



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú - IGP



Explosión volcánica en el Sabancaya acompañada de la expulsión de cenizas y gases

IGP/CENVUL-SAB /IV 2020-0001

Evaluación geofísica del comportamiento dinámico actual del volcán Sabancaya, periodo 1 de diciembre de 2019-2 de febrero de 2020

Fecha: febrero de 2020

2020

Instituto Geofísico del Perú

Presidente Ejecutivo: Hernando Tavera

Director Científico: Danny Scipión

Autores:

José Alberto Del Carpio y Marco Rivera

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

Este informe ha sido producido por el Instituto Geofísico del Perú

Calle Badajoz 169 Mayorazgo

Teléfono: 51-1-3172300

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	4
CAPÍTULO I: CONTEXTO GENERAL	6
1.1. OBJETIVO.....	6
1.2. UBICACIÓN.....	6
1.3. RED DE MONITOREO VOLCÁNICO EN EL VOLCÁN SABANCAYA	6
CAPÍTULO II: CARACTERÍSTICAS DE LA ACTIVIDAD ERUPTIVA DEL VOLCÁN SABANCAYA, PERIODO ENERO DE 2020	8
2.1. MONITOREO SÍSMICO	8
2.2. MONITOREO GEODÉSICO	13
2.3. MONITOREO VISUAL.....	14
2.4. MONITOREO CON TÉCNICAS DE SENSORES REMOTOS	15
2.4.1. <i>Imágenes satelitales</i>	15
2.4.2. <i>Anomalías térmicas-sistema MIROVA</i>	16
2.4.3. <i>Imágenes Radar (dInSAR)</i>	17
CAPITULO III: DISCUSIÓN: ACTIVIDAD SÍSMICA VERSUS ACTIVIDAD VOLCÁNICA.....	19
CAPÍTULO IV: PELIGROS VOLCÁNICOS Y ESCENARIOS ERUPTIVOS EN EL VOLCÁN SABANCAYA.....	21
3.1. PELIGROS VOLCÁNICOS.....	21
3.1.1. <i>Peligros por caídas de piroclastos</i>	21
3.1.2. <i>Peligros por lahares (flujos de lodo)</i>	21
3.1.3. <i>Peligros por flujos de lava</i>	22
3.1.4. <i>Peligros por flujos piroclásticos</i>	22
3.2. ESCENARIOS ERUPTIVOS FUTUROS	23
3.2.1. <i>Primer escenario: erupción vulcaniana (IEV 1-2)</i>	23
3.2.2. <i>Segundo escenario: actividad explosiva con crecimiento y colapso de domo</i>	23
CONCLUSIONES	25
RECOMENDACIONES.....	26
BIBLIOGRAFÍA	27

INTRODUCCIÓN

El Sabancaya es considerado como el segundo volcán más activo del sur peruano, edificado al menos durante los últimos 8000 años. Este volcán es parte del complejo volcánico Ampato-Sabancaya (Samaniego et al., 2016). La última erupción del volcán Sabancaya ocurrió entre los años 1990 y 1998 (Gerbe y Thouret, 2004), la cual tuvo un Índice de Explosividad Volcánica (IEV) igual a 2 y 3, en una escala que va del 0 al 8. Luego de casi 15 años de calma, en febrero de 2013, el volcán Sabancaya empezó a registrar emisiones de gases. Posteriormente, en noviembre de 2016, se inicia un nuevo proceso eruptivo que perdura hasta la actualidad.

El Sabancaya se ubica a 18 km al sur del valle del Colca, una zona con presencia de fallas activas, volcanes y recurrente actividad sísmica que afecta diversos poblados. Los principales sistemas de fallas evidenciados en el valle del Colca son Ichupampa y Huanca, al noreste y suroeste del Sabancaya, respectivamente; estas fallas tienen una orientación NO-SE (Sébrier et al., 1985; Huamán, 1995). Un segundo sistema de fallas es Trigal y Solarpampa, de orientación E-O, paralelo al valle del Colca y localizado al oeste de la localidad de Cabanaconde. Un tercer sistema es la falla de Sepina que tiene una orientación NE-SO, visible al noreste del Sabancaya. Durante los últimos años y meses, se viene registrando una recurrente actividad sísmica, ligada a la actividad de las fallas y al proceso eruptivo del volcán Sabancaya.

Cabe mencionar que en un radio de 30 km alrededor del volcán Sabancaya habitan alrededor de 30 000 personas en los distritos de Chivay, Coporaque, Ichupampa, Achoma, Lari, Madrigal, Maca, Cabanaconde, Tapay, Huanca, Lluta y Huambo, quienes además vienen siendo afectadas por las cenizas emitidas por dicho volcán.

El Instituto Geofísico del Perú (IGP), a través del Centro Vulcanológico Nacional (CENVUL), realiza el monitoreo permanente del volcán Sabancaya mediante redes geofísicas, geodésicas y visuales instaladas en zonas aledañas al volcán. La información es recepcionada en tiempo real en la sede Arequipa, para luego ser procesada y emitida de

manera oportuna a través de alertas, reportes, boletines e informes vulcanológicos a las autoridades de los diversos niveles de gobierno para la toma de decisiones.

El presente informe detalla el tipo de comportamiento ha registrado el volcán Sabancaya entre el 1 de diciembre de 2019 y el 2 de febrero de 2020, con base en el monitoreo permanente que efectúa el CENVUL respecto al análisis y procesamiento de la información sismovolcánica, geodésica, visual y de sensores remotos. Asimismo, detalla los tipos de peligros a los que está expuesta la población del valle del Colca y los escenarios eruptivos futuros del Sabancaya.

CAPÍTULO I: CONTEXTO GENERAL

1.1. OBJETIVO

Mostrar el tipo de comportamiento dinámico que viene presentando el volcán Sabancaya en la actual erupción, específicamente en el periodo del 1 de diciembre de 2019 al 2 de febrero de 2020.

