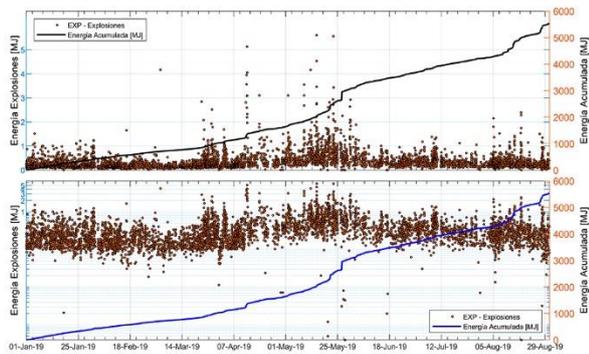


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A6999

CARACTERIZACIÓN DE LAS ONDAS ELÁSTICAS Y RUIDO NATURAL DE ENERO A AGOSTO DEL 2019 EN EL VOLCÁN SABANCAYA

Región Arequipa
Provincia Caylloma



DICIEMBRE

2019

**INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO DEL INGEMMET – OVI**

Informe Técnico Nro. A6999

**CARACTERIZACIÓN DE LAS ONDAS ELÁSTICAS Y RUIDO
NATURAL DE ENERO A AGOSTO DEL 2019 EN EL VOLCÁN
SABANCAYA**

Por:

Ing. ROSA MARIA ANCCASI FIGUEROA

Arequipa – Perú

Diciembre - 2019

CONTENIDO

RESUMEN	4
INTRODUCCION	5
1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	6
2. OBJETIVOS	6
3. RED SISMICA DE MONITOREO.....	7
3.1. Instrumentación	7
4. PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE ONDAS SÍSMICAS.....	8
4.1. Características de las ondas sísmicas del volcán Sabancaya	9
4.2. Estadística por tipo de onda sísmica	12
4.3. Energía sísmica acumulada	13
CONCLUSIONES	14
RECOMENDACIONES	15
BIBLIOGRAFÍA.....	16

RESUMEN

El volcán Sabancaya, se encuentra localizado en el sur del Perú, región de Arequipa y provincia de Caylloma. Ha tenido por lo menos 3 erupciones durante la época histórica, en los años 1750, 1784 d.C. y la última entre 1987 y 1998, clasificándose a esta erupción como tipo Vulcaniana (Thouret et al., 1994). Actualmente el volcán Sabancaya se encuentra en proceso eruptivo, el cual inicio el 06 de noviembre del 2016, caracterizado por el registrando continuo de explosiones y emisiones de ceniza.

El Observatorio Vulcanológico del INGEMMET (OVI), realiza un monitoreo multidisciplinario continuo (sísmico, geodésico, químico y con sensores remotos) del volcán Sabancaya. Durante enero y agosto de 2019, la red sísmica del OVI estuvo conformada por diez estaciones sísmicas, entre telemétricas y temporales, conformadas por sismómetros de banda ancha (Guralp-6TD y Silicon).

El análisis de las ondas sísmicas volcánicas (ondas elásticas y ruido natural) del volcán Sabancaya, ha permitido determinar 07 tipos, los cuales son: Explosiones – EXP, Largo Periodo – LP, Volcano tectónico cercanos – VT y distal– VTD, Híbridos-HYB, Tremor espasmódico –TRE y armónico- TRA; dentro del presente periodo se han registrado un total de 54559 ondas sísmicas. Se han determinado 03 periodos dentro de la evolución sísmica, siendo la segunda y tercera de mayor actividad. Así mismo, se mostró que los aumentos de la energía sísmica volcánica fueron debido a ondas sísmicas tipo VTs y LPs energéticos.

INTRODUCCION

En el presente informe se resume las actividades realizadas por la suscrita en cumplimiento de la orden de servicio N° 01219, del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), por intermedio de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) y del Observatorio Vulcanológico del INGEMMET (OVI).

En este contexto, se explica el análisis de las ondas elásticas y ruido natural (los cuales dentro del presente informe se denominarán “ondas sísmicas”) registradas entre enero y agosto del 2019 en el volcán Sabancaya, con la finalidad de caracterizarlos y determinar patrones que permitan interpretar el estado actual del volcán y puedan brindar pronósticos útiles para el monitoreo volcánico.

1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

En la actualidad el volcán Sabancaya es uno de los volcanes más activos del Perú y se encuentra ubicado en la provincia de Caylloma, departamento de Arequipa, a 80 km al NE de la ciudad de Arequipa (Figura 1), en la cordillera occidental de los Andes del Sur del Perú que corresponde a un importante segmento volcánico de los Andes: Zona Volcánica de los Andes Centrales (De Silva & Francis, 1991).

