste del volcán Sabancaya.

2.2.- Monitoreo visual y satelital

2.2.1.- Características de las emisiones de ceniza

La actividad eruptiva actual del volcán Sabancaya viene siendo monitoreada y registrada con la ayuda de tres cámaras de vigilancia instaladas en los sectores noreste (Chivay), sureste (Cajamarcana) y noroeste (Muccurca) del volcán Sabancaya. Según la información analizada y procesada, las explosiones del volcán Sabancaya, se caracterizan por presentar columnas de gases y cenizas que alcanzan hasta 3500 m de altura sobre la cima del volcán (Figura 6).

Durante el periodo evaluado, que corresponde al periodo anual de lluvias en la zona del volcán Sabancaya, la presencia de nubosidad ha limitado en varias oportunidades las observaciones de las columnas eruptivas registradas previamente por los sensores sísmicos. Las emisiones de cenizas entre el 1 al 18 de diciembre de 2020, alcanzaron alturas máximas de 3000 m sobre la cima del volcán; entre el 19 de diciembre de 2020 al 26 de febrero de 2021, las alturas se incrementaron a 3500 m. y

entre el 27 de febrero al 31 de marzo de 2021, las alturas fueron de 2800 m sobre la cima del volcán (Figura 6 y 7C). Aunque es notoria la disminución de la elevación de las cenizas con respecto a los meses anteriores, la densidad y el número de las emisiones se ha incrementado desde la primera semana de febrero hasta el 31 de marzo (Figura 6).

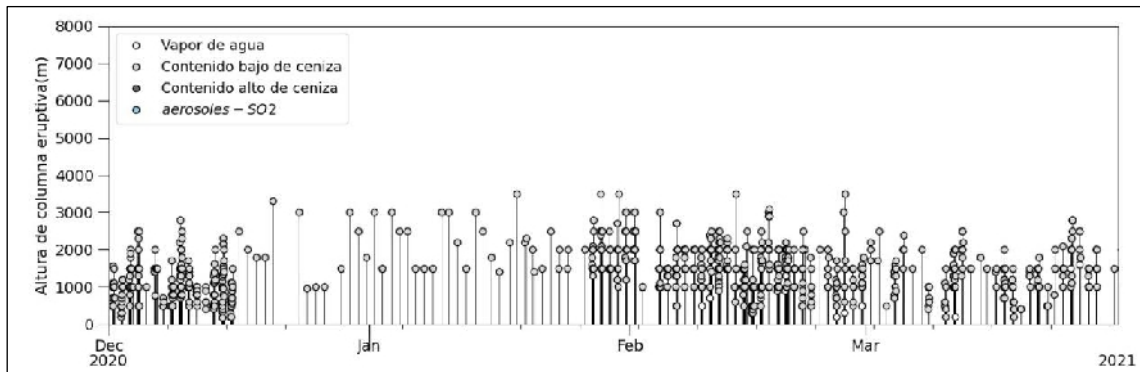


Figura 6.- Variación temporal de las alturas de las columnas de gases y cenizas emitidos por el volcán Sabancaya durante el periodo diciembre de 2020 a marzo de 2021.