1.2. UBICACIÓN

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

1.3. RED DE MONITOREO VOLCÁNICO EN EL VOLCÁN SABANCAYA

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

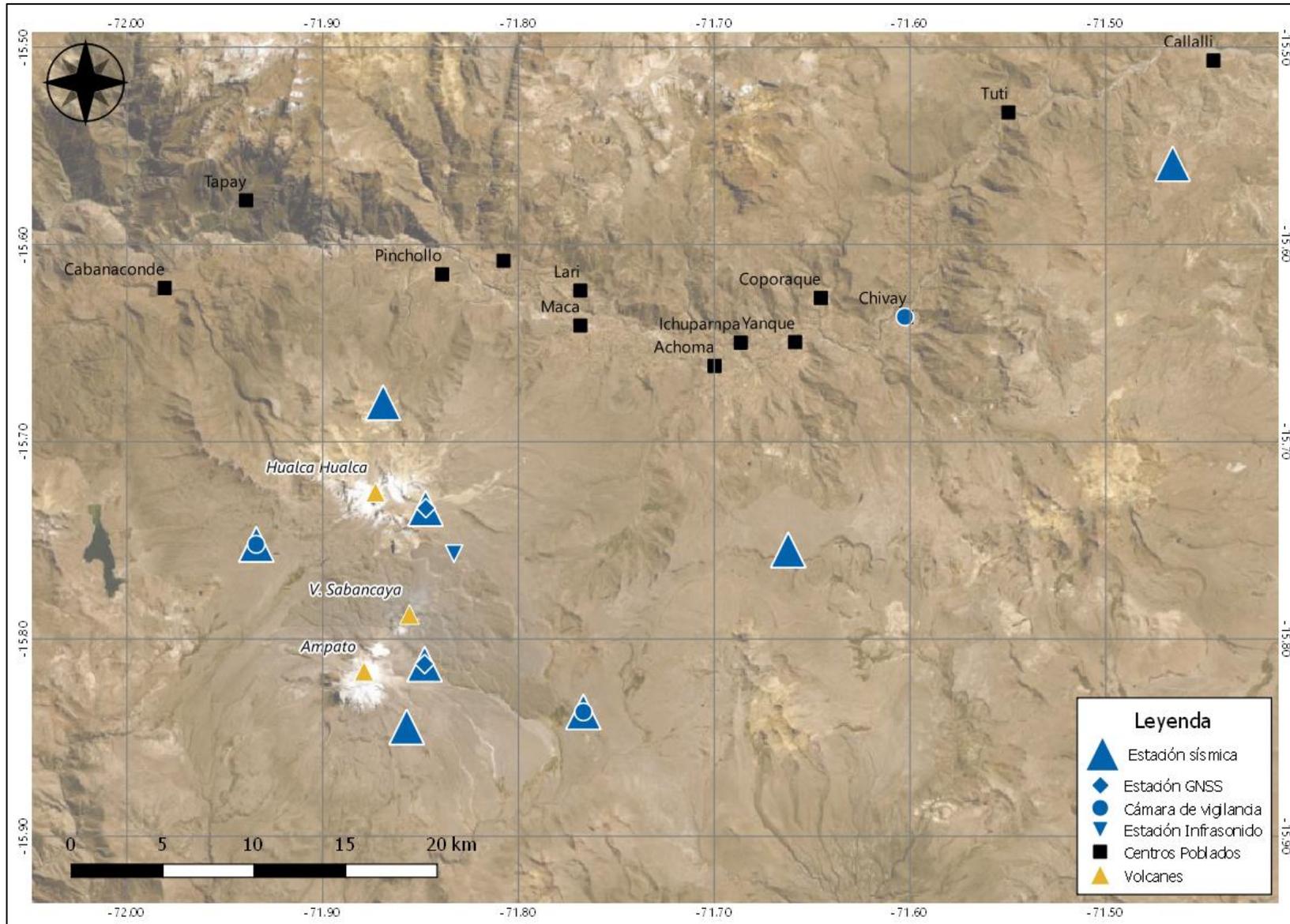


Figura 1.- Red de monitoreo volcánico instalada por el IGP en el volcán Sabancaya, la cual transmite información en tiempo real al CENVUL en Arequipa.

CAPÍTULO II: CARACTERÍSTICAS DE LA ACTIVIDAD ERUPTIVA DEL VOLCÁN SABANCAYA, PERIODO ENERO DE 2020

El volcán Sabancaya, desde el inicio de su actividad eruptiva en noviembre de 2016, viene presentando una actividad explosiva moderada, con la ocurrencia de explosiones volcánicas y la consecuente emisión de ceniza que, en ocasiones, alcanzan alturas de hasta 4 km sobre la cima del volcán. Desde el año 2017, se puso de manifiesto el emplazamiento de un domo (cuerpo de lava) al interior de su cráter. El crecimiento de este domo fue asociado en 2019 a la ocurrencia de hasta tres enjambres sísmicos ocurridos en los meses de abril, mayo y agosto de ese mismo año. Cabe mencionar que la tasa de mayor crecimiento del domo se registró en el mes de octubre de 2019 (Puma y Del Carpio, 2019).

Entre octubre y noviembre de 2019, el número promedio de explosiones se mantuvo a razón de 20 a 30 eventos por día. Sin embargo, desde el 15 de diciembre de ese año hasta el 2 de febrero de 2020, la actividad explosiva disminuyó a valores promedio de 8 explosiones diarias.

A continuación, se detallan los resultados obtenidos mediante el análisis de la información geofísica, geodésica, visual y por sensores remotos evaluada entre el 1 de diciembre de 2019 y el 2 de febrero de 2020.

2.1. MONITOREO SÍSMICO

La actividad sísmica del volcán Sabancaya registrada durante el mes de enero de 2020 no muestra cambios significativos. En efecto, la actividad explosiva se ha mantenido casi constante, sin mucha variación durante el mes de enero, con el registro promedio de 8 eventos por día (Figura 2A). Por otro lado, el registro de los sismos asociados al ascenso de magma (tipo Híbrido) muestra valores similares a los observados desde la segunda quincena de diciembre de 2019, es decir, a razón de 3 eventos diarios (Figura 2B). Asimismo, la actividad sísmica de tipo Largo Periodo (LP), asociada al movimiento de fluidos magmáticos, se mantiene constante (64 eventos por día) (Figura 2C).

No se han registrado señales sísmicas que podrían indicar el ascenso de magma desde zonas muy profundas (>10 km). Con respecto a los eventos sísmicos de tipo Volcano-Tectónico, (VT) asociados a ruptura de rocas, estos muestran un incremento notorio entre el día 25 al 30 de enero, con un máximo de 310 eventos por día (Figura 2D).

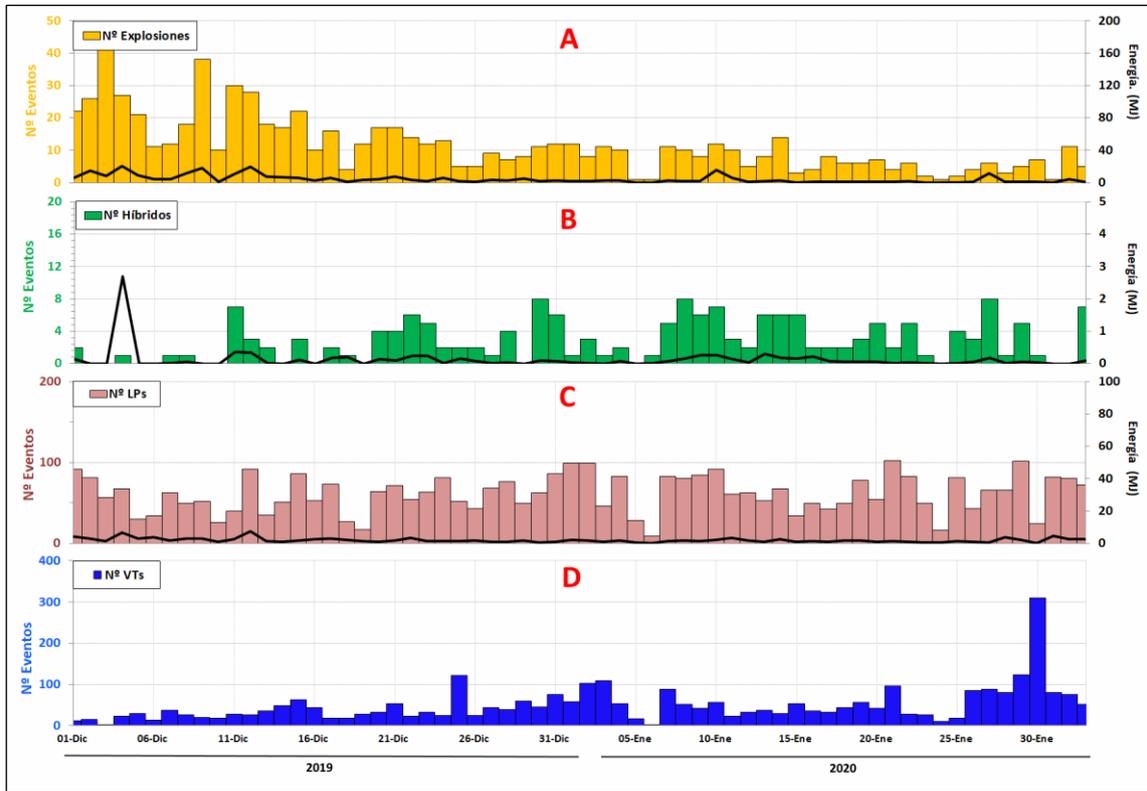


Figura 2.- Número de eventos sísmicos (barras de color) y el nivel de energía (línea negra) registrados en el volcán Sabancaya para el periodo del 1 de diciembre de 2019 al 2 de febrero de 2020.