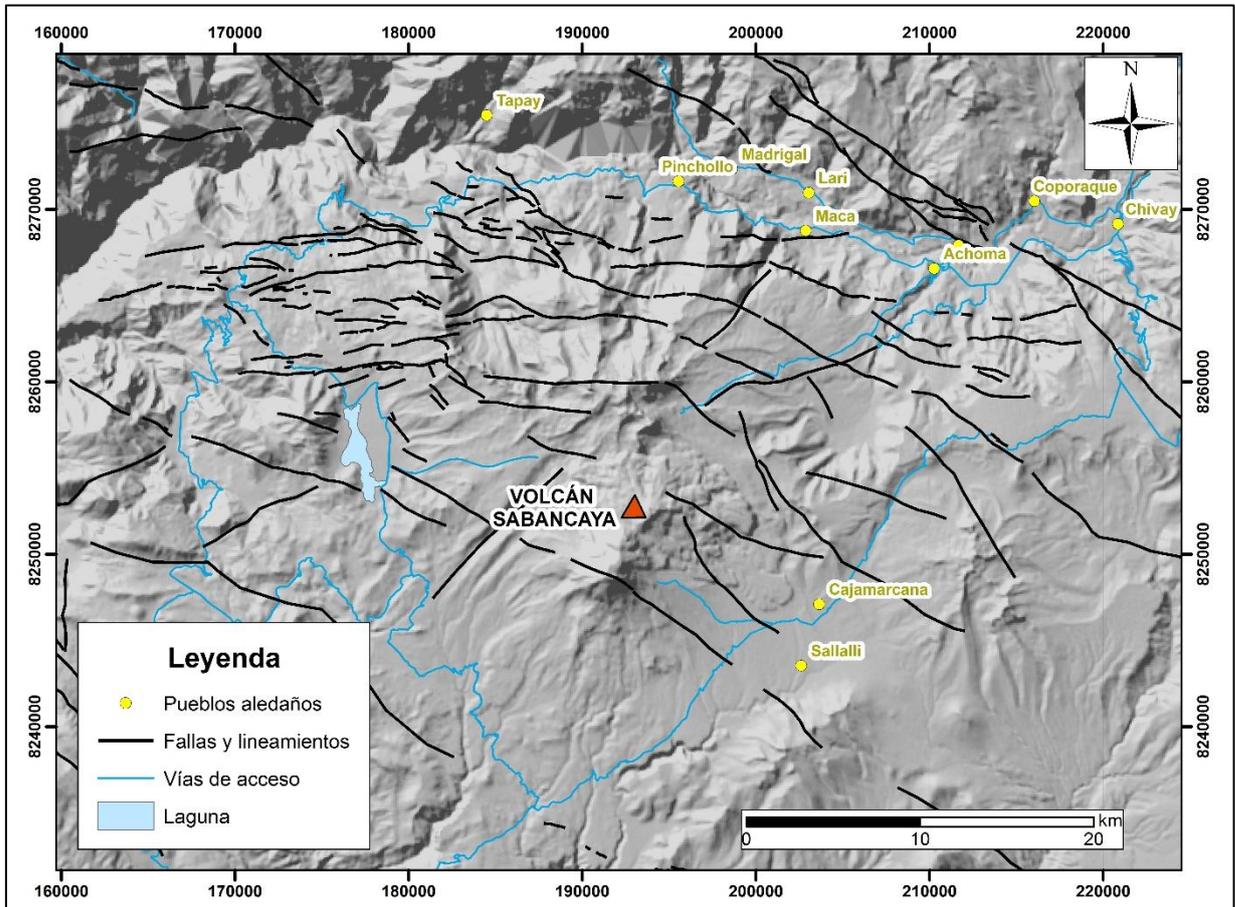


Figura 1. Mapa de ubicación del volcán Sabancaya

2. OBJETIVOS

- Clasificar y caracterizar las ondas sísmicas volcánicas del volcán Sabancaya entre enero y agosto del 2019.
- Calcular la Energía Acumulada de las ondas elásticas durante el periodo de estudio.

3. RED SISMICA DE MONITOREO

La red de monitoreo sísmico del volcán Sabancaya durante enero y agosto del 2019 (Figura 2), estuvo conformada por 10 estaciones sísmicas, siendo 04 Telemétricas (SAB07, SAB11, SAB10 y SAB16) las cuales transmiten la data sísmica en tiempo real hacia las instalaciones del Observatorio Vulcanológico del INGEMMET; y 06 temporales (SAB04, SAB05, SAB17, SIL01, SIL02 y SIL03). Periódicamente se programan comisiones de campo, con el fin de realizar la recuperación de los datos.

