

# ACTIVIDAD DEL VOLCÁN SABANCAYA (PERU) 2016-2017: OBSERVACIONES PETROGRÁFICAS Y GEOQUÍMICAS DE LOS DEPÓSITOS DE TEFRAS DEL 2017

## The 2016-2017 activity of the Sabancaya volcano (Peru): petrographical and geochemical observations of the 2017 tephra deposits

Nélida Manrique<sup>a</sup>, Ivonne Lazarte<sup>a</sup>, Marco Rivera<sup>a</sup>, Kevin Cueva<sup>a</sup>, Saida Japura<sup>a</sup>, Rigoberto Aguilar<sup>a</sup>

<sup>a</sup> INGEMMET, Observatorio Vulcanológico del INGEMMET. Barrio Magisterial 2B-16, Umacollo, Yanahuara, Arequipa, Perú ([nelida.victoria.manrique@gmail.com](mailto:nelida.victoria.manrique@gmail.com))

**Short Abstract.** From 2013 to present-day, the Sabancaya volcano has resumed a new eruptive episode that we have subdivided in two phases: the first phase was characterized by degassing; coincided with the occurrence of five fumarolic vents located on the north flank, and; the second, current phase that started on November 6, 2016, keeps producing ash emissions and ballistic ejecta from columns as high as 5500 m above the crater. Ash particles and ballistic blocks show homogeneous andesitic compositions (59.8-62.8 wt.% SiO<sub>2</sub>). The mineral association of juvenile rocks includes plagioclase, clinopyroxene, amphibole, biotite and Fe-Ti oxides. Disequilibrium textures have been observed in some phenocrysts, such as sieve texture and overgrowth rim in plagioclase and reaction rims in amphiboles. We attribute these characteristics to a probable recharge process involving a batch of hot mafic magma ascending into the reservoir.

**Keywords:** Sabancaya volcano, tephra, ash emission, volcanic crisis, hazard.

**Palabras-claves:** Volcán Sabancaya, tefra, emisión de cenizas, crisis volcánica, amenaza.

### 1. Introducción

El volcán Sabancaya se encuentra localizado a 36 km al sureste de la ciudad de Chivay y a 75 km al NNW de la ciudad de Arequipa (15° 49.3'S, 71°52.7'O). El Sabancaya es considerado el segundo volcán más activo del Perú después del Ubinas. Su actividad en el Holoceno estuvo dominada por el emplazamiento de flujos de lava y domos de lava con pocas ocurrencias de corrientes piroclásticas de densidad (Thouret et al., 1994; Gerbe and Thouret, 2004; Samaniego et al., 2016). Mientras que en época histórica el Sabancaya produjo dos erupciones explosivas, la primera reportada por las crónicas españolas en el siglo XVIII y la segunda entre 1990-1998, la cual presentó ceniza y fragmentos balísticos de composición andesítica a dacítica (Gerbe and Thouret, 2004).

Desde febrero del 2013 hasta la actualidad, el Sabancaya ha iniciado un nuevo episodio eruptivo. En un comienzo se caracterizó por una fuerte desgasificación. A partir del 6 de noviembre del 2016, la actividad explosiva incrementó de manera importante, generando emisión y caídas de ceniza que suelen afectar un radio de 70 km alrededor del volcán.

Con el propósito de monitorear el grado de actividad del Sabancaya, desde el 2014 el Observatorio Vulcanológico del INGEMMET (OVI), ha implementado una red de monitoreo visual, sísmico, geoquímico y geodésico en tiempo real. Así mismo, ha implementado una red de monitoreo de cenizas, el cual nos permite realizar el estudio geoquímico y mineralógico de los productos emitidos, con el fin de comparar con otros eventos eruptivos del Sabancaya, como los episodios de desgasificación y emisiones de tefras que ocurrieron entre los años 1990 y 1998 (Gerbe and Thouret, 2004).

### 2. Metodología

El monitoreo visual del volcán Sabancaya se implementó desde el año 2014, utilizando dos cámaras de video Axis modelo 1765-LE. La cámara 1-SBCPQ está ubicada en la Municipalidad Distrital de Coporaque, aproximadamente a 27 km del volcán y la cámara 2-SBSLLI que está ubicada a 4 km al Sursureste del cráter del volcán. Las imágenes se registran cada 30 segundos captando parámetros significativos como: altura, color, densidad, forma y dirección de desplazamiento de la columna eruptiva. Estas imágenes son transmitidas hacia las instalaciones del OVI, las cuales son registradas en una base de datos y pueden ser visualizadas en la página web institucional del INGEMMET.