Durante el mes de enero, se han registrado sismos recurrentes a manera de enjambres en tres zonas aledañas al volcán Sabancaya (tabla 1, Figura 1). La primera de ellas, denominada "zona A", se localizó a 4 km al sureste el cráter, donde se registró sismicidad entre el 1 al 3 de enero con una magnitud máxima de M3.5. En la "zona B", localizada a 12 km al sureste del Sabancaya, se registró sismicidad entre el 19 al 21 de enero con una magnitud máxima de M3.8. En la tercera zona, denominada "zona C", localizada a 17 km al noreste del volcán, a 4 km y 5 km de Pinchollo y Maca, respectivamente, se registró un enjambre de sismos entre el 25 de enero hasta el 1 de febrero, con magnitudes inferiores a M3.9 (Figura 3). Hasta la fecha de emisión de este informe aún se registra esporádica sismicidad en esta zona.

FECHA	HORA (UTC)	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	MAGNITUD (ML)
03/01/2020	1:15:19	-15.85	-71.75	-7740	3.1
03/01/2020	1:20:50	-15.81	-71.82	-7780	3.5
03/01/2020	1:23:58	-15.81	-71.81	-7970	3.3
03/01/2020	7:35:40	-15.81	-71.82	-8270	3.1
03/01/2020	7:41:39	-15.78	-71.80	-5610	3.2
03/01/2020	8:26:40	-15.72	-71.83	-2270	3.1
04/01/2020	1:24:43	-15.64	-71.59	-6000	3.4
08/01/2020	3:00:17	-15.89	-71.75	-11140	3.0
09/01/2020	11:57:34	-15.67	-71.87	-14270	3.0
10/01/2020	22:32:17	-15.67	-71.87	-2380	3.0
12/01/2020	7:12:10	-15.68	-72.04	-6180	3.1
12/01/2020	13:22:55	-15.75	-72.05	-15670	3.0
13/01/2020	10:35:47	-15.68	-72.11	-21260	3.0
15/01/2020	11:02:24	-15.82	-71.83	-8710	3.2
16/01/2020	3:51:14	-15.66	-71.88	-3350	3.1
18/01/2020	23:02:17	-15.61	-71.81	-2950	3.0
19/01/2020	0:09:03	-15.63	-71.56	-6230	3.2
19/01/2020	4:12:24	-15.87	-71.77	-9110	3.1
19/01/2020	10:11:47	-15.66	-71.96	-3810	3.0
19/01/2020	10:16:11	-15.68	-71.94	-4170	3.1
20/01/2020	8:12:38	-15.90	-71.76	-6050	3.1
20/01/2020	8:24:03	-15.86	-71.77	-7990	3.8
20/01/2020	23:54:45	-15.85	-71.76	-7940	3.4
21/01/2020	1:01:20	-15.86	-71.77	-7240	3.5
21/01/2020	10:22:06	-15.86	-71.78	-6540	3.1
21/01/2020	11:43:52	-15.88	-71.77	-8700	3.0
21/01/2020	12:33:47	-15.46	-71.75	-160	3.0
24/01/2020	22:42:28	-15.64	-71.80	-6000	3.2
26/01/2020	22:22:39	-15.64	-71.82	-6730	3.3
27/01/2020	0:49:11	-15.64	-71.83	-7390	3.2
27/01/2020	1:27:38	-15.63	-71.82	-6470	3.2
27/01/2020	2:15:33	-15.64	-71.82	-6540	3.1
27/01/2020	4:14:33	-15.64	-71.82	-5970	3.3
27/01/2020	19:11:54	-15.64	-71.83	-8130	3.1
27/01/2020	22:16:06	-15.74	-71.91	-5680	3.0
28/01/2020	3:01:11	-15.64	-71.83	-7850	3.4
28/01/2020	3:31:37	-15.64	-71.82	-6030	3.3
28/01/2020	14:55:32	-15.64	-71.82	-5980	3.9
28/01/2020	15:12:04	-15.64	-71.82	-6210	3.1
28/01/2020	16:25:50	-15.64	-71.80	-3480	3.3
28/01/2020	17:55:17	-15.64	-71.82	-5520	3.3
28/01/2020	20:06:49	-15.64	-71.82	-6050	3.4

28/01/2020	20:12:18	-15.63	-71.83	-5360	3.4
28/01/2020	22:56:27	-15.64	-71.81	-3490	3.2
29/01/2020	1:08:48	-15.64	-71.82	-5310	3.1
29/01/2020	14:46:37	-15.64	-71.82	-5420	3.6
29/01/2020	18:13:17	-15.65	-71.80	-3630	3.3

Tabla 1.- Sismicidad con magnitudes mayores a M3.0 localizada en la zona del volcán Sabancaya y sus alrededores.

A pesar del registro de esta sismicidad concentrada en tres zonas, dos en inmediaciones del volcán Sabancaya y una a 17 km al noroeste del Sabancaya, no se ha observado hasta la fecha de publicación de este informe cambios en los niveles de actividad eruptiva del Sabancaya.