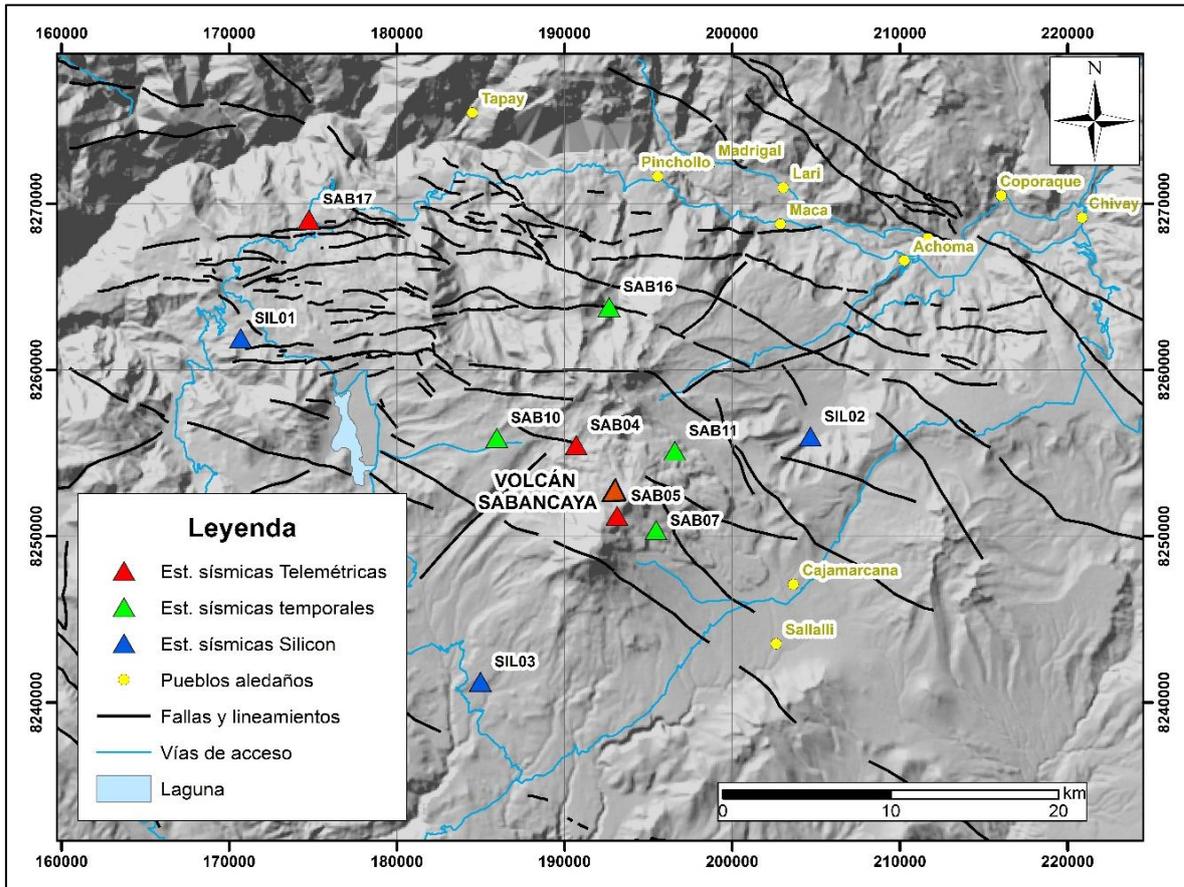


Figura 2. Mapa de la red sísmica de Monitoreo del volcán Sabancaya durante el 2019.

3.1. Instrumentación

Las estaciones sísmicas de la red de Monitoreo del volcán Sabancaya, actualmente cuentan con sismómetros CMT-6TD GURALP y Silicon audio, las cuales son triaxiales (Z, N-S y E-O) y de banda ancha (Figura 3). Las estaciones constan de 01 sensor sísmico, 01 digitalizador, 01 GPS que sincronizan los tiempos de registro. A su vez, las estaciones cuentan con baterías, paneles solares, cables de transmisión entre otros accesorios.



Figura 2. Sensores sísmicos Guralp 6TD (izquierda) y Silicon (derecha).

4. PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE ONDAS SÍSMICAS

Los ondas sísmicas en tiempo real se registran en modo continuo y son guardados en archivos de 01 hora en formato original del sensor sísmico (formato GURALP. gcf). A su vez, la data sísmica a través del programa Scream!, es convertida automáticamente a formato "SAC".

Una vez que los archivos se encuentren en formato .sac, se procede a realizar la clasificación de las ondas sísmicas, debido a que en ambientes volcánicos se registran distintos tipos, los cuales son relacionados a la fuente que los genera. Para este fin, se hace uso del programa Classification_v02 en entorno Matlab (modificado por personal del OVI del programa Classification de Lessage, 2009), ver Figura 4.