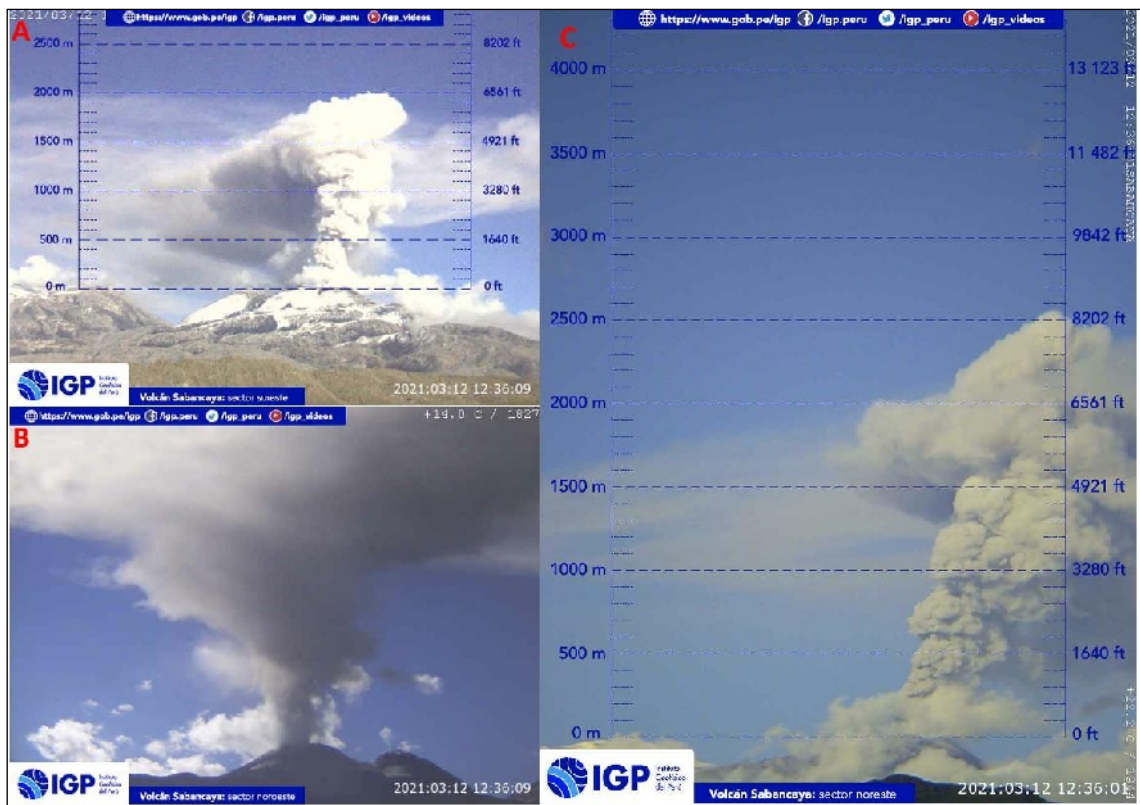


Figura 7.- Imágenes de las cámaras de vigilancia del volcán Sabancaya, mostrando la explosión ocurrida el 12 de marzo. a) Cámara de vigilancia de Cajamarcana, b) Cámara de vigilancia de Muccurca, y c) Cámara de vigilancia de Chivay.

Las cenizas emitidas desde el 1 de diciembre de 2020 al 31 de marzo de 2021 fueron dispersadas a más de 30 km de distancia del cráter, preferentemente en dirección de los distritos de Achoma, Maca, Lari, Madrigal, Ichupampa, Yanque, Chivay, Coporaque y Tuti (Figura 8). Sin embargo, en algunas ocasiones las cenizas fueron dispersadas en dirección oeste, suroeste y sur del volcán Sabancaya (Figura 9), teniéndose reportes de caídas de ceniza en las localidades de Huambo y Huanca, ubicadas a 25 y 42 km de distancia del volcán, respectivamente (Figura 8 y 9).