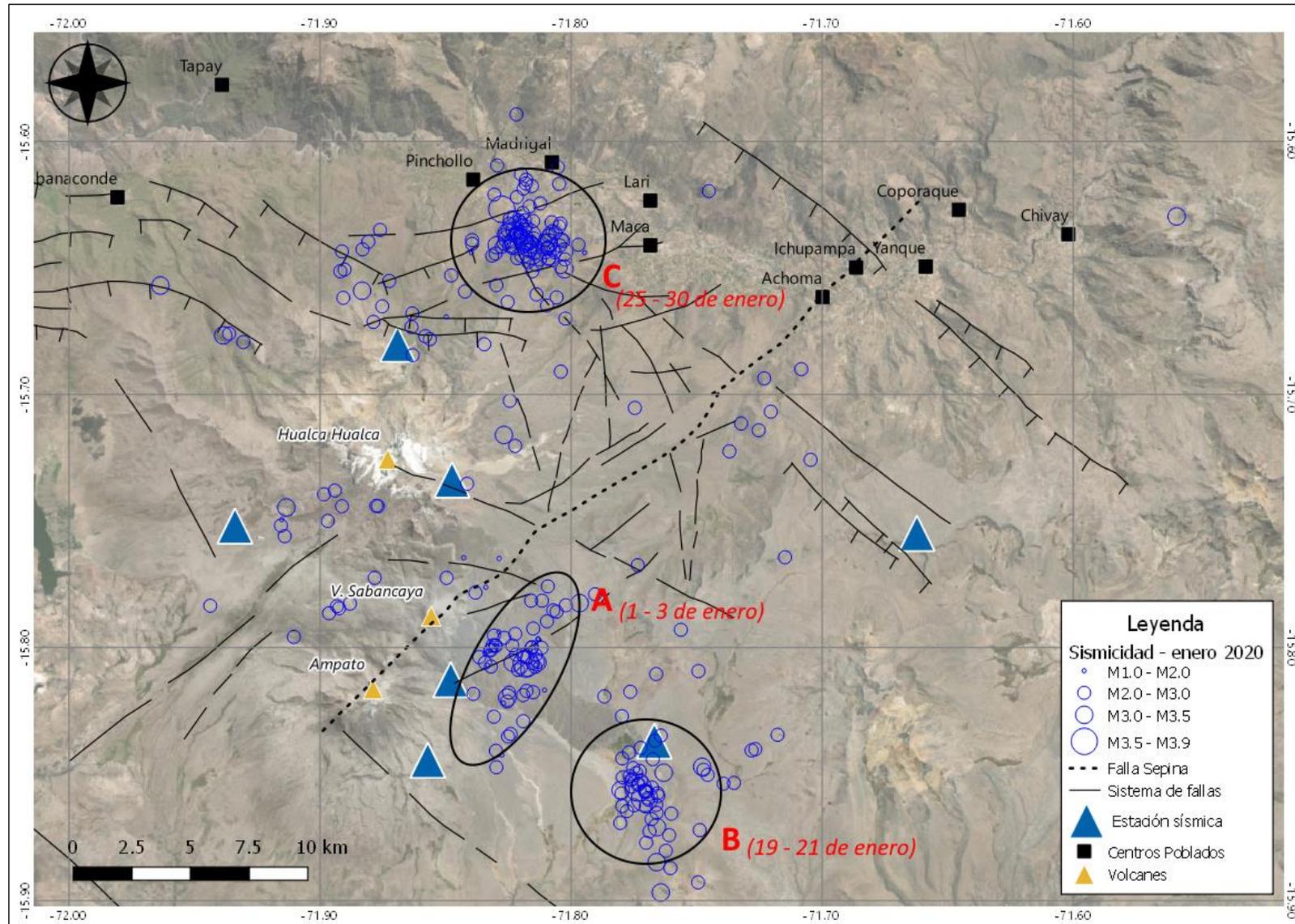


Figura 3.- Localización de eventos sísmicos registrados durante enero de 2020 en el volcán Sabancaya y áreas aledañas. Las señales sísmicas más importantes corresponden a los enjambres A, B y C, distribuidos a 4 km, 12 km y 17 km de distancia del volcán Sabancaya, respectivamente. Los triángulos azules son las estaciones sísmicas que conforman la red de monitoreo del Sabancaya.

2.2. MONITOREO GEODÉSICO

En el volcán Sabancaya operan dos estaciones GPS: una denominada "SB01", instalada el 15 de diciembre de 2018, ubicada a 6 km al norte del volcán Sabancaya; la otra denominada "SB02", instalada el 16 de diciembre de 2019, ubicada a 3 km al sureste del volcán Sabancaya (Figura 1). Los resultados de las mediciones efectuadas haciendo uso de ambos equipos son presentados en la figura 4.

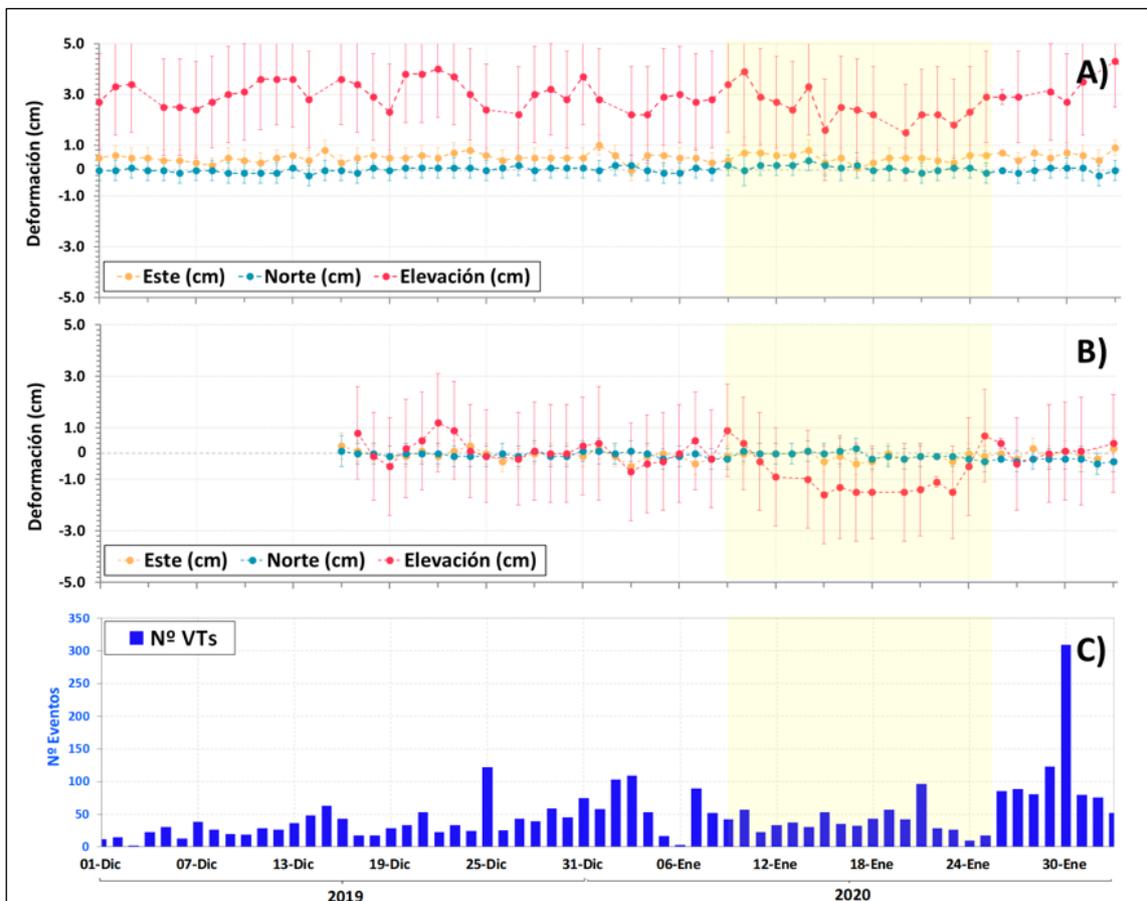


Figura 4.- Correlación entre series de tiempo GPS y eventos sísmicos de tipo Volcano-Tectónico (VT) registrados en alrededores del volcán Sabancaya entre el 1 de diciembre de 2019 y el 2 de febrero de 2020: A) Medidas de deformación de la estación GPS "SB01", ubicada a ~6 km al norte del cráter; B) Medidas de deformación de la estación GPS "SB02", localizada a ~3 km al sureste del cráter y C) eventos de tipo Volcano-Tectónico.

Las series de tiempo de ambas estaciones, que utilizan las efemérides del IGS, han permitido identificar ligeros procesos de subsidencia durante el periodo del 9 al 25 de enero de 2020 (zona sombreada en amarillo), evidenciados solamente en las componentes

verticales (elevación). En la estación SB01 se ha calculado un desplazamiento negativo de 1 cm (Figura 4A), mientras que la estación SB02 (la más cercana al volcán) muestra un desplazamiento negativo que alcanza 1.8 cm (Figura 4B). En las componentes horizontales (este y norte) se observa una tendencia estable, sin deformación aparente. Esta deflación podría indicar la ausencia de aporte de magma al sistema volcánico durante el 9 y 25 de enero. Cabe indicar que inmediatamente después del 25 de enero continuaron registrándose sismos de tipo Volcano-Tectónicos (VT) con magnitudes menores a M3.9, cercanos a la localidad de Pinchollo (Figura 4C).

2.3. MONITOREO VISUAL

La actividad eruptiva actual viene siendo registrada con la ayuda de 3 cámaras de vigilancia permanentes, instaladas en los sectores noreste (Chivay), sureste (Cajamarca) y noroeste (Mucurca) del volcán Sabancaya (Figura 1).

Durante enero de 2020, las explosiones del volcán Sabancaya generaron columnas de gases y cenizas de hasta 2800 m de altura sobre la cima del volcán (Figura 5); las cenizas fueron dispersadas a poco más de 15 km en dirección suroeste, oeste y, eventualmente, al norte del Sabancaya. Además, en ocasiones se observaron solo las emisiones de gases de color azulino (gases magmáticos). La nubosidad presentada en algunos días del mes de enero en el Sabancaya impidió observar las emisiones.