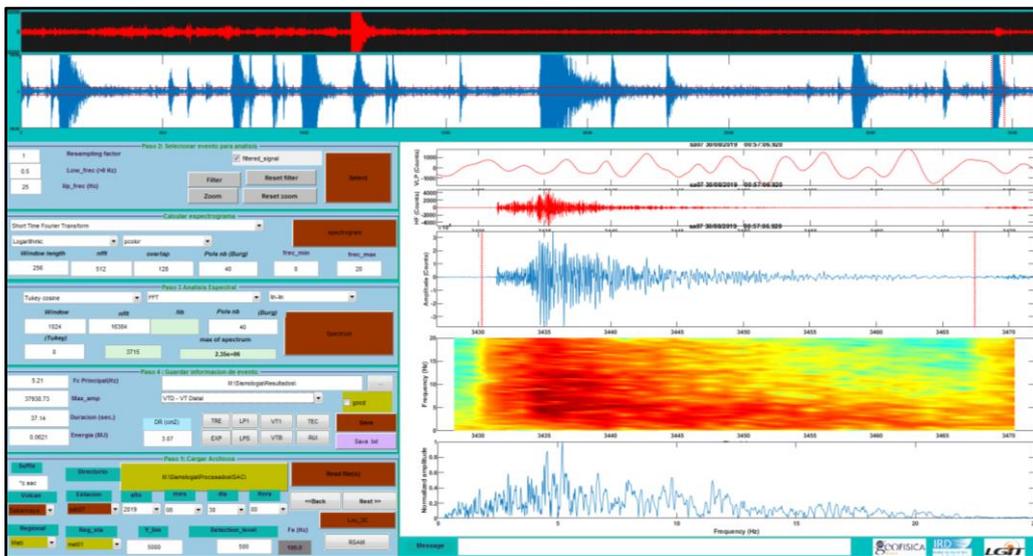


Figura 4. Ventana principal del Programa Classification_v02.

Los resultados se presentan en archivos de texto plano (ASCII) como una lista de todos los eventos identificados y clasificados, dicha lista, contiene información característica de cada onda sísmica clasificada (Figura 5).

Tipo	Fecha	Hora	Fmáx	Amáx	Dur	Archivo	Energía	Calidad	DRs	DRc
VT1	2019-08-01	00:58:23.15	6.57	10786	21	20190801_0000.sab07.z.sac	0.0028	0	0.55	1.65
LP1	2019-08-01	01:05:34.43	1.75	25276	101	20190801_0100.sab07.z.sac	0.0798	0	10.40	15.95
TRE	2019-08-01	01:07:14.57	0.42	3040	287	20190801_0100.sab07.z.sac	0.0024	0	11.07	8.31
LP1	2019-08-01	01:14:11.64	3.32	4048	33	20190801_0100.sab07.z.sac	0.0017	0	0.65	1.38
LP1	2019-08-01	01:43:10.57	1.78	3317	43	20190801_0100.sab07.z.sac	0.0007	0	1.17	1.81
TRE	2019-08-01	01:44:36.57	2.08	19352	138	20190801_0100.sab07.z.sac	0.0697	0	5.93	9.92
EXP	2019-08-01	02:04:32.60	1.20	33646	103	20190801_0200.sab07.z.sac	0.1312	1	24.05	30.57
VTB	2019-08-01	02:20:44.17	5.21	5062	22	20190801_0200.sab07.z.sac	0.0008	0	0.40	1.06
VTB	2019-08-01	02:24:13.58	1.68	2147	69	20190801_0200.sab07.z.sac	0.0014	0	1.28	1.85

Figura 5. Archivo de salida de la clasificación de las ondas para el volcán Sabancaya.

4.1. Características de las ondas sísmicas del volcán Sabancaya

A continuación, vamos a describir las ondas sísmicas típicas que se han registrado en el volcán Sabancaya (Figuras 6 al 12), principalmente por la estación SAB07 ubicada en el sector de Sallali. Estas ondas elásticas muestran la forma de onda en el dominio del tiempo y en el dominio de las frecuencias mediante espectro de frecuencias y espectrograma.

a. Explosiones (EXP): Estas ondas se caracterizaron por presentar una onda de muy baja frecuencia (VLF) al inicio, la cual se asocia al movimiento de fluidos en profundidad (frecuencia dominante en 1.67 Hz.) y seguidamente se presenta la ocurrencia de tremor de altas frecuencias (20 Hz.), dicho tremor se asocia a la salida del material particulado (ceniza). Las energías que presentaron estas ondas sísmicas fueron de hasta 5.6 MJ (figura 6).

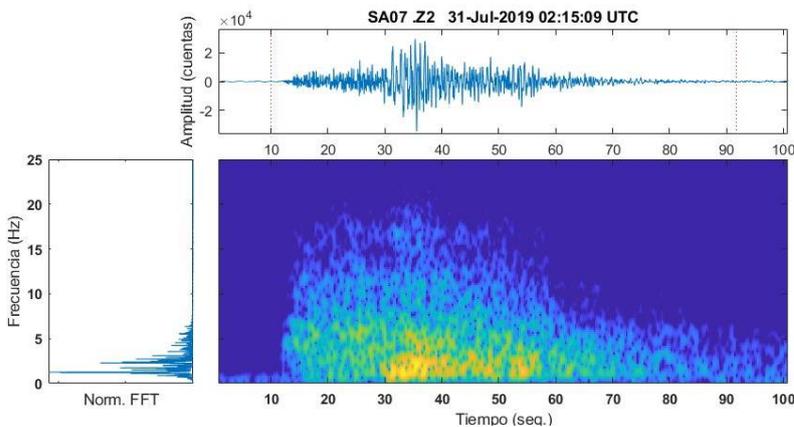


Figura 6. Onda sísmica de tipo EXP (Explosión), registrada el 31 de julio a las 02:15 UTC.

b. Sismo volcano tectónico (VT): Estas ondas están asociados al fracturamiento de material rocoso en el interior del edificio volcánico (Figura 7), se caracterizaron por presentar en su mayoría fases impulsivas P y S; con frecuencias dominantes entre los 5 y 10 Hz, duraciones de hasta 200 segundos y energías de hasta 290 MJ.