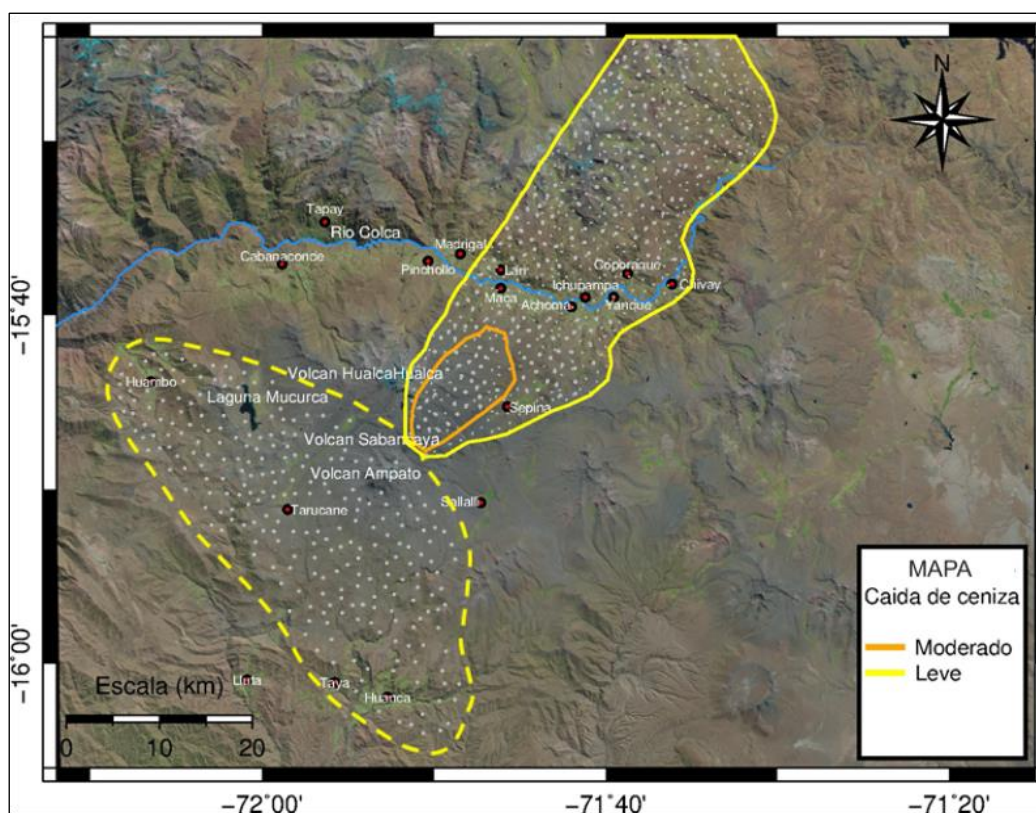


Figura 8.- Mapa de dispersión de ceniza del volcán Sabancaya para el periodo diciembre de 2020 a marzo de 2021. Obsérvese el predominio en dirección norte y noreste afectando estancias, bofedales, zonas de pastoreo y a los distritos de Achoma, Maca, Lari, Madrigal, Ichupampa, Yanque, Chivay, Coporaque y Tuti.

2.2.2. Monitoreo de anomalías térmicas

El monitoreo de puntos calientes en zonas volcánicas usando información del sistema satelital de "MIROVA" (Universidad de Torino, Italia), permitió observar durante la Fase 2 del periodo evaluado, el incremento de las detecciones térmicas que alcanzaron valores máximos de 46 MW y 57

MW (Megavatios), especialmente en el periodo del 15 febrero y 11 de marzo (Figura 10). Dichos valores indicarían la presencia de un cuerpo de lava cerca de la superficie del cráter del volcán Sabancaya

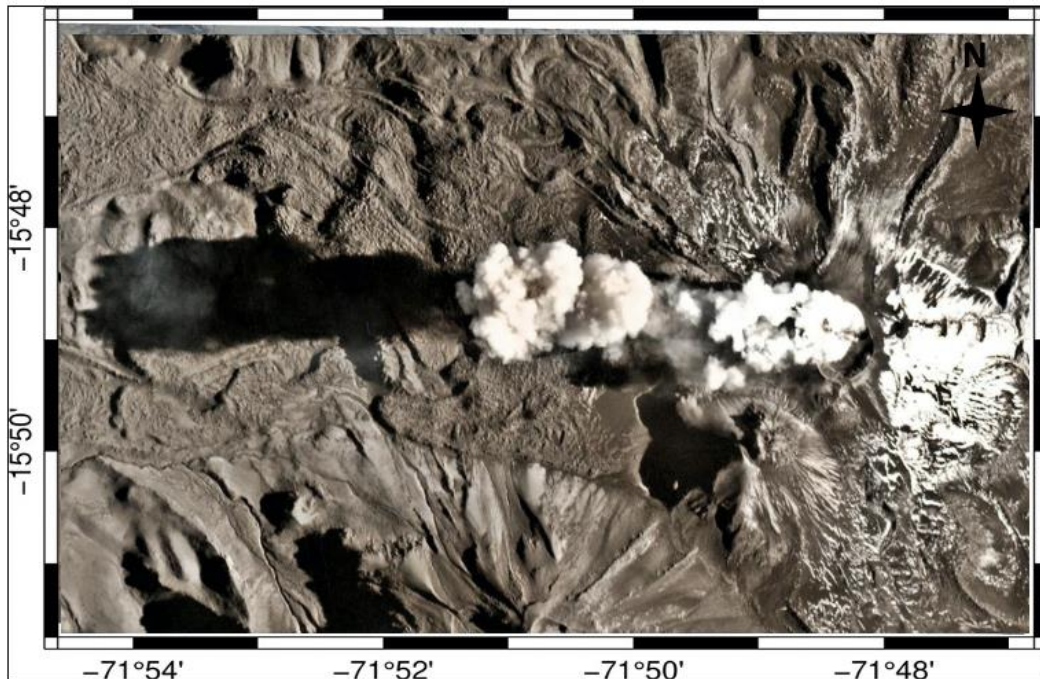


Figura 9.- Imagen satelital PlanetScope del 25 de febrero de 2021, en la cual se observa que la dispersión de ceniza del volcán Sabancaya es hacia el oeste afectando estancias, bofedales y zonas de pastoreo.