Los análisis de elementos mayores y trazas de roca total fueron obtenidos de 11 muestras de ceniza (< 1.5 mm) y 1 bloque balístico (10 cm) en el laboratorio del INGEMMET, usando el método ICP-AES y siguiendo el procedimiento analítico descrito por Cotten et al. (1995). También se elaboraron secciones delgadas de cenizas y del bloque balístico en el laboratorio de INGEMMET que posteriormente fueron analizadas en el OVI con el microscopio de luz transmitida (LABOMED Lx 400P). También se realizó el estudio mineralógico y granulométrico de las tefras. Como primer paso las muestras fueron cuarteadas, pesadas, luego tamizadas (entre 1φ, 2φ, 2.5φ, 3φ, 3.5φ, 4φ y 4.5φ) y finalmente observadas en el binocular.

### 3. Resultados

#### 3.1 Cronología de los eventos

Basado en los datos obtenidos del proceso eruptivo actual del volcán Sabancaya, dividimos todo el episodio eruptivo 2013-2017 en 2 fases (Tabla 1).

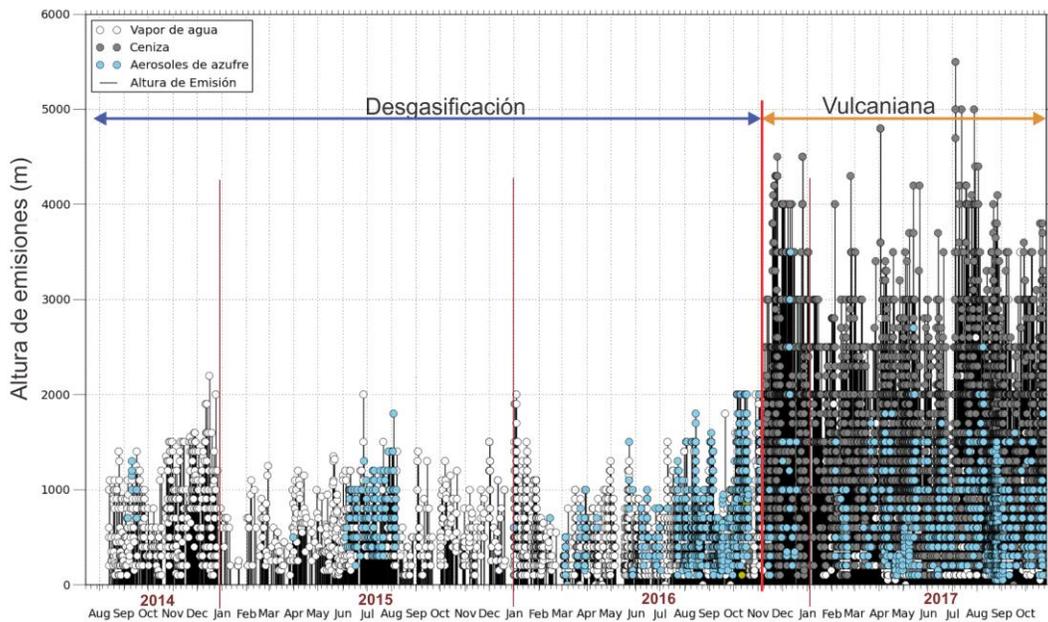
		Periodo	Altura de la pluma volcánica (m)	Distancia y dirección de las emisiones	Tipo de actividad	
<b>Fase 1</b>		2013-2015	< 2000	Las emisiones de gases se dispersaron a más de 20 km principalmente en dirección SE- NO del volcán	Fumarólica	
		2016 abril	< 500 (altura en los puntos)	Las emisiones de gases se dispersaron hacia el SE del volcán	Fumarólica	
		2016	27-ago	>1000	Radio de dispersión de los gases < 10 km al Este del volcán	Explosión
			06-nov	>2000	Radio de dispersión a < 20 km al NE del volcán	Explosiones con emisiones de cenizas
			24-nov	>4000	Radio de dispersión a < 40 km al ONO del volcán	Explosiones con emisiones de cenizas
		2017	04-jul	>5000	Radio de dispersión a < 60 km al E del volcán	Explosiones con emisiones de cenizas

Tabla 1. Características de las 2 fases identificadas: altura de la emisión de ceniza y balísticos, distancia y dirección de la pluma y tipo de actividad ocurrido.