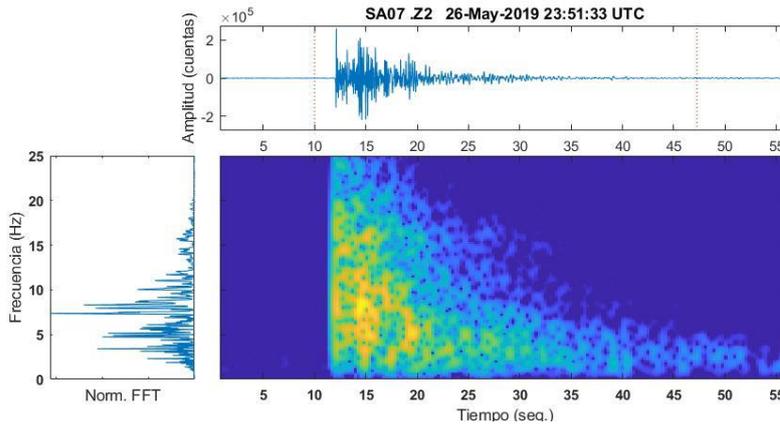


Figura 7. Onda sísmica de tipo VT (volcano - tectónico), registrada el 26 de mayo a las 23:51 UTC.

c. Sismo volcano tectónico distal (VTD): Estas ondas están principalmente asociados a la actividad de sistemas de fallas en los alrededores de la zona del volcán (Figura 8), se caracterizaron por presentar fases impulsivas P y S; con frecuencias dominantes entre 1 y 15 Hz, duraciones de hasta 166 segundos y energías considerables de hasta 30006.4 MJ.

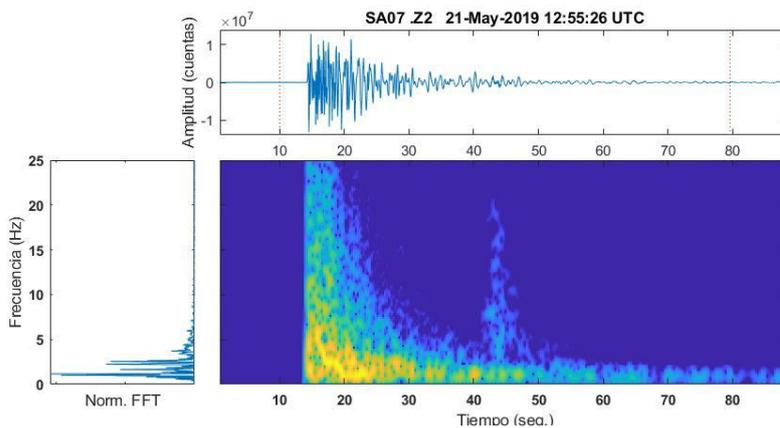


Figura 8. Onda sísmica de tipo VTD (volcano – tectónico distal), registrada el 21 de mayo a las 12:55 UTC.

d. Sismo Largo Periodo (LP): Estas ondas están asociados al movimiento de fluidos y/o gases (Figura 9), se caracterizaron por presentar formas de ondas regulares; con frecuencias dominantes entre los 5 y 10 Hz, duraciones de hasta 718 segundos y energías de hasta 11.03 MJ.

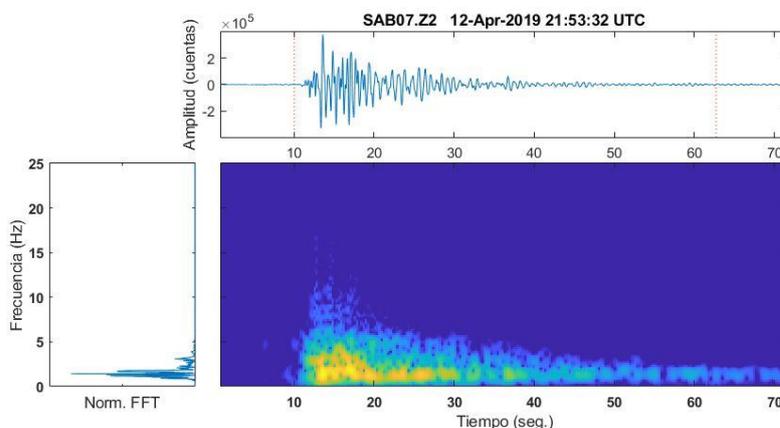


Figura 9. Onda sísmica de tipo LP (Largo Periodo), registrada el 12 de abril a las 21:53 UTC.

e. **Sismo Híbrido (HIB):** Estas ondas están asociados al ascenso de magma hacia la superficie (Figura 10), se caracterizaron por presentar frecuencias dominantes en 1 y 5 Hz, duraciones de hasta 232 segundos y energías de hasta 0.1 MJ.