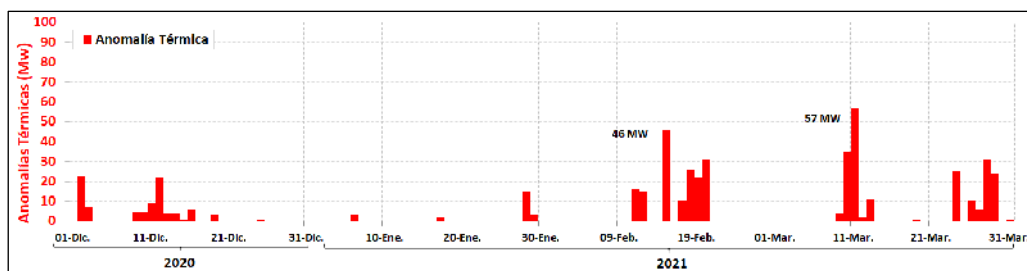


Figura 10.- Frecuencia de las anomalías térmicas detectadas en el volcán Sabancaya durante el periodo diciembre de 2020 a marzo de 2021.

2.2.3.- Monitoreo de anomalías en la morfología del volcán

El análisis multitemporal de la intensidad de imágenes de radar TerraSAR-X ha permitido disponer de una secuencia de imágenes del cráter del volcán Sabancaya para el periodo noviembre de 2020 a marzo de 2021 (Figura 11). Este tipo de imágenes satelitales de radar penetra nubes y

columnas eruptivas, y es independiente de las condiciones atmosféricas y de la emisión de materiales volcánicos, lo que permite apreciar las condiciones morfológicas del volcán.

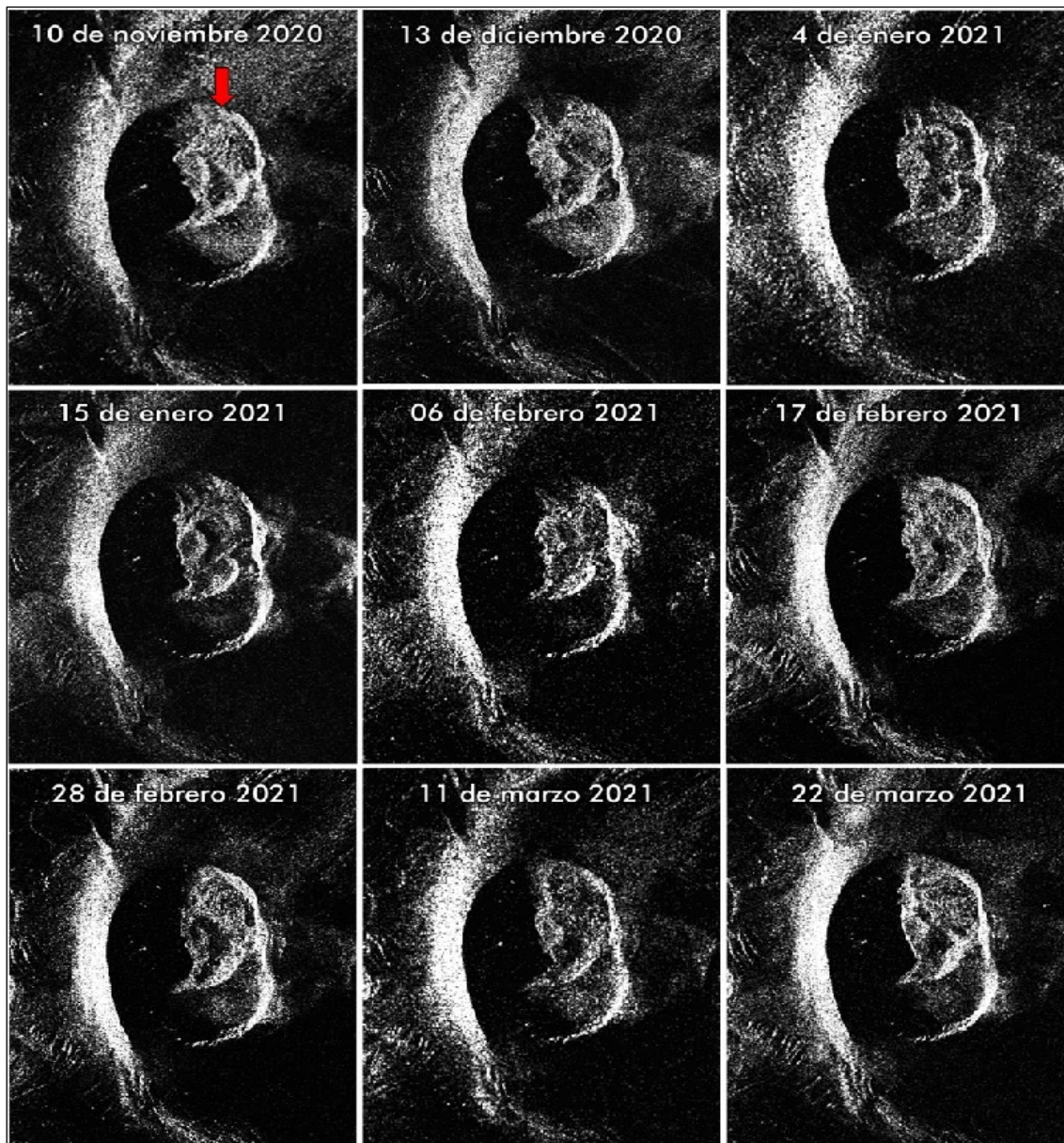


Figura 11.- Secuencia de imágenes TerraSAR-X del cráter del volcán Sabancaya. En la imagen del 10 de noviembre de 2020 se observa el segundo domo de lava (Flecha roja).