**Fase 1:** desde febrero 2013-2015 (Fig. 1). Desgasificación: las emisiones son principalmente de vapor de agua, aunque en ocasiones se presentaron en mayor proporción gases magmáticos (por ej. SO<sub>2</sub>) que toman tonalidades azulinas. Estas emisiones eventualmente ascienden hasta los 2000 m de altura sobre el cráter del volcán. En abril de 2016 se observaron cinco nuevas fuentes fumarólicas en el flanco norte del volcán Sabancaya, que superaban los 700 metros de altura. El 27 de Agosto, el Sabancaya registró una explosión,

seguida de una emisión de cenizas y gases con una columna de color gris, que llegó a 1000 m por encima del cráter, la cual fue dispersada < 10 km en dirección Este del Sabancaya.

**Fase 2:** Empezó el 06 de Noviembre de 2016 y perdura hasta la actualidad (Fig. 1). Esta fase se caracteriza por presentar explosiones vulcanianas con emisiones de ceniza que ascienden hasta aproximadamente 3000 m de altura, en promedio, pero en periodos de mayor actividad estos alcanzan alturas de hasta 5500 m (por ej. el 4 julio del 2017) sobre el cráter del volcán, y con presencia de bloques balísticos (de 20 cm aproximadamente con un alcance de 500 m). Las emisiones llegan a dispersarse en un radio de hasta 70 km, afectando a los poblados del valle del Colca, Huambo, Lluta, Huanca, y también en dirección norte, registrándose caídas de cenizas tenues polvo (<1/16 mm) inferior a 1 mm de espesor en la ciudad de Arequipa. La explosión del 05 Julio por la noche provocó la suspensión de un vuelo de la Aerolínea Avianca produciendo retrasos en las salidas de otras aerolíneas.



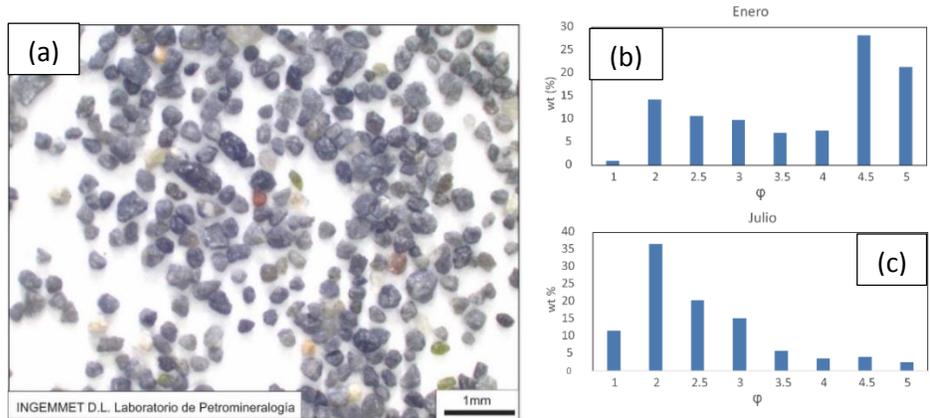
**Fig 1.** Se identificaron dos fases, las cuales han sido denominadas como desgasificación y vulcaniana.

### 3.2. Componentes y granulometría de la ceniza

Las cenizas coleccionadas al inicio de la fase 2 son angulares y ligeramente redondeadas e incluyen un amplio rango de componentes que miden hasta 1 mm. Estos últimos son clasificados de acuerdo a su abundancia: cristales de plagioclasa, olivino, biotita, material juvenil (líticos grises, los cuales presentan fenocristales de plagioclasa y clinopiroxeno, y vidrio volcánico de color negro), líticos hidrotermalizados y oxidados (Fig. 2a). Las cenizas emitidas desde febrero del 2017 muestran un incremento de material juvenil (vidrio volcánico y líticos grises), pero una disminución de cristales de plagioclasa, biotitas, olivinos y piroxenos, mientras que la proporción de las partículas oxidadas e hidrotermalizadas han disminuido considerablemente. Algunos componentes como el vidrio llegan a medir un diámetro de hasta 1.2 mm.