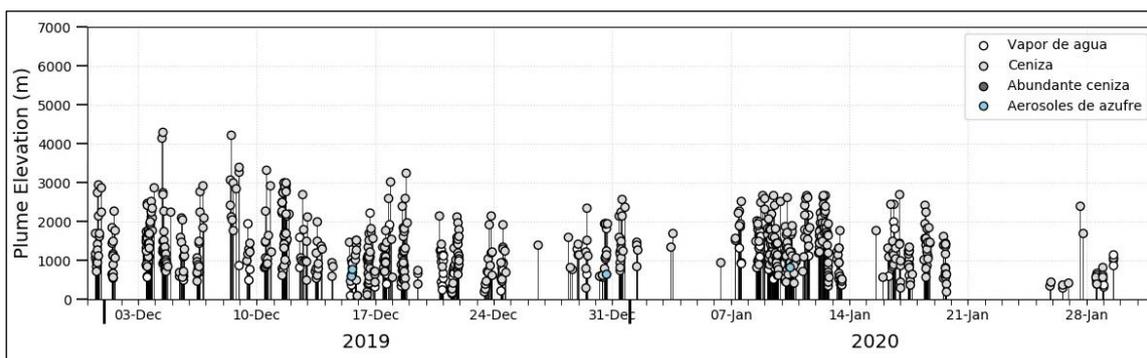
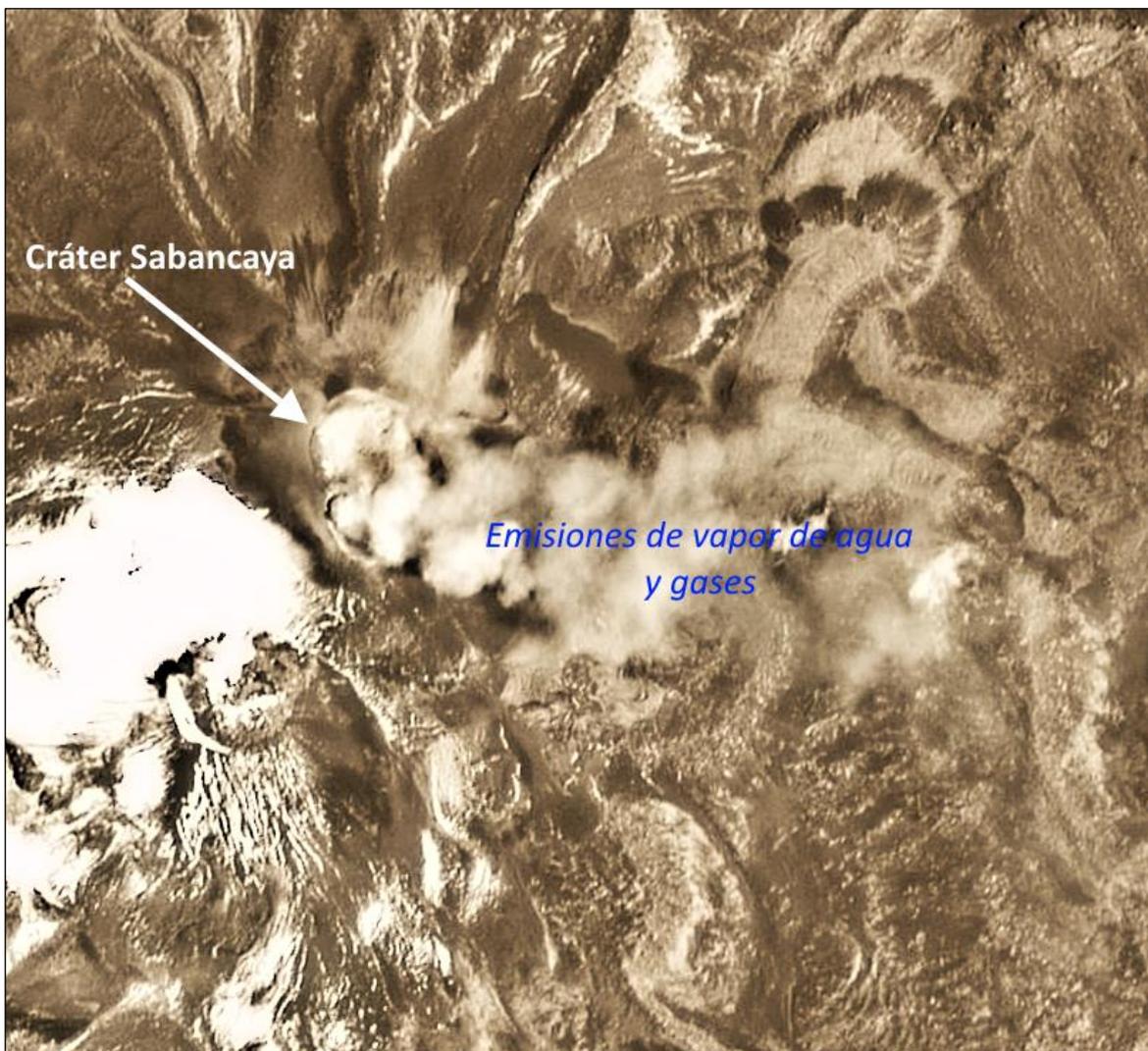


Figura 5.- Características y altura de las columnas de gases y cenizas emitidos por el volcán Sabancaya durante el periodo del 1 de diciembre de 2019 al 2 de febrero de 2020.

2.4. MONITOREO CON TÉCNICAS DE SENSORES REMOTOS

2.4.1. Imágenes satelitales

El volcán Sabancaya también es monitoreado a través del análisis de imágenes satelitales *PlanetScope*. Durante enero de 2020, se ha observado un incremento de las emisiones de gases magmáticos y vapor de agua que han sido dispersadas a más de 15 km de distancia del volcán. La nubosidad presentada en algunos días de enero limitó el registro satelital de las características de la actividad volcánica.