En la imagen del 10 de noviembre de 2020 (Figura 11), se observa la presencia del segundo domo de lava emplazado en el cráter del Sabancaya y en las imágenes del 13 de diciembre de 2020 al 6 de febrero de 2021 la aparente destrucción de dicho domo, lo cual se correlaciona con la

disminución del número de detecciones de anomalías térmicas y la consecuente disminución de la energía térmica irradiada por dicho cuerpo (sistema satelital MIROVA), ver (Figura 10). Asimismo, en las imágenes del 17 febrero al 22 de marzo, se observa un aparente levantamiento de la zona noreste del cráter, pero aún no se muestra la manifestación de un nuevo domo en la superficie del cráter.

Por otro lado, las imágenes satelitales Sentinel 2 del 15 de noviembre de 2020 al 25 de marzo 2021 (Figura 12), muestran la presencia de anomalías térmicas que ocupan la misma área en donde se tenía la presencia del domo antes indicado. Asimismo, en estas mismas áreas, según las imágenes de la Figura 11, se tendría la presencia de orificios o concavidades con presencia de lava.

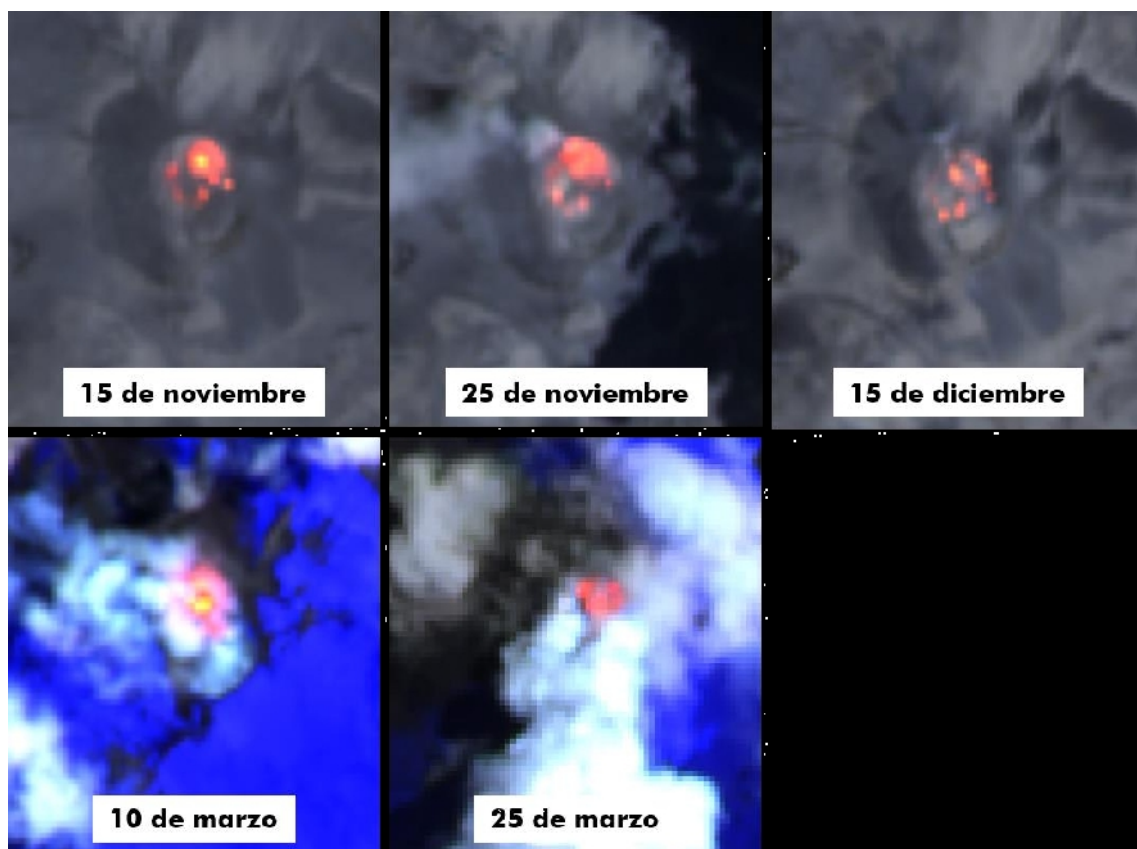


Figura 12.- Anomalías térmicas observadas a través de las imágenes satelitales Sentinel 2