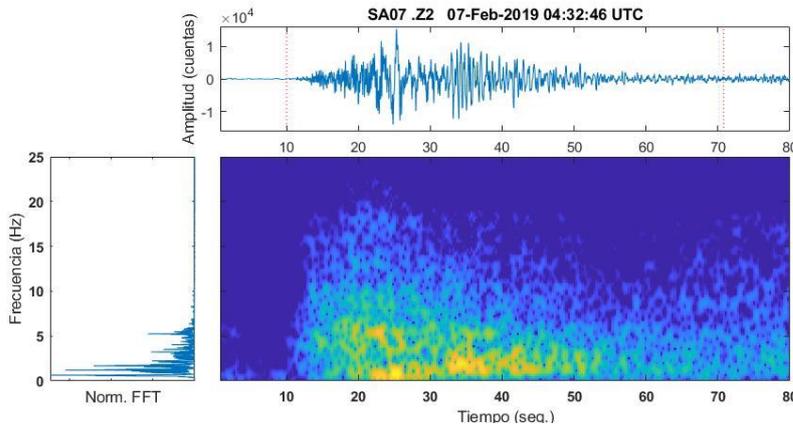


Figura 10. Onda sísmica de tipo HYB (híbrido), registrada el 07 de febrero a las 04:32 UTC.

f. **Tremor volcánico (TRE):** el tremor espasmódico asociado principalmente a la emisión de gases y ceniza (Figura 11), se caracterizó por presentar frecuencias dominantes entre 1 y 9 Hz, con duraciones de hasta 3556 segundos. Las energías de estas ondas sísmicas alcanzaron el 1.3 MJ. Durante este periodo se identificaron algunos episodios de **tremor armónico (TRA)**, el cual, fue asociado al movimiento y/o ascenso de magma a la superficie, sus frecuencias dominantes oscilaron entre 1 y 5 Hz, con duraciones de hasta 278 segundos y energías sísmicas hasta de 0.2 MJ (Figura 12).

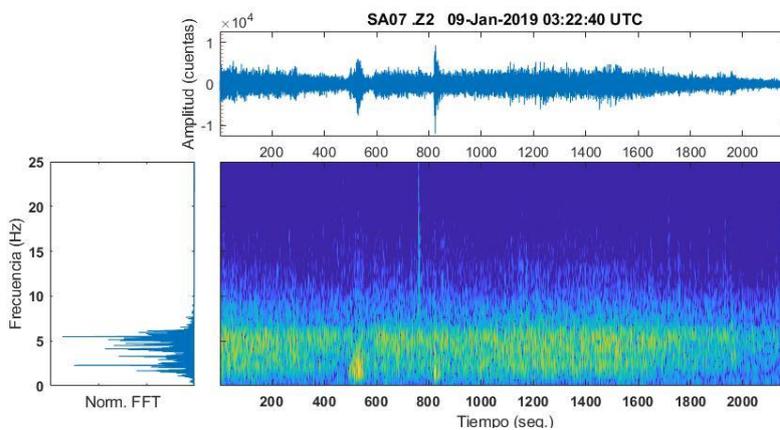


Figura 11. Onda sísmica de tipo TRE (Tremor Espasmódico), registrada el 09 de enero a las 03:22 UTC.

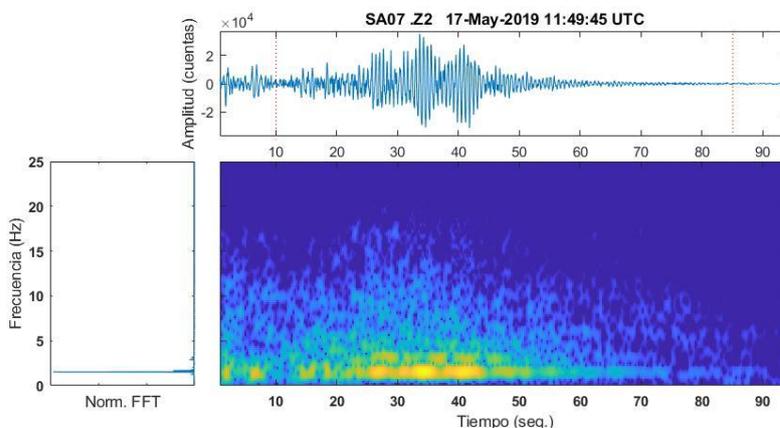


Figura 12. Onda sísmica de tipo TRA (Tremor Armónico), registrada el 17 de mayo a las 11:49 UTC.

4.2. Estadística por tipo de onda sísmica

Durante enero y agosto del presente año, se han registrado un total de 54559 ondas sísmicas elásticas en el volcán Sabancaya, en la Figura 13 se muestra como ha sido la evolución de la actividad sísmica, esta se ha dividido en tres periodos:

I (01 enero – 15 mayo): Niveles moderados de actividad, sin valores resaltantes.

II (20 marzo – 16 mayo): Incremento de número y energía de las explosiones-EXP, así como de la energía del tremor espasmódico-TRE (emisión de ceniza y/o gases volcánicos) y un pico de energía de Largo periodo -LP (relacionados al movimiento de fluidos) el 10 de abril.