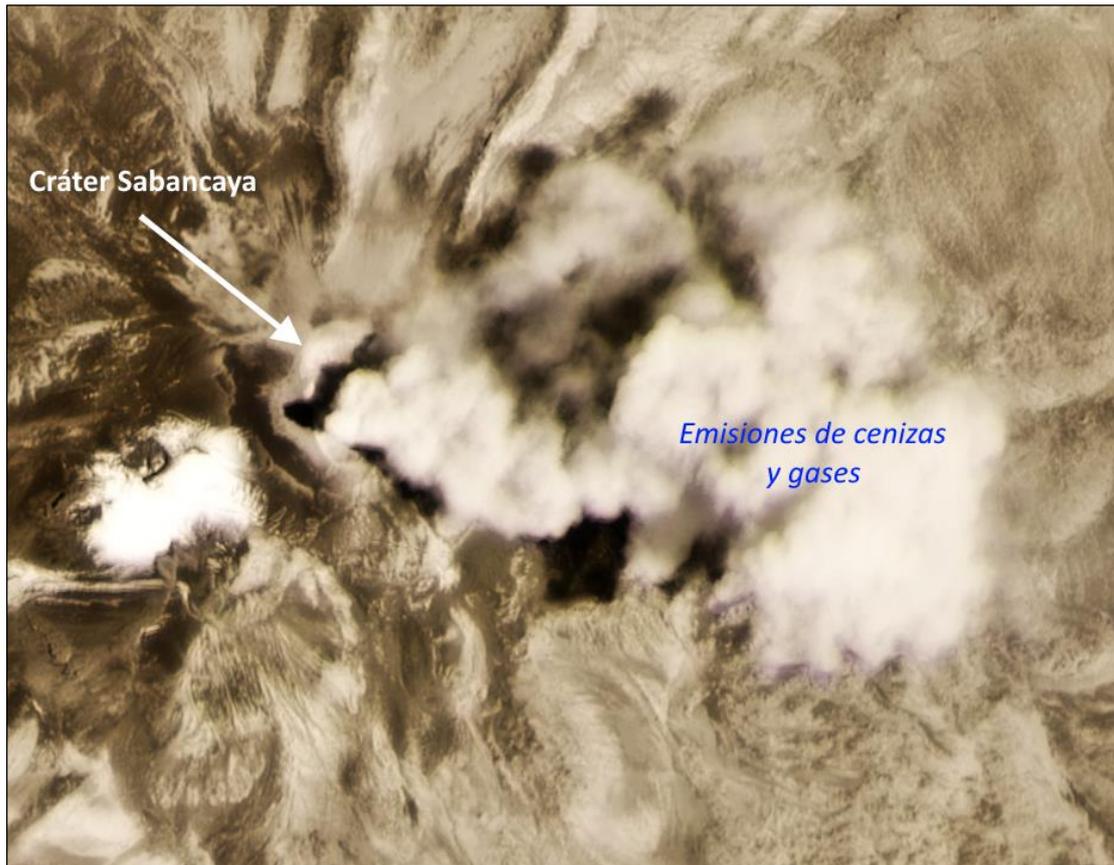


Figura 6.- Imágenes satelitales PlanetScope correspondientes al 7 de enero (imagen superior) y 8 de enero (imagen inferior) de 2020, las que muestran el tipo de las emisiones de gases y ceniza.

2.4.2. Anomalías térmicas-sistema MIROVA

Mediante el sistema satelital de monitoreo de puntos calientes en zonas volcánicas "MIROVA", se han registrado en enero de 2020 un total de 15 anomalías térmicas con valores de entre 1 y 5 Megavatios (MW) (Figura 7), lo cual muestra un descenso del 70 % con respecto al número de detecciones registradas entre octubre y diciembre del año 2019. Debemos precisar que la nubosidad presente en la zona del volcán en esta época del año no permitió el registro de más anomalías térmicas.

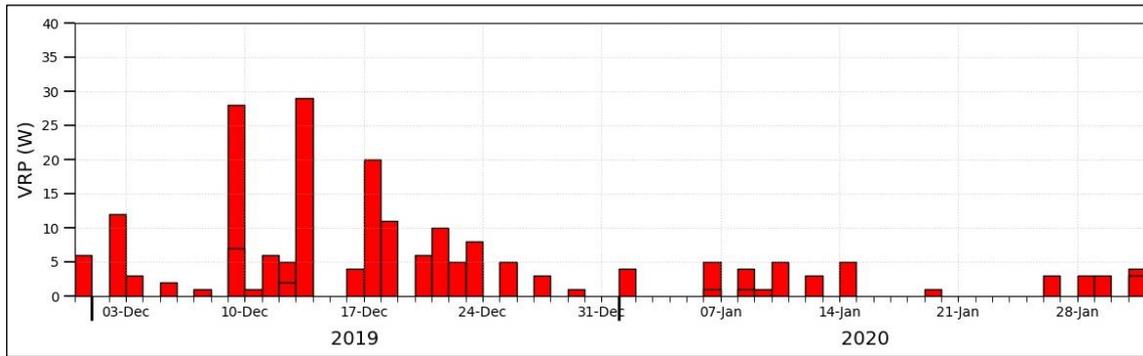


Figura 7.- Características de las anomalías térmicas detectadas en el volcán Sabancaya durante el periodo del 1 de diciembre de 2019 al 2 de febrero de 2020.

2.4.3. Imágenes Radar (dInSAR)

Se ha realizado el procesamiento y análisis de imágenes de radar de apertura sintética (SAR) de tipo Sentinel 1 de la Agencia Europea Espacial, mediante el uso de la imagen más reciente de fecha 28 de enero de 2020. Esta ha sido comparada con imágenes del 21 de enero de 2019, 11 de diciembre de 2019 y 16 de enero de 2020, todas ellas captadas en la órbita ascendente del satélite.

El interferograma obtenido (Figura 8) a partir de la comparación de imágenes del 11 de diciembre de 2019 y del 28 de enero de 2020 no muestra deformación en la zona del volcán Sabancaya ni en el área del valle del Colca, donde ocurrieron los sismos registrados en enero de 2020.

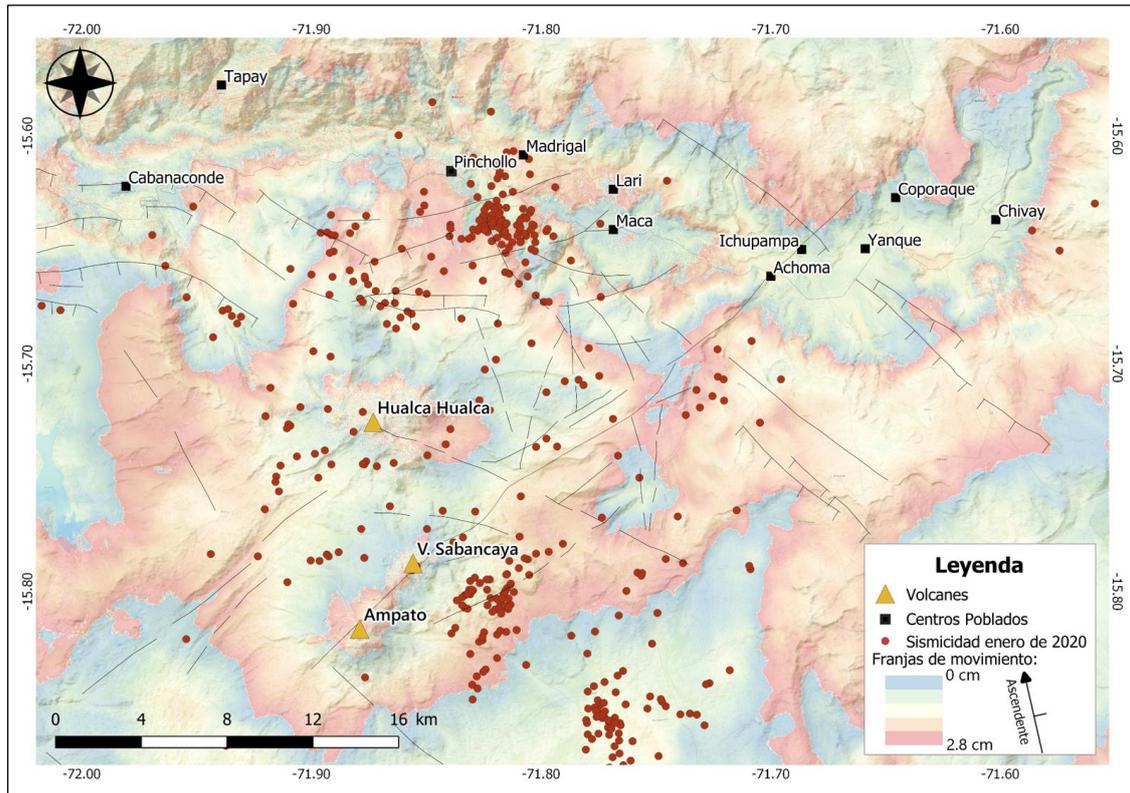


Figura 8.- Interferograma generado a partir de imágenes Sentinel-1B de los días 11 de diciembre de 2019 y 28 de enero de 2020 que fueron captadas en la órbita ascendente del satélite. Se muestra que no existe deformación en la zona del volcán Sabancaya en el periodo citado.