3.- INTERPRETACIÓN GEOFÍSICA

Realizado el análisis y evaluación del comportamiento dinámico del volcán Sabancaya durante el periodo de diciembre de 2020 a marzo de 2021, usando información obtenida de la red geofísica de volcanes (monitoreo sísmico, geodésico, visual y satelital), se ha identificado que su actividad eruptiva ha desarrollado dos fases, tal como se observa en la Figura 13.

- **Fase 1**, corresponde a un nivel de actividad explosiva baja a moderada, con 39 explosiones por día (Figura 13A). Durante esta fase se observaron cambios en la superficie del cráter del Sabancaya, evidenciándose la destrucción del segundo domo de lava.
- **Fase 2**, se observó el incremento de las explosiones en un porcentaje de 53% con respecto a la Fase 1. Esta misma tendencia presentaron las señales sísmicas de tipo Largo Periodo e Híbridos (Figura 13 A, B y C) sugiriendo un nuevo ascenso de magma y el incremento de las explosiones. Por otro lado, las imágenes de radar TerraSAR-X del 17 y 28 febrero, así como del 11 y 22 de marzo de 2021, muestran un aparente levantamiento del sector noreste del cráter, correlacionado con las anomalías térmicas registradas por el satélite Sentinel 2 y relacionado con el emplazamiento de flujos de lava de poco volumen cerca de la superficie.

Finalmente, durante esta Fase 2, en la zona noreste del cráter del volcán Sabancaya, se habría desarrollado una zona de ventos u orificios por donde se estaría emitiendo de manera recurrente lava de poco volumen y generando la acumulación de material volcánico, tal como es visualizado en las imágenes de radar del 17 de febrero al 22 de marzo (Figura 11). En la

actualidad, no se descarta a futuro el emplazamiento de un nuevo domo de lava en esta misma zona del cráter del volcán.