III (17 mayo – 16 mayo): Incremento sustancial de las ondas tipo ruptura (VT) próximos al volcán ($\leq 5\text{km}$) y lejanos ($5 - 25\text{km}$), incremento de energía de explosiones - EXP y de Tremor espasmódico. Finalmente la sismicidad se encuentra en valores moderados dentro del proceso eruptivo, los cuales no superan los registrado entre nov - 2016 y ene -2017.

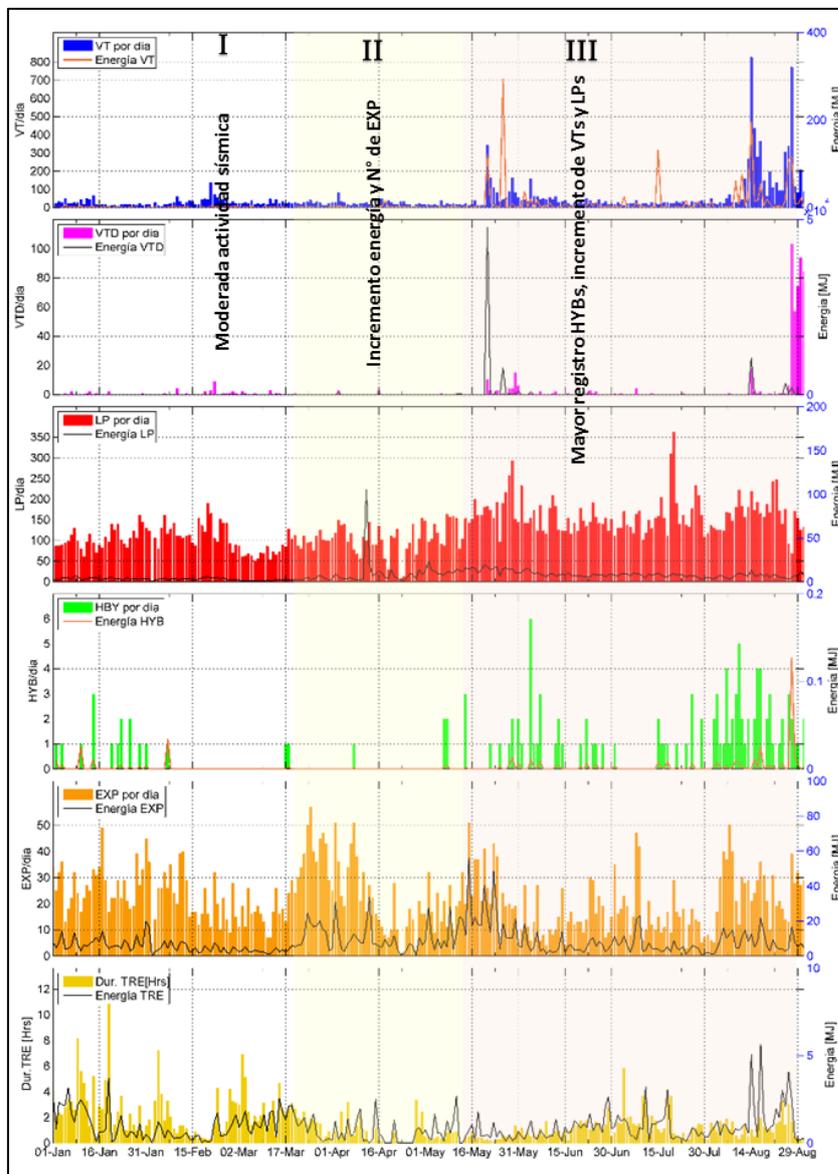


Figura 13.
 Evolución de la actividad sísmica del volcán Sabancaya por tipo de onda sísmica entre enero y agosto del 2019.

4.3. Energía sísmica acumulada

El análisis de la energía de las ondas sísmicas liberadas en el volcán Sabancaya durante el periodo del presente informe, se realizó principalmente mediante el registro de la estación SAB07, por su mayor continuidad de registro y transmisión. La Figura 14, muestra la energía acumulada liberada por las ondas sísmicas del volcán, teniéndose un valor final de 82540.6 MJ. En la figura 15, se puede apreciar dos periodos de incremento considerable de la energía de las explosiones, el primero entre el 23 de marzo y 02 de junio, el segundo de menor significancia entre el 5 y 27 de agosto, a su vez. En la figura 16, se observa el incremento de la energía acumulada general el 28 de mayo, 15 julio y entre el 14 y 28 de agosto, debido al registro de ondas sísmicas tipo ruptura (VT) energéticos y el de 12 de abril debido a LPs energéticos.