CAPITULO III: DISCUSIÓN: ACTIVIDAD SÍSMICA VERSUS ACTIVIDAD VOLCÁNICA

En enero de 2020 se registraron sismos recurrentes en el valle del Colca. Este lugar es considerado como una de las áreas de mayor actividad tectónica del país debido a la presencia de fallas activas. Cabe mencionar que a 18 km al sur del Colca se ubica el volcán Sabancaya, el cual, desde 2016 hasta la actualidad, viene presentando actividad explosiva moderada y generando actividad sismovolcánica, cuyos epicentros se concentran bajo el volcán y en áreas aledañas.

A través de sus 7 estaciones sísmicas instaladas en inmediaciones del volcán Sabancaya, el IGP localizó en enero de 2020 tres zonas principales de sismicidad recurrente (enjambres sísmicos): la primera de ellas fue detectada a 4 km al sureste del cráter, en una zona denominada "zona A", donde se registró sismicidad entre el 1 al 3 de enero con una magnitud máxima de M3.5. En la "zona B", localizada a 12 km al sureste del Sabancaya, se registró sismicidad entre el 19 al 21 de enero, con una magnitud máxima de M3.8. En la tercera zona, denominada "zona C" y localizada a 17 km al noreste del volcán, a 4 y 5 km de Pinchollo y Maca, respectivamente, se registró un enjambre de sismos desde el 25 de enero hasta la fecha con magnitudes inferiores a M3.9 (Figura 3).

Por otro lado, las señales sísmicas registradas por las estaciones de monitoreo volcánico fueron analizadas; no se apreciaron cambios en el número y energía de los eventos durante los últimos 50 días. Estas señales corresponden a eventos sísmicos de tipo Volcano-Tectónico (VT) asociados a ruptura de rocas. Cabe mencionar que estos mostraron un incremento notorio entre el 25 al 30 de enero, con el registro máximo de 310 eventos por día. También se han registrado eventos de tipo Largo periodo (LP), asociados al movimiento de fluidos magmáticos (64 eventos por día). Además, se distinguieron eventos de tipo Híbrido, asociados al ascenso de magma, a razón de 3 eventos diarios.

En el área del valle del Colca es común la ocurrencia de sismos desde épocas pasadas (Benavente et al., 2017). Sismos importantes fueron registrados y analizados desde el año

1990 por las redes geofísicas del Instituto Geofísico del Perú (IGP). Algunos fueron de gran magnitud, como los ocurridos el 23 de julio de 1991 de magnitud M5.4 a 8 km de Maca (Rodríguez y Huamán, 1992), con hipocentro localizado a 3.6 km de profundidad. Este sismo fue seguido de varios sismos próximos al epicentro que afectaron severamente la localidad de Maca. Posteriormente, el 1 de febrero de 1992 ocurrió un sismo de magnitud M5.0, cuyo epicentro estuvo localizado en el sector de Pampa Sepina (Huamán, 1995). Otros sismos importantes fueron registrados en los años de 1994 (Solarpampa), 1998 (Trigal), 2001 (Uncapampa) y 2002 (Trigal), con magnitudes de M5.0 a M5.3, todos ellos de carácter superficial. Años después, el 22 y 23 de febrero de 2013, ocurrieron cuatro sismos de considerable magnitud (entre M4.5 y M5.2). El 17 de julio de 2013 ocurrió otro sismo superficial de magnitud M5.7 (Tavera et al., 2013), cuyo epicentro fue ubicado a 9 km al NE de la localidad de Huambo. Recientemente, el 14 de agosto de 2016 se produjo un sismo de magnitud M5.3 a una profundidad de 8 km cerca de la localidad de Ichupampa, la cual fue severamente afectada.

En ese sentido, se debe mencionar que la actividad sísmica es común y recurrente en el valle del Colca, donde tiene una gran influencia la actividad de fallas activas. El Sabancaya, por su parte, presenta actividad sísmica ligada al ascenso permanente de volúmenes pequeños a moderados de magma. A pesar de la recurrente actividad sísmica registrada en el mes de enero en áreas aledañas, el Sabancaya no ha experimentado cambios en su actividad eruptiva.

En la actualidad, la actividad del volcán Sabancaya se mantiene en niveles moderados, caracterizada por el registro de explosiones moderadas y emisiones de ceniza y gases que no sobrepasan los 2800 m de altura sobre la cima del volcán. Los otros datos de monitoreo volcánico, provenientes de información geodésica o InSAR, no muestran deformación alguna en la estructura volcánica. Por otro lado, datos de sistemas satelitales (MIROVA) reflejan que los valores de anomalías térmicas están por debajo de 5 MW, mientras que los valores del gas SO₂, obtenidos del satélite Sentinel-5P, no ha presentado anomalías importantes, es decir, mantiene un valor promedio de 2500 toneladas diarias.

CAPÍTULO IV: PELIGROS VOLCÁNICOS Y ESCENARIOS ERUPTIVOS EN EL VOLCÁN SABANCAYA

En el volcán Sabancaya, se han identificado peligros por caídas de piroclastos (cenizas), flujos de lava, lahares (flujos de lodo) y flujos piroclásticos. Estos son detallados a continuación:

3.1. PELIGROS VOLCÁNICOS

3.1.1. Peligros por caídas de piroclastos

Las erupciones explosivas del Sabancaya emiten ceniza que son expulsadas de manera violenta hacia la atmósfera. Asimismo, en reiteradas oportunidades vienen eyectando fragmentos de roca incandescente o piroclastos (bloques) que caen en las laderas del volcán. Desde que se inició su proceso eruptivo en noviembre de 2016, el Sabancaya emite cenizas de manera casi permanente. Las cenizas corresponden a partículas finas (<2 mm) de un magma pulverizado o fragmentos pequeños de roca, las cuales pueden causar serios problemas en la salud de los habitantes del valle del Colca en caso incrementa la actividad. Actualmente, la ceniza viene precipitándose sobre los pastos, bofedales, fuentes de agua, etc., localizados próximos al Sabancaya.

3.1.2. Peligros por lahares (flujos de lodo)

Los lahares (flujos de lodo) son mezclas de fragmentos de rocas volcánicas de tamaños diversos movilizados por el agua que fluyen rápidamente (20-60 km/h). Durante la actual temporada de lluvias, la probabilidad de que se generen lahares en la zona del volcán Sabancaya es alta. Estos flujos pueden descender lahares por las quebradas que drenan del volcán Sabancaya (quebradas Mollebaya, Colihuiri, Sallalli y Sahuancaya-Pujro Huayj) e, incluso, por quebradas que drenan por los volcanes Ampato y Hualca Hualca. Los lahares causarían graves daños en terrenos de cultivo, carreteras, puentes, sobre todo si descienden por las quebradas que drenan del volcán Hualca

Hualca, como las quebradas Mollebaya-Río Sepina (Achoma), río de Hualca Hualca, quebrada Japo, quebrada Huayuray, entre otros.

3.1.3. Peligros por flujos de lava

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

3.1.4. Peligros por flujos piroclásticos

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

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

3.2. ESCENARIOS ERUPTIVOS FUTUROS

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

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

Actualmente, el volcán Sabancaya viene generando explosiones que consecuentemente emiten ceniza, gases y, eventualmente, bloques balísticos que caen en áreas próximas al volcán, típico de una actividad vulcaniana. Las explosiones se dan en intervalos de minutos a horas; como resultado de estas explosiones se generan columnas eruptivas de gases y cenizas de menos de 6 km de altura. Es muy probable que este tipo de actividad continúe por varios meses o años.