A partir del tamizado y pesado de 5 muestras de ceniza de la estación SAB 11, localizada a 2.5 km del cráter al noreste, se observa que inicialmente hasta el mes de junio la presencia de partículas finas ( $4.5 \phi$  y  $<4.5 \phi$ ) alcanzaba 29.5 % del peso, mientras que durante los meses de junio y julio los finos ( $4.5 \phi$  y  $<4.5 \phi$ ) disminuyeron a 16.5 % y 4.5 % del peso, respectivamente. En contraste, la ceniza más gruesa correspondiente al tamiz  $2\phi$  aumentó hasta 26.5 % del peso en el mes de julio.

Las observaciones realizadas con el microscópio binocular evidencian una menor cantidad de material hidrotermalizado al inicio de la fase 2; no se aprecian arcillas u otros minerales que nos indiquen actividad freatomagmática considerable. Además, el material juvenil está presente desde los primeros días de la erupción. Esto podría explicarse por: (1) El volcán Sabancaya no evidenciaba una laguna cratérica, (2) la ausencia de cobertura glaciar en la cima y (3) que las erupciones iniciaron después de varios meses sin precipitación pluvial, lo que conllevaría a una baja saturación del substrato.

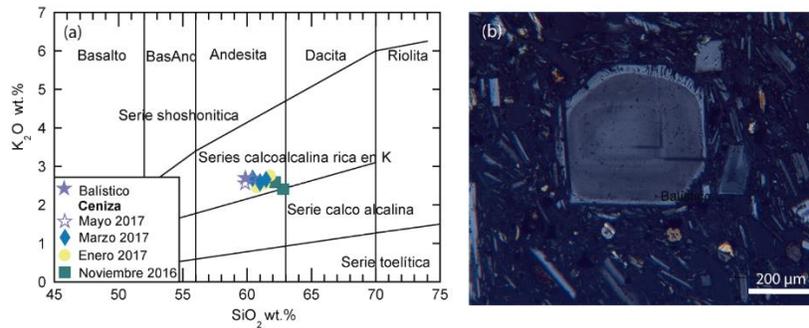


**Fig. 2:** a) Ceniza correspondiente al mes de noviembre de 2016, asociada al inicio de la fase 2 se observa la presencia de material hidrotermalizado y oxidado, vidrio volcánico, líticos grises, cristales de plagioclasa y olivino. b) Diagrama mostrando el tamaño de partículas en porcentaje en peso correspondiente al mes de enero. c) Porcentaje en peso correspondiente al mes de julio.

### 3.3. Características petrográficas y geoquímicas

El bloque emitido en mayo del 2017 es una andesita gris oscura, vesiculada, porfírica con 15-20 vol.% de fenocristales, 25 – 30 vol.% de microfenocristales, 5 - 10 vol.% de vesículas y 35 – 50 vol.% de matriz vítrea. La asociación mineral está constituida por fenocristales de plagioclasa, clinopiroxeno, biotita, anfíbol, apatito y óxidos de Fe-Ti y vidrio intersticial. La pasta está constituida por microlitos (< 80 μm) de plagioclasa, clinopiroxenos y óxidos de Fe-Ti. Esta asociación mineral es similar a los bloques balísticos de composición andesítica de la erupción de 1990-1998 (Gerbe and Thouret., 2004).

Los fenocristales de plagioclasa (400 μm y 1400 mm) son los más abundantes y aparecen de forma subhedral a anhedral y pertenecen dos familias. (1) La primera corresponde a fenocristales euhedrales y subhedrales zonados con textura “sieve” hacia los bordes (Fig. 3b); algunas presentan textura “sieve” en el centro. (2) En la segunda familia los fenocristales están reabsorbidos con una ligera zonación. También se han identificado aglomerados de plagioclasa con anfíbol, clinopiroxeno, biotita y óxidos de Fe-Ti. Los clinopiroxenos (250 - 300 μm) se presentan como fenocristales euhedrales a subhedrales. Los anfíboles (600 - 900 μm) presentan coronas de reacción. Las texturas de desequilibrio observadas en la plagioclasa, anfíbol y biotita en el proyectil balístico fueron también reportado en la erupción de 1990-1998 (Gerbe and Thouret, 2004). Los productos emitidos durante este proceso eruptivo son clasificados como andesitas calco-alcalinas ricas en K (Fig. 3a), las cuales son comunes en los volcanes del sur del Perú como el Ubinas (Thouret et al., 2005; Rivera et al., 2014), Misti (Thouret et al., 2001, Rivera et al., 2017) y erupciones pasadas del Ampato-Sabancaya (Gerbe & Thouret, 2004; Samaniego et al., 2016). La composición de la ceniza y el balístico, presentan características químicas homogéneas (59.8-62.8 wt.% SiO<sub>2</sub>; 2.41-2.76 wt.% K<sub>2</sub>O). En la erupción de 1990-1998 los bloques presentaron composiciones dacíticas y andesíticas (Gerbe and Thouret, 2004).