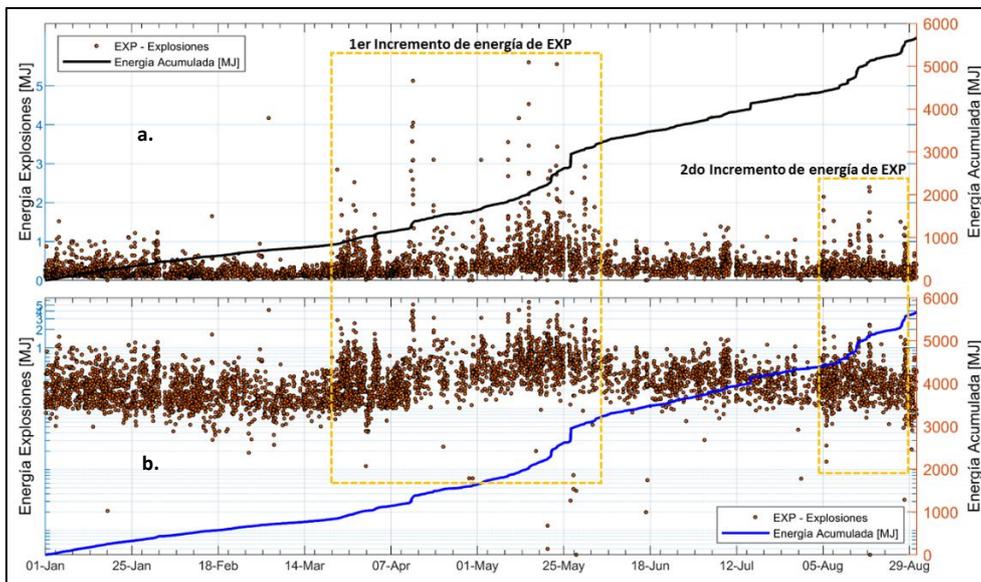


Figura 14. Energía acumulada general lineal (a) y logarítmica (b) de la actividad sísmica volcánica y energía de las explosiones EXP en el volcán Sabancaya.

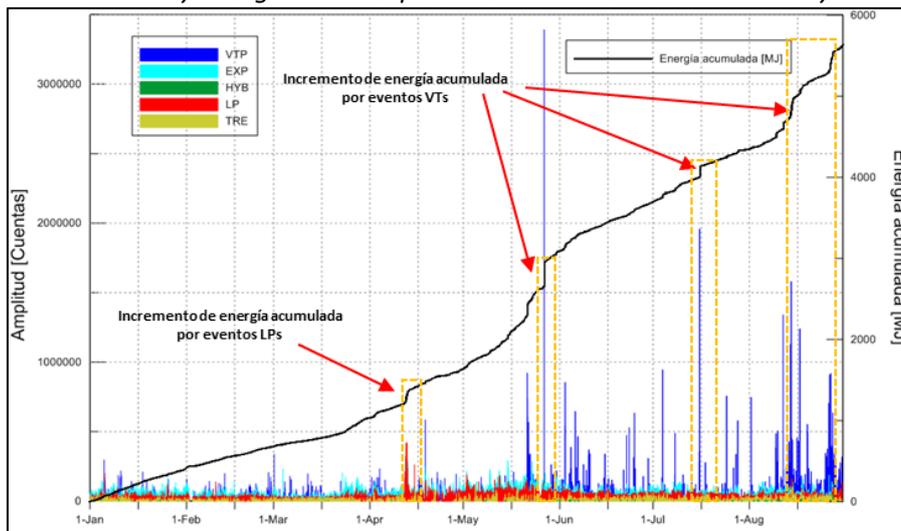


Figura 15. Energía acumulada y amplitud de las ondas sísmicas en el volcán Sabancaya.

CONCLUSIONES

- El volcán Sabancaya continúa en proceso eruptivo desde noviembre del 2016 hasta la actualidad, con niveles moderados mediante continuas explosiones y emisiones de ceniza.
- Durante el periodo entre enero y agosto del 2019, se han contabilizado 54559 ondas sísmicas, registrados mediante la red sísmica de monitoreo del volcán Sabancaya, principalmente por la estación SAB07 ubicada en el sector de Sallalli.
- Se han caracterizado 07 tipos de ondas sísmicas, las cuales son: Explosiones – EXP, Largo Periodo – LP, Volcano tectónico cercanos -VT y distal– VTD, Híbridos- HYB, Tremor espasmódico –TRE y armónico- TRA.
- Se han determinado 03 periodos dentro de la evolución de la sismicidad del volcán enero y agosto del 2019, dentro del contexto general se encuentra en valores moderados, y no han superado los primeros años de iniciado el actual proceso eruptivo.
- Se determinaron 02 periodos de incremento de energía de explosiones, además, que los incrementos de la energía acumulada volcánica estuvieron relacionados principalmente a ondas sísmicas VTs y LPs energéticos, causados por la actividad explosiva.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda seguir con el monitoreo multiparamétrico del volcán Sabancaya, por encontrarse en proceso eruptivo desde noviembre del 2016.
- Se recomienda realizar un análisis de las diferentes familias de eventos sísmicos para definir las fuentes y procesos de migración del magma.
- Se recomienda realizar la estimación de las profundidades de las explosiones mediante el empleo de la polarización de ondas, lo que ayudaría a correlacionar mejor las características de las emisiones.
- Realizar el mantenimiento periódico de las estaciones sísmicas para su buen funcionamiento.

BIBLIOGRAFÍA

- S. L. de Silva & P. W. Francis 1991. Volcanoes of the Central Andes. viii + 216 pp. Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong: Springer-Verlag. Price DM 138.00 (hard covers).
- Thouret, J.-C.; Guillaude, 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 p.