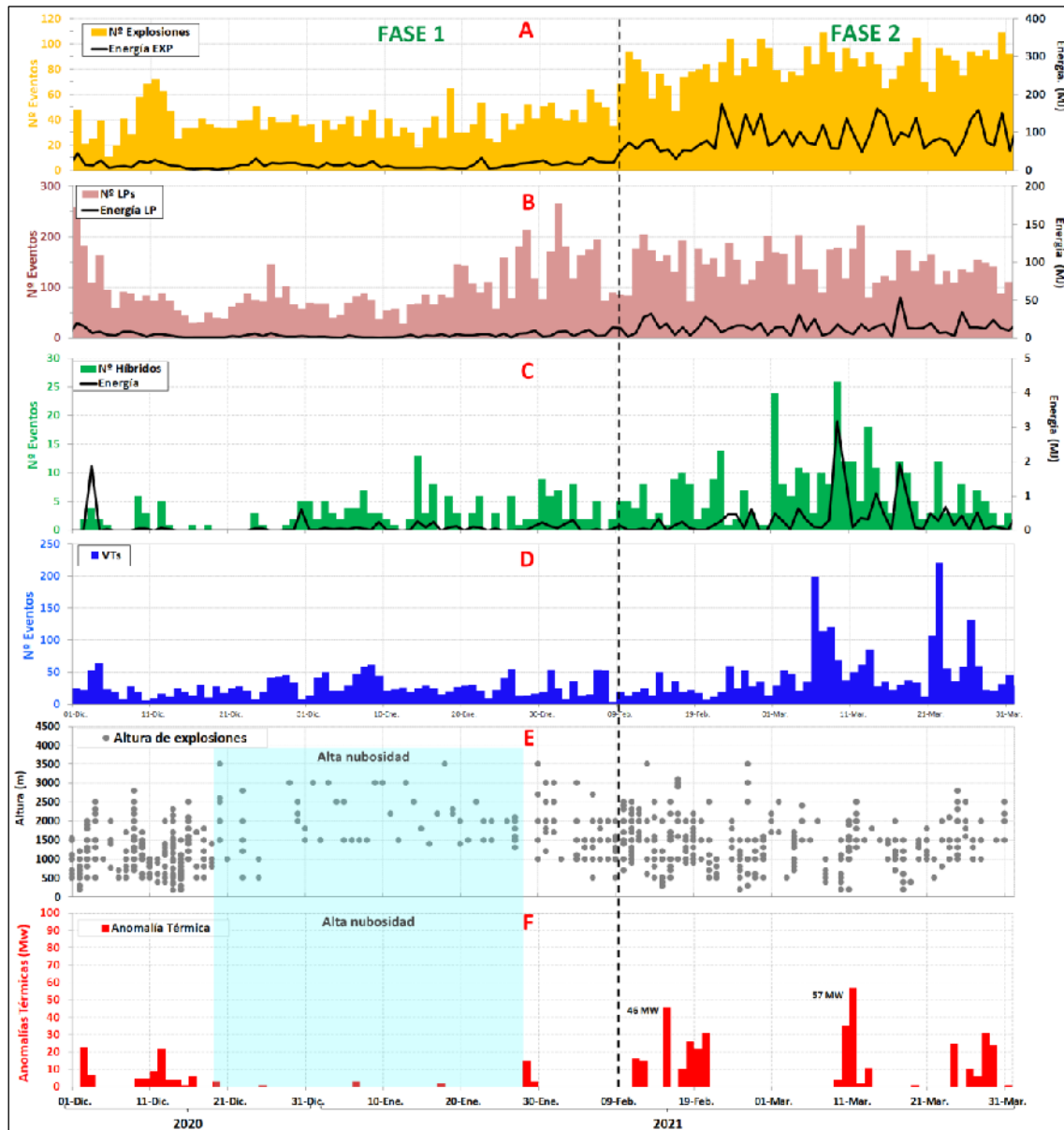


Figura 13.- Correlación entre los registros sísmicos (A, B, C y D), altura de las columnas eruptivas (F) y anomalías térmicas detectadas por el sistema MIROVA (G). La línea punteada, divide el periodo de análisis en dos fases (ver textos). La sombra celeste muestra el periodo de alta nubosidad.

4.- ESCENARIOS ERUPTIVOS FUTUROS

A continuación, se presentan los probables escenarios eruptivos que podrían presentarse en el volcán Sabancaya en base al comportamiento dinámico pasado, presente y al monitoreo geofísico continuo que realiza el IGP sobre esta estructura volcánica.

4.1.- Primer escenario: erupción vulcaniana (IEV 2)

Actualmente, el volcán Sabancaya viene generando explosiones que consecuentemente emiten cenizas, gases y, eventualmente, bloques balísticos que caen en áreas próximas al volcán, típico de una actividad eruptiva vulcaniana. En general, las columnas eruptivas de gases y cenizas han alcanzado alturas del orden de 3.5 km sobre el cráter del volcán. En este contexto, un nuevo aporte de magma podría generar el emplazamiento de un nuevo domo de lava en el cráter del volcán, trayendo consigo la ocurrencia de actividad explosiva moderada.

4.2.- Segundo escenario: actividad explosiva con crecimiento y colapso de domo

En la actualidad, en el cráter del volcán Sabancaya se identifica la presencia de una zona de ventos que estarían emitiendo lava y generando acumulación de material volcánico en la superficie del cráter y, que al mismo tiempo, se estaría destruyendo por las constantes explosiones. Sin embargo, no se descarta que a futuro se cuente con un nuevo domo en la zona noreste del cráter del Sabancaya. Este nuevo domo, podría generar flujos piroclásticos (flujos incandescentes de bloques y cenizas) que desbordarían del cráter para emplazarse principalmente al norte del volcán, pudiendo alcanzar distancias menores a 8 km y afectando únicamente terrenos de pastizales y bofedales.

CONCLUSIONES

- Durante el periodo de estudio, el proceso eruptivo del volcán Sabancaya se desarrolló en dos fases: La fase 1 se caracterizó por presentar hasta 39 explosiones por día, así como la destrucción del segundo domo de lava emplazado en noviembre de 2020. La fase 2 se caracterizó por el incremento de explosiones (84 por día) y el incremento de señales sísmicas asociadas al movimiento de fluidos volcánicos (magma y gases); además de altos valores de energía térmica irradiada y la aparente presencia de una zona de ventos (sector noreste del cráter) que estaría emitiendo flujos de lava de poco volumen que son posteriormente destruidos por las explosiones.
- Durante las explosiones, las columnas de gases y cenizas expulsados alcanzaron alturas de hasta 3.5 km sobre la cima del volcán, siendo sus cenizas dispersadas en dirección de los distritos de Achoma, Maca, Lari, Madrigal, Ichupampa, Yanque, Chivay, Coporaque y Tuti. En ocasiones, las cenizas también fueron dispersadas en dirección de las localidades de Huambo y Huanca ubicados en dirección oeste, suroeste y sur del volcán.
- Respecto a la actividad futura del volcán Sabancaya, se han identificado dos posibles escenarios eruptivos: a) escenario con mayor probabilidad de ocurrir y/o desarrollarse, corresponde a la ocurrencia de erupciones explosivas de tipo vulcanianas (IEV 2), con columnas de gases y cenizas que pueden superar los 3 km de altura. b) escenario menos posible, es el crecimiento de un nuevo domo de lava en el cráter que podría generar flujos piroclásticos (flujos incandescentes de bloques y cenizas) que desbordarían del cráter pudiendo alcanzar distancias menores a 8 km y afectando únicamente terrenos de pastizales y bofedales.