**Fig. 3:** a) La composición geoquímica de la ceniza y el balístico es andesítica; b) Plagioclasa subhedral con zonación presenta borde de sobrecrecimiento de 20 µm de espesor.

#### 4. Conclusión y perspectiva

Desde 2013 hasta la actualidad se han identificado dos fases del proceso eruptivo del volcán Sabancaya. La primera se considera como fase pre-eruptiva, asociada a una fuerte desgasificación. La segunda corresponde a una fase vulcaniana, que se caracteriza por la emisión de ceniza y balísticos, el material juvenil consiste principalmente de vidrio volcánico y líticos juveniles, este comportamiento también se observó en la erupción de 1990 -1998 (Gerbe and Thouret, 2004).

La ceniza emitida al inicio de la fase 2 se caracteriza por la presencia material juvenil, líticos hidrotermalizados y oxidados así como cristales de plagioclasa, clinopiroxeno y biotita. Mientras que la ceniza emitida desde febrero del 2017 muestra un incremento de material juvenil y una disminución del material hidrotermalizado y oxidado. El incremento de material juvenil con respecto a los fragmentos hidrotermalizados sugiere el ascenso y la fragmentación de un magma rico en material juvenil siguiendo la limpieza progresiva del conducto volcánico.

La composición de la ceniza y el balístico es andesítica. En los fragmentos balísticos se observan texturas de desequilibrio, como textura “sieve” de las plagioclasas, con bordes de sobrecrecimiento y coronas de reacción en anfíboles que podrían sugerir un proceso de mezcla de magmas (recarga) que también fueron planteadas para las erupciones pasadas (e.g. erupción de 1990-1998, Gerbe & Thouret, 2004). Sin embargo es necesario realizar estudios más detallados de la tefras para definir si se trata de mezcla química (magma mixing), mezcla mecánica (mingling) o convección (self-mixing).

#### Referencias

- Cotten, J., Le Dez, A., Bau, M., Carroff, M., Maury, R.C., Dulski, P., Fourcade, S., Bohn, M., Brousse, R. (1995). Origin of anomalous rare-earth element and Yttrium enrichments in subaerial exposed basalts: Evidence from French Polynesia. *Chem. Geol.* 119, 115-138.
- Gerbe, M.-C., Thouret, J.-C. (2004). Role of magma mixing in the petrogenesis of tephra erupted during the 1990-98 activity of Nevado Sabancaya, southern Peru. *Bull. Volcanol.* 66, 541-561.
- De Silva, SL, Francis, P.W. (1990). Potentially active volcanoes of Peru: observations using Landsat Thematic Mapper and Space Shuttle imagery. *Bull. Volcanol.* 52, 4, 286–301.
- Rivera, M., Martin, H., Le Pennec, J-L., Thouret, J-C. 2017, Petro-geochemical constraints on the source and evolution of magmas at El Misti volcano (Peru). *Lithos*, 268-271, 240-259- Samaniego, P, Rivera, M, Mariño, J, Guillou, H, Liorzou, C, Zerathe, S, Delgado, R, Valderrama, P, Scao (2016). The eruptive chronology of the Ampato-Sabancaya volcanic complex (Southern Peru). *J. Volcanol. Geoth. Res.* 323, 110-128.
- Thouret J.-C., Rivera M., Wörner G., Gerbe M.-C., Finizola A., Fornari M., Gonzales K., 2005. Ubinas: evolution of the historically most active volcano in Southern Peru. *Bulletin of Volcanology*, 67, 557-589.

- Thouret Jean-Claude, Finizola A., Fornari Michel, Legeley-Padovani, Annick, Jaime Suni, Manfred. Frechen. Geology of El Misti volcano near the city of Arequipa, Peru. GSA Bulletin; December 2001; v. 113; no. 12; p. 1593–1610
- Thouret, J.-C., Guillande, R., Huaman, 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. Bull. Soc. Géol. Fra. 165, 1, 49–6