En este escenario es muy probable la formación de lahares, sobre todo si se considera que en inmediaciones del volcán Sabancaya ocurren lluvias intensas de diciembre a marzo. Como se ha mencionado anteriormente, los lahares causarían graves daños en terrenos de cultivo, puentes, carreteras como la vía Chivay-Huambo, especialmente si estos flujos descienden del volcán Hualca Hualca. Los lahares pueden descender por la quebrada Mollebaya-Río Sepina (Achoma), el río de Hualca Hualca y la quebrada Huayuray.

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

Actualmente, en el cráter del Sabancaya se visualiza un domo de lava de 282 m de diámetro. Un domo es un cuerpo masivo de lava que se forma cuando el magma es demasiado viscoso para fluir; este aparece en forma de una protuberancia en el cráter o en el flanco de un volcán.

A pesar de tener el domo o cuerpo de lava al interior del cráter, las emisiones de gases y ceniza siguen ocurriendo a través de orificios ubicados en el

extremo norte del domo y en el borde sureste del mismo. La actividad explosiva actual del Sabancaya puede erosionar y destruir en parte el domo de lava, como ha sido visualizado el 11 de diciembre, día durante el cual hubo explosiones con emisión de bloques incandescentes arrancados del domo que cayeron en el flanco norte del volcán.

El continuo crecimiento del domo en el volcán Sabancaya puede generar flujos piroclásticos (flujos incandescentes de bloques y cenizas) que pueden emplazarse principalmente al norte de dicho volcán y alcanzar distancias de hasta 8 km del volcán afectando terrenos de pastizales y bofedales. Los flujos pueden desplazarse a ras del suelo a velocidades mayores de 50 m/s y llegar a distancias mayores a 6 km de su fuente (Miller, 1989). Desde luego, asociado a este proceso pueden seguir ocurriendo explosiones moderadas. Dado que dentro de un radio de 8 km del volcán no existen poblados u obras de infraestructura, el riesgo por este peligro es bajo.

CONCLUSIONES

- En general, entre el 15 de diciembre de 2019 al 2 de febrero de 2020 no se han registrado variaciones significativas en el actual proceso eruptivo del volcán Sabancaya. El número de explosiones volcánicas mantiene un promedio de 8 eventos por día.
- Durante enero de 2020, se han registrado 3 enjambres sísmicos o grupos de sismos recurrentes, localizados al sureste del volcán entre 4 y 12 km (zonas A y B), y al noreste del cráter a 17 km (zona C). Estos sismos tuvieron magnitudes por debajo de M3.9. Estos episodios sísmicos, sobre todo los más lejanos del Sabancaya, probablemente ligados a la actividad de las fallas activas no han propiciado cambios en los niveles de actividad eruptiva del Sabancaya.
- Según datos de las estaciones GNSS, se ha registrado, entre el 10 y 25 de enero, un proceso de subsidencia mínima del suelo de entre 1 y 1.8 cm que probablemente habría sido generado por ausencia de aporte magmático.
- La altura de las emisiones de productos volcánicos desde el cráter del Sabancaya no ha superado los 2800 m de altura sobre la cima del volcán. Sin embargo, se ha observado desgasificación intensa de gases magmáticos y vapor de agua durante enero de 2020.
- El número de las detecciones de anomalías térmicas registradas en el cráter del volcán Sabancaya, a través de imágenes satelitales y el sistema MIROVA, mostró un decrecimiento de un 70 % y valores máximos de 5 MW. Dichas anomalías corresponden a la presencia y al crecimiento de un domo de lava en el fondo del cráter del volcán Sabancaya. Es preciso mencionar que la cobertura de nubes dificulta la detección de anomalías térmicas.
- Respecto a la actividad volcánica futura en el volcán Sabancaya, se han identificado 2 escenarios eruptivos: a) los escenarios que tienen mayor probabilidad de ocurrir o seguir ocurriendo corresponden a erupciones vulcanianas (con Índice de Explosividad Volcánica igual 1-2), como el que actualmente viene presentando el Sabancaya; b) el crecimiento y colapso de domos con la generación de flujos piroclásticos de poco volumen, asociado, desde luego, a la ocurrencia de actividad explosiva.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda mantener el nivel de alerta volcánica en color naranja.
- No acercarse a un radio menor de 12 km del cráter. Toda aproximación o ascenso al volcán es de muy alto riesgo.
- Implementar acciones de prevención y mitigación ante un incremento de la actividad volcánica.
- Ante el registro de precipitaciones pluviales la probabilidad de generación de lahares es latente. En ese escenario alejarse del lecho de ríos y quebradas.
- 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.
- Las instituciones competentes realicen una evaluación permanente del impacto de las cenizas en el agua, suelo, cultivo, pastos naturales y animales, especialmente en zonas donde se viene registrando la caída de ceniza;
- Mantenerse informado en todo momento sobre la actividad volcánica del Sabancaya mediante los boletines emitidos por el IGP: (<http://www.igp.gob.pe/servicios/centro-vulcanologico-nacional/>).

BIBLIOGRAFÍA

- Benavente, C.; Delgado, G.; Fernández, B.; Aguirre, E.; Audin, L. (2017) – Neotectónica, evolución del relieve y peligro sísmico en la Región Arequipa. INGEMMET, Boletín Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica N° 64. 370 p.
- Francis, P.W. (1993) – Volcanoes: a planetary perspective. New York: Oxford University Press, 443 p.
- Gerbe, M.-C. & Thouret, J.-C. (2004) - Role of magma mixing in the petrogenesis of lavas erupted during the 1990-98 explosive activity of Nevado Sabancaya, southern Peru. *Bulletin of Volcanology*, 66(6): 541-561.
- Hoblitt, R.P.; Walder, J.S.; Driedger, C.L.; Scott, K.M.; Pringle, P.T. & Vallance, J.W. (1995) - Volcano Hazards from Mount Rainier, Washington. U.S. Geological Survey, Open-File Report 95-273, 10 p.
- Huamán, D. (1993) - Cadre structural et risques géologiques étudiés à l'aide de l'imagerie spatiale: la région du Colca (Andes du Sud Pérou): *Bull. Soc. Géol. France*, t.164, no 6, p. 807-818.
- 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). Tesis de ingeniero, Univ. Nac. San Agustín, Arequipa, 138 p.
- Miller, C. (1989) - Potential Hazards from Future Volcanic Eruptions in California. U.S. Geological Survey Bulletin 1847, United States, 17 p.
- Nakada, S. (2000) - Hazards from pyroclastic flows and surges. En: Sigurdsson, H.; Houghton, B.F.; McNutt, S.R.; Rymer, H. & Stix, J., eds. *Encyclopedia of volcanoes*. San Diego, CA: Academic Press, p. 945-955.
- Puma, N.; Del Carpio, J. (2019) – Evaluación del proceso eruptivo del volcán Sabancaya: situación actual a partir de observaciones de campo (diciembre, 2019). Repositorio Geofísico Nacional, <http://repositorio.igp.gob.pe/handle/IGP/4724>, 14 p.

- Rodríguez, A. & Huamán, D. (1992) - Actividad de los volcanes Ubinas y Sabancaya, informe inédito. Lima: Instituto Geofísico del Perú, 12 p.
- Samaniego, P.; Rivera, M.; Mariño, J.; Guillou, H.; Liourzou, 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.
- Sébrier, M.; Mercier, J.; Mégard, F., Laubacher, G.; Carey-Gailhardis, E. (1985) – Quaternary normal and reverse faulting and the state of stress in the central Andes of Peru. *Tectonics*. 7, 895-928.
- Tavera, H.; Martínez, J.; Fernández, E.; Arredondo, L.; Flores, C. & Millones, J. (2013) - Sismo de Huambo-Cabanaconde (Arequipa) del 17 de julio, 2013 (5,7ML), informe inédito. Lima: Instituto Geofísico del Perú, Informe Técnico N° 02-2013.