RECOMENDACIONES

A las autoridades de INDECI, CENEPRED, Gobiernos Regionales y Locales, ONGs, entre otros, se les solicita considerar las siguientes recomendaciones:

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

BIBLIOGRAFÍA

- Battaglia, J.; Got J. L.; Okubo, P. (2003). Location of long-period events below Kilauea Volcano using seismic amplitudes and accurate relative relocation, J. Geophys. Res., 108(B12), 2553.
- Deichmann, N., Ernst, J. (2009). Earthquake focal mechanisms of the induced seismicity in the 2006 and 2007 below Basel (Switzerland). Swiss J. Geosci. 102,457–466.
- Del Carpio, J., Rivera, M., Puma, N., Cruz, J., Torres J., Vargas, K., Lazarte, I., Machacca, R., y Concha, J., (2019). Evaluación geofísica del comportamiento dinámico actual del volcán Sabancaya, periodo enero-octubre de 2019. Repositorio Geofísico Nacional.
<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/4713>.
- Dorbath, L., Cuenot, N., Genter, A., Frogneux, M. (2009). Seismic response of the fractured and faulted granite to massive water injection at 5 km depth at Soultz-sous-Forêts (France). Geophys. J. Int.
- Hamaguchi, H. and A. Hasegawa., (1975). Recurrent Occurrence of the Earthquakes with Similar Wave Forms and Its Related Problems. Journal of the Seismological Society of Japan 28: 153-169.
- Hotovec-Ellis, A.J.; Jeffries, C. (2016). Near Real-time Detection, Clustering, and Analysis of Repeating Earthquakes: Application to Mount St. Helens and Redoubt Volcanoes – Invited, presented at Seismological Society of America Annual Meeting, Reno, Nevada, 20 Apr.
- Juncu, D., Arnadóttir, T., Geirsson, H., Guðmundsson, G. B., Lund, B., Gunnarsson, G. et al. (2018). Injection-induced surface deformation and seismicity at the Hellisheidi geothermal field, Iceland. J. Volcanol. Geotherm. Res.

- Passarelli, L.; Heryandoko, N.; Cesca, S.; Rivalta, E.; Rasmid Rohadi, S.; Milkereit, C. (2018). Magmatic or Not Magmatic? The 2015–2016 Seismic Swarm at the Long-Dormant Jailolo Volcano, West Halmahera, Indonesia. *Frontiers in Earth Science*, 6.
- Power, J. A.; Lalla, D. J. (2010). Seismic observations of Augustine Volcano, Alaska; 1970–2007, in *The 2006 Eruption of Augustine Volcano, Alaska*, edited by J. A. Power, M. L. Coombs, and J. T. Freymueller, U.S. Geol. Surv. Prof. Pap., 1769, 3–40.
- Puma, N., Rivera, M., Tavera, H., Centeno, R., Machacca, R., Vargas, K., Lazarte, I., Velarde, L., Del Carpio, J. (2020)- Evaluación geofísica del comportamiento dinámico del volcán Sabancaya (febrero-noviembre de 2020). Repositorio Geofísico Nacional, <https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/4895>.
- Roman, D. C.; Power, J. A. (2011). Mechanism of the 1996–97 non-eruptive volcano-tectonic earthquake swarm at Iliamna Volcano, Alaska. *Bulletin of Volcanology*, 73(2), 143–153.
- Rowe, C. A.; Thurber C. H.; White, R. A. (2004). Dome growth behavior at Soufriere Hills Volcano, Montserrat, revealed by relocation of volcanic event swarms, 1995–1996, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 134(3), 199–221.
- Saccorotti, G., Lokmer, I., Bean C. J., Di Grazia, G., Patane, D. (2007). Analysis of sustained long-period activity at Etna Volcano, Italy, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 160(3–4), 340–354.
- Thelen, W., Malone, S., & West, M. (2011). Multiplets: Their behavior and utility at dacitic and andesitic volcanic centers. *Journal of Geophysical Research*, 116 (B8).
- White, R., McCausland, W. (2016). Volcano-tectonic earthquakes: a new tool for estimating intrusive volumes and forecasting eruptions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 309 (2016) 139–155, 17 p.